

## Introducción

Actualmente en el país se fabrican buggies de manera artesanal, es decir se los producen en talleres pequeños y pocas unidades. Esto se debe a que este tipo de vehículos se lo usa como hobby y resulta un hobby un tanto costoso.

Existen ciudades turísticas como Baños o Míndo en las que estos buggies son rentados a turistas para dar una manera más entretenida de explorar la ciudad. También existen buggies privados que son utilizados como diversión tanto en la playa como en la montaña. Desde el 2014, la policía y los bomberos han adquirido este tipo de vehículos utilitarios que les permite hacer patrullajes y rescates en lugares de difícil acceso.

El siguiente proyecto de grado tiene como objetivo principal desarrollar un bastidor de buggy que sea más económico que los buggies importados para de esta manera fomentar la industria automotriz ecuatoriana. Adicionalmente se pretende diseñar este bastidor lo más sencillo y eficiente posible para que su producción resulte más conveniente y se pueda llegar a producir este tipo de vehículos en serie.

Para el diseño de un bastidor tubular, se debe tomar en cuenta varios factores: el tipo del material (debidamente determinado por medio de cálculos), el costo de dicho material, el tiempo de fabricación, la mano de obra, las máquinas y herramientas necesarias para su fabricación, el tipo de suelda que se va a utilizar, y los mecanismos exteriores al bastidor.

Con todos estos factores debidamente analizados en este proyecto, se puede determinar los costos y el tiempo de producción para cada bastidor. Esto ayudará a crear procesos eficientes en cuanto a la producción en serie de dicho bastidor, y tomando en

cuenta los mecanismos adicionales tales como: motor y sistema de transmisión, sistema de dirección, freno y suspensión.

Para el diseño de este bastidor se deben detallar ciertos conceptos teóricos que permitan el entendimiento de la materia a analizarse. Se debe analizar el concepto básico de un bastidor, los componentes de un buggy, la situación actual de la industria automotriz ecuatoriana, el material que se va a utilizar, las herramientas y el tipo de soldadura.

En este proyecto se propone dos tipos de bastidores de diferente material. El modelo 1 está diseñado con un tubo cuadrado de 1 ½” - 1 ½” x 1/8”. El modelo 2 está diseñado con un tubo circular de 1 ½” x 0,200

### **El bastidor**

“El bastidor de un vehículo es el armazón sobre el que se montan y sujetan todos los mecanismos, soportando el peso de unos (motor, transmisión, carrocería, etc.) y quedando otros colgados de él (suspensión y neumáticos).” (Alonso, 2001)

El bastidor es el elemento base que da soporta a todo el vehículo. Un bastidor de tipo buggy está construido con uno o varios tipos de materiales que sujetan a todos los mecanismos adicionales tales como; motor y transmisión, jaula antivuelco o roll-bar, suspensión, dirección, frenos y ruedas.

“Como toda la estructura del vehículo, al comienzo de su historia, el bastidor se copió de los empleados en los carruajes de la época. Basado en dos largueros longitudinales, enlazados entre sí mediante travesaños. Se mantuvo, para todos los vehículos, hasta los años mil novecientos cuarenta. A partir de entonces fue evolucionando según tipos. En

turismos, fue incluido en la propia carrocería formando parte de su estructura.” (Cascajosa, 2005)

## **Buggy**

Un buggy es un vehículo motor de 4 ruedas similar a un cuadrón, con la diferencia que este tiene un volante circular, un asiento de auto con arnés y una jaula antivuelco o roll-bar para protección de su piloto, como se puede ver en la figura 1. Esto hace que el manejo de un buggy sea 100% seguro frente a cualquier accidente que pueda ocurrir en comparación con una moto o un cuadrón.



Figura 1: Ejemplo de un buggy biplaza

Fuente: [http://www.mercadoracing.org/imagenes-anuncios/59/221445/vendo-o-cambio-buggy-cart-cross-con-150cv\\_1.jpg](http://www.mercadoracing.org/imagenes-anuncios/59/221445/vendo-o-cambio-buggy-cart-cross-con-150cv_1.jpg)

En el Ecuador existen varias marcas de buggies importados. La marca *JPM* de origen chino (los buggies de renta en Baños) con un costo de \$5,000 de bajo rendimiento y de calidad media que demanda de mucho mantenimiento. La marca *POLARIS* de origen estadounidense, que se lo puede ver en la figura 2, buggies de muy buena calidad y con motores muy potentes que pueden ser usados para correr rally. Estos tienen capacidad hasta

de 5 personas con motores de 1300cc, estos buggies tiene un costo de entre \$20,000 y \$30,000 dependiendo del modelo. También existen buggies de marca *KAWASAKI* y *YAMAHA* de origen japonés, estos tienen tracción a las 4 ruedas por lo que son utilizados para correr en 4x4 y trepada de montaña. Al igual que los estadounidenses, estos son de muy buena calidad y alto rendimiento por lo que tiene un costo alrededor de &15,000.



Figura 2: Buggy marca *POLARIS* motor 900

Fuente:

[http://www.cpsc.gov/Global/Images/Recall/2013/13740/Polaris%20900%20EFI%20RZR\\_Large.jpg](http://www.cpsc.gov/Global/Images/Recall/2013/13740/Polaris%20900%20EFI%20RZR_Large.jpg)

Al existir tanta variedad de buggies, estos se clasifican por: la capacidad del motor, el tipo de tracción, el número de ocupantes, el tipo de suspensión, el tipo de suelo para el que fabricado (arena, tierra, lodo o nieve), entre otros.

El bastidor que se propone en este proyecto está diseñado tomando en cuenta el número de ocupantes, un piloto y un copiloto, el peso del motor, un motor Yamaha 450cc y el peso de la jaula antivuelco o roll-bar. Para los apoyos de diseño, se toma en cuenta que la suspensión delantera es independiente y la suspensión trasera es rígida, por lo que estos se encuentran ubicados en las esquinas del bastidor.

### **Industria Automotriz**

“La producción automotriz en Ecuador empezó en la década de los años 50, cuando empresas del sector metalmeccánico y del sector textil comenzaron la fabricación de carrocerías, asientos para buses, algunas partes y piezas metálicas. En la actualidad, la contribución de la industria automotriz tiene un gran peso en el aparato económico nacional. La mayor parte de la producción en el país se dedica a fabricación de buses, a cargo de la empresa OMNIBUS BB, con un total de 250,000 unidades desde el año 2007 hasta el 2011. Empresas como AYMESA y MARESA, se dedican a la producción en serie de vehículos, camiones y camionetas de diferentes marcas como Chevrolet, Mazda y KIA. Juntas estas dos empresas produjeron cerca de 90,000 unidades en los mismo años.”  
(Inversiones, 2013)

En el país existen varias organizaciones a cargo de la industria automotriz tales como: Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE) encargada de la relación entre la industria pública y privada; Asociación Ecuatoriana Automotriz (AEA) se encarga de controlar leyes y regulaciones dispuestas por el gobierno; Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) encargada de las empresas complementarias a la industria automotriz. Estas organizaciones juntas con otras más, han sacado adelante la producción ecuatoriana de vehículos año tras año.

Como se puede ver, la industria automotriz ecuatoriana está dedicada principalmente a la fabricación de buses. Adicionalmente existen grandes empresas ensambladoras que fomentan la mano de obra ecuatoriana.

Esto señala que no existen fábricas de motos ni cuadrones, pero aun no buggies. Esto se debe a la baja demanda de este tipo de vehículos ya que estos están dirigidos a la clase alta del país. Si existen buggies fabricados en el país, pero son fabricados de manera artesanal y de bajo número de unidades.

### **Tubo**

Tubo: se define como sección hueca circular, cuadrada o rectangular que puede ser utilizada para el contenido de fluidos o para formar una estructura, como se indica en la Figura 3. Estas pueden ser tanto metálicas como no metálicas. Para este proyecto de titulación, sólo se va a analizar las tuberías metálicas que se encuentren normalizadas. Existe una gran variedad de sociedades que se encargan de normalizar todo tipo de tubería.

En el mercado se pueden conseguir varios tipos de tubos: cuadrados, circulares y rectangulares. Existen varias dimensiones y espesores que deben ser determinadas por parte del diseñador de acuerdo a su aplicación. Todas estas diferencias de geometría y dimensiones tienen sus ventajas y desventajas, es por eso que es muy importante determinar el tipo de tubería por medio de los cálculos de factor de seguridad y de acuerdo a lo que se puede conseguir en el mercado.



Figura 3: Ejemplo de tipos de tubos circulares y cuadrados

Fuente: <http://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-tubos-met%C3%A1licos-esquinas-tipos-image8327390>

Existe también una variedad de materiales dentro de los tubos metálicos: acero al carbono, acero inoxidable, acero aleado, hierro fundido y cobre. Es deber del diseñador determinar exactamente el tipo de material, la geometría y las dimensiones del tubo que se va a utilizar para el siguiente bastidor.

Los tamaños estandarizados como se muestran en la tabla 1 y 2 se determinan mediante un tamaño nominal y un número de cédula. Estos números de cédula especifican la presión de operación y el esfuerzo permisible de cada tubería. Estos números de cédula varían en un rango de entre 10 y 160, a mayor número, mayor espesor. Las tuberías con número de cédula 40 y 80 son las más utilizadas y las más comunes en el mercado.

Tabla 1: Dimensiones de tubos circulares

<b>TUBOS REDONDOS</b>									
<b>Diámetro</b>		<b>Espesores en mm</b>							
<b>Pulg.</b>	<b>mm.</b>	<b>0,90</b>	<b>1,25</b>	<b>1,60</b>	<b>1,80</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>	<b>2,85</b>	<b>3,20</b>
1/2"	12.70	0.292	0.354	0.441	0.505	-	-	-	-
5/8"	15.87	0.333	0.451	0.564	0.616	0.685	-	-	-
3/4"	19.05	0.403	0.550	0.690	0.755	0.842	-	-	-
7/8"	22.22	0.474	0.647	0.815	0.906	0.999	-	-	-
1"		25.40	0.545	0.746	0.941	1.0481	1.156	-	-
1 1/8"	28.57	0.615	0.844	1.066	1.171	1.313	1.610	1.811	2.005
1 1/4"	31.75	0.686	0.942	1.192	1.310	1.470	1.806	2.034	2.257
1 3/8"	34.92	0.756	1.040	1.317	1.449	1.626	2.002	2.258	2.507
1 1/2"	38.10	0.826	1.138	1.442	1.611	1.783	2.198	2.481	2.758
1 3/4"	44.44	-	1.333	1.693	1.893	2.097	2.590	2.928	3.260
2"	50.80	-	1.530	1.944	2.175	2.411	2.983	3.375	3.762
2 1/4"	57.15	-	1.726	2.195	2.460	2.724	3.375	3.822	4.264
2 1/2"	63.50	-	1.922	2.446	2.830	3.088	3.767	4.269	4.766
3"	76.20	-	2.314	2.948	3.303	3.665	4.551	5.163	5.770
3 1/2"	88.90	-	-	3.450	3.874	4.293	5.335	6.057	6.774
4"	101.60	-	-	3.952	4.430	4.920	6.119	6.952	7.778
4 1/2"	114.30	-	-	-	-	5.548	6.904	7.846	8.781
5"	127.00	-	-	-	-	6.175	7.688	8.740	9.785
5 1/2"	139.70	-	-	-	-	-	-	-	10.772
6 5/8"	168.30	-	-	-	-	-	-	-	13.049

Fuente: [http://hierrosanfer.com.ar/tubos\\_estructurales.html](http://hierrosanfer.com.ar/tubos_estructurales.html)

Tabla 2: Dimensiones de tubos cuadrados.

TUBOS RECTANGULARES								
Medidas Exteriores	Espesor en mm							
	0,90	1,25	1,60	1,80	2,00	2,50	2,85	3,20
20x10	0.403	0.550	0.690	0.755	0.842	-	-	-
25 x 15 x 30 x 10	0.545	0.746	0.941	1.033	1.156	-	-	-
30 x 14 Oval	-	-	0.840	-	-	-	-	-
30 x 20	0.686	0.942	1.192	1.330	1.470	-	-	-
40 x 20	0.827	1.138	1.442	1.611	1.783	2.198	2.481	2.758
40 x 30 / 30 x 20	0.968	1.333	1.693	1.893	2.097	2.590	2.928	3.260
60 x 30 / 50 x 40		1.726	2.195	2.472	2.724	3.375	3.822	4.264
70 x 20								
60 x 40	-	1.922	2.446	2.739	3.038	3.767	4.209	4.700
70 x 30 / 80 x 20		1.922	2.446	2.739	3.038	3.767	4.269	4.766
80 x 40	-	2.314	2.948	3.300	3.665	4.551	5.163	5.770
90 x 30	-	2.314	2.948	3.300	3.665	4.551	5.163	5.770
80 x 60	-	-	3.450	3.875	4.239	5.335	6.057	6.774
90 x 50 x / 100 x 40	-	-	3.450	3.875	4.239	5.335	6.057	6.774
100 x 50	-	-	3.701	4.335	4.607	5.727	6.504	7.276
100 x 60 / 120 x 40	-	-	3.952	4.335	4.290	6.119	6.952	7.778
100 x 80 / 120 x 60	-	-	-	-	5.548	6.904	7.846	8.781
150 x 50 / 140 x 60	-	-	-	-	6.175	7.688	8.740	9.785
120 x 80								

Fuente: [http://hierrosanfer.com.ar/tubos\\_estructurales.html](http://hierrosanfer.com.ar/tubos_estructurales.html)

### Doblado de tubo

“El doblado de tubos es un trabajo complejo e implica retos especiales porque la pieza tiende a romperse o deformarse en el proceso de flexión. Sin importar la técnica, el mayor desafío al doblar tubería metálica está dado por dos principios básicos que ocurren simultáneamente: por un lado, el material en el interior de la curva se comprime; por el otro, en el exterior del eje se tensa. Esta combinación de esfuerzos causan adelgazamiento y elongación de la pared externa, y engrosamiento y acortado de la pared interna, como consecuencia hay una tendencia de aplanamiento del tubo en el doblez.”

(www.metalactual.com, 2015)

Para doblar un tubo circular, es importante tomar en cuenta factores como: el espesor del tubo, el diámetro nominal del tubo, el número de dobleces, el material y la forma del tubo, como se indica en la figura 4. La complejidad del doblado depende del espesor del tubo y del radio de curvatura, a mayor espesor de tubo y menor radio de curvatura, mayor dificultad de doblado. De igual manera, cuanto mayor es el diámetro o menor es su espesor, el tubo se torna más débil y puede existir riesgo de ruptura o aplanamiento.

“Siempre que se requiera la realización de una curva será necesario especificar por lo menos dos parámetros, los grados a curvar y el radio de curvatura deseado, este último debe tomarse al centro del caño y se denomina generalmente radio medio de curvado (RMC).” (www.maquinariaszeiziola.com, 2015)

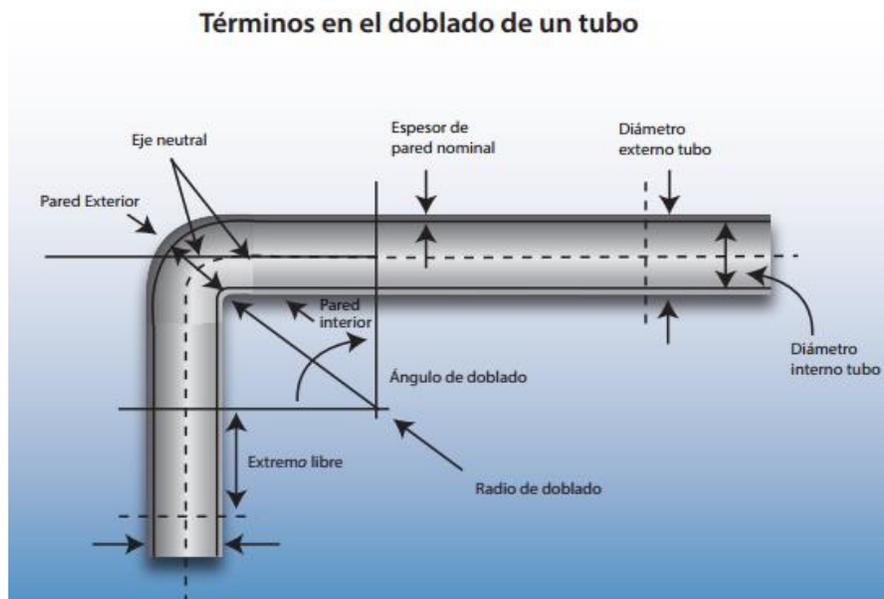


Figura 4: Términos de doblado de tubo

Fuente: [http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura\\_doblado\\_tubos.pdf](http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura_doblado_tubos.pdf)

Existe un fórmula para determinar el factor de curvatura:  $F_c = R_c / \varnothing_e$ ; siendo  $F_c$  el factor de curvatura,  $R_c$  el radio de curvatura y  $\varnothing_e$  el diámetro externo. Este factor de curvatura debe variar entre 2.5 y 3.5 para que el doblado se considere simple. En la figura 5, se representa el ángulo de doblado y la deformación que sufre el tubo.

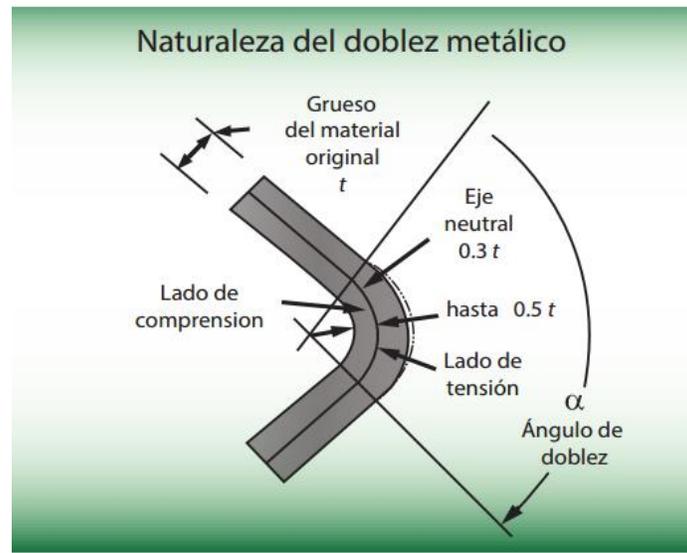


Figura 5: Naturaleza del doblado metálico.

Fuente: [http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura\\_doblado\\_tubos.pdf](http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura_doblado_tubos.pdf)

Para doblar un tubo circular, existen dos métodos: curvado por empuje como se representa en la figura 6 y por flexión envolvente como la figura 8 indica. El método de curvado por empuje trata de sostener el tubo en dos puntos y en el medio de estos dos apoyos empujar utilizando un pistón hidráulico como se ve en la figura 6. Estos apoyos y este pistón tienen una matriz circular que es determinada de acuerdo al diámetro del tubo, como se indica en la figura 7.



Figura 6: Dobladora de tubo por empuje hidráulico eléctrico.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=KKXofFcf3yU>



Figura 7: Dobladora de tubo por empuje hidráulico manual.

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-492721818-dobladora-de-tubo-hidraulica-12ton- JM>

El método de curvatura por flexión envolvente se compone por una matriz circular fija que es la que da el radio de curvatura, el tubo es sujetado en un extremo y se aplica una fuerza en el otro extremo haciendo girar el tubo sobre la matriz fija para así dar curva al tubo.



Figura 8: Dobladora de tubo envolvente

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=3XceK199EQM>

## **Soldadura**

“La soldadura es un proceso de unión que une de forma permanente a dos componentes separados mediante el calor, la presión o la combinación de ambos para convertirlos en una nueva pieza. La soldadura es una de las maneras más económicas de unir dos metales de forma permanente. La soldadura por arco usa la energía eléctrica para generar el calor necesario para fundir y unir metales.” (www.toolingu.com, 2015)

EL método de soldadura que se va aplicar para el diseño de este bastidor es el sistema MAG (Metal Active Gas) o también conocido como GMAW (Gas Metal Arc Welding) que a diferencia del sistema MIG, trabaja con gas activo, es decir con CO<sub>2</sub>. Este sistema tiene la ventaja de que es muy fácil y tiene mayor velocidad de soldeo, además tiene un rendimiento más eficiente en comparación con la suelda eléctrica SMAW (Shielded Metal Arc Welding).

“El método de soldeo por el sistema MIG o MAG, viene a ser como un mejoramiento de la soldadura por el sistema TIG de electrodo de tungsteno no consumible, el cual fue sustituido por el hilo consumible empleado por el sistema MIG o MAG; el hilo va siempre o casi siempre conectado al polo positivo y este se alimenta con una corriente continua.” (Arias, 2009)

El proceso de soldadura es el proceso más importante al momento de ensamblar las barras del bastidor. Es muy importante tomar en cuenta que, un tubo circular es más difícil de unir que un tubo rectangular, esto se debe a que al momento de empatar, las superficies no son planas y necesitan de un bisel como se indica en la figura 9:



Figura 9: Unión de tubo circular

Fuente: <http://www.tagliolaser.net/es/Media/corte-laser-tubos.jpeg>

Para realizar estas uniones es recomendable utilizar maquinas especiales que permitan realizar estos cortes de acuerdo al diámetro del tubo y al ángulo de la barra. También se puede hacer estos cortes usando una cierra manual. Así mismo es recomendable utilizar matrices fabricadas con madera o metal, que sostengan las barras en su lugar para facilitar la soldadura. Para realizar estos biseles es importante analizar el tipo de unión que se necesita, ya que una unión de diámetro mayor puede ser solucionada con un corte recto, mientras que una unión de diámetro menor deba hacerse con una herramienta especial que haga un bisel circular de acuerdo al diámetro del tubo a empatar.

Una vez preparadas las barras, es decir, con los biseles correctos y la limpieza del material, se debe proceder a puntear las uniones para que estas se sostengan firmes al momento de rematar. Esto ayuda también a que en caso de que la unión no se realizó correctamente, se pueda remover el punto con mayor facilidad que una vez que este el cordón soldado.

Al momento de soldar, hay que tomar en cuenta otros factores como el ángulo de penetración, la velocidad de soldadura y el tipo de suelda a utilizarse. El ángulo de la barra es directamente proporcional al diseño, ya que esto se debe analizar para determinar el tipo de soldadura en dicho nudo. El ángulo de soldadura no debe ser mayor a  $30^\circ$  para que la penetración de la soldadura sea correcta y tienda a fisurarse con el tipo y los esfuerzos.

Al momento de soldar, hay que tomar en cuenta otros factores como el ángulo de penetración, la velocidad de soldadura y el tipo de suelda a utilizarse. El ángulo de la barra es directamente proporcional al diseño, ya que esto se debe analizar para determinar el tipo de soldadura en dicho nudo. El ángulo de soldadura no debe ser mayor a  $30^\circ$  para que la penetración de la soldadura sea correcta y tienda a fisurarse con el tipo y los esfuerzos.

En la figura 10, se puede ver de manera gráfica los tipos de uniones de soldadura que se pueden realizar.

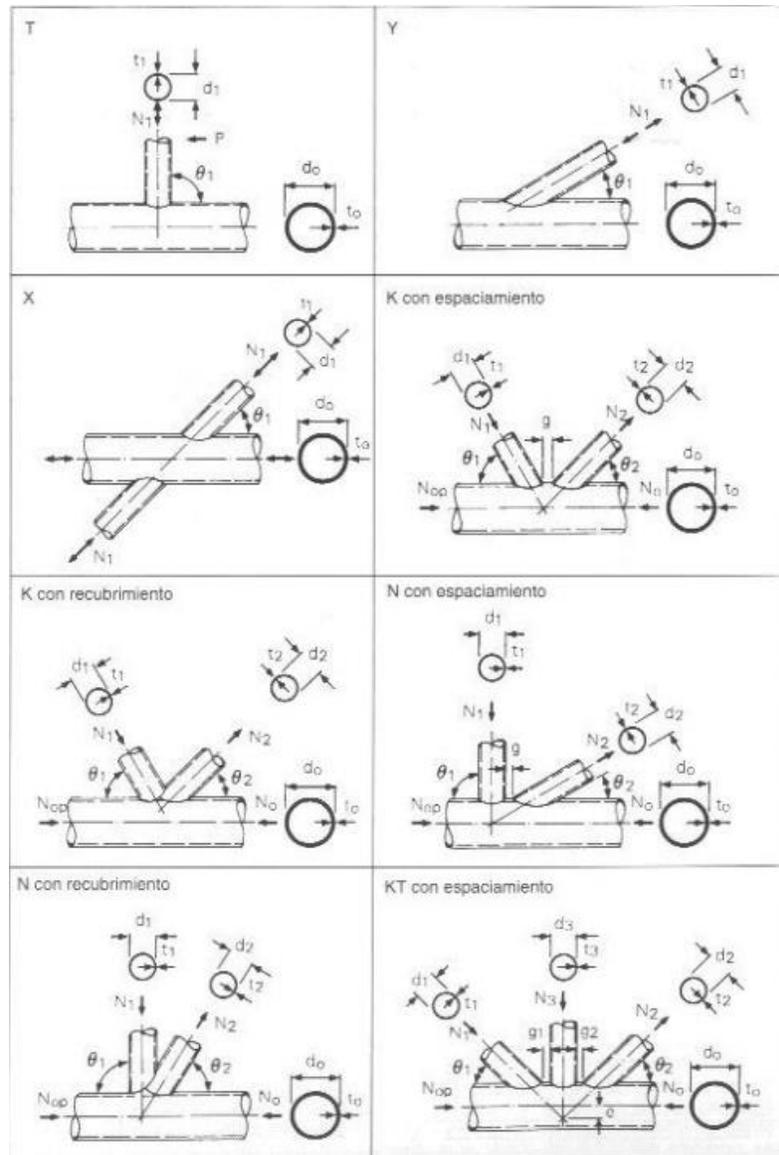


Figura 10: Uniones de tubos para soldadura

Fuente: <http://www1.ceit.es/automocion/proyectos/chasis/memoria.pdf>

Una vez soldadas las barras, es importante dejar enfriar al ambiente, es decir sin refrigerar. Si bien esto genera pérdida de tiempo en el trabajo en general, ayuda a que los materiales no sufran cambios de temperatura bruscos ya que esto puede generar que la soldadura o el material soldado se fisure.

## Método

Para el siguiente diseño y la simulación se utilizará el programa AutoDesk Inventor Professional 2015 Edición Estudiante, programa que es de uso profesional para ingenieros mecánicos. Se realiza el diseño en líneas y utilizando la herramienta de generador de estructuras se agrega el material normado que se puede conseguir en el mercado.

El software de CAD 3D Inventor® ofrece un conjunto de herramientas profesionales para diseño mecánico, documentación y simulación de productos en 3D. Cree, gestione y entregue productos excelentes con las funciones d. (Autodesk, 2015)

Como se mencionó anteriormente, se va a comparar entre los modelos de bastidores con diferentes materiales para determinar el modelo más efectivo que cumpla el objetivo.

El modelo 1 está diseñado con un tubo cuadrado de  $1\frac{1}{2}'' - 1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{8}''$  como se lo aprecia en la figura 11:

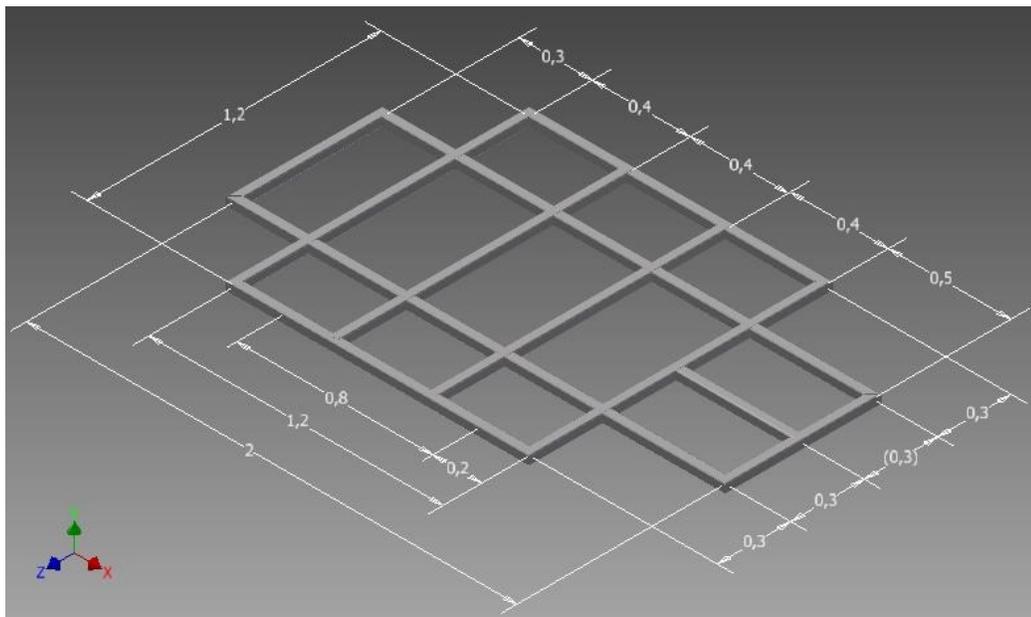


Figura 11: Modelo 1

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

El modelo 2 tiene la misma geometría que el modelo 1 con la diferencia del material, tubo circular de 1 ½" x 0,200 como se lo puede ver en la figura 12:

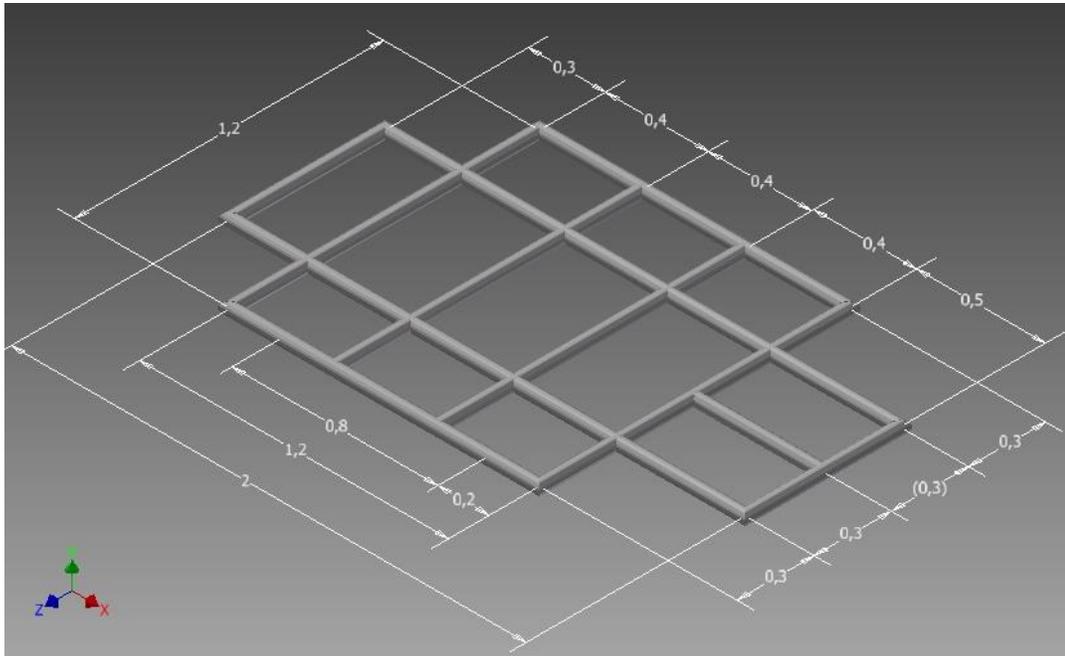


Figura 12: Modelo 2

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

Como se describió anteriormente, los factores que se toman en cuenta para el diseño están representados en la figura 13 y descritos de la siguiente manera:

- Peso de cada persona: 784 N de una persona promedio, distribuidos entre 637 N del peso del torso, y 147 N del peso de los pies. Estas fuerzas se ejercen sobre la viga 2 y 3 y a una distancia de 0,8m entre sí, y con una separación de 0.7m de la apoyo.
- El peso de la jaula antivuelco que está ubicado sobre 8 puntos diferentes como se indica en la figura 13.
- El peso del motor de 290 N sobre la viga 10 a una distancia de 0,25 m.



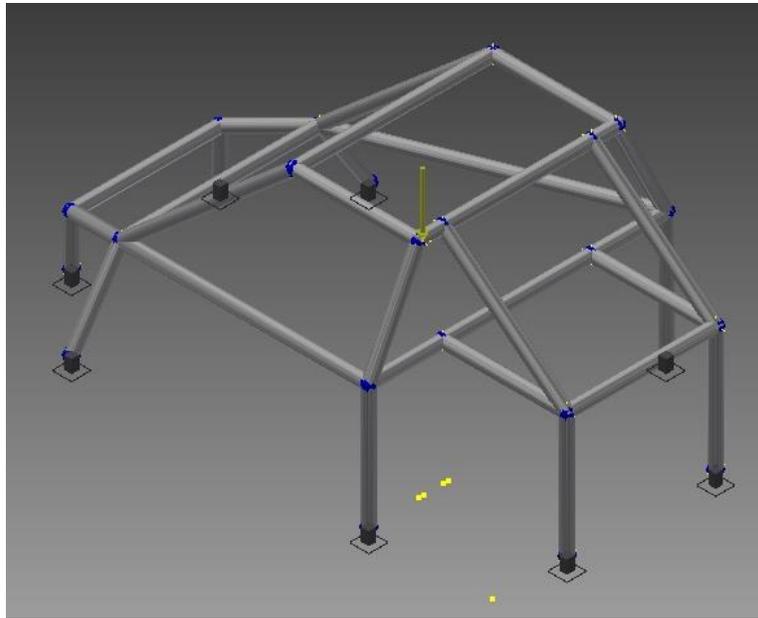


Figura 14: Jaula antivuelco o roll-bar

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

Tabla 3: Tabla de fuerzas de la jaula antivuelco

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:8	27,904 N	6,336 N	1282,496 N mm	814,220 N mm
		23,990 N		-164,545 N mm
		12,765 N		-977,123 N mm
Restricción fija:6	195,256 N	20,143 N	2565,702 N mm	-278,017 N mm
		162,765 N		2009,806 N mm
		105,957 N		-1570,418 N mm
Restricción fija:7	27,904 N	6,336 N	1282,496 N mm	-814,220 N mm
		23,990 N		164,545 N mm
		-12,765 N		-977,123 N mm
Restricción fija:4	157,903 N	-7,004 N	2369,664 N mm	1857,291 N mm
		157,364 N		-846,767 N mm
		10,999 N		1203,646 N mm
Restricción fija:5	195,256 N	20,143 N	2565,702 N mm	278,017 N mm
		162,765 N		-2009,806 N mm
		-105,957 N		-1570,418 N mm
Restricción fija:3	157,903 N	-7,004 N	2369,664 N mm	-1857,291 N mm
		157,364 N		846,767 N mm
		-10,999 N		1203,646 N mm
Restricción fija:2	110,648 N	-19,474 N	4601,941 N mm	864,387 N mm
		108,797 N		166,886 N mm
		5,187 N		4516,951 N mm
Restricción fija:1	110,648 N	-19,474 N	4601,941 N mm	-864,387 N mm
		108,797 N		-166,886 N mm
		-5,187 N		4516,951 N mm

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

## Análisis Estructural

Para determinar cuál de los dos modelos de bastidores es el más efectivo, es necesario realizar el cálculo del factor de seguridad en las vigas 2 y 3 ya que estas son las que soportan mayor peso. Al ser simétricas, y soportar la misma carga, solo se realizara el análisis en una de la vigas.

Para realizar este cálculo, es necesario determinar los valores de momentos máximos, inercia, esfuerzos normales y cortantes máximos. Una vez determinados estos valores, utilizando el método de Von Mises y de la ecuación de distorsión de energía, se podrá determina el factor de seguridad en cada uno de los modelos.

### Modelo 1 (tubo cuadrado de 1 ½” – ½” x 1/8”)

La figura 15, indica el diagrama de cuerpo libre de la viga 3 con sus respectivas cargas.

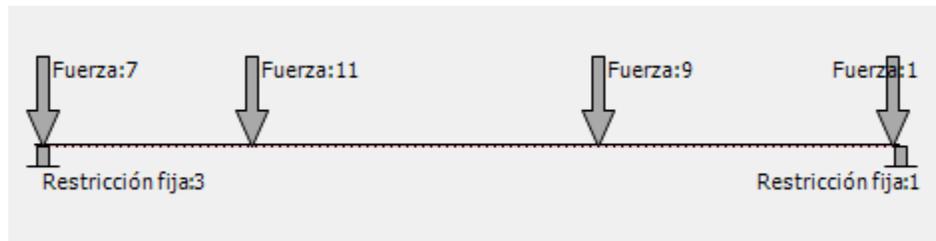


Figura 15: Diagrama de cuerpo libre sobre la viga 3

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

Por medio de una sumatoria de fuerzas en el eje Y se determina:

- Fuerza 7 = -27.904 N
- Fuerza 10 = -147 N

- Fuerza 9 = -637 N
- Fuerza 1 = -110.648 N
- Reacción 1 = 702.044 N
- Reacción 4 = 915.957 N

Una vez determinadas las fuerzas y reacciones, se puede determinar el momento máximo por medio de los diagramas de cortante (figura 16) y momento (figura (17)).

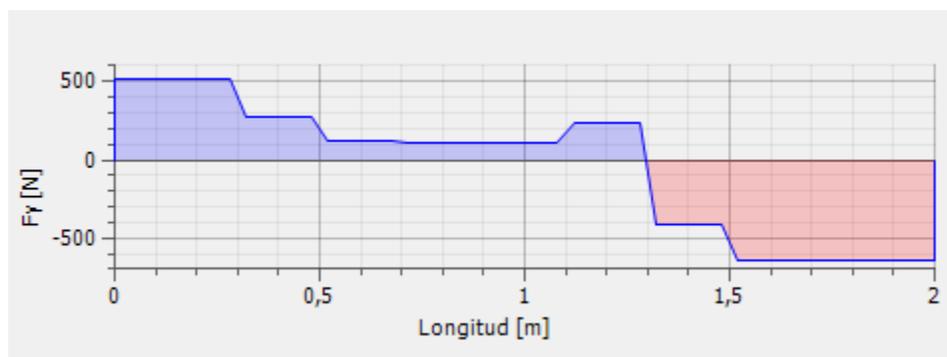


Figura 16: Diagrama de cortante en el eje Y

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

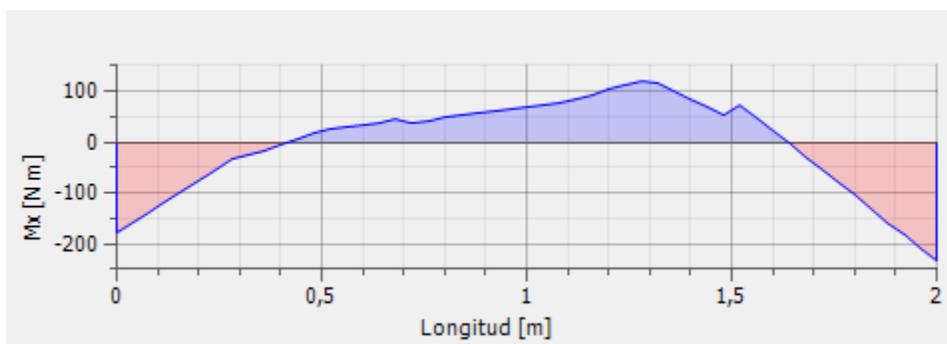


Figura 17: Diagrama de momento en el eje X.

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

Con estos diagramas podemos determinar que el valor del momento máximo es - 231.358 N.m.

El valor del momento máximo sirve para determinar el esfuerzo normal al que está sometida la viga, utilizando la ecuación:

$$\sigma = \frac{M_{max} * C}{I} \quad (1)$$

Donde:

C = Distancia del centroide = 0.019 m;

I = Inercia;

Mmax = Momento máximo = -231.358 N.m;

El valor de la inercia está determinado por la ecuación:

$$I = \frac{1}{6} * \frac{L^4 - l^4}{L} \quad (2)$$

Donde:

L = Ancho total del tubo = 0.038 m;

l = ancho interno del tubo = 0.034 m;

Teniendo como resultado:

$$I = 8.209 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Aplicando estos valores en la ecuación 1, tenemos el valor del esfuerzo normal en x:

$$\sigma_x = 53.683 \text{ Mpa}$$

Ahora se necesita determinar los esfuerzos principales, para ello se usa la ecuación de distorsión de energía que dice:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal en X = 53.683 Mpa;

$\sigma_y$  = Esfuerzo normal en Y = 0;

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante en XY = 49.042 Mpa;

$$\sigma_{1,3} = \frac{53.683}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{53.683}{2}\right)^2 + 49.042^2}$$

$$\sigma_1 = 173.906 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = 121.06 \text{ Mpa}$$

Los valores de los esfuerzos principales sirven para la ecuación en Von Mises que dice:

$$\sigma' = (\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2)^{1/2} \quad (4)$$

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises;

$\sigma_1$  = Esfuerzo 1;

$\sigma_3$  = Esfuerzo 3;

$$\sigma' = ((173.906)^2 - (173.906)(121.006) + (121.006)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 154.408 \text{ Mpa}$$

Una vez teniendo el valor del esfuerzo de Von Mises, es factible calcular el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{S_y}{\sigma'} \tag{5}$$

Donde:

$S_y$  = Resistencia máxima a tracción = 340Mpa;

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises;

$$F.S. = \frac{340}{154.408} = 2.201$$

Así obtenemos que el factor de seguridad del modelo 1 es de 2.201.

**Modelo 2 (tubo circular de 1 ½” x 0.200)**

La figura 18 muestra el diagrama de cuerpo libre para la viga 3:

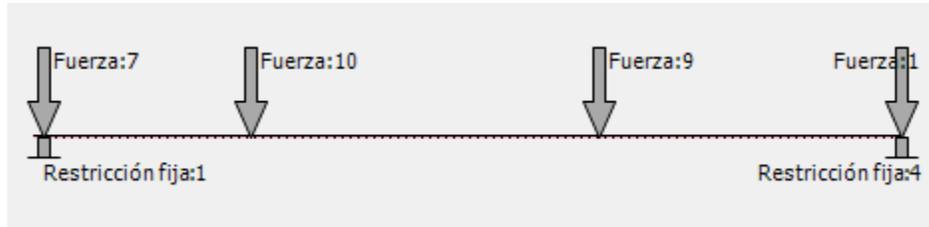


Figura 18: Diagrama de cuerpo libre sobre la viga 3

Fuente: AutoDesk Inventor 2015

Por medio de sumatoria de fuerzas en el eje Y, obtenemos los siguientes valores:

- Fuerza 7 = - 27.904 N
- Fuerza 10 = -147 N
- Fuerza 9 = - 637 N
- Fuerza 1 = -110.648 N
- Reacción 1 = 702.004 N
- Reacción 4 = 915.957 N

Una vez determinadas las fuerzas y reacciones, se puede determinar el momento máximo por medio de los diagramas de cortante (figura 19) y momento (figura (20)).

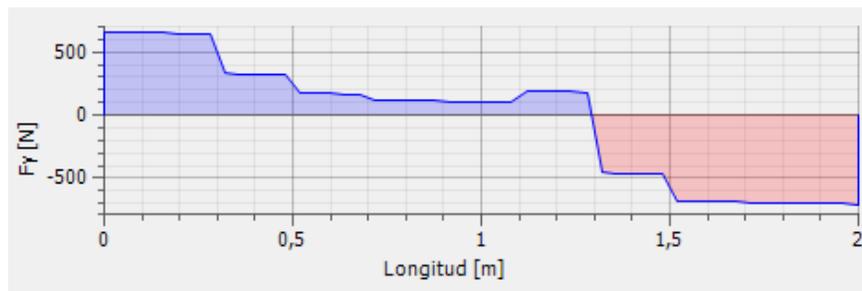


Figura 19: Diagrama de cortante en eje Y

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

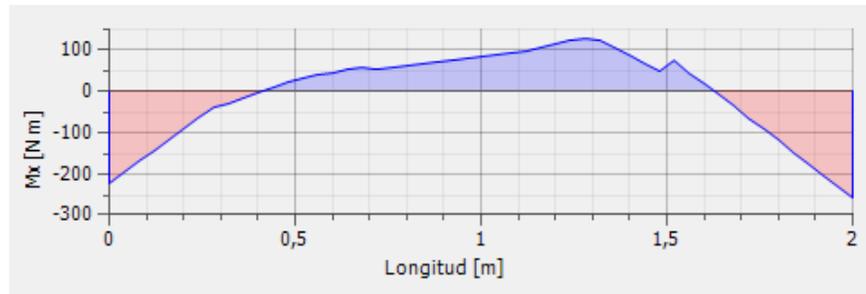


Figura 20: Diagrama de momento en eje x.

Fuente: AutoDesk Inventor Professional 2015

Estos diagramas sirven para determinar el valor del momento máximo que para este modelo es -258.244 N.m.

El valor del momento máximo sirve para determinar el esfuerzo normal al que está sometida la viga, utilizando la ecuación:

$$\sigma = \frac{M_{max} * C}{I} \quad (6)$$

Donde:

C = Distancia del centroide = 0.02413 m;

I = Inercia;

Mmax = Momento máximo = -258.244 N.m;

El valor de la inercia está determinado por la ecuación:

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (7)$$

Donde:

D = Diametro exterior = 0.04826 m;

d = Diametro interno = 0.04426 m;

Teniendo como resultado:

$$I = 1.628 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Aplicando estos valores en la ecuación 6, tenemos el valor del esfuerzo normal en x:

$$\sigma_x = 38.269 \text{ Mpa}$$

Ahora se necesita determinar los esfuerzos principales, para ello se usa la ecuación de distorsión de energía que dice:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (8)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal en X = 38.269 Mpa;

$\sigma_y$  = Esfuerzo normal en Y = 0;

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante en XY = 1.919 Mpa;

$$\sigma_{1,3} = \frac{38.269}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{38.269}{2}\right)^2 + 1.919^2}$$

$$\sigma_1 = 38.364 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = -0.095 \text{ Mpa}$$

Los valores de los esfuerzos principales sirven para la ecuación en Von Mises que dice:

$$\sigma' = (\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2)^{1/2} \quad (9)$$

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises;

$\sigma_1$  = Esfuerzo 1;

$\sigma_3$  = Esfuerzo 3;

$$\sigma' = ((38.364)^2 + (38.364)(0.095) + (-0.095)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 38.41 \text{ Mpa}$$

Una vez teniendo el valor del esfuerzo de Von Mises, es factible calcular el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (10)$$

Donde:

$S_y$  = Resistencia máxima a tracción = 340Mpa;

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises;

$$F.S. = \frac{340}{38.411} = 8.85$$

Así obtenemos que el factor de seguridad del modelo 2 es de 8.85

### Análisis de Soldadura

El análisis de soldadura se lo va a realizar en el punto más crítico, este viene a ser sobre la primera sección del larguero, entre la viga 12 y la viga 7 de la figura 13 y se lo representa en la figura 21 con las soldaduras en los puntos A y B:

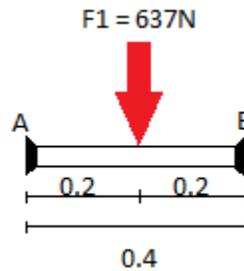


Figura 21: Diagrama de sección para análisis de soldadura

A continuación se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos con el diagrama de cuerpo libre de la figura 22:

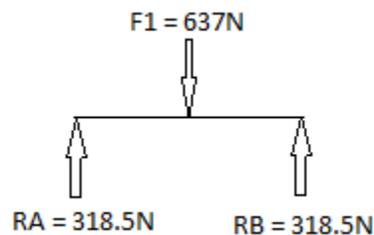


Figura 22: Diagrama de cuerpo libre

Para el cálculo de la resistencia de la soldadura a esfuerzos de corte, se necesita calcular el esfuerzo cortante permisible utilizando las reacciones en los puntos de soldadura. Una vez teniendo el valor de este cortante, lo comparamos con el esfuerzo permisible por la soldadura que se puede ver en la tabla 4:

Tabla 4: Esfuerzos permisibles para el material de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ay}^{\dagger}$	

\* El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.  
† El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de  $0.40S_y$  del metal base.

Fuente: Nisbett, R. G. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill.

$$\tau_{adm} = \frac{T}{h \cdot l_p} \leq 0,4 \cdot \sigma_{mat} \quad (11)$$

Donde:

$\tau_{adm}$  = Esfuerzo cortante admisible;

T = Cortante sobre la soldadura;

h = altura del cordón;

$l_p$  = longitud del perímetro soldado;

Si  $\tau_{adm} \leq \sigma_{perm}$ ; La soldadura resulta efectiva ya que el valor permisible por el material es mayor.

### **Análisis de Soldadura Modelo 1**

Sabiendo los valores de las reacciones en cada punto, y sabiendo que son simétricas, se realiza el análisis en uno de los puntos.

Para el modelo uno, se tiene una altura de cordón de 0.01 m, y una longitud de perímetro de 0.152 m, por lo que:

$$\tau_{perm} = \frac{318.5}{0.1524 \times 0.01} = 0.208 \text{ Mpa}$$

Como se puede ver en los resultados, la soldadura resulta satisfactoria ya que el esfuerzo permisible de este material es de 204 Mpa y es mayor al cortante en el punto de la soldadura.

### **Análisis de Soldadura Modelo 2**

De la misma manera, como la geometría y las cargas son las mismas para los dos modelos, se sabe que las reacciones en la soldadura son de 318,5 N en cada uno de los puntos. Se sabe que el perímetro soldado para este modelo es de 0.151 m y la altura del cordón es de 0,01 m de igual manera, por lo tanto:

$$\tau_{perm} = \frac{318.5}{0.151 \times 0.01} = 0.21 \text{ Mpa}$$

La soldadura en el modelo dos resulta igual de satisfactoria que en el modelo 1 ya que el esfuerzo permisible del material sigue siendo mayor al cortante de la soldadura.

### Discusión de Resultados

Haciendo una comparativa entre los dos modelos, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5: Comparación de modelos

Modelos	Factor de seguridad	Peso	Soldadura
Modelo 1	2.201	42.287 kg	Satisfactoria
Modelo 2	8.85	68.784 kg	Satisfactoria

Se sabe que el factor de seguridad para este tipo de estructura debe estar sobre 2 para que la estructura sea fiable y no tienda a tener deformaciones. Dicho esto se puede ver que los dos modelos son efectivos con sus ventajas y desventajas.

El modelo 1 hecho con tubo cuadrado, tiene un factor de seguridad de 2.201, valor apenas sobre el límite mínimo del factor de seguridad. Esto indica que es fiable y que no se encuentra sobre dimensionado. También se puede decir que la soldadura resultó efectiva ya que el esfuerzo permisible es mayor al esfuerzo cortante en la viga más crítica.

El modelo 2 hecho de tubo cuadrado, tiene un factor de seguridad bastante más alto que el modelo 1. Si bien estos dos modelos tienen las mismas medidas de 1 ½", las dimensiones del modelos 2 son más elevadas ya que 1 ½" es la dimensión nominal de la tubería, y la dimensión real viene a ser 10mm más grande. Es por esto que aplicando las mismas cargas a la misma geometría, este valor varía, ya que la inercia para los dos modelos no es la misma.

### Conclusiones

Como se pudo comparar los dos modelos en la sección anterior, se puede concluir lo siguiente:

1. Los dos modelos cumplen el objetivo de efectividad necesaria utilizando dichas cargas para el diseño.
2. Se puede decir que el modelo 1 es más efectivo ya que es más liviano y tiene un factor de seguridad más conveniente.
3. El modelo 2, al tener un factor de seguridad tan elevado, se puede decir que esta sobre dimensionado y por lo tanto no resulta tan efectivo como el modelo 1.
4. En los dos modelos, la soldadura resulta satisfactoria debido a que los esfuerzos cortantes no son críticos con respecto al esfuerzo permisible por el material.
5. En la soldara, al tener una altura de cordón de 0.01 m, es factible utilizar cualquier tipo de soldadura, es decir, soldadura por arco eléctrico o MIG/MAG.
6. Los dos modelos, al tener el mismo diseño estructural, cumplen con la norma NTE INEN 128 que indica la calidad de soldadura que debe tener una estructura de acero y que el factor de seguridad es mayor al límite permisible para los dos modelos.
7. Los tubos utilizados en la simulación, son materiales que se pueden conseguir fácilmente en el mercado ecuatoriano, los costos pueden variar dependiendo el local y el costo de movilización del mismo.
8. De igual manera que el costo del material, los costos de mano de obra son variable dependiendo del taller en el que se vaya a construir la estructura.

### **Recomendaciones**

Como se mencionó anteriormente, los dos modelos son fiables, el modelo 1 es más efectivo debido a que no es encuentra sobre dimensionado como el modelo 2. Al momento de fabricar este bastidor, es importante también tomar en cuenta la estética, es decir si la jaula es de tubo circular, lo más recomendable sería utilizar el mismo tipo de tubo para que la estructura tenga un buen acabado. Claro está que si se quiere usar dos tipos diferentes de tubos, se lo puede hacer tranquilamente.

Al momento de hacer el diseño en líneas, se debe tomar en cuenta las cargas a las que está sometida la estructura ya que sobre estimar un valor puede hacer que la estructura falle.

Una recomendación que se puede hacer al momento de la construcción, es que el modelo 1 al ser de tubo cuadrado, es más fácil soldar, debido a que los empates son rectos. Para soldar el modelo 2, es necesario hacer biseles circulares de acuerdo al diámetro del tubo a empatar.

La calidad de soldadura depende de la calidad del soldador. Es decir si se desea una soldadura perfecta, el soldador debe tener mucha experiencia y ser calificado para este trabajo.

El motor que se recomienda para el funcionamiento eficiente de este buggy es un motor de un cuadrón Yamaha yfz 450cc que se indica en la figura 23 con 39.8 hp de potencia máxima y 26.22 ft-lb de torque máximo como lo representa la tabla 6.

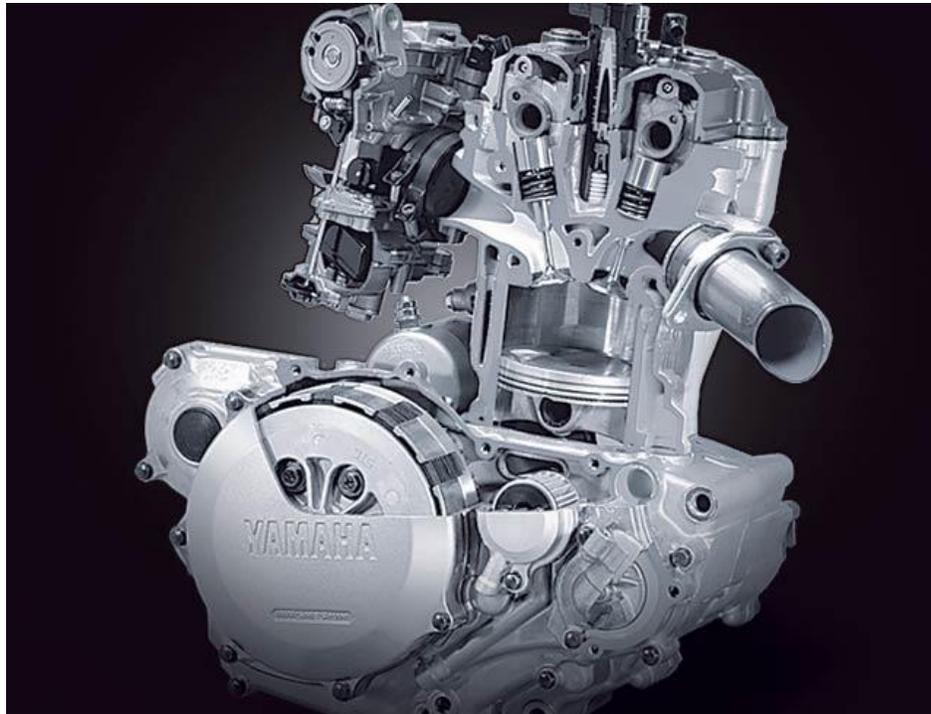


Figura 23: Imagen de motor Yamaha YFZ 450cc.

Fuente: [http://image.offroadweb.com/f/9131903/0707or\\_03\\_z+yamaha\\_yfz450\\_quad\\_review+engine\\_detail.jpg](http://image.offroadweb.com/f/9131903/0707or_03_z+yamaha_yfz450_quad_review+engine_detail.jpg)

Tabla 6: Gráfico potencia torque de motor Yamaha YFZ 450cc.



Fuente: [http://www.ledperformanceengines.com/images/yfz450\\_stage1\\_engine\\_update.jpg](http://www.ledperformanceengines.com/images/yfz450_stage1_engine_update.jpg)

El peso de dicho motor es de 65 lb aproximadamente incluida su transmisión, su radiador, carburador y motor de arranque. Esto genera una fuerza en la estructura de 290N en la base del motor.

Estas fuerzas que se indican anteriormente, son las que se tomaron en cuenta para el diseño de este bastidor. Adicionalmente se tomó como apoyo para la simulación los puntos donde deben ir los pasadores para las mesas de la suspensión. En la parte delantera se tienen mesas triangulares con dos apoyos sobre el bastidor y en la parte posterior una mesa rígida con doble apoyo en cada lado.

### Bibliografía

Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del Automóvil*. Madrid: Magallanes.

Arias, J. M. (2009). *Soldadura eléctrica y Sistemas TIG y MIG*. Madrid: Paraninfo, S.A.

Inversiones, D. d. (07 de 2013). *PRO ECUADRO*. Obtenido

de [http://www.proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2013/07/PROEC\\_AS2013\\_AUTOMO\\_TRIZ1.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2013/07/PROEC_AS2013_AUTOMO_TRIZ1.pdf)

Autodesk. (14 de 07 de 2015). *Autodesk*. Obtenido de

<http://www.autodesk.es/products/inventor/overview>

Cascajosa, M. (2005). *Ingeniería de Vehículos*. México D. F.: Alfaomega.

Nisbett, R. G. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill.

www.maquinariaszeziola.com. (19 de 05 de 2015). *DMZ Maquinaria Zeziola SRL*.

Obtenido de <http://www.maquinariaszeziola.com/manual-de-curvado/tecnica-de-curvado-de-canos.html>

www.metalactual.com. (19 de 05 de 2015). *METAL ACTUAL*. Obtenido de

[http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura\\_doblado\\_tubos.pdf](http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura_doblado_tubos.pdf)

www.toolingu.com. (19 de 05 de 2015). *TOOLINGU*. Obtenido de

<http://www.toolingu.com/dept-651-soldadura-espanol-training.html>