



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

*“DISEÑO Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE UN  
CHASIS DE CARRIZO (ARUNDO DONAX) PARA UN  
VEHICULO DE MOVIDILIAD PERSONAL”*

T E S I S

Que para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico

P r e s e n t a :

**Donis Rocandio Willy Rafael  
Hernández Reséndiz Agustín Iván**

Asesor de Tesis: M. en I. José Antonio Souza Jiménez



MÉXICO

2015

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





# CONTENIDO

## INTRODUCCION

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

1.1 Evolución del automóvil (historia del automóvil).

1.2 Chasis.

1.2.1 Tipos de chasis en la actualidad.

1.2.1.1 Chasis con carrocería separada:

1.2.1.2 Plataforma con carrocería separada.

1.2.1.3 Chasis monocasco.

1.2.1.4 Space frame:

1.3 Suspensión

1.3.1 Composición de la suspensión:

1.3.1.1 Peso suspendido:

1.3.1.2 Peso no suspendido:

1.3.2 Elementos de la suspensión:

1.3.2.1 Brazos de suspensión:

1.3.2.2 Articulación de la dirección:

1.3.2.3 Bujes de hule:

1.3.2.4 Rotulas

1.3.2.5 Resortes

1.3.2.6 Amortiguador

1.3.2.6.1 Amortiguadores hidráulicos.

1.3.2.6.2 Amortiguadores hidráulicos con válvulas.

1.3.2.6.3 Amortiguadores regulables en dureza.

1.3.2.6.4 Amortiguador reológico.

1.3.2.6.5 Amortiguadores de frecuencia selectiva.

1.3.2.6.6 Amortiguadores de doble tubo.

1.3.3 Tipos de suspensión.

1.3.3.1 Independiente.

1.3.3.2 No independiente.

1.3.3.3 Semi-independiente.

1.4 Materiales.

1.4.1 Clasificación.

1.4.2 Por su origen.

1.4.3 Por su composición.

1.4.4 Por sus propiedades.

1.4.5 Razones de elección de un material.

1.4.6 Propiedades de los materiales.

1.5 Materiales utilizados en chasis.

1.5.1 Aceros de alto límite elástico

1.5.2 Aceros microaleados de alta resistencia y baja aleación hsla (high strength low-alloy steel).

- 1.5.3 Aceros de doble fase (dual phase).
- 1.5.4 Aceros refosforados.
- 1.5.5 Aceros bake-hardening.
- 1.5.6 Aceros if (intersticial free).
- 1.5.7 Aceros trip (transformation induced plasticity).
- 1.5.8 Aceros al boro.
- 1.5.9 Aceros de ultra alta resistencia.
- 1.5.10 Acero inoxidable.
- 1.5.11 Aleaciones ligeras.
- 1.5.12 Aleaciones ultraligeras.
- 1.5.13 Materiales plásticos.
- 1.6 Carrizo (aplicaciones).
- 1.7 Propuesta del chasis de carrizo

## CAPÍTULO II COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

- 2.1 Mecánica de sólidos
- 2.2 Caracterización mecánica del carrizo
  - 2.2.1 Por el método de extensometría eléctrica.
- 2.3 Anisotropía mecánica
- 2.4 Prueba de flexión
- 2.5 Mediciones con galgas extensométricas
- 2.6 Sección transversal de la muestra
- 2.7 Análisis mecánico
  - 2.7.1 Caracterización del carrizo
- 2.8 Caracterización mecánica del carrizo.
- 2.9 Caracterización mecánica resultados.

## CAPÍTULO III ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CHASIS.

- 3.1 Análisis Estructural (dinámico) de chasis automotriz a escala de carrizo
  - 3.1.1 Proceso de construcción del chasis
- 3.2 Concentración de esfuerzos en el chasis .
- 3.3 Análisis experimental de la estructura chasis.
  - 3.3.1 Proceso de pegado de las strain gage.
  - 3.3.2 Pruebas experimentales estáticas.
  - 3.3.3 Pruebas experimentales dinámicas.

## CAPITULO IV RESULTADOS.

- 4.1 Análisis Experimental
  - 4.1.1 Instrumentación del chasis
  - 4.1.2 Pruebas Estáticas.
  - 4.1.3 Simulación en CAD
  - 4.1.4 Pruebas Dinámicas.
- 4.2 Caracterización mecánica del material.
- 4.3 Conclusiones

### Bibliografía.

APENDICE A.  
PROCESOS DE FABRICACION.  
INTRUMENTACION DEL CHASIS.  
PRUEBAS ESTATICAS Y DINAMICAS.

APENDICE B.  
SIMULACION DE CAD.

APENDICE C.  
GRAFICAS DE LAS PRUEBAS ESTATICAS Y DINAMICAS.

# INTRODUCCION

El éxito cosechado en los últimos años por la movilidad personal todavía más compacta y menos contaminante: motocicletas (que también inician su transición hacia modelos con motor eléctrico); bicicletas eléctricas; o bicicletas convencionales, que pasan de ser percibidas como un anticuado producto de recreo a constituir una pieza angular del llamado "transporte público individual" en las grandes urbes de Europa, Norteamérica y el resto del mundo.

Incluso se consolida un nuevo tipo de vehículo personal ultracompacto, con dos, tres o cuatro ruedas y capaz de transportar a una o dos personas, que empieza a usarse en determinados segmentos de mercado, dada su extraordinaria movilidad en entornos urbanos muy densos, donde el automóvil o incluso la motocicleta generan problemas de transporte y congestión.

La relevancia de este tema está ligada a la protección del medio ambiente, se busca desarrollar vehículos más eficientes que requieran menos energía para desplazarse.

Sustituir a materiales convencionales utilizados en la industria del transporte que sean amigables con el medio ambiente. Mejorar la Movilidad en las grandes urbes disminuyendo la congestión generada por el automóvil.

Los problemas que aborda y busca solucionar el presente proyecto son:

La contaminación al medio ambiente

La movilidad personal en entornos urbanos muy densos

El carrizo puede ser utilizado para conformar el chasis de un vehículo encontrando una configuración estructural adecuada debido a las propiedades físicas que presenta. Es capaz de proporcionar:

Resistencia mecánica para hacer frente a las sollicitaciones que estará sujeto el vehículo.

Rigidez para soportar y proteger los componentes frágiles del vehículo.

Capacidad de absorción de impactos por la flexibilidad y el amortiguamiento que presenta el material.

Ligereza para hacer al vehículo más eficiente.

Los métodos que se utilizan para tratar el tema son análisis estructural de esfuerzos y deformaciones del chasis, a través de simulación en CAD y de pruebas experimentales, ambos resultados se compararan para validarse entre sí.

La aplicación que se le está dando al material es innovadora y su estudio permitirá encontrar aplicaciones diferentes a la presente, lo cual permitirá generar más desarrollos sustentables.

El presente trabajo es una continuación del presentado en la tesis “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CARRIZO (ARUNDO DONAX) Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN CHASIS-SUSPENSIÓN ELABORADO DEL MISMO MATERIAL PARA UN VEHÍCULO A ESCALA”, en donde se realizaron diversos diseños de chasis de vehículos a escala (1:10) de carrizo, se caracterizó el material para conocer propiedades mecánicas así como se realizó el análisis estructural de diversos chasis con el fin de sustentar el diseño y la aplicación del material

Con la experiencia adquirida sobre el material y el conocimiento de éste, se desea evolucionar en la realización de un vehículo de tamaño real con chasis de carrizo.

Lo cual resultará en una muy interesante propuesta para el transporte del ser humano en beneficio del medio ambiente.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES.

### 1.1 Evolución del automóvil (historia del automóvil).

Aunque el primer vehículo se desarrolló en 1769 propulsado con vapor, el cual tenía un peso de 4.5 toneladas y alcanzaba una velocidad de 4 Km/h, fue hasta 1886 que Gottlieb Daimler inventa el primer auto propulsado con gasolina.

Desde entonces hasta hoy ha habido muchos avances, el auto impulsado por electricidad (siglo XIX)[1], el motor de gasolina y diésel, propulsados por hidrógeno, vehículos híbridos que utilizan gasolina-electricidad o diésel-electricidad, y los 100 % eléctricos.

El automóvil como hoy se conoce, primero fue impulsado por energía eléctrica, antes que los impulsados por energía de derivados del petróleo como gasolina o diésel. Fue alrededor de 1832-1839 cuando Robert Anderson inventó el primer auto eléctrico. La limitación de esta tecnología es que la forma en que obtiene la energía es con una alimentación continua, es decir, que debe estar siempre conectado para que así tenga un aporte constante, otro es por productos químicos que mediante una reacción genera electricidad, o la utilización de baterías que almacenan energía para liberarla conforme lo demande el vehículo; pero debido a las limitaciones tecnológicas de esa época fue que no tuvo éxito ya que su autonomía era muy baja, es decir, avanzaban muy pocos kilómetros para cuando ya se necesitaba recargar de energía nuevamente[2].



Figura 1.1.1-Thomas Edison con el Detroit Electric Model 47, 1914. Vehículo que recibe energía de baterías.

El principal obstáculo de los autos eléctricos era la poca distancia que podía viajar sin un suministro constante de energía, se solucionó con la introducción de vehículos propulsados por un motor de combustión interna, ya sea de gasolina o diésel. Fue en 1886 cuando Karl Benz patentó en Alemania el primer auto con motor de gasolina (ciclo Otto), que era un vehículo de tres ruedas; este fue el principio de los carros que conocemos hoy en día [3].



Figura 1.1.2.-Primer automóvil impulsado por un motor de combustión interna.

El emplear motores de combustión interna fue un gran avance tecnológico para una mejor movilidad de las personas, pero se encontró un inconveniente, los combustibles empezaron a encarecerse; y por lo que se enfocó en reducir el alto consumo de combustible. Las principales soluciones que se tomaron fueron hacer más eficientes los motores, los cuales con el paso de los años han tenido grandes avances tecnológicos, como los actuales que se apoyan de un motor eléctrico y que en conjunto forman los vehículos híbridos. Otra solución es hacer autos más ligeros, ya que se necesitaría menos energía para mover un carro, debido a que su masa es menor. Por eso los grandes fabricantes de autos siempre están en busca de reducir el peso de los vehículos, sin que esto signifique la disminución de la rigidez del chasis.

## 1.2 Chasis.

Con el inicio de la historia automotriz (Karl Benz 1885), el diseño del chasis era considerado como factor secundario, debido a las bajas potencias que tenían los automóviles. Con la evolución de estos, las potencias se incrementaron, lo cual repercutió en el diseño del chasis que tomó más relevancia.

Al comienzo del siglo XX, los chasis se realizaban de madera como en los carruajes jalados por caballos. A partir de 1910 se inicia con la utilización de acero y aluminio en las estructuras de los autos, ya que se buscó incrementar la rigidez torsional. En 1934 se introduce por primera vez el chasis monocasco por la marca francesa Citroën. Posteriormente en 1953 Chevrolet desarrolla un chasis tubular con carrocería de fibra de vidrio.

En los años 60's mientras en EE.UU. continúan montando la carrocería sobre el chasis, en Europa se hacen investigaciones de un diseño integrado de ambos.

En 1979 Ford termina su primer auto fabricado enteramente de fibra de carbono, estas innovaciones debidas a la crisis energética, lo cual, obligó a los fabricantes a idear soluciones en la reducción del peso en hasta 500 Kg. En la actualidad la meta es reducir costos y emisiones [4].



Figura 1.2.1.-Chasis de fibra de carbono del McLaren MP4-12C.

Para que un chasis sea considerado adecuado debe tener características como:

- a) Que sea una estructura sólida en todos los sentidos durante la vida útil del vehículo. Esto quiere decir que nada va a romperse en condiciones normales.
- b) Mantener la suspensión en su ubicación de montaje. Esto para que tenga un manejo seguro, que sea consistente en las cargas que tendrá en curvas y baches.
- c) Apoyar los paneles de la carrocería y componentes para los pasajeros. Para que todo se sienta sólido y tenga una larga vida.
- d) Proteger a los pasajeros de intrusiones externas. El chasis debe de brindar una gran seguridad cuando el vehículo sufra algún impacto [5].

### 1.2.1 Tipos de chasis en la actualidad.

Chasis o bastidor: Es un conjunto de perfiles unidos muy rígidamente en forma de cuadro, de manera que el conjunto es indeformable. El chasis de un vehículo se destina al montaje de una carrocería con elementos desmontables.

### 1.2.1.1 Chasis con carrocería separada.

El chasis soporta las partes mecánicas y puede circular sin carrocería.

La carrocería es un conjunto independiente con su propio piso, se sujeta al chasis con tornillos. Puede desmontarse para su reparación.

Carros que emplean este tipo de chasis:

- a) Vehículo todo terreno.
- b) Vehículos industriales medianos (camionetas de carga).
- c) Vehículos industriales pesados (camiones).
- d) Vehículos especiales (grúas, etc.).
- e) Autobuses.



Figura 1.2.1.1.1.-Chasis con carrocería separada. Ford Explorer de tercera generación 2002-2005.

### 1.2.1.2 Plataforma con carrocería separada.

La plataforma es un chasis ligero que se crea a partir de la unión de varios elementos soldados entre sí, soporta partes mecánicas y el piso del vehículo.

Puede circular sin carrocería.

La carrocería es un conjunto independiente y se une al chasis por lo general con tornillos.

Carros que emplean este tipo de chasis:

- a) Vehículos semi-industriales (Citroen Mehari, Renault F-6, etc.).
- b) Vehículos de turismo (Renault 4 y 6, Citroen 2 CV, etc.).

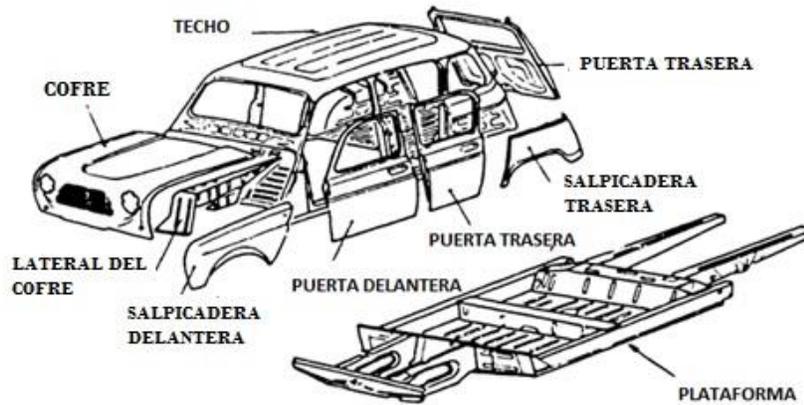


Figura 1.2.1.2.1.-Plataforma con carrocería separada.

### 1.2.1.3 Chasis monocasco.

Es un chasis aligerado con su propio piso, las partes que constituyen la carrocería participan en la resistencia del conjunto, al ser un solo componente unido entre sí por medio de soldaduras.

La reparación de este tipo de chasis es complicada, se puede decidir cortar y después soldar la parte dañada.

Los únicos elementos desmontables son puertas, defensas y cofre.  
Carros que emplean este tipo de chasis:

- a) La mayor parte de los autos vendidos hoy en día, utilizan este tipo de chasis [6].



Figura 1.2.1.3.1.-Chasis monocasco Mazda RX-8

#### 1.2.1.4 Space frame.

Los dos objetivos principales en el diseño de un chasis es que sea ligero y rígido.

- Ligero para poder lograr mejores aceleraciones con un menor consumo de combustible.
- Rígido para mantener un control riguroso sobre la geometría de la suspensión, esto es muy importante para que las ruedas tengan un contacto firme con el piso.

Pero estos dos objetivos a menudo están en conflicto directo, es ahí en dónde se introduce la ingeniería para solucionar los conflictos.

Como un chasis con carrocería separada no es lo suficientemente fuerte y proporciona valores de rigidez muy pequeños, los ingenieros desarrollaron un nuevo diseño de estructura espacial llamado "Space Frame".

El chasis space frame es tan antiguo como el automovilismo deportivo. Su construcción se compone de tubos de acero colocados en forma triangular, para soportar las cargas de la suspensión, motor, etc. Un space frame tiene pequeños tubos que sólo están en tensión o compresión y no tiene flexión o torsión. Eso significa que cada punto de carga debe estar apoyado en tres dimensiones.

El chasis space frame utiliza decenas de tubos de sección transversal circular (algunos pueden utilizar tubos de sección transversal cuadrada para facilitar la conexión con otros tubos y paneles, pero los de sección transversal circular ofrecen la máxima resistencia), en posiciones de diferentes direcciones para proporcionar una resistencia mecánica contra fuerzas desde cualquier punto. Los tubos están soldados entre sí y forman una estructura muy compleja [7].



Figura 1.2.1.4.1.-Chasis tipo Space Frame.

### 1.3 Suspensión.

La suspensión es un mecanismo, el cual, une el chasis con los elementos rodantes, como son: llantas, rines y el conjunto de las masas.

Una definición más estricta dice que son cadenas cinemáticas que unen las masas suspendidas con las no suspendidas con finalidades determinadas [8].

La suspensión de un vehículo debe de estar diseñada para poder resistir sin ningún problema los movimientos normales a los cuales está sujeta, dichos movimientos se generan por la circulación del carro, como el movimiento de la dirección, aceleración y frenado, movimientos hacia arriba y hacia abajo y golpes debido a irregularidades del camino.

Además de resistir los golpes también debe de absorber la energía en forma de oscilaciones, a partir de los elementos elásticos, que se generan con los movimientos. Esto también ayuda a que el carro tenga una gran estabilidad, que los ocupantes tengan una gran comodidad y no tengan problemas de salud por la gran cantidad de movimientos.

Por ello las piezas del vehículo resultan solicitadas en exceso. En caso de grandes irregularidades el vehículo puede saltar, despegando las ruedas del piso. Si esto sucede se puede perder el control del vehículo porque ya no hay maniobrabilidad, debido a que el único medio de control de un auto son las ruedas, ya que son las únicas que están en contacto con el piso. Para evitar estos problemas los vehículos cuentan con un conjunto de elementos de elasticidad a los cuales se le llama “sistema de suspensión”, el cual se diseña para la parte delantera y trasera, cada parte toma consideraciones dependiendo del tipo de vehículo. Por ejemplo, la parte delantera debe de tomar en cuenta la dirección, si el motor es delantero, ya que esto le agrega gran peso, así como el peso de los componentes de la suspensión [9].

#### 1.3.1 Composición de la suspensión.

Es importante reconocer los elementos que configuran una suspensión, así como también las cargas a las que está sujeta, pesos suspendido y peso no suspendido como lo muestra el diagrama 1.3.1.1

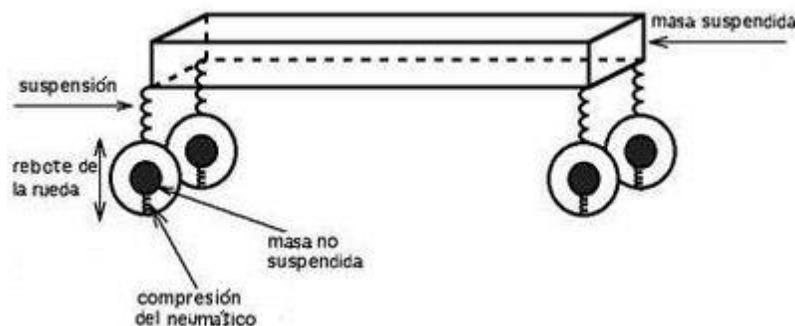


Figura 1.3.1.1.-Diagrama masa suspendida y no suspendida de un vehículo.

### **1.3.1.1      Peso suspendido.**

Es parte del peso total del vehículo, el cual está soportado por los elementos elásticos de la suspensión. Esto incluye todos los elementos que están suspendidos, es decir, todos aquellos elementos que no tienen contacto con el piso, por ejemplo el chasis, baterías, motor, ocupante, etc.

En otras palabras, es todo el peso que está soportado por los resortes (elemento elástico).

### **1.3.1.2      Peso no suspendido.**

Es todo aquel peso que no está soportado por los elementos elásticos. La masa no suspendida será la que el amortiguador debe mantener en contacto con el piso de una manera controlada. Está compuesto por elementos como: ruedas, masas, calipers, discos o tambores de freno, más aproximadamente el 50% del peso de brazos de suspensión, ejes de transmisión, resortes y amortiguadores.

En el peso no suspendido es muy importante que no sea de gran magnitud, ya que este peso es el que sufre unas grandes aceleraciones y por consecuencia grandes fuerzas, debido a que las masas de los elementos no suspendidos son las que realizan el movimiento vertical del brazo de suspensión, por ejemplo en una irregularidad una o más llantas deben de tener un recorrido para compensar dicha irregularidad. El tiempo con el que se hace el recorrido varía, lo que también hace que la fuerza cambie.

## **1.3.2      Elementos de la suspensión.**

El sistema de una suspensión está constituido por tres partes principales:

- Conjunto elástico
- Conjunto de amortiguación
- Sistemas constructivos

El conjunto elástico está conformado por elementos colocados entre el chasis o bastidor y lo más próximo a las ruedas, que son las que están en contacto con el piso y por consecuencia las que sufren las deformaciones debido a las irregularidades del camino, absorbiendo éstas para que el vehículo permanezca estable y el ocupante esté seguro y cómodo. Este conjunto está comprendido en la gran mayoría de los vehículos comerciales por: resortes (cónicos, cilíndricos o de diámetro variable) o muelles helicoidales, ballestas (conocido comúnmente como muelles) y barras de torsión.

El conjunto de amortiguación debe de absorber las oscilaciones que provoca el conjunto elástico, debido al recorrido que debe realizar en caso de una irregularidad del piso, ya sea un bache, un tope, una piedra, etc. Cuando desaparece la irregularidad se genera la oscilación que produce el recorrido de la suspensión, si esta oscilación no se frena desestabilizará todo

el chasis. Este frenado de movimiento oscilatorio corre a cargo del conjunto de amortiguación, que principalmente está formado por el amortiguador.

El sistema constructivo es el conjunto de elementos que darán el soporte y la ubicación adecuada a todos los componentes que constituyen la suspensión para su buen funcionamiento, en otras palabras son todos los elementos que forman el mecanismo, como lo son rotulas, bujes, brazos y elementos que mejoran el comportamiento como barras estabilizadoras.

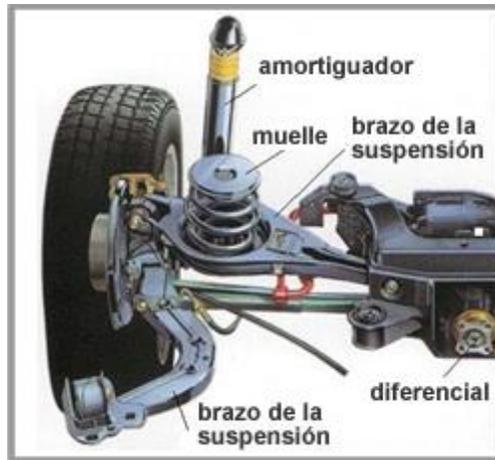


Figura 1.3.2.1.-Elementos que conforman la suspensión de un auto.

### 1.3.2.1 Brazos de suspensión.

Son piezas estructurales que tienen como objetivo conectar el chasis a la articulación de la rueda. Estos deben tener movimiento oscilatorio en ambos extremos del miembro para que en conjunto realicen el movimiento vertical.

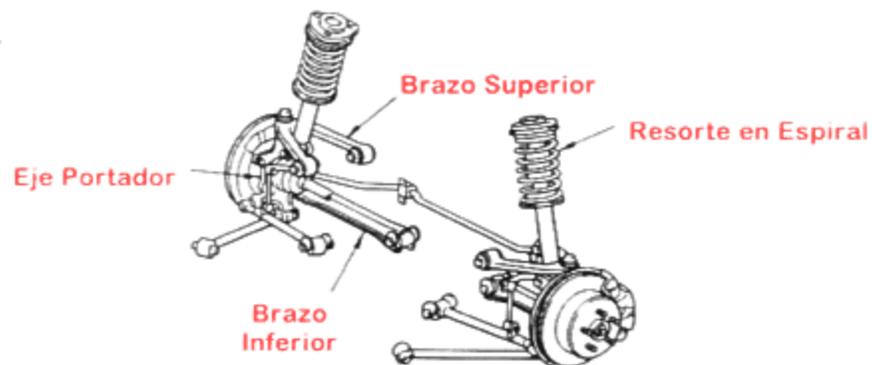


Figura 1.3.2.1.1.-Brazos de suspensión.

### 1.3.2.2 Articulación de la dirección.

Son elementos que están formados por una esfera que posee un agujero en el centro, esta se encuentra dentro de una estructura lubricada, lo que le permite poder girar en los tres ejes. El agujero tiene como función acoplar un eje que se moverá de acuerdo a las sollicitaciones del sistema de la dirección.

De este depende la velocidad de respuesta que van a tener las ruedas debido a la dirección a la que apunta el volante.

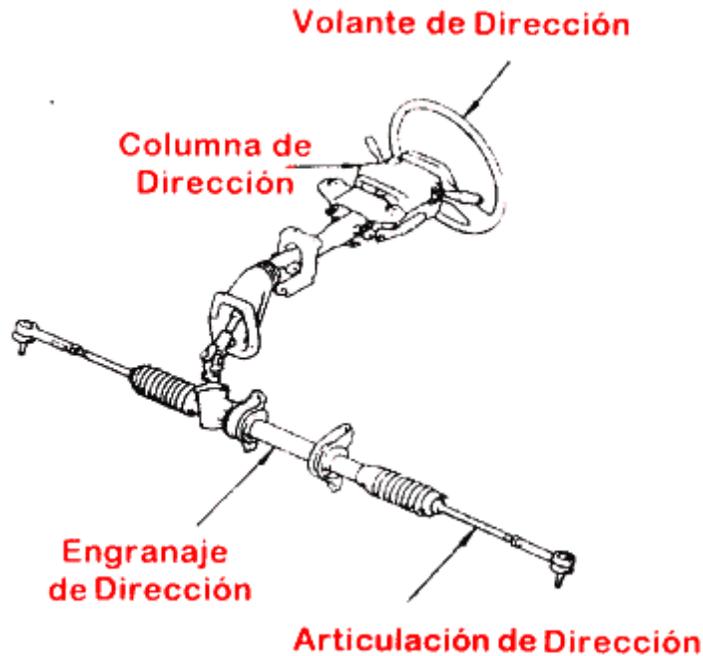


Figura 1.3.2.2.1.-Sistema de dirección de un auto.

### 1.3.2.3 Bujes de hule.

Estos elementos permiten la acción oscilatoria de los brazos de control, los bujes se utilizan en los brazos de control, estabilizadoras y amortiguadores. El material del que están hechos permite absorber una pequeña cantidad de energía, que en estos casos es la que se genera por el movimiento o algún impacto producidos por las irregularidades del camino. Además de que también ayudan a la reducción de ruido.

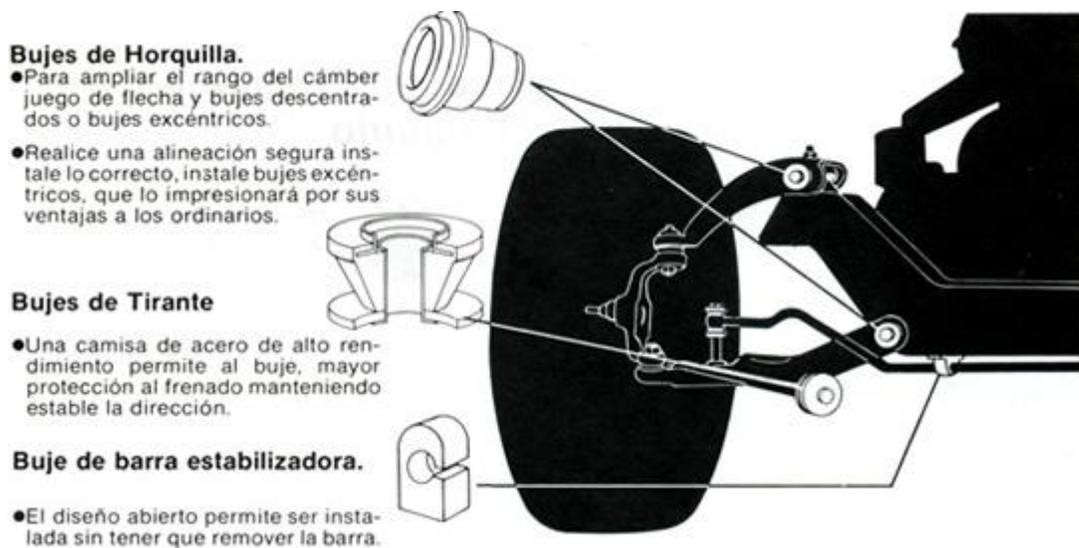


Figura 1.3.2.3.1.-Uso de bujes en diferentes posiciones de la suspensión.

### 1.3.2.4 Rotulas.

Cuando un automóvil debe de tomar una curva, este sufre cambios en la posición de los brazos de la suspensión, estos cambios de posición deben de ser controlados y tener un límite en el movimiento oscilatorio que se genera. La rótula sobre el brazo de control con el muelle de la suspensión se denomina articulación de bola de transporte de peso.

Cuando la unión de la dirección se conecta por encima del brazo de control se denomina articulación de bola de tensión, está en tensión porque el peso del automóvil trata de empujar la rótula desde el nudillo.

Cuando el brazo de control está arriba del nudillo de la dirección, empuja la rótula hacia la unión. Lo cual comprime la coyuntura de bola y por ello se le denomina articulación de bola de compresión.



Figura 1.3.2.4.1.-Rotula de un vehículo.

### 1.3.2.5 Resortes.

Este es un elemento elástico que puede absorber una cantidad de energía y después liberarla sin sufrir deformaciones permanentes, en el caso del sistema de suspensión éste tiene la tarea de soportar el peso del automóvil y la energía generada por la inercia de su masa al sortear irregularidades del camino, como baches, topes, etc.

Todos los elementos antes mencionados conforman el mecanismo que permite el movimiento de la llanta de forma vertical.

Los resortes son los elementos que soportan todas las cargas generadas por el vehículo en movimiento y las amortigua, es decir, por ejemplo si el carro se pasa un bache este haría que se levantara y al caer lo haría con mucha fuerza, dicha fuerza se transmitiría a él o a los ocupantes, en este caso el resorte absorbe cierta cantidad de energía y aminora la fuerza de ésta, así ya no es tan violenta.

En el diseño de una suspensión en la industria automotriz se puede optar por varios tipos de resortes, cada uno con un diseño diferente que le proporciona características específicas a cada uno. Esto ayuda a que, dependiendo de las necesidades de un vehículo, se pueda optar por uno u otro resorte, si es un vehículo de carga necesitará un elemento elástico más rígido para soportar mayor peso, si es para un vehículo que se quiere sea cómodo se buscará un resorte que sea más blando y más flexible. En el caso de los autos deportivos también se debe de tener un resorte rígido pero sin llegar a ser como el de un vehículo de carga, el ideal es un intermedio entre vehículo de carga y auto cómodo. Y así puede haber gran variedad de resortes dependiendo de las necesidades de cada vehículo.

Los resortes más utilizados en la industria automotriz son del tipo muelle helicoidal, este tipo de resorte se puede poner tanto en el eje delantero como en el trasero. Este resorte es una varilla enroscada en forma de espiral. El coeficiente del resorte es la relación que existe entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la acción de la misma, depende según se haya calculado para las necesidades del auto. Puede haber resortes que tienen coeficiente variable como los resortes cónicos.

Los resortes se clasifican en función de la deflexión bajo una carga dada. La ley de Hooke indica que la fuerza aplicada a un resorte hace que se comprima en proporción a dicha fuerza. Una vez retirada la fuerza el resorte retoma su estado inicial, siempre y cuando la fuerza aplicada no haya sido tan grande como para tener una deformación plástica.

Hay 3 tipo de resortes: muelles en forma de placas, resortes en espiral en la forma y barras tipo resortes de barra de torsión. Se puede agregar uno más, el tipo de resorte usado en la suspensión de aire.

Este tipo de suspensión usa resortes de aire en lugar de resortes de metal. Esta suspensión absorbe vibraciones mejor que el metal, el viaje es más confortable y es posible mantener al vehículo a un nivel de altura constante. Sin embargo, una desventaja de este tipo de suspensión es el costo elevado.

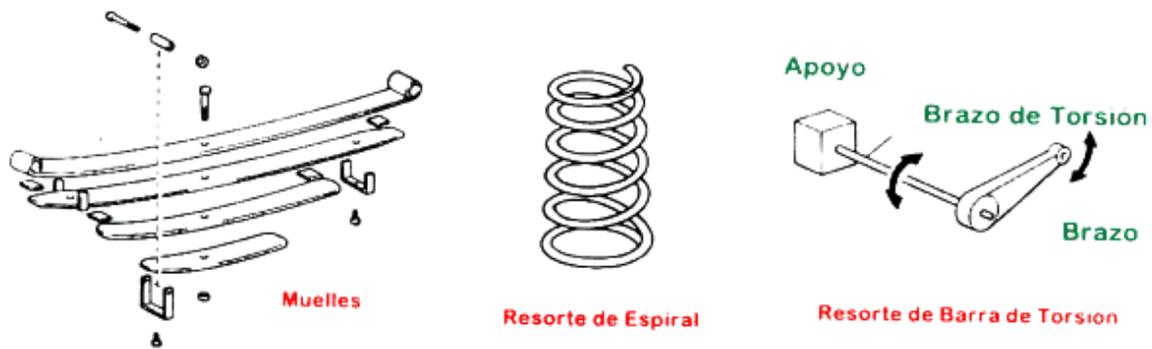


Figura 1.3.2.5.1.-Resorte usados en vehículos comerciales.

### 1.3.2.6 Amortiguador.

Los amortiguadores son elementos que sirven para controlar las oscilaciones de la masa suspendida (absorbe y dispersa la fuerza) originada por los resortes al afrontar irregularidades y al adaptarse a éstas, transformando la energía que almacena el resorte en calor.

Los amortiguadores son una pieza esencial en la suspensión de los automóviles y pueden encontrarse distintas variantes de acuerdo a sus funciones. En las siguientes secciones se analizaran algunos tipos de amortiguadores.

#### 1.3.2.6.1 Amortiguadores hidráulicos.

Compuesto por un pistón que es insertado dentro del cilindro, y sumergido en aceite. El pistón, al contar con numerosos agujeros, hace posible que el aceite se traslade de un lado a otro. Algunas ventajas que presentan los pistones hidráulicos son que no precisan de mantenimiento, poseen la capacidad de ejercer mayor amortiguación a medida que la presión se incrementa y, por último, son dispositivos muy sencillos.

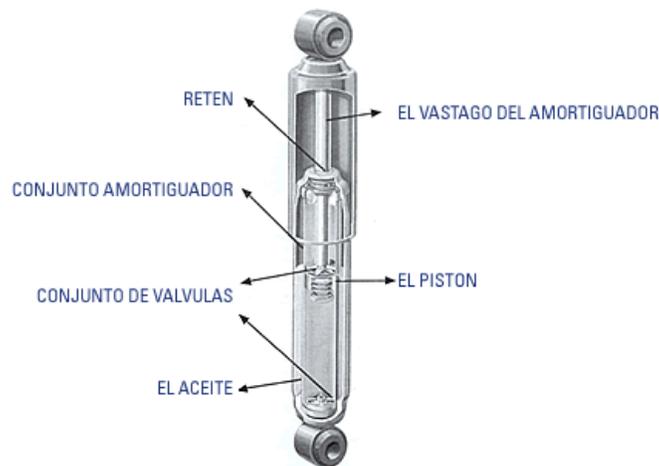


Figura 1.3.2.6.1.1.-Amortiguador hidráulico convencional.

### 1.3.2.6.2 Amortiguadores hidráulicos con válvulas.

A diferencia de los amortiguadores hidráulicos que presentan orificios para transportar el aceite, estos amortiguadores presentan válvulas, lo que hace que su comportamiento se caracterice por ser más eficaz así como también más suave.

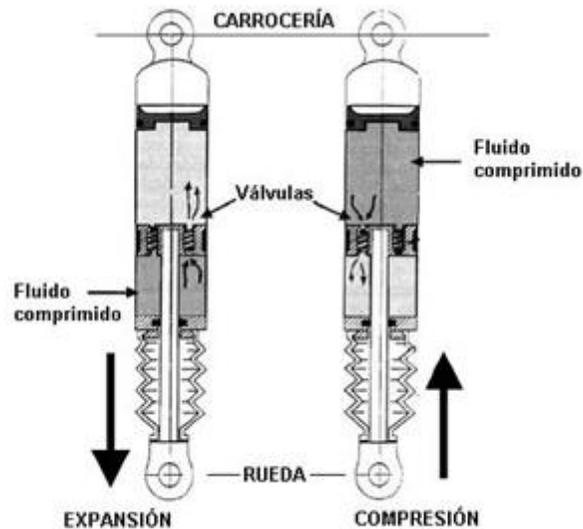


Figura 1.3.2.6.2.1.-Amortiguador con válvulas, dos fases una cuando expande y otra cuando se comprime.

### 1.3.2.6.3 Amortiguadores regulables en dureza.

Presentan una rosca que permite achicar o agrandar el diámetro del agujero por medio del cual fluye el aceite. Esto permite al usuario obtener mayor o menor dureza, según sus necesidades.



Figura 1.3.2.6.3.1.-Amortiguadores regulables en dureza.

### 1.3.2.6.4 Amortiguador reológico.

Esta variante presenta partículas metálicas que al recibir corriente magnética endurece la suspensión, ya que se tornan más espesas.

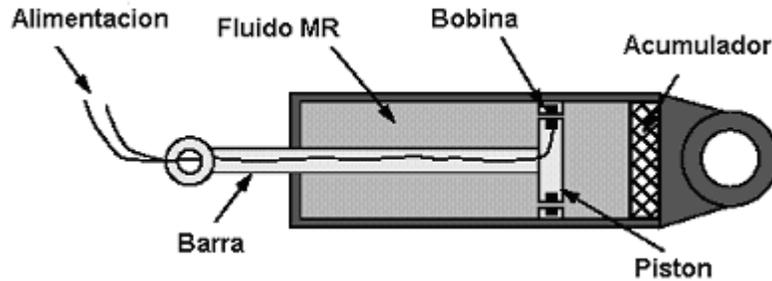


Figura 1.3.2.6.4.1.-Amortiguados Magneto-reológico.

### 1.3.2.6.5 Amortiguadores de frecuencia selectiva.

Estos presentan un segundo conducto en el interior del pistón el cual se separa gracias a la presencia de una válvula que, cuando recibe presión, se cierra y endurece así la suspensión.

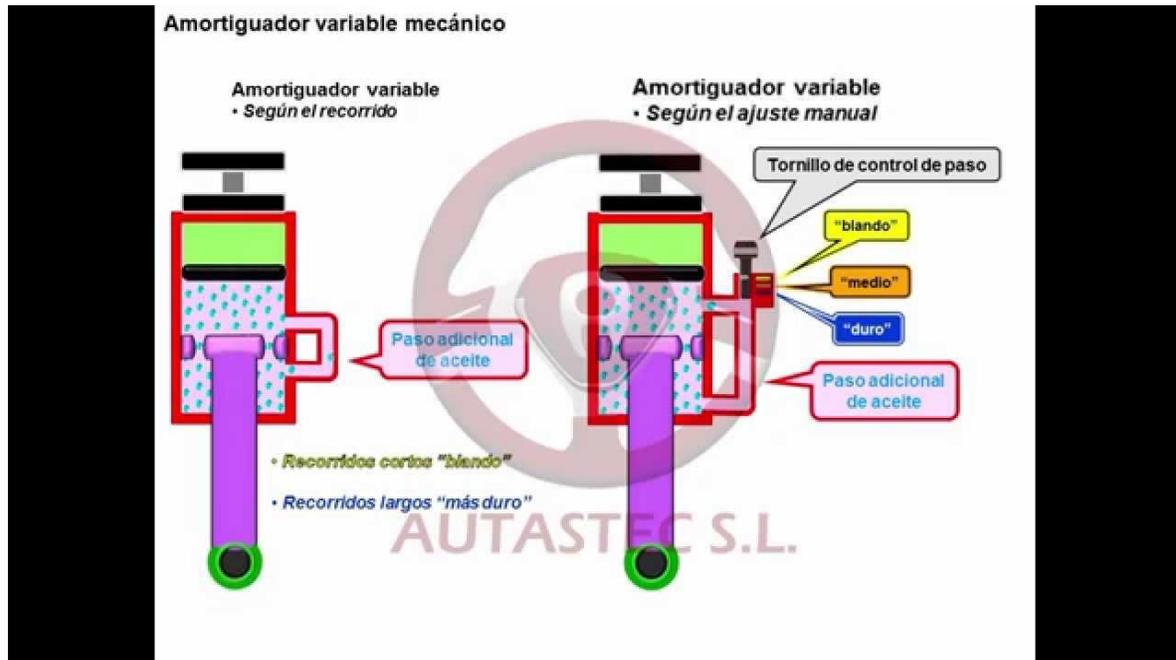


Figura 1.3.2.6.5.1.-Tipos de amortiguador de frecuencia selectiva, manual e intermitente.

### 1.3.2.6.6 Amortiguadores de doble tubo:

Actualmente estos dispositivos son los más vendidos en el mercado y se clasifican en no presurizados, es decir, que presentan agua y aceite, y presurizados, que sólo cuentan con aceite. En estos amortiguadores el pistón, junto con el cilindro, se ubica dentro de una cámara mayor. El aceite puede fluir por el cilindro por medio del pistón o bien, a la segunda cámara, valiéndose de la válvula que se ubica entre las dos.

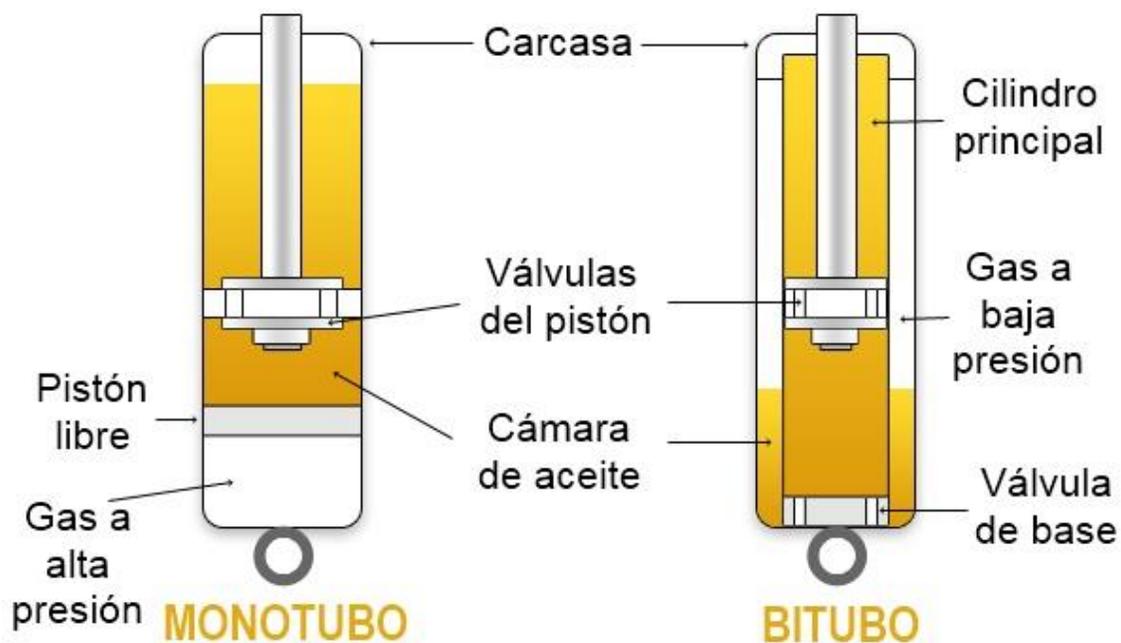


Figura 1.3.2.6.6.1.-Amortiguadores monotubo y bitubo.

### 1.3.3 Tipos de suspensión.

#### 1.3.3.1 Independiente.

Este tipo de suspensión consiste en que cada rueda actúa de manera independiente a las demás. Cuando el vehículo afronta una irregularidad, por ejemplo un bache, un tope, etc., esta no afecta a las cuatro llantas, generalmente sólo afecta a una o a un par de ellas (eje delantero, eje trasero, lado derecho o lado izquierdo). Este esquema de suspensión permite que si una llanta tiene que moverse, el movimiento de dicha llanta no afecte a las demás. No hay alguna conexión física que haga esto posible.

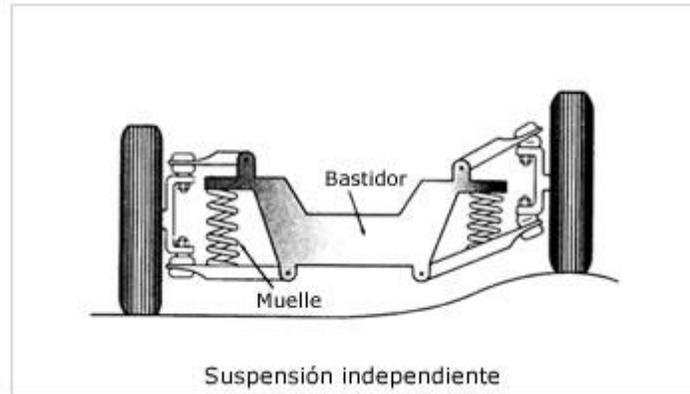


Figura 1.3.3.1.1.-Suspensión independiente.

### 1.3.3.2 No independiente.

En esta suspensión no independiente como su nombre lo indica, no son independientes. Esto es que las llantas están unidas al mismo eje, y tiene una conexión física entre ambas, por lo que al moverse una llanta hacia arriba o hacia abajo esta hará que la llanta del lado opuesto sufra una inclinación en su parte superior, ya sea hacia afuera o hacia adentro. Normalmente este tipo de suspensión es utilizada en el eje trasero en carros de tracción posterior.

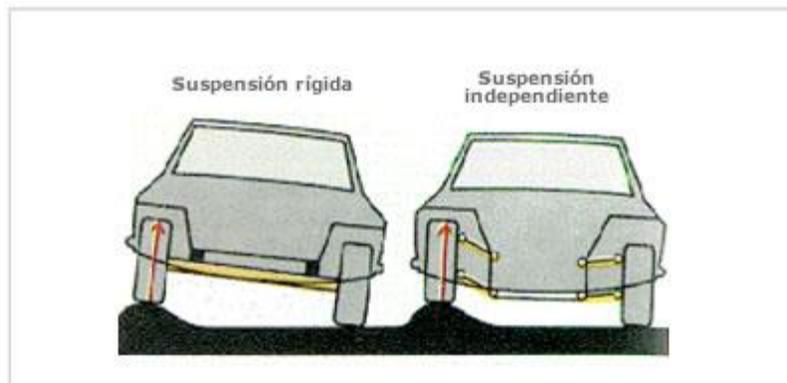


Figura 1.3.3.2.1.-Suspensión independiente y no independiente.

### 1.3.3.3 Semi-independiente.

Utilizada comúnmente en algunos vehículos de tracción delantera, permite un movimiento independiente limitado a cada rueda [10].

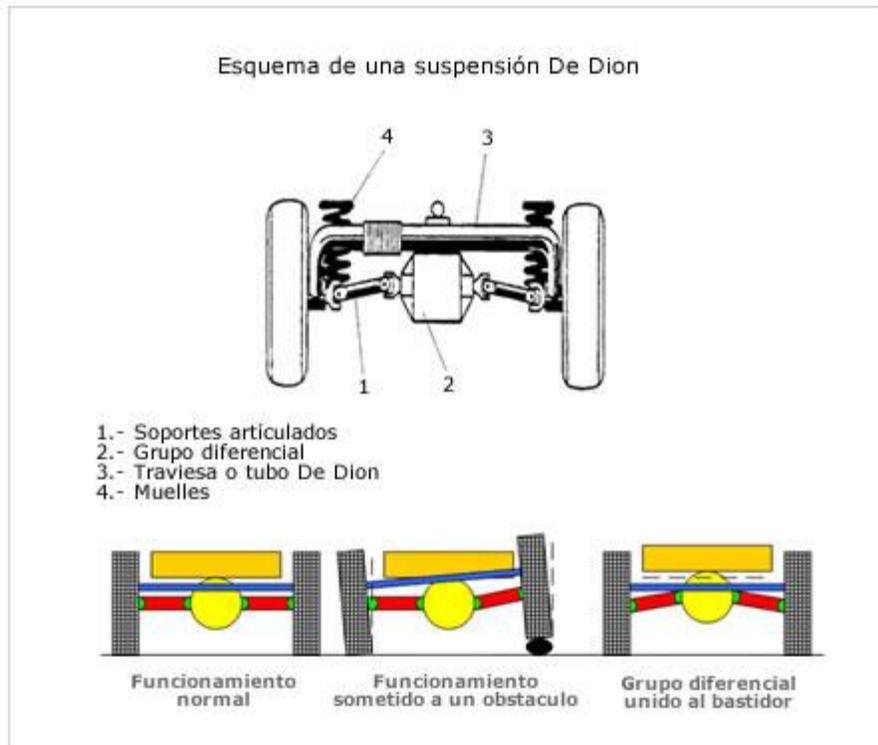


Figura 1.3.3.3.1.-Suspensión semiindependiente.

## 1.4 Materiales.

La humanidad no podría entenderse sin su relación con los materiales de construcción, en especial la ingeniería, ya que en varias de las áreas de la ingeniería una de sus principales áreas de estudio es la referente a los materiales.

Históricamente el desarrollo de las sociedades ha estado concatenada con la capacidad para producir y conformar los materiales necesarios para satisfacer sus necesidades. Los materiales de construcción han servido al hombre para mejorar su calidad de vida o simplemente para subsistir [11].

De esta manera se iban seleccionando aquellos materiales que eran más útiles para cada área. La historia de los materiales se puede dividir en cuatro períodos:

- Primer periodo (Desde hace 2.5 millones de años hasta el año 3000 a.C.)

Durante todo este periodo los materiales más representativos o los más utilizados fueron:

Herramientas de piedra

Madera

Huesos

Canastas

Cuerdas

Cuero

- Segundo periodo (Desde 5000 a.C. hasta 1500 a.C.)

Durante todo este periodo los materiales más representativos o los más utilizados fueron:

Cobre

Ceramica

Desde este periodo se empezó con la incursión en la tecnología metalúrgica y la de los materiales cerámicos. Esto hizo que hubiera un avance tecnológico, por lo que ya se podían hacer cosas más elaboradas.

- Tercer período (Desde 2000 a.C. hasta 0 a.C.)

Durante todo este periodo los materiales más representativos o los más utilizados fueron:

Bronce

En este período se dio un paso más en la tecnología de los materiales, ya que no sólo utilizaban el cobre que encontraban de forma natural, sino que además tenían la capacidad para hacer aleaciones proporcionando así otras características al material.

- Cuarto período (Desde 800 a.C. hasta 1000 d.C.)

Durante todo este periodo los materiales más representativos o los más utilizados fueron:

Hierro

Plata

Oro

Con el paso del tiempo el aprendizaje que se tenía de los materiales era cada vez mayor y el avance tecnológico era cada vez más acelerado. Con la incursión en la aplicación del hierro se pudo hacer una producción más barata de herramientas más resistentes [12].

Esta secuencia parece universal en todas las áreas, ya que el uso del hierro requiere una tecnología más compleja que la utilizada en la producción del bronce, que a su vez requiere mayor tecnificación que el uso de la piedra.

A lo largo de la historia se han ido empleando diversos materiales en la construcción, evolucionando estos hasta la utilización de materiales compuestos formados por fibras de materiales muy resistentes.

Madera, piedra, hierro, hormigón, ladrillo y aluminio han sido los materiales utilizados con más frecuencia en la construcción de todo tipo de estructuras. Actualmente se prueban nuevos materiales para construir puentes con una resistencia específica mayor que el acero. Son los denominados materiales compuestos, formados por fibras unidas con una matriz de resina y que se vienen utilizando desde hace años en diversos tipos de industrias (aeroespacial, aeronáutica, automovilística, etc.).

### 1.4.1 Clasificación.

Hay varias maneras de clasificar los materiales: según su composición, por su origen, de acuerdo a sus propiedades físico-químicas, desde el punto de vista de fabricación, etc.

### 1.4.2 Por su origen.

Un material se puede clasificar por si es natural o es artificial, dependiendo de que se encuentre en el medio natural o que ya lleve un proceso para su obtención. Ejemplo, el granito se obtiene de forma natural, pero el acero ya tiene un proceso para poder obtenerse por lo que se considera un material artificial.

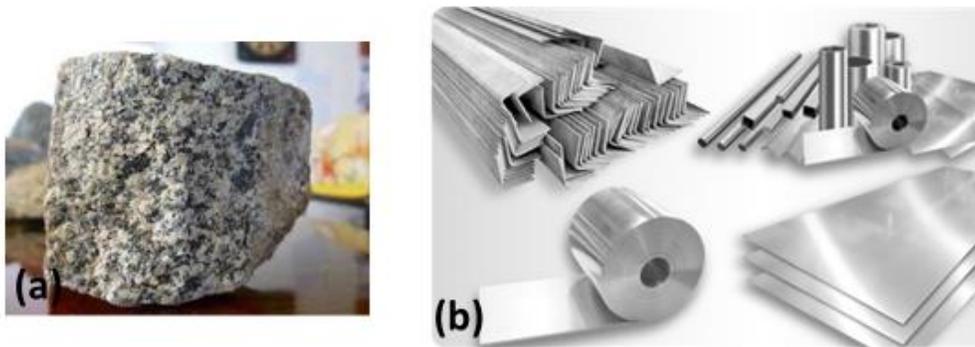


Figura 1.4.2.1.-Materiales según su origen. (a) Piedra de granito; (b) Acero.

### 1.4.3 Por su composición.

Los materiales se pueden clasificar en materiales simples y compuestos, homogéneos y heterogéneos, metálicos y no metálicos, orgánicos e inorgánicos, etc.



Figura 1.4.3.1.-Materiales metálicos y no metálicos.

#### 1.4.4 Por sus propiedades.

Los materiales tienen ciertas propiedades por las que se les puede clasificar como rígidos o flexibles, tenaces o frágiles, conductores o aislantes, reciclables y no reciclables, etc.

Aunque los materiales se pueden clasificar de varias maneras, el criterio más empleado, desde el punto de vista tecnológico, es según sus características comunes teniendo en cuenta su naturaleza física, así que podemos clasificarlos de la siguiente manera:

- a) Materiales metálicos y sus aleaciones.
- b) Madera y sus derivados.
- c) Polímeros.
- d) Materiales pétreos y sus derivados.



Figura 1.4.4.1.-Materiales clasificados desde el punto de vista tecnológico.

#### 1.4.5 Razones de elección de un material.

Cuando se tiene que elegir el material más adecuado para una determinada aplicación, se debe tener en cuenta factores como el trabajo que va a desarrollar la pieza, el ambiente en el que se va a desempeñar, el proceso de conformado al cual va a estar sujeto, la disponibilidad del material y su costo.

Por lo tanto, un gran conocimiento de los tipos de materiales que existen así como sus características, nos ayudará a hacer una buena elección del material, es decir, seleccionar el más adecuado de acuerdo a nuestras y las necesidades del objeto a fabricar.

Antes de fabricar una pieza es necesario establecer las exigencias a las cuales va a estar sujeta, la cual además de poder cumplir con dichas exigencias debe de ser fácil de conformar y de bajo costo.

#### 1.4.6 Propiedades de los materiales.

Son el conjunto de características que tiene cada material, ponen de manifiesto cualidades intrínsecas de los mismos o su forma de responder a determinados agentes exteriores: propiedades mecánicas (resistencia, tenacidad, dureza, rigidez), resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, facilidad de conformado, peso específico, apariencia externa (propiedades sensoriales) y factores ecológicos (mínima necesidad de materia prima, posibilidad de reciclaje y reutilización, precio de la materia prima, etc.).

- Propiedades químicas:

Se refiere a los procesos que modifican químicamente un material.

- Propiedades físicas:

Se refiere a las características de los materiales debido al ordenamiento atómico o molecular del mismo.

- Propiedades térmicas:

Se refiere al comportamiento del material frente al calor.

- Propiedades magnéticas:

Se refiere a la capacidad de algunos materiales al ser sometidos a campos magnéticos.

- Propiedades mecánicas:

Están relacionadas con la forma en que reaccionan los materiales al actuar fuerzas sobre ellos [13].

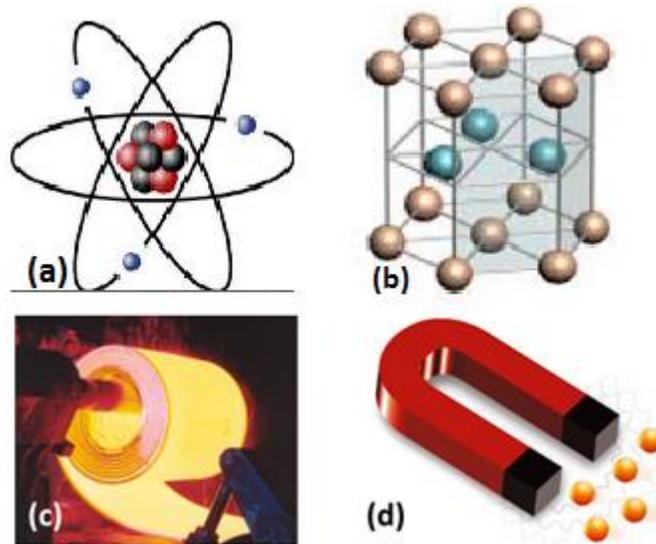


Figura 1.4.6.1.-Clasificación de los materiales según sus propiedades. (a) Propiedades químicas (b) Propiedades físicas (c) Propiedades térmicas (d) Propiedades magnéticas

## 1.5 Materiales utilizados en chasis.

En el proceso de fabricación de los vehículos comúnmente se utilizan chapas de acero de diferentes calidades ya que estas presentan muy buenas propiedades mecánicas como lo son su resistencia, rigidez, facilidad de mecanizado, conformación plástica, así como su relativo bajo costo. Pero aun así se necesitan ciertas especificaciones mecánicas que por sí solo el acero no cumple, de modo que se puede alea con otros materiales para que cumpla con las necesidades de una especificación dada.

La composición química y el proceso termomecánico determinan gran parte de las características del acero. Como ya se sabe, el carbono es el elemento que confiere al acero sus características de dureza, aunque en estas características también influyen otros elementos con los que se puede alea como silicio, manganeso o fósforo. Para fabricar aceros de alta resistencia se hacen aleaciones con elementos como titanio, niobio, cromo o boro.

Los espesores que se usan en la construcción de las carrocerías de un auto varían entre 0.5 y 3 mm, sin embargo, para los componentes estructurales del chasis se ocupan espesores de entre 0.8 a 1.0 mm.

Los espesores menores se utilizan en piezas que no van a estar sujetas a grandes cargas como son las piezas de la carrocería.

Independientemente de la aleación de acero que sea, que esté aliado con uno o más elementos, los aceros que se usa en la fabricación de un auto se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 1.5.1. Tabla de aceros usados en la industria automotriz para la fabricación de chasis.

Tipo de acero	Acero	Límite elástico (MPa)
Aceros convencionales de conformado en frío		<230
Aceros convencionales laminados en caliente y decapados		<250
Aceros de alta resistencia (High Strength Steel)	Bake Hardening	160 a 300
	Refosforado	>220
Aceros de alta resistencia y baja aleación (High Strength Low-Alloy Steel)	Aceros (IF)	>220
	Microaleado	>350

Aceros avanzados de alta resistencia (Advanced High Strength Steel)	Doble face	500 a 600
Acero de muy alta resistencia (Very High Strength Steel)	Plasticidad inducida por transformación TRIP	600 a 800
Acero de extra alta resistencia (Extra High Strength Steel)	Fase compleja	800 a 1000
Aceros de ultra alta resistencia (Ultra High Strength Steel)	Martensíticos	1000 a 1300
Aceros ultrarresistentes de baja aleación (Ultra High Strength Low Alloy)	Acero al boro	>1250

Durante un gran periodo de tiempo en la industria de los automóviles se usó acero común, pero con el paso del tiempo y con las nuevas necesidades de reducir el peso de los vehículos para disminuir el consumo de combustible, se empezó a usar nuevas aleaciones de acero.

Así también con la implementación de estos materiales nuevos, se buscó que no hubiera merma en la seguridad lo que obligó a hacer un mejor diseño para conservar la rigidez necesaria. También estos materiales deben cumplir con características mecánicas para que estos se puedan deformar para absorber y disipar la energía en caso de impacto.

Debido a lo anterior la industria ha entrado en una alta demanda de tecnología en la rama de la metalurgia para la obtención de aceros de mayor rigidez (para elementos estructurales) y de gran resistencia a las deformaciones (sobre todo en las piezas exteriores de la carrocería). Estos aceros son los conocidos como de alto límite elástico.

Principalmente las diferencias entre los aceros convencionales y los de alta resistencia residen en aspectos como la resistencia a la tracción y el límite elástico.

En función de este parámetro puede realizarse la siguiente clasificación:

Tabla 1.5.2. Clasificación de los aceros según su resistencia mecánica.

Tipo de acero.	Magnitud de la resistencia (MPa)
Aceros convencionales	De hasta 210
Aceros de alta resistencia	De 210 a 550
Aceros de muy alta resistencia	De 550 en adelante



Figura 1.5.1.- Uso de diversos aceros en un chasis.

### 1.5.1 Aceros de alto límite elástico.

Estos se caracterizan respecto a los comerciales porque en su composición presentan mayor contenido de carbono y pequeñas cantidades de manganeso, vanadio, zirconio, etc. Debido a la aleación del acero más estos elementos de aleación obtiene una gran resistencia a la tracción.

Los principales objetivos, de acuerdo a las nuevas necesidades de la industria automotriz, son:

- Construir carrocerías más ligeras, manteniendo la resistencia del conjunto.
- Reforzar zonas puntuales de la carrocería.

Su característica más significativa es que con un 25% menos de espesor, duplica la resistencia a la deformación plástica que con chapas de acero común.

Como los requerimientos de materiales son muchos y muy específicos, se van creando gran variedad de aceros, unos más resistentes que otros, pero todos pueden entrar en la clasificación de aceros de alto límite elástico, y estos ser:

- a) Aceros microaleados de alta resistencia y baja aleación.
- b) Aceros *Dual Phase* (doble fase).
- c) Aceros refosforados.
- d) Aceros *Bake Hardenable*.
- e) Aceros IF (*interstitial Free*).
- f) Aceros TRIP (*Transformation Induced Plasticity*).

### **1.5.2 Aceros microaleados de alta resistencia y baja aleación HSLA (High Strength Low-Alloy Steel).**

Estos aceros poseen pequeñas aleaciones con cromo, níquel y molibdeno. Con la adición de estos elementos a un acero, le proporcionan una mayor resistencia a la abrasión, al desgaste, a la oxidación, y a la corrosión. Sin embargo estos elementos aleados no le proporcionan una mayor resistencia mecánica, para eso se adiciona niobio y titanio a la aleación. En ocasiones también se agregan pequeñas cantidades de vanadio. En cualquier caso, estas cantidades nunca pueden superar el 1% del total de la aleación.

Sus principales características mecánicas son: tensión a la fractura entre 370 y 600 N/mm<sup>2</sup> y su alargamiento mínimo del 15 al 22%.

Las chapas de HSLA se utilizan para piezas estructurales con altas sollicitaciones, como lo son: los refuerzos en la suspensión, refuerzos interiores, largueros y travesaños. Además de que gracias a la gran resistencia que tiene este material se pueden reducir los espesores de las chapas, lo que incide directamente en la reducción de peso.

### **1.5.3 Aceros de doble fase (Dual Phase).**

Se caracterizan por un gran equilibrio entre resistencia y estampabilidad.

Este acero tiene una gran resistencia a la fatiga y muy buena capacidad de absorción de energía, lo que hace que sea excelente para piezas estructurales y de refuerzo.

Dichas propiedades mecánicas se obtienen mediante un tratamiento térmico que consiste en un rápido aumento de la temperatura en la fase de recocido controlando el enfriamiento, seguido de revestimiento para mejorar su plasticidad. Debido a este proceso sus características mecánicas mejoran de tal manera que llega a tener una tensión a la rotura de entre 600 y 800 N/mm<sup>2</sup> y un alargamiento mínimo de 22%. Como en otros aceros de alta resistencia, se puede hacer una reducción del grosor de las chapas.

Este acero se usa para partes de alto grado de responsabilidad estructural, como lo son travesaños, largueros y refuerzos.

#### **1.5.4 Aceros refosforados.**

Como su nombre lo indica, estos aceros tienen adiciones de fósforo (superiores a 0.08%), que al disolverse en el acero aumenta considerablemente el límite elástico, la resistencia a la rotura, la capacidad anticorrosiva; a costa de disminuir la plasticidad y la tenacidad del acero y dificultar las operaciones de soldadura.

Las piezas fabricadas con este acero son: piezas estructurales, refuerzos que están sometidos a fatiga, travesaños, pilares, o refuerzos de los pilares.

#### **1.5.5 Aceros Bake-Hardening.**

Entre los aceros usados de forma más creciente están las chapas que se fabrican con Bake-Hardening. Estas son fácilmente embutibles antes de recibir el tratamiento térmico que modificara su elasticidad. En este proceso una vez que las piezas de acero están unidas, reciben un baño protector de cataforesis para posteriormente ser introducido en un horno a 180°C, con este tratamiento térmico se aumentará su límite elástico.

Este tipo de acero se emplea en: piezas de panelería exterior (como son puertas, portones, techo), piezas estructurales de la carrocería (bastidores inferiores, refuerzos y travesaños).

#### **1.5.6 Aceros IF (Interstitial Free).**

Estos aceros están diseñados para tener un excelente equilibrio entre estampabilidad y resistencia mecánica, esto se logra mediante la tecnología metalúrgica que hace que no se empleen elementos intersticiales. Esto es que los aceros están aleados con microaleantes como los son titanio, niobio y fósforo. Además de tener una baja concentración de carbono.

Las peculiaridades de este tipo de acero son tener una elevada resistencia a la fatiga y a los impactos, así como su elevada resistencia mecánica. Todas estas particularidades originan que este tipo de material sea muy apto para piezas de gran importancia en la absorción de impactos.

#### **1.5.7 Aceros TRIP (Transformation Induced Plasticity).**

Se caracterizan por estar equilibrados entre resistencia y ductilidad. Este acero combina una respuesta a la deformación comparable a un acero de embutición de 400 N/mm<sup>2</sup> y una alta resistencia mecánica de 600 N/mm<sup>2</sup>. Para obtener este acero se debe tener mucho cuidado en el proceso de creación, en específico, en el proceso de diseño desde el punto de vista de su composición, por eso durante el proceso de producción se deben cuidar variables que puedan incidir en ello.

Con las propiedades que tiene este acero, es posible hacer piezas estructurales y piezas de refuerzo muy complejas, además de tener una gran capacidad de absorción de energía y buena resistencia a la fatiga, por lo que es bueno para piezas como largueros, travesaños, refuerzos de pilares, etc.

### **1.5.8 Aceros al boro.**

Este tipo de aceros están diseñados para ser sometidos a un tratamiento térmico seguido de un temple durante el proceso de estampado en caliente. Este tipo de acero tiene varias características mecánicas específicas, y una de ellas es permitir un aligeramiento significativo, hasta un 50% respecto a aceros de alto límite estándar.

En el proceso de elaboración, en particular en su tratamiento termomecánico, durante el laminado en caliente le confiere una gran templabilidad, así como homogeneidad estructural, que le permite tener un buen comportamiento frente a esfuerzos a lo que estará sometido.

Debido a las características del acero USIBOR y básicamente al de su elevado límite elástico hace posible que se fabriquen piezas con un alto grado de responsabilidad en la seguridad como en el sistema de antiintrusión del vehículo como lo son: vigas de parachoques, refuerzo de puertas, refuerzo central, montante del vano, etc.

### **1.5.9 Aceros de ultra alta resistencia.**

Estos aceros tienen un muy alto límite elástico, debido a esta cualidad se han podido hacer nuevos diseños y técnicas de transformación, por lo que se elaboran nuevas y mejores piezas que con aceros convencionales, incluso con aceros de alta resistencia, no es posible realizarlos o es muy difícil por poner en alto riesgo de falla dichas piezas. Igualmente con esta peculiaridad es posible hacer una gran reducción de peso en torno al 15% respecto a los aceros de alta resistencia, así mismo cabe mencionar que este acero alcanza unos valores de rigidez de 2.5 veces superior a los aceros convencionales.

### **1.5.10 Acero inoxidable.**

Otro tipo de acero que se usa en la industria es el acero inoxidable, este acero está aleado con pequeñas partes de cromo y en algunas ocasiones níquel. En el proceso de elaboración la adición de cromo le proporciona una gran mejora respecto a la reducción de oxidación en relación a los aceros al carbón, y la adición de níquel mejora sus propiedades mecánicas.

Este tipo de materiales tienen un costo muy elevado en comparación con los demás tipos de aceros, por lo que es muy poco utilizado, comúnmente solo es utilizado en el sistema de escape.

Si se utilizara este material la reducción de peso sería considerable, de entre 40 a 50%. Tendría una gran capacidad anticorrosiva y haría que tuviera una larga vida respecto a otros aceros. Este acero tiene una alta resistencia mecánica, también buenas propiedades de ductilidad y reparabilidad.

### **1.5.11 Aleaciones ligeras.**

Se denominan así a aquellas aleaciones que tengan como elemento base el aluminio (Al). El uso del aluminio es tan versátil que es utilizado para construir vehículos como: aviones, trenes de alta velocidad como el AVE, y automóviles de alta competición.

Desde hace algunos años se ha empezado a utilizar en la fabricación de carrocerías, como por ejemplo la Ford F-150 de última generación, en la que la totalidad de su carrocería es de este material, lo que hace reducir su peso en aproximadamente 300 Kg en comparación con una convencional de acero. Esto se debe a dos grandes ventajas:

- a) Ser más ecológico al poder reciclarse al 100%, así como por el menor peso hace que el consumo de combustible se reduzca en gran proporción, y por lo tanto, una reducción en los gases contaminantes.
- b) Por las propiedades mecánicas intrínsecas del material hace que tenga una deformación controlada en caso de impacto.

Debido a las cualidades del aluminio y sus aleaciones es posible la fabricación de piezas tanto de la carrocería, así como de piezas estructurales muy especializadas.

### **1.5.12 Aleaciones ultraligeras.**

Dichas aleaciones son aquellas que tienen como material base el magnesio (Mg). Adicionado con aluminio aumenta la dureza y su resistencia, y con el zinc aumenta su ductilidad. Su principal ventaja frente a otros materiales es tener un peso mucho menor, incluso que las aleaciones ligeras, por lo que se hace un material muy atractivo frente a las aleaciones ligeras. Por ejemplo, frente al acero, las aleaciones de magnesio llegan a ser hasta 60% más ligeras.

Aunque principalmente se utiliza para mejorar las propiedades de otras aleaciones, cada vez es más común el uso de aleaciones de alta pureza.

Estas aleaciones proporcionan dos ventajas:

- a) Baja densidad lo cual reducen considerablemente el peso de piezas estructurales de los vehículos.
- b) Facilidad en el proceso de fundición, ya que se obtiene un mejor acabado y mayor duración de los moldes.

### **1.5.13 Materiales plásticos.**

En la actualidad gran cantidad de piezas de un vehículo tanto de elementos internos como externos están construidas de algún material plástico, como: tableros, consolas, revestimientos, molduras, defensas, retrovisores, piezas del carenado, etc. Sin embargo, las aplicaciones plásticas para piezas estructurales se reduce a autos deportivos de muy alto valor económico, estos usan materiales como kevlar o fibra de carbono.

El uso de estos materiales está condicionado por su capacidad de resistencia al impacto, ya que se ve penalizada por la alta flexibilidad que tienen estos materiales [14].

### **1.6 Carrizo (aplicaciones).**

#### **Carrizo (Arundo donax)**

Es una planta semejante al bambú, la cual se diferencia porque de cada nudo sale una única hoja que envaina el tallo.

La especie se caracteriza por gruesos y abundantes rizomas de los cuales brotan talles simples y erguidos, divididos en entrenudos huecos y nudos ensanchados, de donde se originan las hojas, con la parte basal abrazando totalmente al tallo, y la distal libre. Los tallos presentan un grosor que puede variar de 1 a 3.5 cm y una altura de entre 2 y 6 m. Las inflorescencias en forma de plumero son estériles y se desarrollan en el extremo de los tallos. Las cañas florecen al segundo año, hacia finales de verano y durante el otoño, pero se multiplican a través de los rizomas. Se desarrollan en lugares con nivel freático cercano a la superficie del suelo, a lo largo de los ríos y en las lindes de los regadíos. En la figura 1.6.1 se muestran los detalles más característicos de la planta.

Parece ser originaria de Asia y ha colonizado el área mediterránea y norte de África desde antiguo, a lo largo de ríos y acequias. También extendida por todo el continente Americano. Está incluida en la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

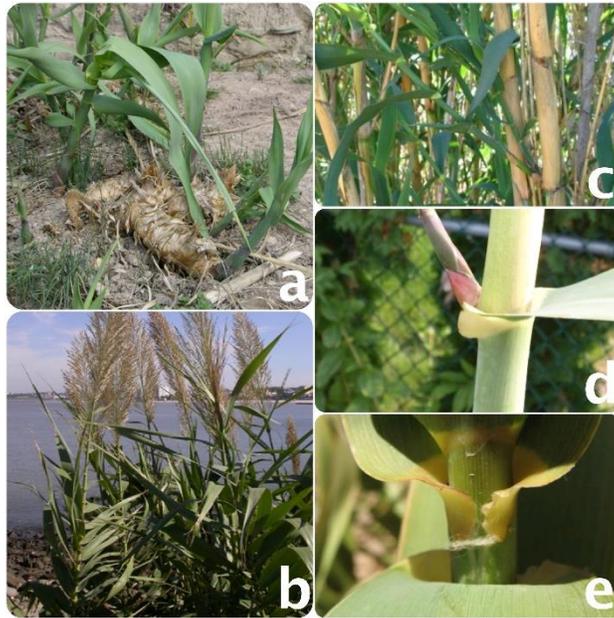


Figura 1.6.1.- a: Detalle del rizoma o raíz; b: Aspecto general de la parte apical; c: Detalle del tallo; d: Macolla extravaginal; e: Detalle de las aurículas.

Se sabe que en la actualidad este material se usa de manera artesanal, para la fabricación de flautas, canastas, faroles, marmotas, calendas, castillos para fuegos artificiales, juguetes de niños, cercas, etc. [15]. Algunas de las aplicaciones mencionadas con anterioridad se muestran en la figura 1.6.2.



Figura 1.6.2.- Aplicaciones a: La flauta de carrizo es un instrumento de viento tradicional del estado de Tabasco; b: Portarretratos, portapañuelos, flautas de carrizo. Artesanías típicas del municipio de Nacajuca, Tabasco, México; c: Mono de calenda, es un títere gigante, con armazón de Carrizo, utilizado en las fiestas o calendas del estado de Oaxaca; d: Uno de los usos más comunes del carrizo, cestos usados para transportar o simple decoración; e: Las Calendas, son fiestas populares (donde se usa el carrizo para fabricar estructuras de diversas formas) que anuncian las celebraciones de los santos patronos de los templos de Oaxaca, México.

## 1.7 Propuesta del chasis de carrizo.

Hoy en día, dentro de la industria automotriz se investiga sobre nuevos materiales para reducir de peso del vehículo, esto ayuda a un menor consumo de combustible, teniendo como objetivo principal el preservar recursos menguantes de hidrocarburos sin comprometer otros atributos como la seguridad, rendimiento, reciclabilidad y costo. El avance en los materiales juega un papel importante, ya que la disminución de peso significativa es posible a través de la sustitución de materiales de alta densidad. Actualmente ya se están aplicando materiales como espumas metálicas de base aluminio, fibras naturales, aceros como el ULSAB AVC y aleaciones de magnesio en los automóviles [16]. Así mismo se han desarrollado en los últimos 15 años tecnologías de polímero-metal para su uso en componentes automotrices ligeros [17].

Las fibras naturales se han utilizado desde hace más de 10000 años para reforzar materiales[18], fibra de madera, paja, yute, lino, cáñamo, arroz cáscara, trigo, cebada, avena, centeno y bambú son sólo algunos ejemplos. Tienen la gran ventaja de que son recursos renovables [19].

Por otro lado se están realizando estudios de movilidad personal en el entorno urbano, teniendo en cuenta los métodos de producción y el impacto ambiental de consumo de materias primas. Existe inercia para la captación de vehículos alternativos, especialmente bicicletas y vehículos impulsados por el ser humano (VPH), El concepto de 'Ajiro' se ha logrado mediante la aplicación de la metodología de "action research", por lo que la experimentación activa, ha crecido y la observación del bambú ha influido en la forma del vehículo [20]. Otro ejemplo es el P.U.U.N.K; que es un velomóvil asistido por pedales de bajo costo [21].

El desarrollo sustentable es actualmente esencial para la conservación de los recursos naturales. El carrizo es un recurso renovable y sostenible que puede sustituir a materiales utilizados en estructuras automotrices; es resistente, flexible, económico y ligero. Circunstancia por la cual está presente en aplicaciones de muy diversa índole, como son: artesanías, castillos para fuegos artificiales, muebles, instrumentos musicales de viento, elementos estructurales de casas etc., por todo esto se percibe como adecuado para su uso en chasis y suspensión en vehículos ligeros.

El carrizo requiere poca energía para ser conformado y por tanto no genera emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, cabe resaltar que actualmente es considerado como una planta invasora de ecosistemas riparios ya que amenaza la integridad de diversos ecosistemas acuáticos frágiles. Algunos de los problemas causados por la especie en el ámbito socioeconómico son: la invasión y el azolve de los canales de riego, que hacen necesarias las labores de limpieza frecuentes, la contaminación biológica y las subsecuentes acciones encaminadas para su manejo y control. Los daños a la infraestructura social, por ejemplo los puentes, caminos, etcétera. El aprovechamiento del carrizo permite contribuir a mejorar los ecosistemas que daña [22].

Los análisis que se realizan actualmente determinarán la viabilidad para construir el chasis completamente de carrizo o de sólo algunos de los elementos que los conforman.

La relevancia de este tema está ligada a la protección del medio ambiente, se busca desarrollar vehículos más eficientes que requieran menos energía para desplazarse.

Se busca sustituir materiales convencionales utilizados en la industria del transporte que sean amigables con el medio ambiente.

La aplicación que se le está dando al material es innovadora, casi no existe literatura sobre comportamiento mecánico, y su estudio permitirá encontrar aplicaciones diferentes a la presente, lo cual permitirá generar más desarrollos sustentables [23-27].

# CAPÍTULO II

## COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

### 2.1 Mecánica de sólidos.

La mecánica de sólidos es el campo del conocimiento que estudia las relaciones entre los esfuerzos, deformaciones y cargas externas. Para poder estudiar a los sólidos, éstos se consideran como cuerpos en equilibrio sujetos a fuerzas externas. Debido a estas cargas el cuerpo reacciona, de manera que en su interior se generan esfuerzos. Mediante las ecuaciones de equilibrio estático, se consideran las fuerzas aplicadas que actúan sobre una parte del cuerpo para obtener una relación entre las fuerzas externas actuando sobre el cuerpo y los esfuerzos oponiéndose a la acción de las cargas externas. De esta manera consideramos en un inicio que el sólido está en equilibrio de fuerzas. Los esfuerzos se pueden analizar si seccionamos el cuerpo sometido a estudio, como se muestra en la figura 2.1.1 Para poder lograr esta sección del cuerpo, se debe colocar un plano que atraviese al sólido en un punto de interés, de esta manera se retira una parte del cuerpo, y se reemplaza por los esfuerzos que están actuando en el mismo. Debido a que todo el cuerpo está en equilibrio, se sabe que sea una sección entera o sólo una pequeña parte del sólido, ésta estará en equilibrio de fuerzas. Por lo tanto, las ecuaciones de equilibrio se pueden aplicar a este tipo de problema.

Las fuerzas internas de oposición, comúnmente llamadas esfuerzos, actúan sobre una cierta área, por lo que la fuerza resultante es la integral del esfuerzo en el área diferencial sobre el cual actúa.

Para evaluar esta integral es necesario saber la distribución del esfuerzo sobre el área del plano de corte. La distribución del esfuerzo puede ser aproximada observando y midiendo la deformación en el elemento ya que el esfuerzo no puede ser medido físicamente. Sin embargo, dado que el esfuerzo es proporcional a la deformación, la determinación de la distribución de las deformaciones provee la distribución del esfuerzo. La expresión obtenida para el esfuerzo es luego sustituida dentro de las ecuaciones de equilibrio, y son resueltas para esfuerzo en términos de las cargas y las dimensiones del miembro. La expresión para los esfuerzos que se obtuvo de alguna manera es correcta y satisficiera las ecuaciones de equilibrio para cualquier parte del cuerpo incluyendo las fronteras donde se encuentran las fuerzas externas y/o las restricciones de desplazamiento.

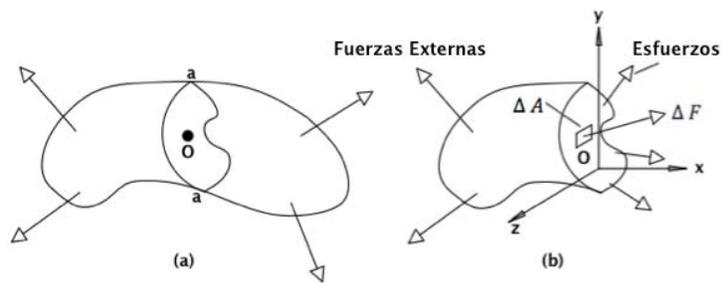


Figura 2.1.1- Diagrama de cuerpo libre para un cuerpo cortado mediante un plano que pasa por un punto.

## 2.2 Caracterización mecánica del carrizo.

### 2.2.1 Por el método de extensometría eléctrica.

Para analizar el comportamiento mecánico de un material es necesario someterlo a una carga y medir las deformaciones.

Para poder caracterizar la probeta del material, es muy importante la selección de la galga extensométrica (Tamaño, STC “Temperatura de compensación” y su geometría). Teniendo en cuenta las medidas de la probeta y el perfil que ésta tenía, se seleccionó la galga, considerando que la deformación máxima al pegado de una galga no debe de exceder un 6%

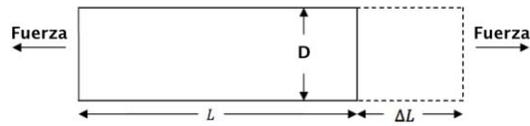
\*Nota técnica de Vishay TN-505

En la práctica, las mediciones con strain gages, la sensibilidad mínima de la galga es de  $1 \times 10^{-6}$  ( $\mu\epsilon$ ). Esto está basado en el cambio de resistencia que se obtiene al someter la probeta a tensión o compresión.

Los strain gages, son colocados longitudinal y transversalmente a la carga, con el objetivo de determinar la flexión introducida durante el ensayo, hacer los cálculos correspondientes y determinar las propiedades del material en este caso “carrizo” (Arundo Donax)

Un extensómetro o “strain gage” (en inglés) es un accesorio de medición que nos sirve para determinar las deformaciones de una probeta sujeta a una carga utilizando la ley de Hooke.

Se entiende por esfuerzo a la cantidad de deformaciones que adquiere un cuerpo debido a la fuerza aplicada sobre él. Si se pone en términos matemáticos, deformación ( $\epsilon$ ) se define como la fracción de cambio en longitud, como se muestra en la figura siguiente:



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Definición de deformación unitaria.  
 Figura 2.2.1.1 Diagrama de un extensómetro

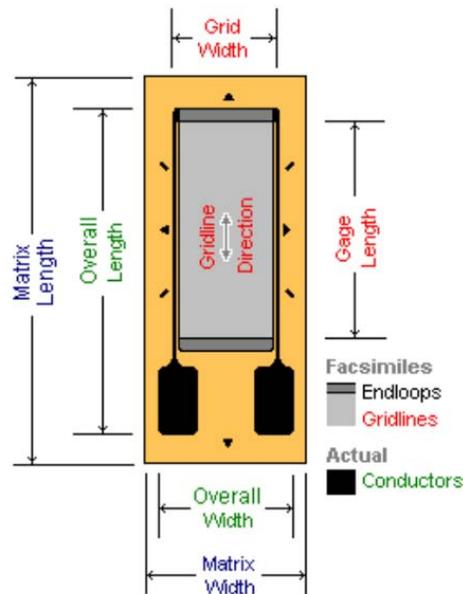


Figura 2.2.1.2. Extensómetro acompañado de sus terminales

El signo de la deformación es determinado por la dirección ya sea tensión (positivo “+”) o a compresión (Negativo “-”) y es adimensional.

El método utilizado es el método puntual, mediante un extensómetro, dispositivo cuya resistencia eléctrica varia de forma proporcional al esfuerzo a que éste es sometido.



Figura 2.2.1.3. Extensómetro colocado sobre vara de carrizo

Los extensómetros utilizados para las pruebas fueron de tipo Foil, como se muestra en la figura 2.2.1.4

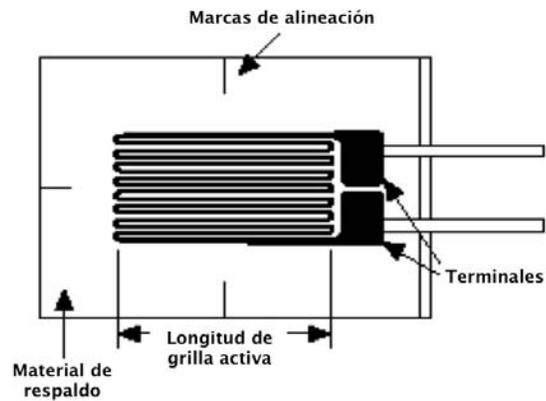


Figura 2.2.1.4. Galga extensométrica

El factor de galga de un extensómetro es dado por el fabricante, el cual se denomina factor de calibración, en inglés “Gage Factor” que debemos conocer para ingresarlo en el equipo de medición.

El factor de galga para una galga extensométrica de tipo Foil es de aproximadamente 2.

### 2.3 Anisotropía Mecánica.

En un principio se consideró hacer probetas basadas en la norma ASTM 143-94 y NTC944 como lo muestra la Figura 2.3.1

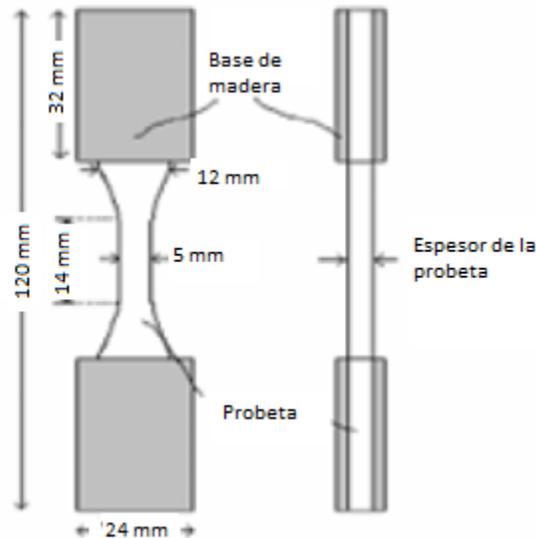


Figura 2.3.1.- Medidas de probeta de madera; normas ASTM 143-94 e ISO TC-165 del INBAR.

Las muestras se colocaron en una máquina para pruebas de tensión, donde se le indujo carga a la primera muestra a una velocidad de 0,25mm/min.

Al momento de la prueba, se observó que la probeta se desplazaba de las mordazas moleteadas con poca fuerza inducida. Las mordazas no se pudieron apretar más alrededor de la muestra ya que se empezaban a abrir las fibras del material como se muestra en la figura 2.3.1.



Figura 2.3.1.- Muestra con marcas generadas por la prensa, debido a la presión ejercida.

En conclusión, se decidió no usar este tipo de probetas, pues debido a la naturaleza del material, fue imposible su anclaje mediante mordazas.

## 2.4 Prueba de Flexión.

Se optó por realizar muestras de carrizo en formas de tiras con sección transversal rectangular. En la figura 2.4.1 se observa cómo fueron cortadas las muestras.



2.4.1.-Figura - Vista frontal de las muestras ya desbastadas.

Después de generar las muestras en tiras, se procedió con el pegado de las galgas, pues es de suma importancia que las galgas estén bien adheridas sobre la pieza para que las deformaciones provocadas por la fuerza sean transmitidas adecuadamente desde la pieza a través del adhesivo.

Las pruebas se realizaron en una configuración de cuarto de puente, en un estado biaxial de deformaciones, de un elemento sujeto a flexión tipo viga en cantiléver, a temperatura ambiente a medio día y carga variable, pues es una forma de analizar el comportamiento Esfuerzo-Deformación. Dicho arreglo nos permitirá conocer el Esfuerzo de cedencia, el Módulo de Young y la relación de Poisson en el material. Concretamente, el caso estudiado se refiere a un elemento tipo viga en cantiléver con carga puntual en su extremo libre.

Para poder realizar la prueba, la muestra se fijó mediante prensas en “C”, mostradas en la figura 2.4.2, cuidando de colocarlas fuera del nudo siguiente a la colocación de la roseta a  $90^\circ$ , y así evitar que la presión ejercida por la prensa no interfiriera en la medición, ya que en las primeras pruebas se encontró que los extensómetros transversales salían de rango con muy poca presión de la prensa.



Figura 2.4.2.- Vista superior de la muestra empotrada.

Para poder medir las deformaciones generadas por las cargas se pegaron extensómetros en lugares específicos de la muestra, con el fin de conocer las deformaciones que se generaban debido a las fuerzas aplicadas.

Los extensómetros que se emplearon fueron del tipo EA-06-062TT-120, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la dimensión de la probeta y al material.

Las muestras fueron cortadas en formas de vigas con sección compuesta, esto debido a la forma natural del carrizo, los extensómetros fueron pegados en la superficie superior e inferior a la misma distancia del empotramiento. En la figura 2.4.3 se muestra, mediante un esquema, la ubicación y orientación de los extensómetros en una muestra de las ensayadas en el presente estudio.

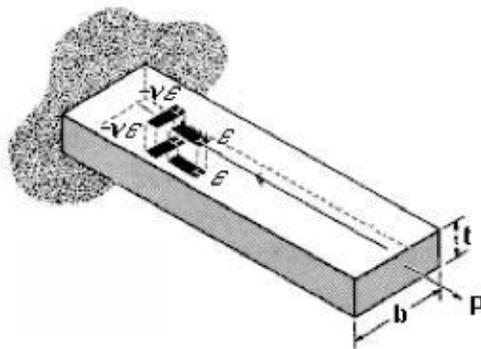


Figura 2.4.3- Esquema general de una muestra instrumentada.

En la Tabla 2.4.1 se muestran las distancias en la viga, tomando como referencia el empotramiento, a las cuales se colocaron cada uno de los arreglos de extensómetros. En cada una de las muestras se colocaron dos arreglos de extensómetros, los cuales fueron sometidos a tensión y compresión.

Tabla 2.4.1 .Tabla de características y distancias a las cuales se colocaron las galgas en las muestras.

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de extensómetro</b>	<b>X1(m) Superior</b>	<b>X2(m) Inferior</b>
1	EA-06-062TT-120.	0.00515	0.006190
2	EA-06-062TT-120.	0.02580	0.02578
3	EA-06-062TT-120.	0.02156	0.02160

Debido a la naturaleza del material, que presentaba dos superficies, se optó por pegar dos arreglos de extensómetros. Los arreglos de extensómetros fueron colocados en la muestra a diferentes distancias mostradas en la figura 2.20, tomando como referencia el empotramiento.

El arreglo de extensómetros está compuesto por un extensómetro colocado de manera horizontal y otro de manera vertical como en la figura 2.21, lo que hizo posible medir las deformaciones en el eje longitudinal y, a la vez, poder medir las deformaciones de manera transversal en la muestra.



Figura 2.4.4.- Arreglo de extensómetros.

## 2.5 Mediciones con galgas extensométricas.

En la práctica, las mediciones con extensómetros raramente involucran cantidades mayores que unas pocas microdeformaciones ( $\mu\epsilon$ ). Por lo tanto, para medir las deformaciones y posteriormente aplicar la Ley de Hooke se requiere de máxima precisión sobre pequeños cambios de resistencia. El factor de galga es la calibración que proporciona el fabricante de las galgas. Suponiendo que una pieza de prueba sufre una deformación de  $500\mu\epsilon$ . Un extensómetro con un factor de galga de 2 mostrará un cambio en su resistencia eléctrica de  $2*(500*10^{-6})=0.1\%$ . Para una galga de  $120\Omega$ , es un cambio sólo de  $0.12\Omega$ . Para medir cambios tan pequeños de resistencia y compensar la sensibilidad térmica, los extensómetros son medibles con un puente de Wheatstone.

El circuito general de puente de Wheatstone (figura 2.5.1), consiste en cuatro brazos resistivos con una excitación de voltaje, VEX, que se aplica a través del puente. El voltaje de salida del puente, V0, es igual a la siguiente ecuación.

$$V_0 = \frac{R_3 R_3 + R_4 - R_2 R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_3 R_4} V_{EX}$$

Ec. 2.5.1

Donde

R1= Resistencia 1

R2= resistencia 2

R3= Resistencia 3

R4= Resistencia 4

C= Compresión

T= Tension

V<sub>EX</sub>= Voltaje Exterior

V<sub>0</sub>= Voltaje 0

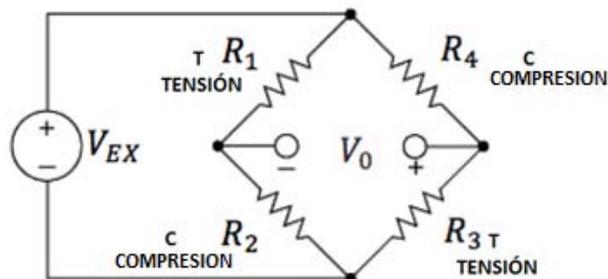


Figura 2.5.1 Puente de Wheatstone.

De la ecuación 2.5.1 anterior, cuando se da que  $R_1 R_2 = R_4 R_3$ , el voltaje de salida  $V_0$  es nulo. Bajo estas condiciones, se dice que el puente se encuentra balanceado. Cualquier cambio de resistencia sobre cualquier brazo del puente, resultará en una salida del puente voltaje no nula. Por lo que si se reemplaza  $R_4$  con un extensómetro activo, cualquier cambio en la resistencia del extensómetro causará el desbalance del puente y producirá una salida no nula proporcional al voltaje producido por la carga aplicada.

Para realizar las mediciones de la deformación experimentada por cada extensómetro, se utilizó un indicador de deformaciones portátil P-3. La conexión de cada extensómetro al dispositivo de medición fue en un arreglo de cuarto de puente (figura 2.5.2) debido a que nos interesaba seguir la evolución de la deformación en cada uno de ellos.

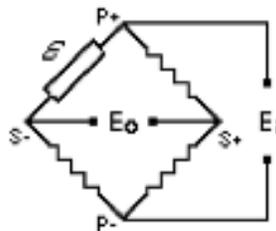


Figura 2.5.2 -Arreglo de resistencias en  $\frac{1}{4}$  de puente.

Esta configuración longitudinal de la galga responderá a las cargas de flexión pero es inafectada por las cargas torsionales si la galga se monta en la línea central.

Con el P-3 ilustrado en las figuras 2.5.3 fue posible registrar la mediciones de los extensómetros ubicados en la muestra, pues este equipo tiene 4 canales para la conexión de extensómetros, además, con este equipo se hizo posible realizar una captura de datos de cada extensómetro por segundo.

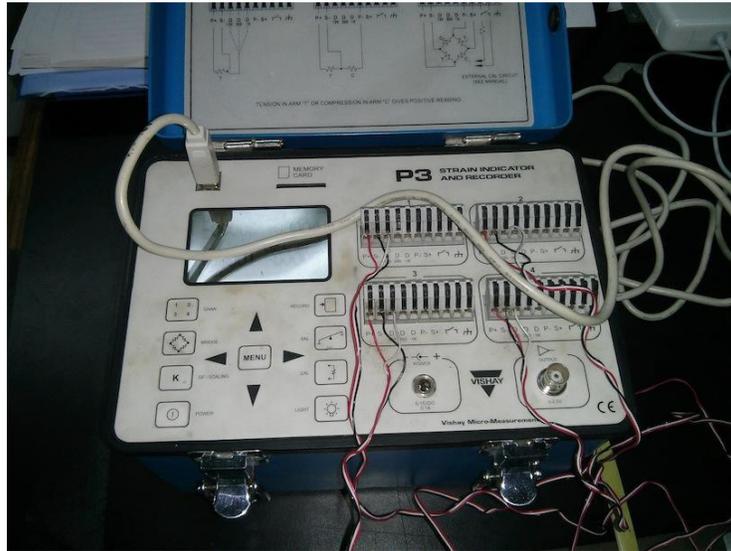


Figura 2.5.3.- Medidor portátil de deformaciones modelo P-3 marca Micro-Measurements.

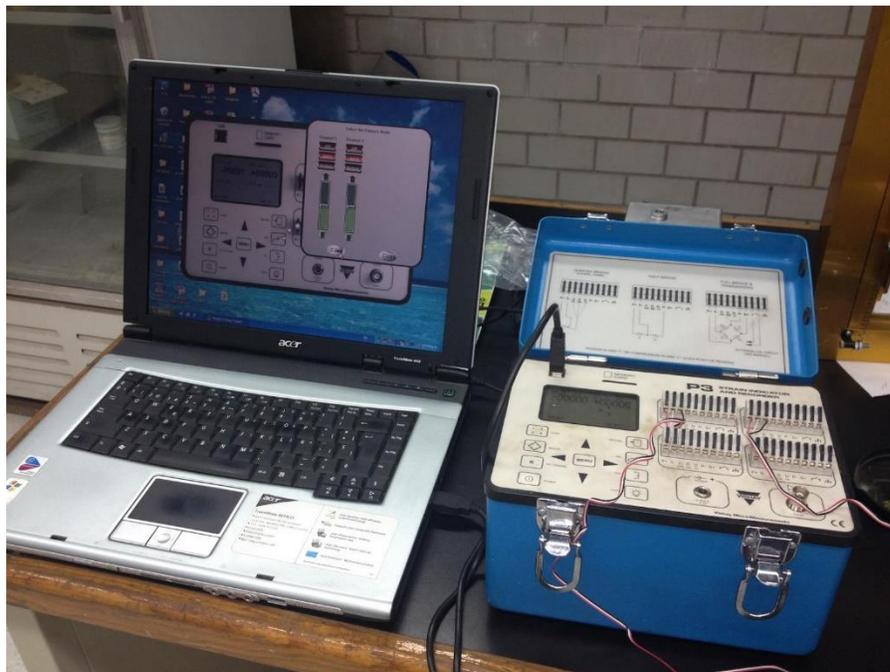


Figura 2.5.4.- Conexión del P-3 vía USB, para el registro de las deformaciones.

## 2.6 Sección transversal de la muestra.

Para poder proceder con el cálculo de los esfuerzos en las muestras instrumentadas, se recurrió al uso de SolidWorks 2014, elaborándose un modelo de cada muestra.

Esto debido a que las secciones transversales de cada una de las muestras son irregulares y diferentes entre si, lo que hizo muy compleja la obtención del centroide y momento de inercia que se aplican en la siguiente ecuación.

$$\sigma_x = \frac{F(\ell - x_0) \frac{c}{2}}{I} \quad \text{Ec. 2.6.1}$$

Dónde: F, fuerza aplicada en el extremo libre.

$\ell$ , distancia del empotramiento hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$x_0$ , distancia del empotramiento hasta el centro de la galga.

$\frac{c}{2}$ , distancia del centroide de la sección transversal hasta la superficie.

I, momento de inercia.

El proceso para la obtención de estos datos se basó en dos pasos; primero se elaboró un modelo de cada una de las muestras, como se observa en la figura 2.6.1

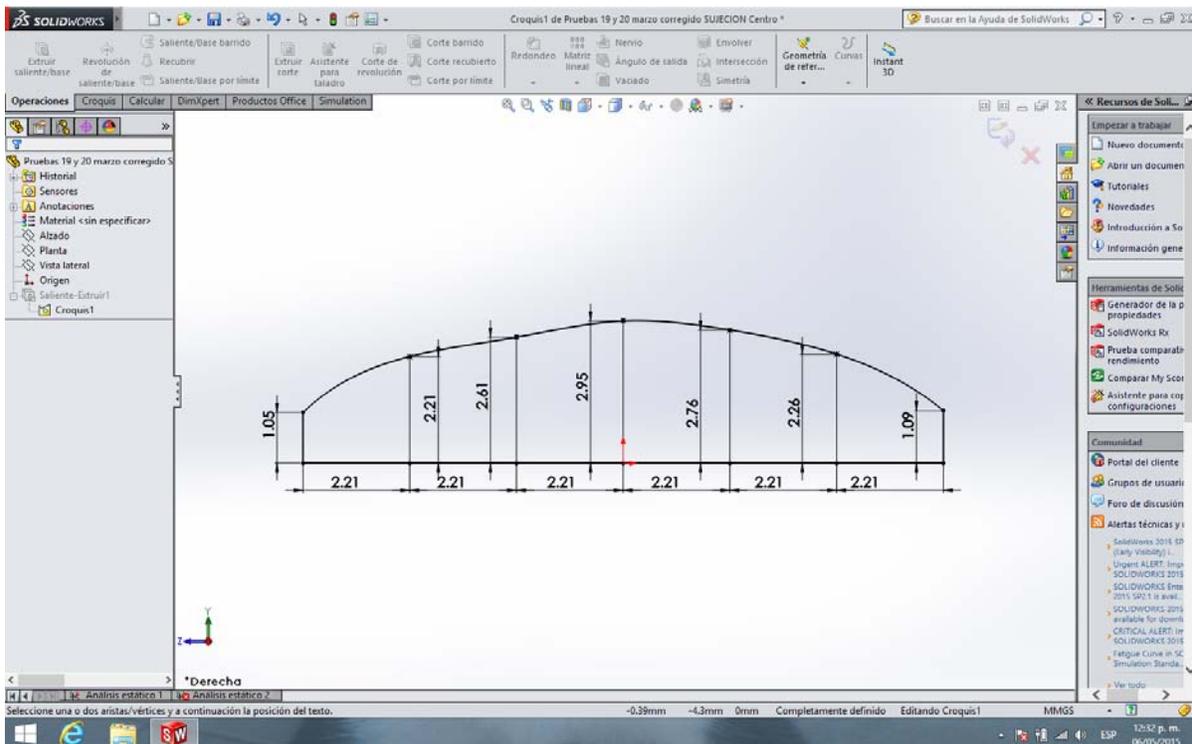


Figura 2.6.1.- Croquis con medidas de la sección transversal de una muestra de carrizo.

El segundo paso fue usar una herramienta de SolidWorks, que se llama propiedades de la sección transversal figura 2.6.2.

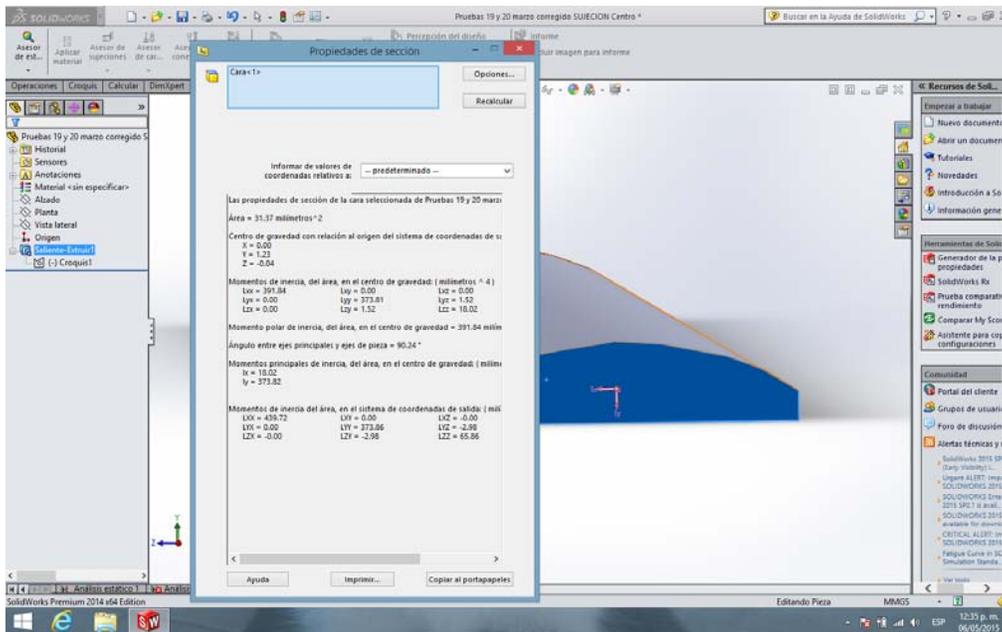


Figura 2.6.2.- Propiedades se sección transversal de la muestra de carrizo.

## 2.7 Análisis Mecánico.

### 2.7.1 Caracterización del carrizo.

Se realizara un carro de carrizo de aproximadamente 1.60 x 1.20 mts y a las varas usadas se les realizaran pruebas de flexión en probetas, dispuestas en voladizo, se recurrió a la técnica experimental de extensometría eléctrica por lo que se realizó la instrumentación con strain gages de la serie EA-13-062LZ-120 de Micro-Measurements, que miden microdeformaciones longitudinal.

Se pegaron los sensores en la parte superior e inferior de la probeta, figura 2.7.1.1 1(b) - (c) - (d), es decir, tanto en la cáscara del carrizo como en la fibra, respectivamente.

La prueba consistió en colocar paulatinamente pesas de 25 gr en la sección libre de la viga en voladizo, hasta que se perdiera la proporcionalidad de las microdeformaciones que se iban presentado con cada incremento, figura 2.7.1.1. (d).

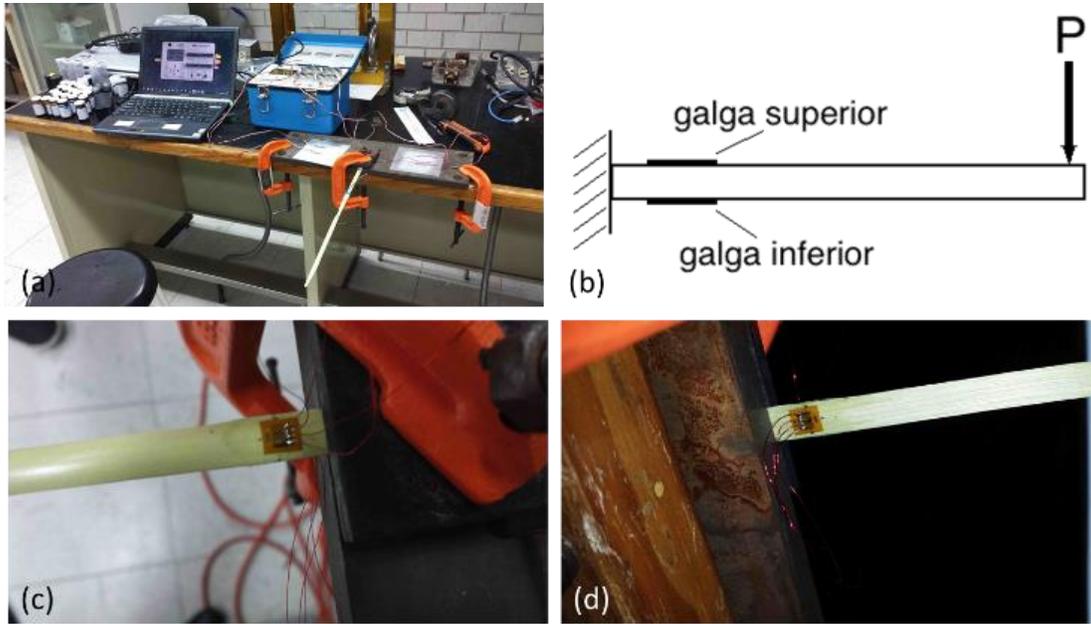


Figura 2.7.1.1 – Caracterización del Carrizo (a) probeta, indicador de deformación modelo P3 de Micro-measurements y computadora para adquisición de datos; (b) esquema del arreglo en voladizo con carga puntual en el extremo libre de la probeta; (c) roseta colocada en la parte superior de la probeta; (d) roseta colocada en la parte inferior de la probeta.

El esfuerzo normal se calculó con la siguiente ecuación.

$$\sigma(1) = \frac{F(\ell-x)c}{I} \quad \text{Ec. 2.7.2}$$

En donde:

- $\ell$  – largo
- $x$  – distancia del empotramiento al centro de la galga
- $I$  – momento de inercia
- $c$  - distancia del eje neutro a la galga

## 2.8 Caracterización mecánica del carrizo.

Las probetas ensayadas para la caracterización del material fueron obtenidas del carrizo del cual fue elaborado el chasis elegido. Como es bien sabido la prueba que resulta bastante común para conocer las propiedades de un material es la de tensión; este fue el primer paso que se dio para caracterizar el material. Se presentó el problema de sujeción con las mordazas del equipo (máquina de ensayo de tensión uniaxial modelo MTS 858 MINIBIONIX), no se pudo aplicar una carga mayor a 40 N debido a que el carrizo se desgarró en dirección longitudinal (en la misma que es aplicada la carga). Se probaron varios tipos de mordaza pero ninguna logró sujetar la probeta adecuadamente. Por lo anterior se optó por realizar pruebas de flexión en probetas dispuestas en voladizo, se recurrió a la técnica experimental de

extensometría eléctrica por lo que se realizó la instrumentación con 2 rosetas rosetas como se muestra en la figura 2.4.4, de la serie EA-06-062TT-120 de Micro-Measurements, que miden microdeformaciones longitudinal y transversalmente. Así como con un strain gage longitudinal de la serie EA-13-062LZ-120.

Se pegaron rosetas en la parte superior e inferior de la probeta, figura 2.7.1.1 (c) y (d), es decir, en la cáscara del carrizo como en la fibra, respectivamente. Cabe mencionar que se presentó un problema en la primera instrumentación realizada, los strain gages se colocaron cerca del empotramiento lo cual generó que al empotrar la probeta con la prensa, las fibras del carrizo se abrieran generando una deformación transversal en el material y por tanto en las galgas, lo que provocó que se salieran de rango y por tanto quedarán inservibles.

Se instrumentó de nuevo, una probeta con una sola roseta y otra con una galga longitudinal muy cerca del nudo para limitar la deformación transversal del material, Fig. 2.8.1, y del otro lado del nudo se pegaron las galgas. Esto solucionó el problema.

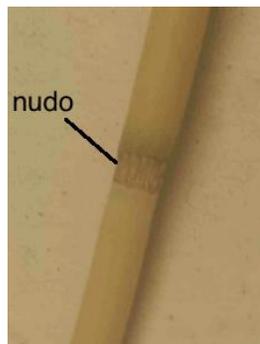


Figura 2.8.1 Muestra de carrizo

## **2.9 Caracterización mecánica resultados.**

Se analizaron dos muestras del carrizo utilizado para la construcción del chasis. Las dimensiones se muestran en la tabla 2.9.1. Los resultados corresponden a la roseta y la galga colocadas en la parte superior de las probetas.

Las gráficas obtenidas de las pruebas se muestran en la figura 2.9.1 (sólo se graficó la parte lineal).

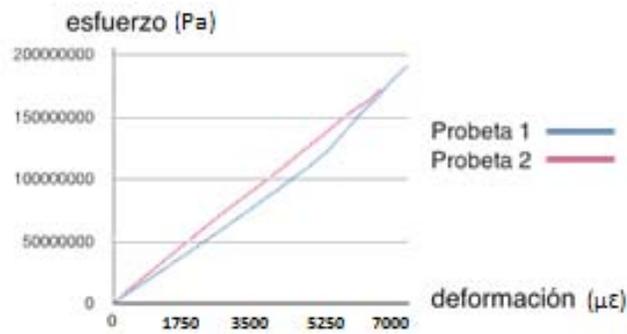


Figura.2.9.1 Diagrama Esfuerzo-Deformación

El esfuerzo normal se calculó con la ecuación 2.7.2

Tabla 2.9.1. Dimensiones y propiedades mecánicas de las probetas

Probeta	$l$ (cm)	$x^*$ (cm)	$h$ (cm)	$b$ (cm)	$\sigma_y$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\nu$
<b>1</b>	6.35	0.5	0.15	0.85	190.9	28.5	0.48
<b>2</b>	10	1	0.15	0.9	181.7	26.5	0.65

Donde:

- $l$  – largo
- $x$  – distancia del empotramiento al centro de la galga
- $h$  – altura de la sección transversal
- $b$  – ancho de la sección transversal
- $\sigma_y$  – esfuerzo de fluencia
- $E$  – Módulo Elástico
- $\nu$  – Relación de Poisson
- $c$  – Distancia del eje neutro a la superficie de la probeta
- $I$  – Momento de inercia

El módulo de Young se obtuvo con la pendiente que presentó cada uno de los diagramas.

Es de resaltar que el material presenta un comportamiento lineal en el rango mostrado en el diagrama de la figura 2.9.1, después de éste, el comportamiento es no lineal y plástico ya que al retirar la carga al material ya no regresó a su configuración inicial, los diagramas de la figura 2.9.1 sólo comprenden esta parte.

# CAPÍTULO III

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CHASIS.

En los últimos años la industria automotriz ha implementado muchas innovaciones tecnológicas que han hecho que el concepto de un automóvil se redefina en los niveles de: prestaciones mecánicas, aumento de confortabilidad, aumento en seguridad activa y pasiva, reducción de peso, reducción de consumo de combustible, reducción de emisiones de gases contaminantes, etc.

Uno de los factores que son determinantes para que el automóvil tenga un constante avance hacia nuevos niveles de desarrollo, han sido los adelantos que se tienen en la ciencia de la metalurgia. Los progresos que se han tenido en esta materia han posibilitado una mejora en la industria automotriz en el campo de diseño y desarrollo de carrocerías, ya que se tienen nuevos materiales que son más ligeros, permitiendo una reducción de peso, lo cual contribuye a que se necesite menos energía para mover un auto, pero sin sacrificar la resistencia que este necesita para no mermar la seguridad estructural del vehículo.

Las condiciones a las que está sujeta la carrocería (chasis) hacen necesaria la utilización de materiales con propiedades físicas, químicas y mecánicas muy definidas, esto hace que los materiales que antes se utilizaban, y que ya no cumplen dichas necesidades, sean obsoletos.

La resistencia y capacidad de absorción de energía de la carrocerías, que es fundamental en la seguridad para los ocupantes en caso de un choque, depende fundamentalmente de los materiales con los que esté construida, del espesor (aproximadamente de 0.5 a 3 milímetros, dependiendo del esfuerzo al que vaya a estar sujeta la pieza) y su forma, que marcará su capacidad para soportar cargas.

Otro factor a tomar en cuenta desde el punto de vista de la seguridad, es la ligereza del material y su capacidad de deformación, esto es que entre más ligero sea un automóvil será menor la energía que tenga que disipar en un impacto en comparación con un vehículo en el que la masa sea mucho mayor.

Para la elaboración un chasis se soldan piezas de láminas estampadas, el material más utilizado para la fabricación de los mismos es el acero aleado con distintos elementos. El principal problema es que el acero tiene una densidad muy alta, lo que conlleva a que las estructuras generadas con este material sean muy pesadas, pero debido a las excelentes propiedades mecánicas, así como su bajo costo de producción, la facilidad de fabricación, la viabilidad de este para hacer diseños más elaborados, han hecho que el acero siga vigente y que sea el material que más se sigue utilizando en la industria.

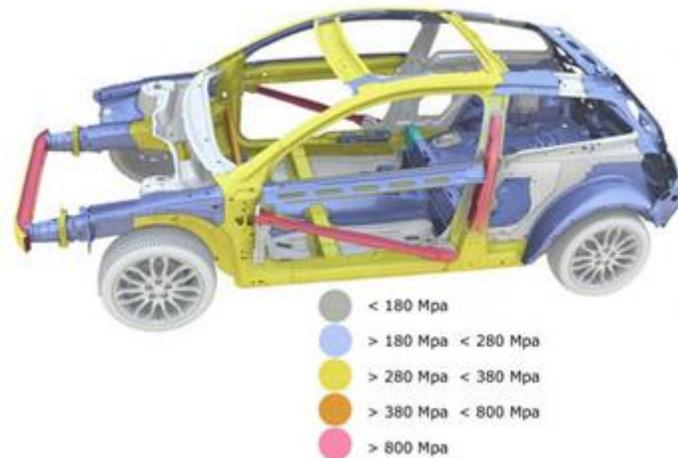


Figura 3.1 Estructura de una carrocería

### 3.1 Análisis Estructural (dinámico) de chasis automotriz a escala de carrizo.

#### 3.1.1 Proceso de construcción del chasis.

Las bondades que proporciona el carrizo nos han permitido hacer varios prototipos de carros RC a escala, todos estos sin comprometer la rigidez estructural con respecto a materiales comúnmente utilizados, lo que conlleva a que sea seguro para proteger partes frágiles. Por los buenos resultados obtenidos en los carros RC (a escala), como ya se dijo, se decidió hacer un chasis para un vehículo más grande en el que pudiera haber una persona.

Sólo que en este caso difiere de la tesis “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL CARRIZO (ARUNDO DONAX) Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN CHASIS-SUSPENSIÓN ELABORADO DEL MISMO MATERIAL PARA UN VEHÍCULO A ESCALA” [28] ya no se utilizarán las varas de carrizo; si no que en este caso se utilizará todo el carrizo en su forma tubular.

Primero se adquirió la materia prima, la cual tenía que ser de muy buenas características, ya que el carrizo se da en casi cualquier parte, pero tiene mejores propiedades, para el uso que le dimos, si está en un lugar donde tenga a su disposición una gran cantidad de agua.

En busca de un carrizo de excelentes características se optó por iniciar la búsqueda de algún lugar que cumpliera con dichas peculiaridades, el lugar de donde se obtuvo fue: En el municipio de Tlaquiltenango, Estado de Morelos.

Este municipio se escogió por el ambiente en el que comúnmente se encuentra esa zona (gran cantidad de humedad, ya que llueve muy seguido), el carrizo se obtuvo a orillas del Río Yautepec.

El carrizo crece en “manchones”, es decir, que crece en grupos circulares de muchos carrizos y se va expandiendo. La selección de la materia prima se hizo de forma visual. Esta selección tomó algunos parámetros como: el periodo de vida en el que se encontró, el grosor del carrizo, que tuviera un color verde, que no estuviera opaco. Una vez seleccionado se procedió a cortar los carrizos, el corte se realizó lo más cercano al piso.

Una vez que se tenía disponible la materia prima, se inició con la elaboración del chasis.

Aparte de la selección inicial al momento de cortar el carrizo y antes de iniciar la construcción se hace una selección del material por algunos factores que pueden afectar la construcción como: después del corte se deshidrata, algunas varas tienen forma demasiado irregulares, más de lo común, es decir, no están derechos.

Terminada la nueva selección se procedió a hacer el ensamble del chasis, este se realizó con la fabricación de secciones para su posterior unión.

Primero se propuso un diseño en el cual nos basamos para poder hacer el chasis, este tenía que cumplir con un tipo de diseño “space frame” como se menciona en el apartado 1.2.1.4, en el cual todos sus elementos están sujetos únicamente a tensión y compresión, para lo cual el carrizo tiene gran resistencia, el diseño se puede observar en la figura 3.1.1.1

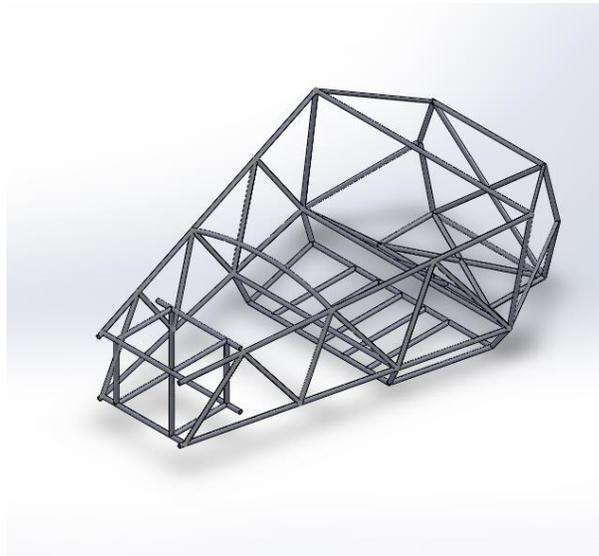


Figura 3.1.1.1.- Primer prototipo digital.

Con el prototipo digital se comenzó a elaborar el real, y sirvió para poder dimensionar las varas que se utilizaron, asimismo durante el proceso se observó que algunos ensambles resultaban muy complejos, por lo que el diseño final sufrió modificaciones comparado con el prototipo digital inicial.

Con las medidas de las varas que se van a utilizar, se procedió a cortarlas con la sierra circular y con la sierra cinta.



Figura 3.1.1.2.-Corte del carrizo con sierra circular.

Algunos tubos de carrizo requerían un corte tipo “boca de pescado” para poder ensamblarse, esta se realizó con una broca de corona de 1”. En ocasiones, por la naturaleza del diseño, hubo que hacer un corte diferente a lo normalmente utilizado (corte perpendicular respecto a la longitudinal de la vara), este corte requiere de un ángulo especificado.

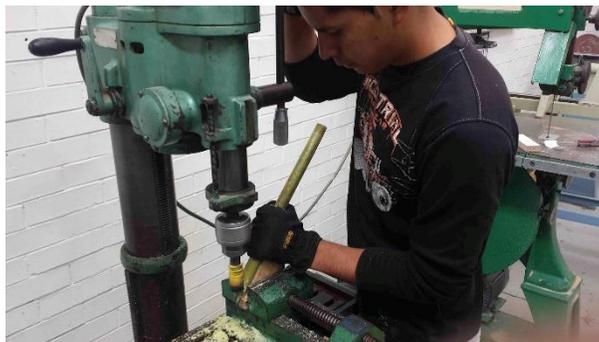


Figura 3.1.1.3.-Corte del carrizo con broca de corona de 1”.

Después se realizó un barreno al carrizo a aproximadamente 1 a 2 pulgadas del extremo más próximo. En este barreno se colocó un pequeño trozo de carrizo, que funcionó como un perno para que de éste se hiciera la sujeción con hilo. Se utilizó un hilo de aproximadamente 3 metros de longitud, el cual se fue enrollando alrededor de los carrizos y sujetándose en cada vuelta en el perno para tensar el hilo y asegurar que los carrizos formarán una estructura rígida. Para terminar por colocar una resina epóxica para evitar que el hilo pueda soltarse o por accidente llegar a cortarlo y se afloje o suelte el amarre.



Figura 3.1.1.4.- Corte en carrizo tipo “boca de pescado”.

Este proceso se siguió en todo el chasis para asegurar que las uniones fueran lo mejor posible, se utilizó una mesa que se encuentra en el anexo de maderas de laboratorio L-1 de la FES Aragón. Dicha mesa tenía unas prensas las cuales se podían abrir a las medidas solicitadas, y en uno de sus extremos unos tornillos sin fin con el que se hacía el ajuste final para la sujeción.

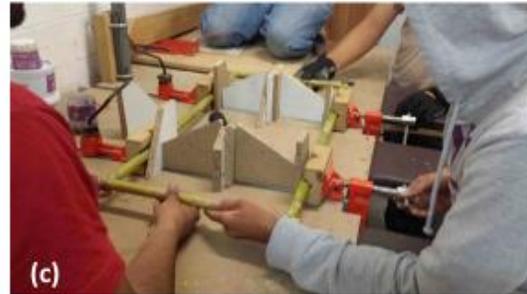
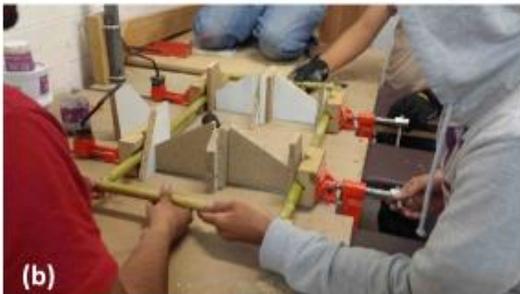


Figura 3.1.1.5 – (a) Preparación de un subensamblaje antes de unir los carrizos con hilo; (b) Ajustando el subensamblaje con tornillo sin fin; (c) Subensamblaje lateral terminado, unido con hilo y resina epóxica.

Ya teniendo los subensambles, se unen para así ir creando el chasis completo, igualmente se siguió con el mismo proceso de unión con hilo.



Figura 3.1.1.6.-Chasis completo ensamblado.

Una vez terminado el ensamblaje del chasis se inició con el proceso de adaptación para las ruedas y la suspensión.

Primero se inició con la forma en que se pondrían las ruedas. Se propusieron soluciones para poner los brazos de las ruedas, inicialmente se optó por utilizar una pieza “Y” de PVC de 2” el cual se cortó por la mitad para acoplarlo al carrizo y este unido por 2 abrazaderas sin fin.

Así mismo se utilizaron unas donas de hule con dos propósitos, uno el de evitar el aplastamiento del material y que esto pudiera ocasionar que se fracturara, el segundo fue que dicha pieza de hule fungirá como buje, que como ya se dijo en el capítulo 1, este tiene la función de permitir el movimiento oscilatorio, reducen ruidos y por las propiedades del material del que están hechos absorben cierta cantidad de energía.



Figura 3.1.1.7.- Pieza de PVC para acoplar brazos de la rueda, con buje de hule.

La solución de la pieza de PVC tenía limitantes por la geometría que esta tiene. Una de ellas fue que la goma de hule se aplastaba de forma irregular por lo que no cumplía con el propósito. Otra limitante que se observó era que todas las entradas de la pieza de PVC tienen el mismo diámetro de salida, por lo que en el extremo que saldría hacia la rueda quedaría demasiado grande respecto a las varas de carrizo, ya que la pieza de PVC tenía una abertura de más de 2” y el carrizo utilizado en promedio tiene un diámetro de 1”.

Por lo tanto se decidió hacer dicha pieza de acero, con la ventaja que para ésta se podían utilizar dos diámetros diferentes (un tubo de 2” para el que lleva el buje y de 1.25” para el brazo de la rueda) y soldarlos al ángulo necesario.



Figura 3.1.1.8.- Pieza de acero para acoplar brazos de la rueda, con buje de hule.

Ya que se notó que era una buena solución a las necesidades, ésta se adoptó y se reprodujo para montar las ruedas, por lo que se realizaron 16 Piezas para las 4 ruedas.

Dichas piezas están sujetas tanto al chasis como a la masa de la rueda, que pertenecen al peso no suspendido del vehículo (como se describe en el capítulo 1). Para sujetar los brazos de carrizo a las masas de las ruedas, estas tuvieron que ser modificadas en el caso de las ruedas traseras y fabricadas para el eje delantero.

Para ajustar la suspensión se utilizó un ángulo de acero de 1.5" en el cual en uno de sus lados se soldaron tres tubos de acero de 1.25" para que en estos entraran las varas de carrizo que fungirán como elemento elástico y de amortiguación. El perfil con los tubos soldados se montó en la parte superior de las masas de las ruedas separadas de éstas aproximadamente 10 cm con una varilla roscada, esto para que tuviera el movimiento vertical natural de la suspensión. Ya que se acoplo la estructura se pusieron las varas de carrizo de aproximadamente 1" de diámetro.



Figura 3.1.1.9.- Chasis con ruedas y varas de carrizo para la suspensión.

Una vez terminado el chasis, se procedió a hacer la actualización del diseño en el programa Solidworks con el fin de analizar si el diseño era apto para soportar las cargas al que estaría sometido y que no fuera susceptible a una posible fractura del material.

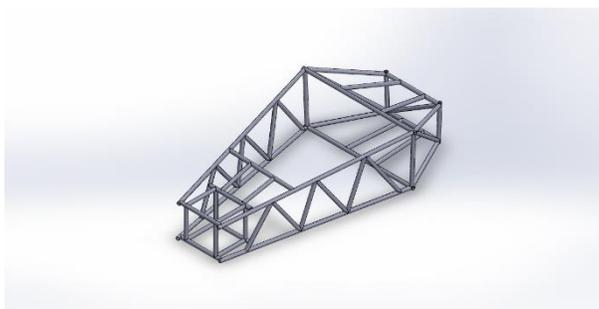


Figura 3.1.1.10.-Chasis digital actualizado.

Con el chasis digital actualizado se procedió a hacer un análisis de elemento finito para observar los esfuerzos a los cuales estaría sometido y determinar si el diseño era resistente.

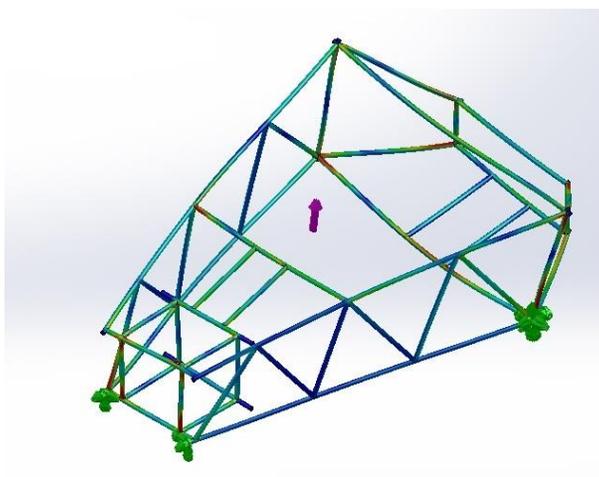


Figura 3.1.1.11.-Chasis actualizado analizado.

Con el análisis de elemento finito que se realizó, se notó que en el chasis había gran concentración de esfuerzos en zonas específicas, lo que hacía que fuera muy propenso a romperse. Se realizó un rediseño, enfocado en reforzar al chasis para que la distribución de esfuerzos fuera mejor y así aminorar la probabilidad de falla.

Se reforzaron los nodos de la estructura, orientándose de tal manera que en los nodos se tuvieran más elementos y entre todos se distribuyeran los esfuerzos, a más elementos, menor concentración de esfuerzos en cada uno.



Figura 3.1.1.12.- Chasis reforzado.

El chasis como se ve en la figura 3.1.1.12 es como finalmente quedó, este chasis fue analizado por el método de extensometría eléctrica, más adelante se mostrará a detalle el análisis al cual fue sometido, para así determinar que éste cumpliera con la rigidez buscada.

Así como nuestro primer diseño del chasis tenía ciertas deficiencias, también se identificaron algunas en la suspensión, por lo que a ésta se le aplicó un rediseño en busca de que cumpliera con su objetivo, el cual se explicó en el apartado 1.3.

En dicho diseño se buscó una forma en la que el carrizo trabajara como una suspensión de tipo ballestas, para lo cual se necesitó de una estructura a la cual pudiera estar empotrada y otra que tuviera la libertad de movimientos verticales. Desde el punto de vista la mecánica de sólidos, que se describió en el capítulo 2, dicha configuración de la suspensión trabaja como una viga en cantiliver.

Para hacer este rediseño se hizo otra estructura empotrada al chasis, respetando que todos los elementos, que iban a conformar la nueva estructura, tuvieran sus extremos en algún nodo del chasis y así tener una mejor distribución de esfuerzos, siguiendo en lo mayor posible el tipo de diseño “space frame”.

Como la estructura que va montada en la parte superior de la masa de la rueda para la suspensión tenía una altura específica, se hizo que la nueva estructura para la suspensión también cumpliera con dicha altura.

Se inició con un par de bases cuadradas como se muestra en la figura 3.1.1.13 (a) de carrizo en las cuales se montaron 6 tubos de PVC de 1.5” mostrada en la figura 3.1.1.13 (b), una base era para el eje delantero y la otra para el eje trasero.

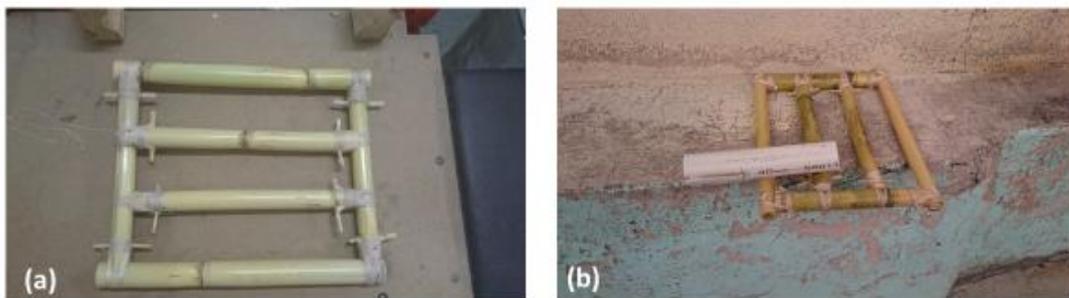


Figura 3.1.1.13.- (a) Base de carrizo para la suspensión; (b) Base de carrizo con un tubo de PVC de 1.5”.

Ya que se tenían hechas las bases con sus tubos, se procedió a fijarlos a la estructura del chasis, respetando la altura antes mencionada.



Figura 3.1.1.14.-Los carrizos verdes son los que formaron parte de la estructura para la suspensión.

Esto se hizo tanto en la parte trasera como en la delantera. Posteriormente a los tubos de PVC se les cortó una abertura para que entrara el carrizo, el cual trabajara como suspensión, y se fijará con la ayuda de una abrazadera sin fin. Con el objetivo de evitar el aplastamiento del material, se utilizó un recubrimiento de hule.

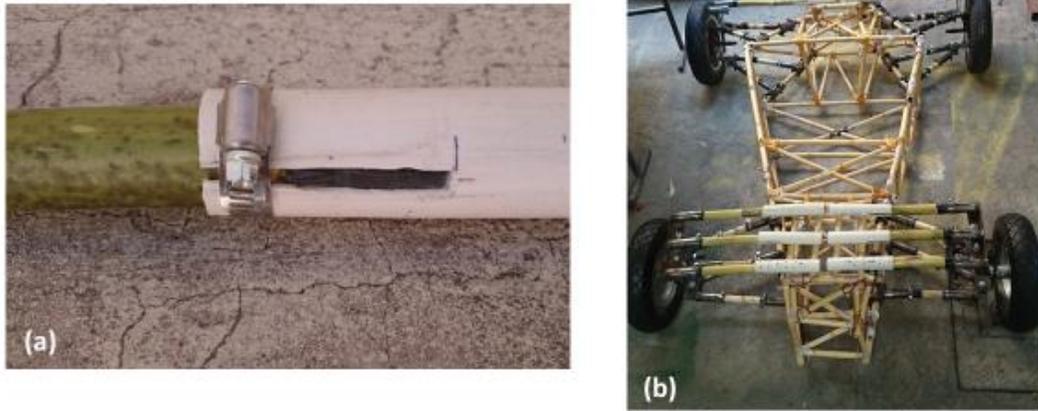


Figura 3.1.1.15.- (a) Unión de carrizo y tubo de PVC con abrazadera sin fin y recubrimiento de hule en el carrizo; (b) Chasis terminado.

### 3.2 Concentración de esfuerzos en el chasis.

Para conocer los puntos donde se concentraban más esfuerzos, se elaboró un modelo del chasis, la estructura se dibujó en SolidWorks 2014 figura 3.2.1, con las medidas obtenidas de la estructura del chasis, cuidando cada detalle y curvas presentadas en el prototipo.

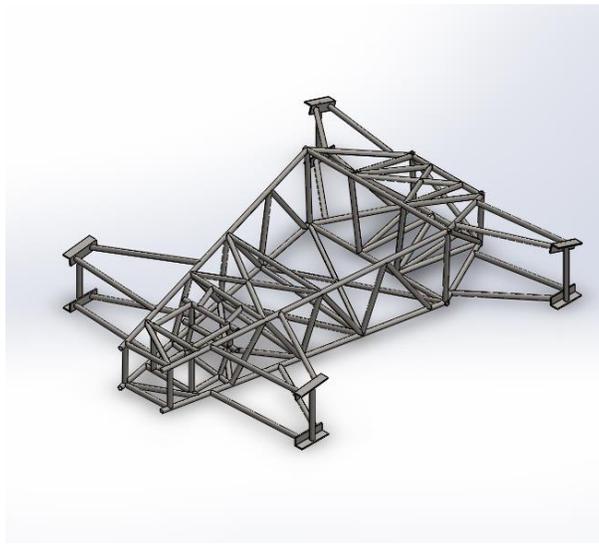


Figura 3.2.1.-Estructura del chasis en SolidWorks.

Para la simulación se colocaron unas tablas ya que en el análisis experimental éstas se utilizaron para reproducir el peso de una persona y el peso del motor.

En el siguiente paso, se seleccionan los puntos de anclaje en la geometría mostrada en la figura 3.2.2.

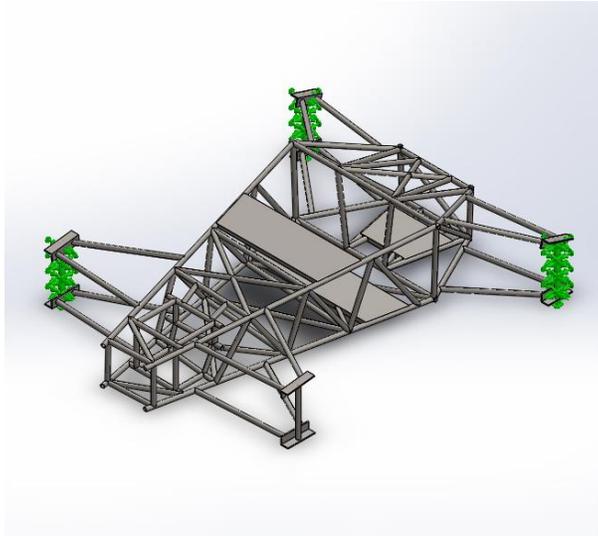


Figura 3.2.2.- Puntos de anclaje en la estructura chasis.

Se procede a seleccionar la dirección y la magnitud de la fuerza figura 3.2.3.

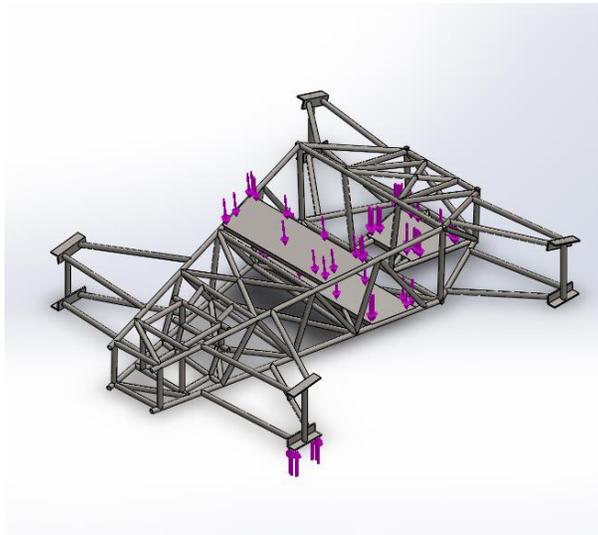


Figura 3.2.3.- Dirección de la fuerza que se aplica en la estructura del chasis

Como paso final del post-procesado se malla la estructura figura 3.2.4.

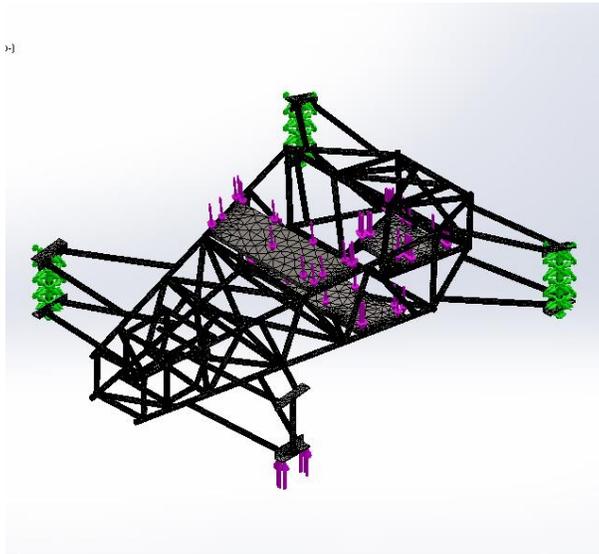


Figura 3.2.4.- Mallado aplicado en la estructura chasis.

El siguiente paso fue someterla a una simulación de cargas, en donde se fijaron una, dos y tres esquinas donde van las ruedas y colocando fuerzas en dirección transversal al eje longitudinal de la estructura. En la figura 3.2.5, se puede apreciar la ubicación de las fuerzas.

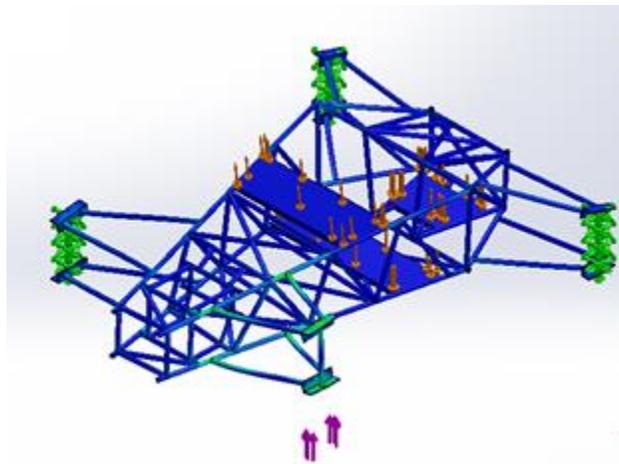
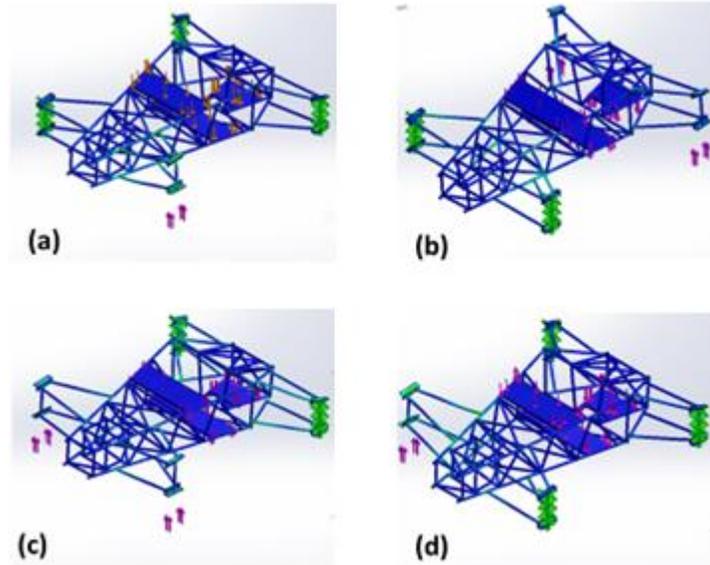
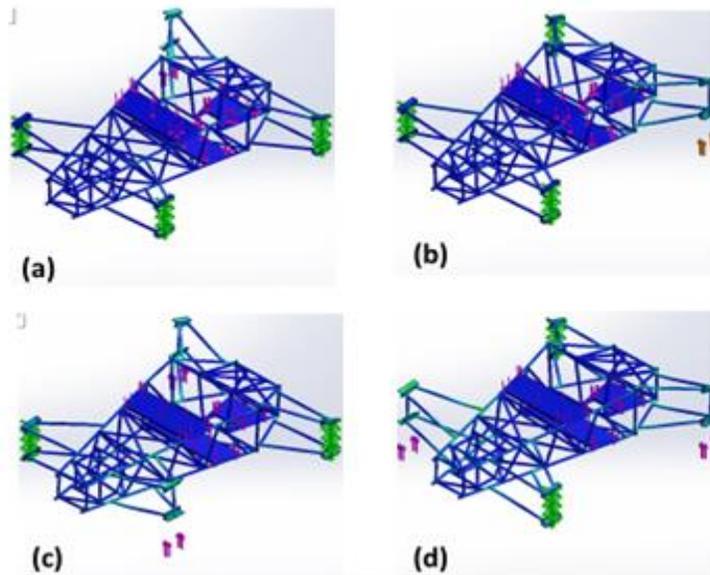


Figura 3.2.5.- Simulación del chasis con carga en rueda delantera izquierda..

Este mismo proceso se repitió considerando diferentes escenarios claves y así apreciar los puntos críticos en la estructura mediante la simulación. Estos escenarios son los considerados peculiares bajo los cuales estará sujeto el vehículo debido a las irregularidades del camino como baches y topes. Para lo cual se flexiono (levantando el eje delantero y dejando inmóvil el trasero, y viceversa) y torció el chasis (cuatro pruebas en las que en cada una sólo se levantaba una rueda y las demás permanecían inmóviles, levantar ruedas esquinadas, es decir levantar la rueda delantera derecha y la trasera izquierda y las otras inmóviles y viceversa).



3.2.6.- (a) Simulación de estructura Chasis con carga en rueda delantera izquierda; (b) Simulación de estructura Chasis con carga en ruedas del eje trasero; (c) Simulación de estructura Chasis con carga en ruedas del eje delantero; (d) Simulación de estructura Chasis con carga en rueda delantera derecha.

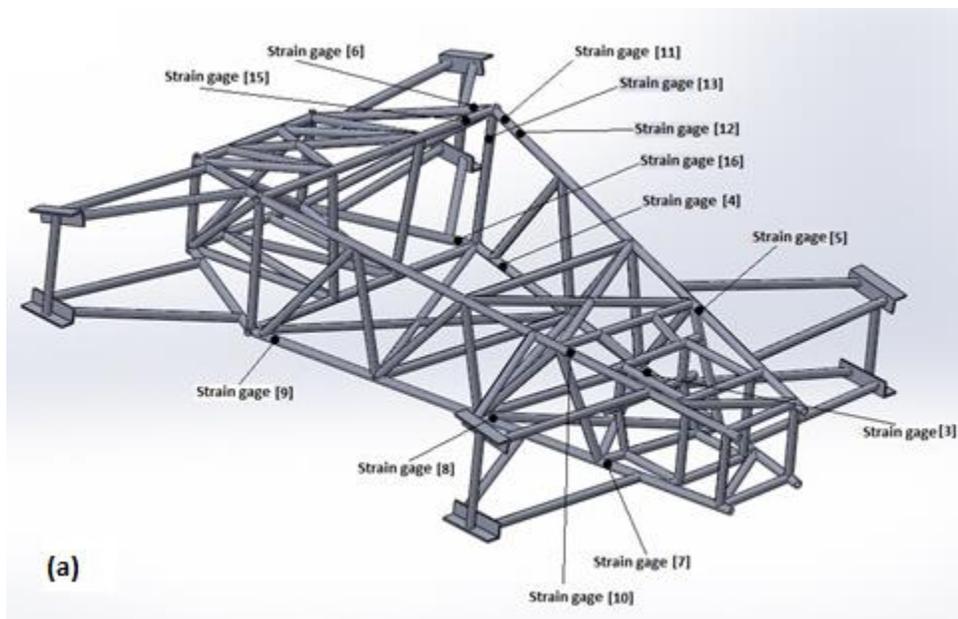


3.2.7.- (a) Simulación de estructura Chasis con carga en rueda trasera derecha; (b) Simulación de estructura Chasis con carga en rueda trasera izquierda; (c) Simulación de estructura Chasis con carga cruzada en ruedas delantera izquierda y trasera derecha; (d) Simulación de estructura Chasis con carga cruzada en ruedas delantera derecha y trasera izquierda.

### 3.3 Análisis experimental de la estructura chasis.

Las pruebas se hicieron a temperatura ambiente. Este análisis experimental se realizó con galgas extensométricas para lo cual se instrumentó el chasis en los 16 puntos críticos identificados en las simulaciones.

La instrumentación se hizo con galgas extensométricas uniaxiales, de las cuales 14 se pegaron en sentido del eje longitudinal del elemento y 2 se pegaron a 45° respecto al eje longitudinal para medir la torsión que se generaba en dichos elementos. La posición en que se pegaron las galgas se muestra en la figura 3.3.1



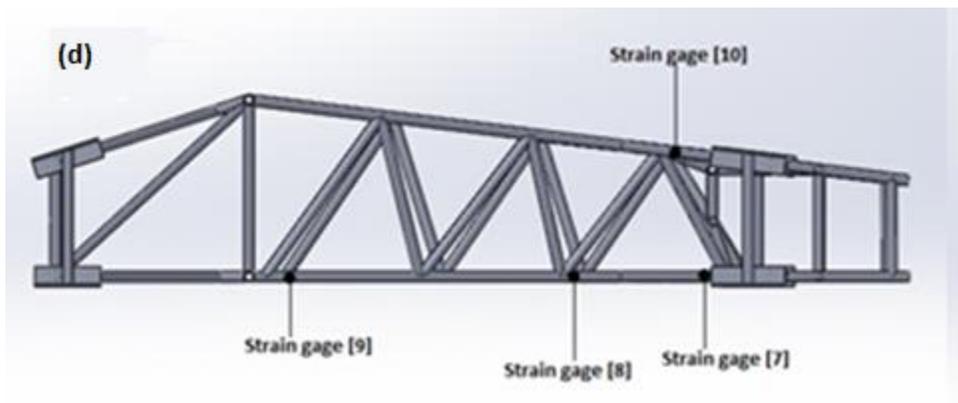
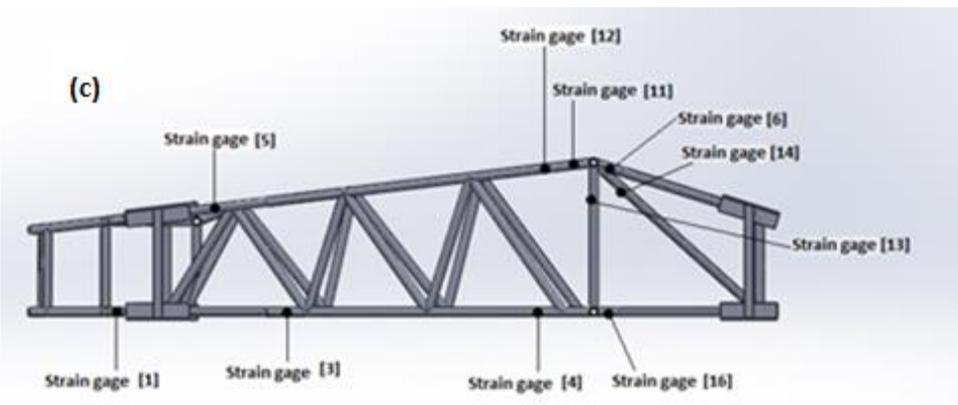
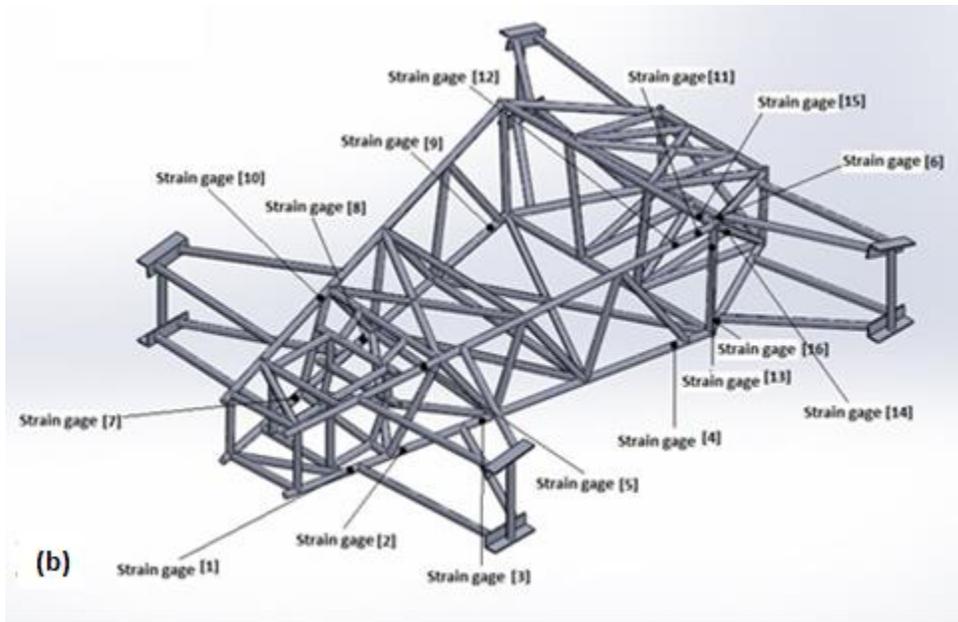


Figura 3.3.1 Ubicación de las galgas extensométricas en el chasis de carrizo.

### 3.3.1 Proceso de pegado de las strain gage.

1. Desengrasar enteramente la zona de instalación mediante un disolvente, como es CSM-1 Desengrasante o el GC-6 Alcohol Isopropílico Figura 3.3.1.1. La operación de desengrasar debe de realizarse con productos no contaminados, por lo tanto el uso de aerosoles es altamente recomendado.



Figura 3.3.1.1.

2. En presencia de una superficie oxidada o muy rugosa, es necesario lijar con papel lija de grano 220 ó 320. Se termina la operación usando el papel de lija de grano 320 ó 400, mojando la superficie con acondicionador de metal MCA. Enseguida se seca de una sola pasada con gasas limpias repitiendo esta operación hasta que la gaza aparezca completamente limpia, tal como se indica en la figura 3.3.1.2 b.

Con un lápiz de punta semidura (4H) sobre aluminio, o con un bolígrafo sobre acero, se trazan ejes de posicionamiento de la banda. A continuación se humedece un bastoncillo de algodón con Acondicionador de metal MCA y se pasa sobre los trazos del lápiz o bolígrafo. Se repite la operación con bastoncillos secos hasta que estos aparezcan limpios sin residuos de grafito o tinta. Secar con una gasa. Nunca dejar secar cualquier solución por si sola sobre la superficie para evitar pozos contaminantes que limitaran las posibilidades de un buen pegado.

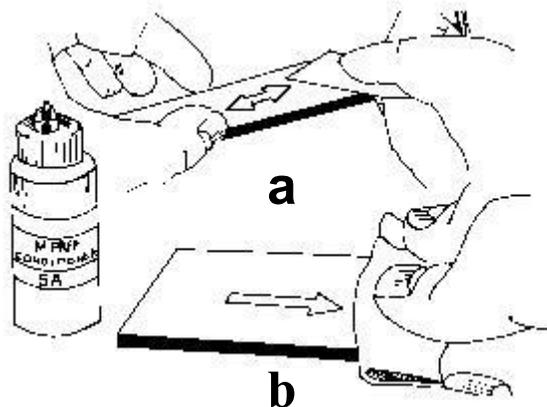


Figura 3.3.1.2.

3. Inmediatamente después, humedecer la superficie con Neutralizador 5A, ver figura 3.3.1.3. Con una gasa, secar la superficie, siempre de una sola pasada. No frotar la superficie pues esto permitiría de nuevo depositar residuos contaminantes.

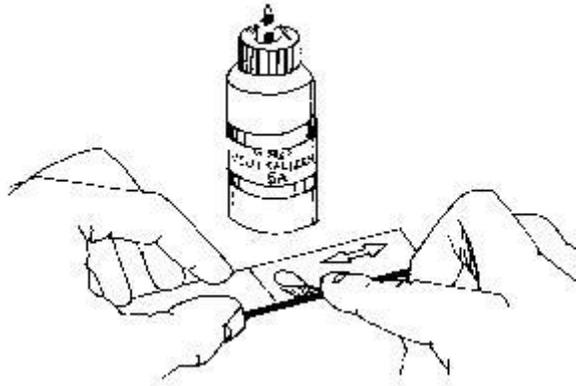


Figura 3.3.1.3.

4. Con la ayuda de unas pinzas, sacar la galga de su estuche plástico y colocarla sobre un cristal completamente limpio. En caso de asociar la banda a una terminal impresa, instalada sobre una placa de cristal al lado de la galga según muestra la figura 3.3.1.4. Un intervalo aproximado de 1.5mm separa la galga de la terminal impresa. Encerrar el conjunto galga-terminal impreso debajo de una cinta autoadhesiva de Micro Measurements PCT-2<sup>a</sup> de 10-15 cm. Se precisa centrar la galga sobre la cinta. Levantar la cinta según un ángulo pequeño ( $<45^\circ$ ) levantando la galga con la cinta según la figura 3.3.1.4.

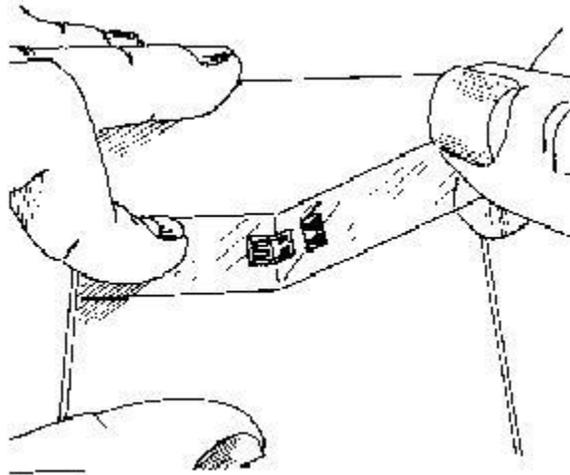


Figura 3.3.1.4.

5. Se sitúa la cinta y la galga sobre el punto de medida de tal forma que los triángulos de alineamiento de cada lado de la rejilla coincidan con las marcas de posicionamiento diseñadas sobre la pieza figura 3.3.1.5. Si el conjunto parece estar mal alineado, repetir la operación anterior levantando de nuevo la cinta y posicionándola correctamente. Terminado el posicionamiento, apretar un extremo de la cinta para que esté firmemente inmovilizado sobre la pieza. La cinta PCT-2A es el medio de transporte del extensómetro al pegado final de la pieza.

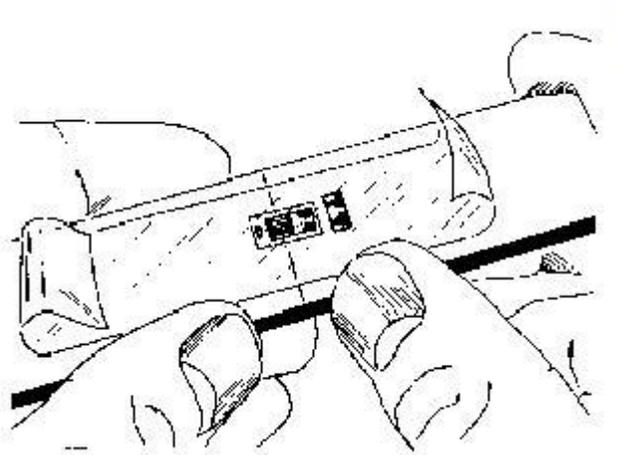


Figura 3.3.1.5.

6. Se levanta de nuevo la cinta desde el otro extremo según un ángulo de aprox.  $45^\circ$  hasta liberar la galga y la terminal impresa de contacto con la superficie de la pieza figura 3.3.1.6 (a) dejando un espacio de aprox. 10 mm entre el borde de la galga o de la terminal, si lo hay, y el límite de contacto de la cinta con la superficie. Sujetar el extremo libre del papel adhesivo para dejar ambos, terminal y galga, horizontales respecto a las superficies expuestas a pegar.

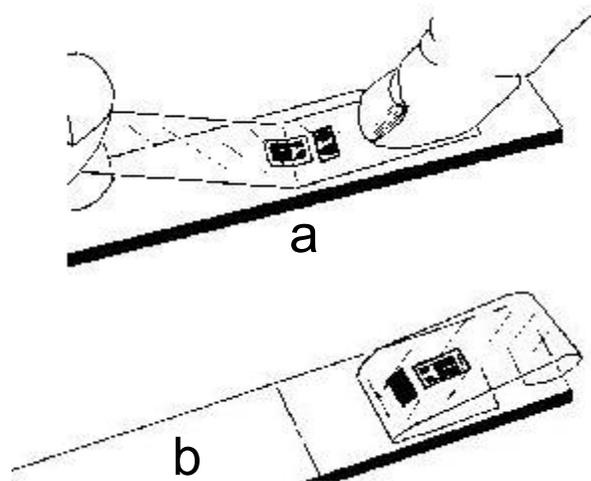


Figura 3.3.1.6.

7. Es el momento en que el catalizador del M-Bond 200 puede aplicarse sobre las superficies de pegado de la galga y de la terminal. El adhesivo M-Bond 200 endurece sin el catalizador pero más lentamente y con menos fiabilidad. Muy poca cantidad de catalizador va a ser necesaria y será aplicada en una capa muy fina y uniforme sobre el reverso de la galga y del terminal procurando no “pintar” sino pasar suavemente el pincel sobre toda la superficie figura 3.3.1.7. Para dar una idea de la poca cantidad necesaria, se recomienda escurrir el pincel aproximadamente 10 veces en el borde del

frasco de catalizador. Dejar secar un minuto al aire libre en condiciones ambientales normales de 24°C y entre 30 y el 65% de humedad relativa.

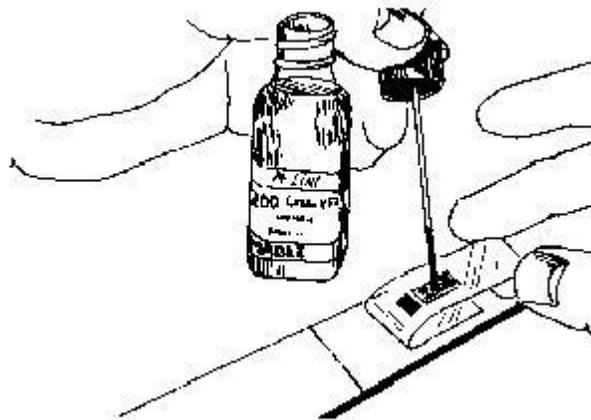


Figura 3.3.1.7.

8. Levantar el extremo libre de la cinta adhesiva y, manteniéndola en dicha posición, aplicar una o dos gotas de adhesivo M-Bond 200 en el borde del pliegue formado por la cinta con la superficie de la pieza figura 3.3.1.8 y a unos 10-15 mm de la zona de asentamiento final de la galga. Esto garantiza que la polimerización local, que tiene lugar según contacta el adhesivo con la superficie de la pieza, no ocasione un pegado de capa desigual.

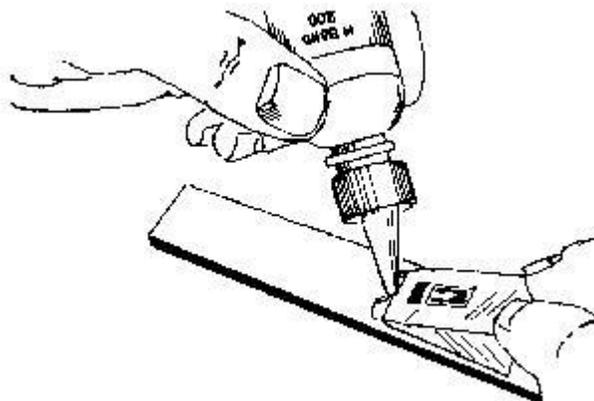


Figura 3.3.1.8.

9. Inmediatamente rotar la cinta adhesiva a un ángulo de 30° de tal forma que la galga se encuentre casi verticalmente a su posición final. Manteniendo la cinta tesa, presionar, lenta pero firmemente, con una gasa en un solo movimiento encima del conjunto galga/terminal figura 3.3.1.9, bajándolo y poniéndolo en contacto con la pieza. Se debe de hacer una presión firme con los dedos cuando se desliza la gasa sobre la cinta, dado que se necesita una capa de adhesivo uniforme para obtener prestaciones de pegado.

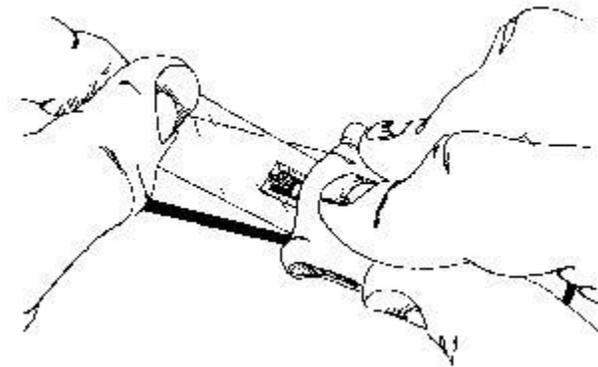


Figura 3.3.1.9.

10. Inmediatamente después, se aplica una presión con el dedo pulgar encima de la galga y terminal impreso figura 3.3.1.10. Se mantiene esta presión durante un minuto. En condiciones de baja humedad relativa (<30%) o con temperatura ambiente inferior a 20°C, esta presión se debe prolongar por varios minutos. En caso de emplear galga de grandes dimensiones o de contraste con superficies curvas, por ejemplo ranuras, puede ser ventajoso utilizar pastillas de presión durante esta operación. El tiempo de aplicación de presión debe de ser mayor dada la falta de “la temperatura del dedo”, que facilita la velocidad de polimerización. Esperar dos minutos o más antes de levantar la cinta adhesiva.

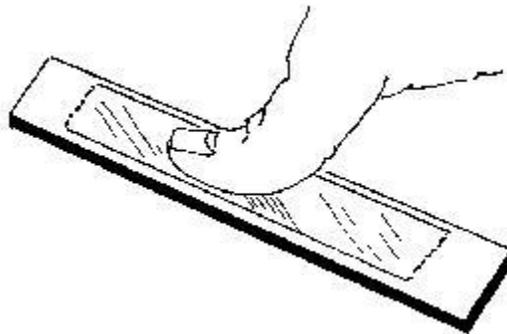


Figura 3.3.1.10.

11. La galga y la terminal impreso se encuentran firmemente pegados en su sitio. Para soltar la cinta, volverla directamente sobre si misma despegándola lenta y firmemente de la superficie figura 3.3.1.11. Esta técnica impide el posible desprendimiento de la rejilla de las galgas no encapsuladas o dañar la instalación. En todo caso, al ofrecer la cinta una protección mecánica de la banda, se puede mantener hasta el momento de seguir con las operaciones de soldadura y cableado.

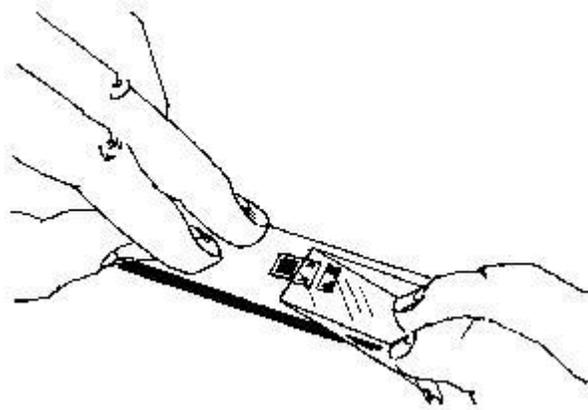


Figura 3.3.1.11.

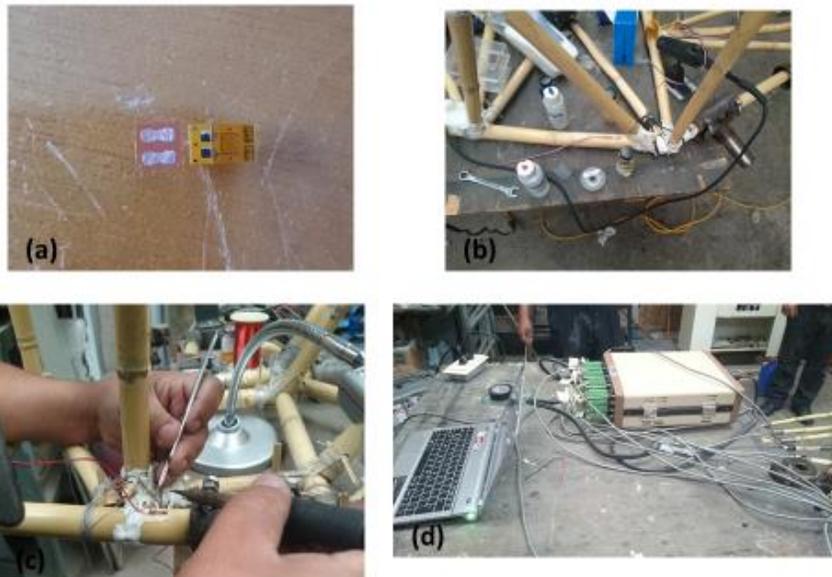


Figura 3.3.1.12.- (a) Galga y terminal; (b) Solución ácida (tapa roja) y solución básica (tapa azul); (c) Proceso de soldar los cables y alambres; (d) Computadora y P6200.

### 3.3.2 Pruebas experimentales estáticas.

Las pruebas experimentales se realizaron de la misma manera al realizado en el análisis numérico, es decir, se reprodujo el proceso de torcer o flexionar el chasis para exponer sus puntos susceptibles de falla.

Estas pruebas se iniciaron cuando el chasis estuvo instrumentado completamente y el equipo conectado para realizar las mediciones pertinentes en cada caso.

Para realizar las pruebas se levantó una o más ruedas y así deformar el chasis respecto a su estado en reposo. Para controlar la distancia que se levantaría se utilizó una pieza cuadrada de madera de aproximadamente 5 cm.



Figura 3.3.2.1.-Pieza de madera para levantar las llantas en las pruebas experimentales.

Así también, para hacer las pruebas lo más cercanas a las condiciones a las cuales estaría sujeto un vehículo común, se agregó peso en dos zonas: en donde estará ubicado el motor y otra donde irá el tripulante, colocando dos tablas y sobre de ellas objetos que simulen dichas cargas, para la zona del tripulante se pusieron dos contenedores de agua a tres cuartos de su capacidad, esto para simular los movimientos que tiene el cuerpo humano ya que no es un cuerpo rígido. Para la zona del propulsor, se utilizó el peso que tiene un motor eléctrico.

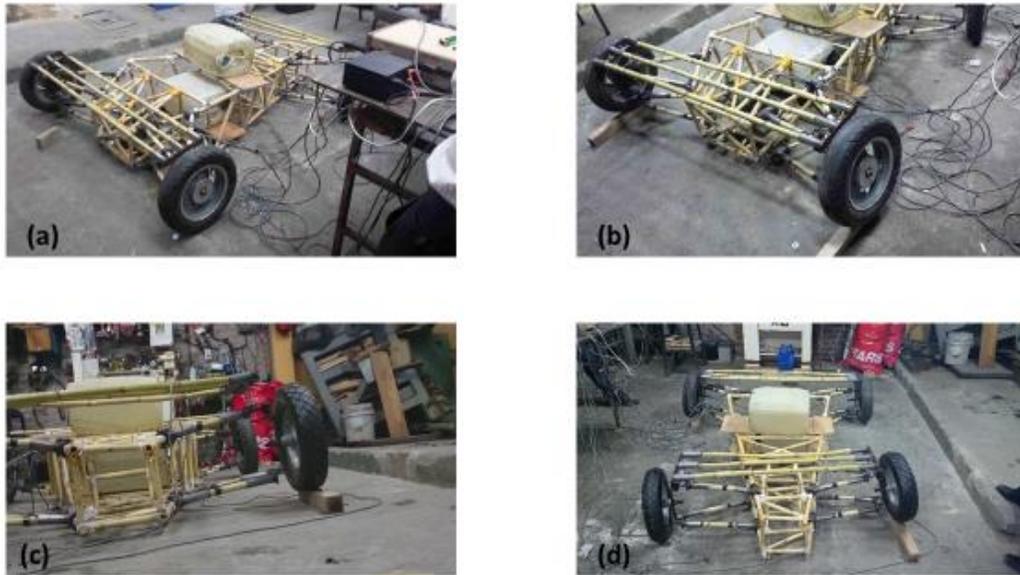


Figura 3.3.2.2.- (a) Chasis con el peso para las zonas del propulsor y del tripulante; (b) Chasis flexionado (levantado el eje trasero); (c) Chasis torciéndose (levantado de una sola llanta); (d) Chasis (levantado dos llantas esquinadas).

### 3.3.3 Pruebas experimentales dinámicas.

Estas pruebas se realizaron pensando en la naturaleza de los vehículos que es en movimiento, pero debido a la falta de recursos no se pudo proveer de una planta motriz al chasis, por lo que se optó por hacer un banco de pruebas.

Este banco de pruebas es una banda transportadora en la cual se colocaron pequeños obstáculos (en este caso fueron carrizos partidos a la mitad), que al poner en movimiento el mecanismo provocarían perturbaciones en el vehículo, estas perturbaciones simularan irregularidades del camino, topes, hoyos, piedras, etc., a las cuales está sometido un vehículo.

Una vez preparado el banco de pruebas mencionado anteriormente, se montó el sistema de adquisición de datos, con el carro sobre la banda transportadora y así analizar cómo se comportaría el chasis en un caso dinámico.

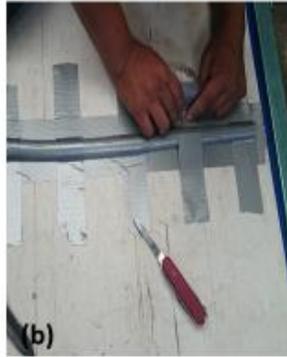


Figura 3.3.3.1.- (a) Chasis colocado sobre el banco de pruebas; (b) Colocación de obstáculos en la banda transportador; (c) Momento en el que la rueda pasa sobre el obstáculo.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS.

### 4.1 Análisis Experimental.

#### 4.1.1 Instrumentación del chasis.

El chasis fue instrumentado y sometido a pruebas de flexión y torsión, con el fin de conocer las capacidades elásticas estructurales, así mismo se midieron las deformaciones con la técnica de extensometría para poder estimar los esfuerzos generados en dichos puntos. El equipo utilizado es un indicador para medir deformaciones modelo 6200 de Micro-Measurements. La figura 4.1.1 muestra los 16 puntos que fueron instrumentados en el modelo real.

Pruebas experimentales.

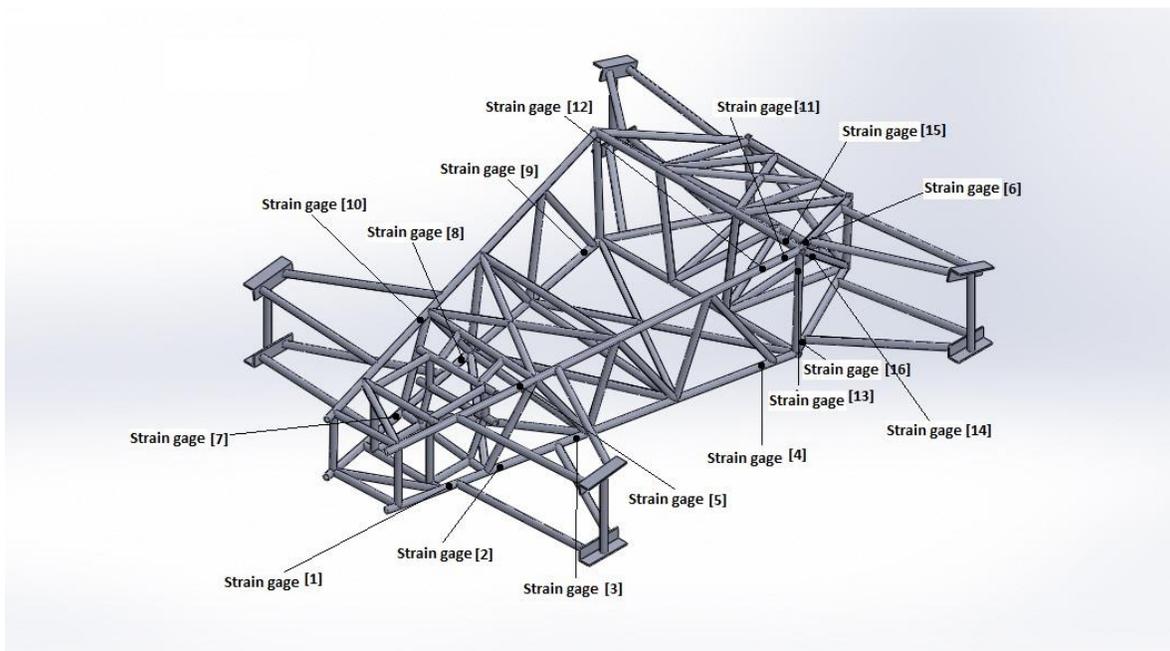
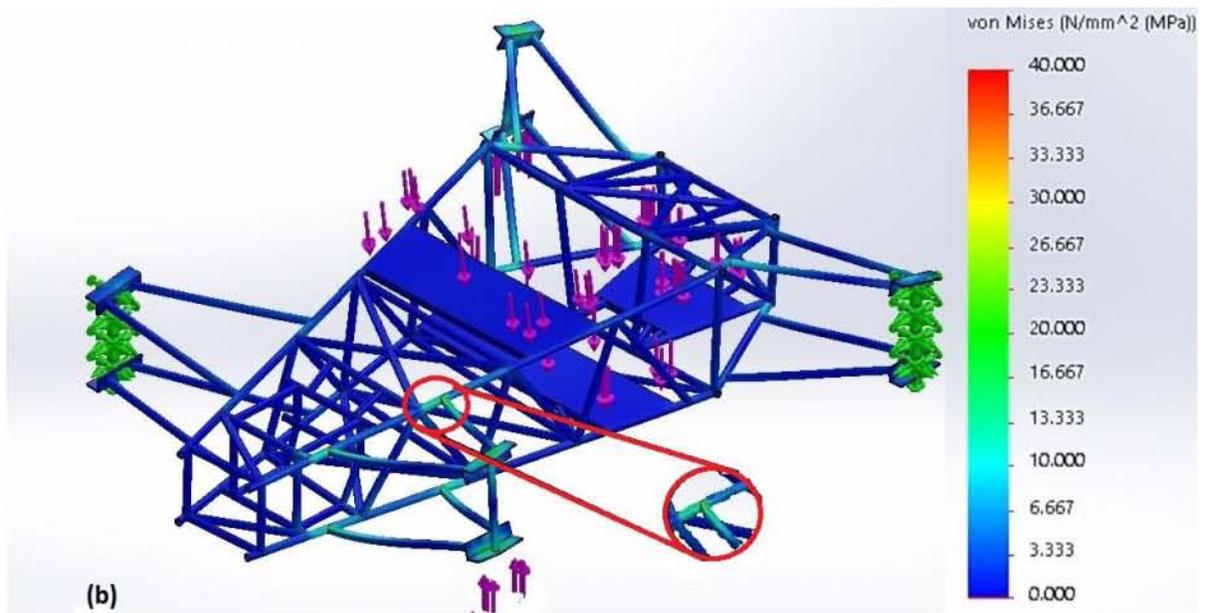
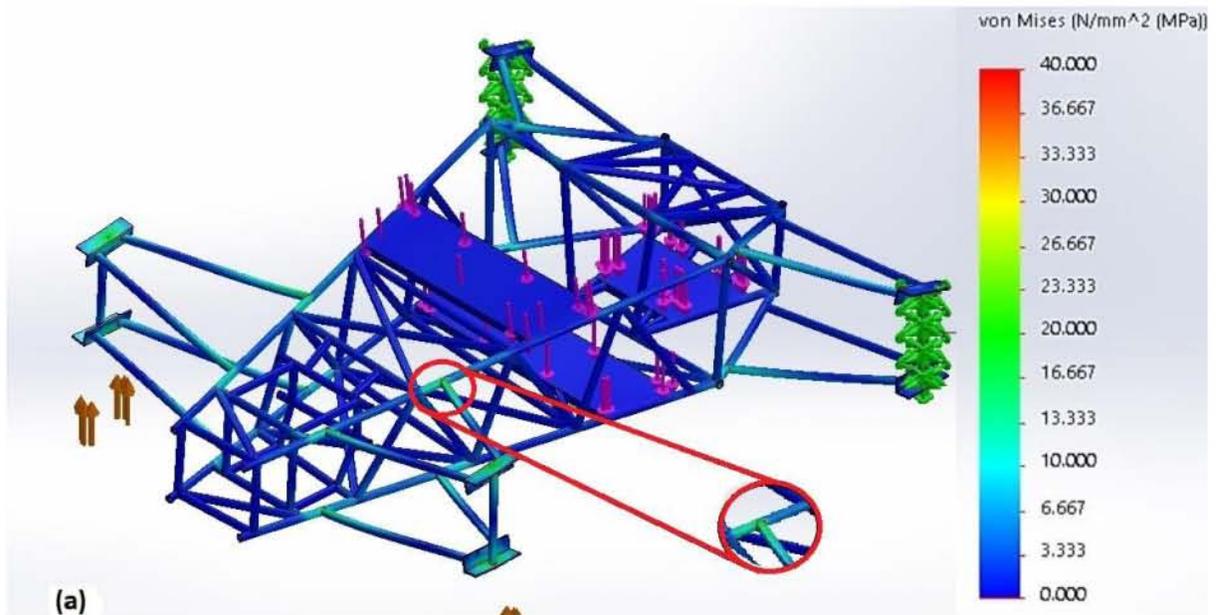
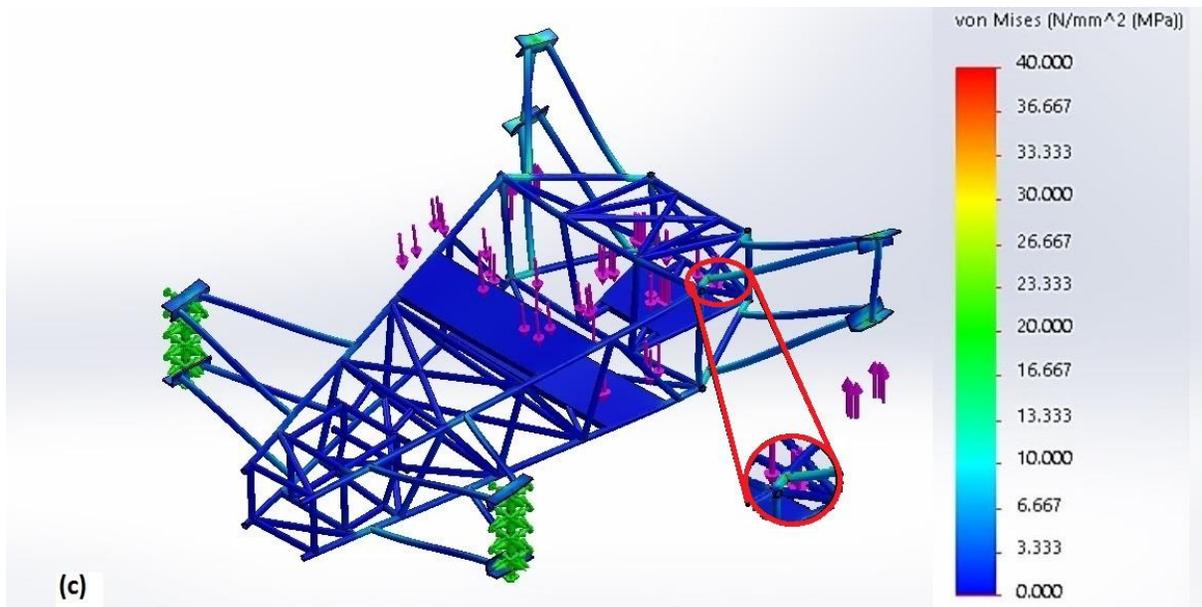


Figura 4.1.1 – Puntos del chasis instrumentado.

Estos 16 puntos fueron determinados mediante simulaciones de CAD (SolidWorks) localizando los puntos críticos donde se generarían los mayores esfuerzos en el chasis y así monitorear su comportamiento. Las áreas resaltadas con los círculos, son las zonas con mayor concentración de esfuerzos.





a) Figura 4.1.2.- Simulaciones en CAD para ver los esfuerzos generados (a) Eje delantero levantado; (b) rueda delantera izquierda junto con la rueda trasera derecha; (c) Eje trasero levantado.

#### 4.1.2 Pruebas Estáticas.

Se realizaron diversas pruebas estáticas, considerando las condiciones de carga de la simulación de CAD; para observar el comportamiento del chasis, se colocaron dos tambos de 15 Kg cada uno con agua, sin llenarlos completamente, cuando se movía el chasis los tambos se movían y el agua dentro de ellos simulaba el movimiento normal que tendría una persona en el vehículo, en este caso un niño; aunado a este peso se colocó un motor eléctrico de 10 Kg, imitando el peso que sostendría con un motor real y se levantó aproximadamente una distancia de 4 cm con polines de madera, para ver el comportamiento del chasis; se llevaron a cabo diversos tipos de prueba, por ejemplo:

b) Eje delantero levantado.

Con dos polines de madera de 5 cm de altura, se levantó el eje delantero, con el fin de monitorearlo y ver su comportamiento en el chasis, tanto en tensión como compresión de las fibras del carrizo.



Figura 4.1.2.1.- Eje delantero levantado.

c) Levantamiento cruzado de ruedas.

De forma cruzada se levantó el chasis (rueda delantera izquierda junto con la rueda trasera derecha) con los polines, con el objetivo de torcer la estructura.



Figura 4.1.2.2.- Rueda izquierda delantera levantada junto con la trasera derecha.

d) Eje trasero levantado.

Se levantó el eje trasero con dos polines de madera, uno en cada rueda, para flexionar la estructura.



Figura 4.1.2.3.- Eje trasero levantado.

Se realizaron estas pruebas, entre otras más mostradas en la tabla 4.1.2.1, las cuales nos arrojaron los datos necesarios para calcular el esfuerzo generado en los puntos instrumentados con la fórmula 4.1.2.3.1:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Fórmula 4.1.2.3.1

Donde:

$\sigma$  =Esfuerzo.

E=Modulo Elástico.

$\varepsilon$  =Deformación.

Por ejemplo en la prueba “Rueda cruzada (trasera derecha-delantera izquierda)”

$$\sigma = (-734 \times 10^{-6}) (20.6 \times 10^9 Pa)$$

$$\sigma = 15,120,400 Pa$$

$$\sigma = 15.12 MPa$$

Los datos arrojados se muestran en la gráfica de la figura 4.1.2.4, dejando ver las deformaciones máximas a las cuales fue sometido, los resultados se describen en la tabla 4.1.2.2.

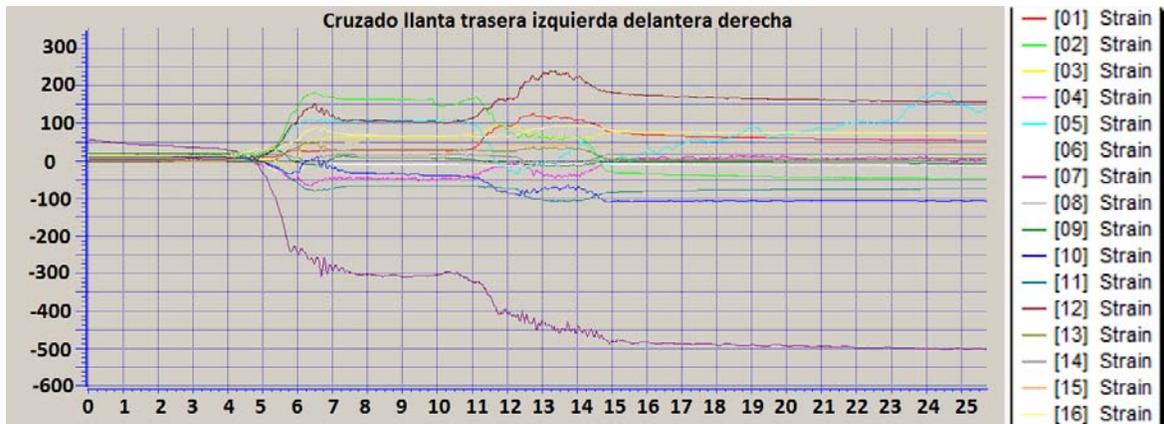


Figura 4.1.2.4.-Gráfica de micro deformaciones que se generaron en una prueba estática F.

d) Pruebas de flexión y torsión al vehículo.



Figura 4.1.2.5.- Pruebas con peso.

Las mediciones se hicieron de manera continua desde que el vehículo no tenía carga, hasta que fue sometido a las condiciones de flexión y torsión con el peso de los botes y del motor encima, con el fin de observar su comportamiento en una prueba dinámica, ya que la gráfica nos muestra las deformaciones que se generan al “pasar” sobre un obstáculo.

La figura 4.1.2.6 muestra las gráficas de los 16 strain gages correspondiente a cada uno de los casos de carga analizados, en el caso de la rueda delantera derecha levantada, que fue una de las más representativas, ya que presenta un pico con un valor de 1400 microdeformaciones. El pico se debió a una perturbación generada por un movimiento brusco durante la prueba. Considerando el comportamiento elástico del material, las microdeformaciones mencionadas son apenas una cuarta parte de las necesarias para entrar a la zona plástica.

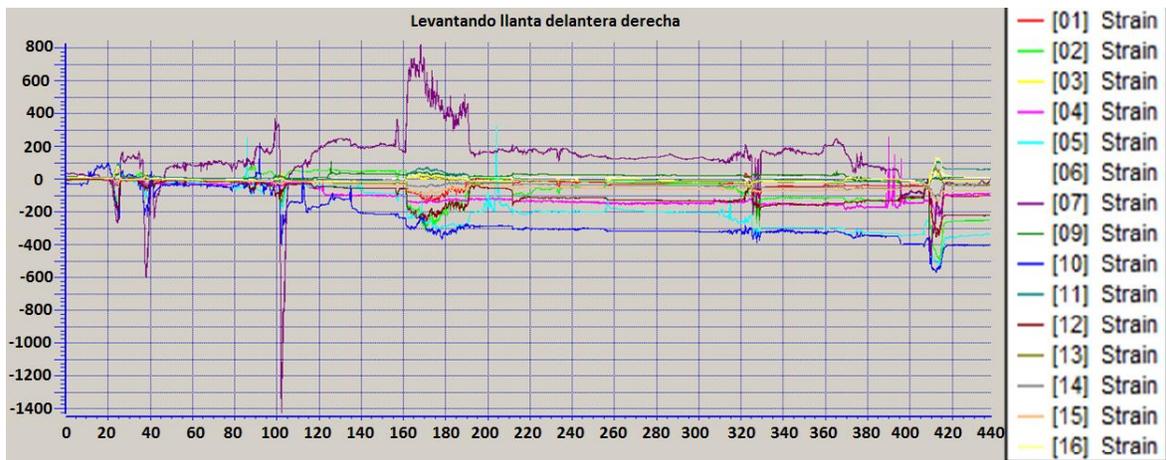


Figura 4.1.2.6.- Graficas de microdeformación (monitoreo de la pruebas). Todas las galgas.

Como se puede observar en la Figura 4.1.2.6 casi todas las gráficas generadas por la medición de las galgas tienen un comportamiento parecido, unas en tensión y otras en compresión. Pero hay una gráfica que tiene picos (de microdeformaciones) más altos que otras, por lo que se separó del resto para tener una mejor visualización y apreciar el comportamiento que tuvo.

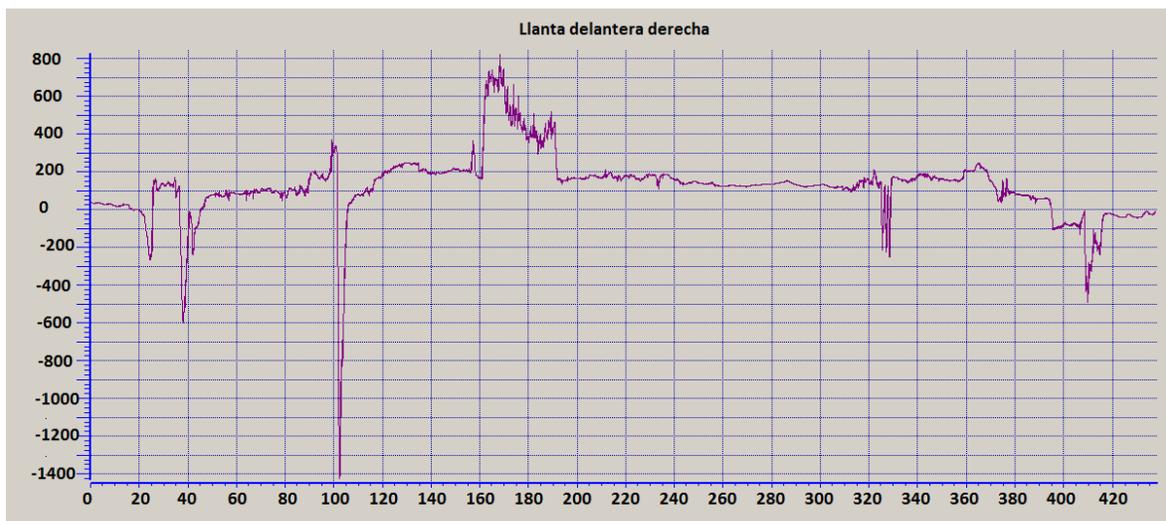


Figura 4.1.2.7.- Graficas de microdeformación (monitoreo de la pruebas). De una galga no. 7 con picos altos de deformación.

Cabe recalcar que dichos picos de la gráfica 4.1.2.7 se generaron durante el proceso de manipulación del carro, es decir, cuando se levantaba el carro para dejarlo en el polín, por lo tanto estas puntas de la gráfica no se tomaron en cuenta para el análisis estático, ya que como se mencionó estaba en un estado en movimiento (dinámico), dichos resultados se pueden observar en la Tabla 4.1.2.1

Tabla 4.1.2.1 de pruebas realizadas

Prueba realizada cargando:	Código de prueba
Llanta delantera derecha	A
Llanta delantera izquierda	B
Llanta trasera izquierda	C
Llanta trasera derecha	D
Llantas cruzadas (trasera derecha delantera izquierdo)	E
Llantas cruzadas (trasera izquierda delantera derecha)	F
Llantas de eje delantero	G
Llantas de eje trasero	H

Tabla 4.1.2.2 de microdeformaciones

Strain Gage/ Código de prueba	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-15	92	-2	83	118	-2	-20	73
2	-250	-87	-120	127	-68	-260	-262	-5
3	17	139	68	90	90	62	62	36
4	-15	34	25	31	64	-66	58	96
5	-185	84	105	222	296	-77	-84	146
6	34	14	129	16	2	147	13	5
7	-181	-435	35	190	-734	-469	460	-160
8*	0	0	0	0	0	0	0	0
9	-78	-117	-92	-104	-115	-88	-67	-105
10	-220	88	202	156	62	23	-32	177
11	186	81	156	50	43	170	213	121
12	-220	74	-90	68	151	-171	-127	-22
13	73	128	174	138	114	184	138	63
14	35	33	38	60	78	25	49	77
15	-70	-24	-51	13	23	-62	8	-15
16	45	79	144	72	91	183	91	-19

***La galga no. 8 se desconectó durante la prueba, es por eso que el valor es 0; sin embargo, la galga no. 3 se encuentra en la misma posición pero de lado contrario, considerando que tendría valores similares.***

Para la obtención de la tabla se tomó como referencia dos puntos de la gráfica. Uno el origen, es decir, desde dónde se empezó a tomar la lectura. El otro punto es la última zona de la gráfica, dónde se estabilizan las mediciones, debido a que ya estaba asentado en el polín de madera.

Las pruebas fueron monitoreadas por el equipo para darles veracidad y ver la viabilidad del chasis.

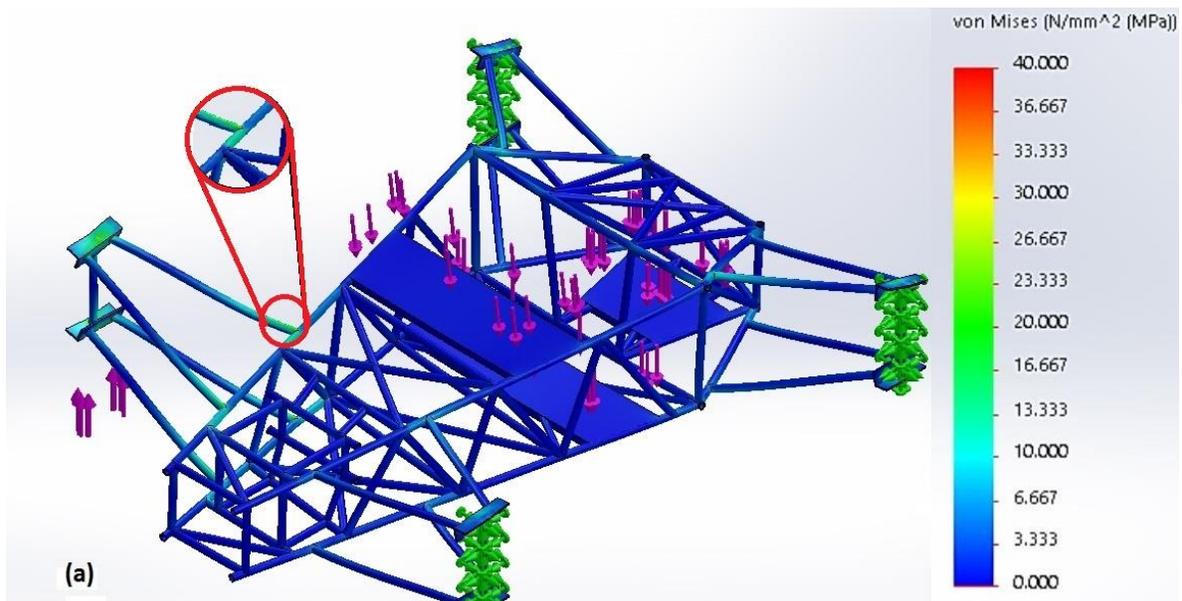
Las casillas colocadas en color amarillo son aquellas con los valores más altos obtenidos en las pruebas (micro-deformaciones), de este modo podemos observar cuales son los puntos más críticos del diseño.

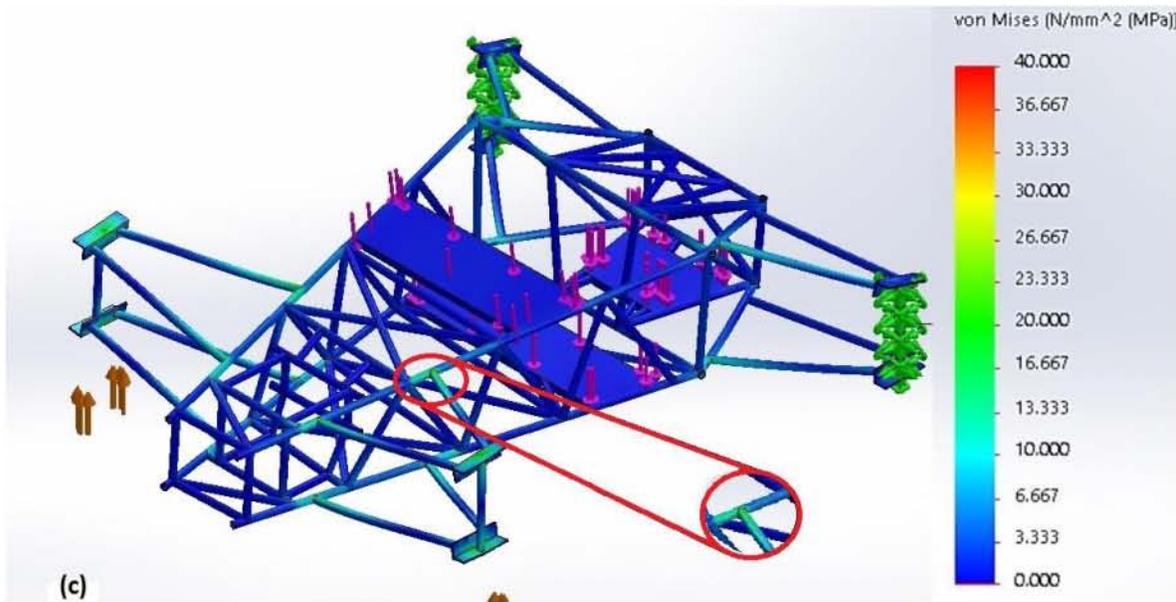
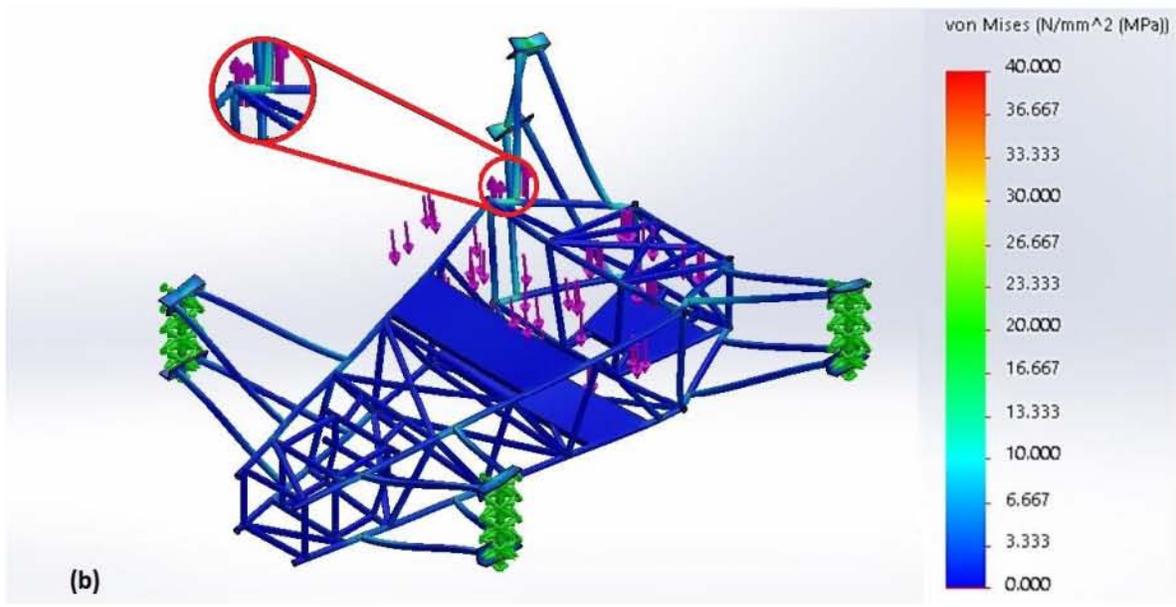
Elaborando los cálculos correspondientes se obtuvo que el material está trabajando a un 20% de su esfuerzo de cedencia máximo permisible.

### 4.1.3 Simulación en CAD.

Una vez realizadas las pruebas de carga y obtenidos los resultados correspondientes, se elaboraron nuevamente las simulaciones en CAD para corroborar los datos obtenidos.

Al igual que en las figuras anteriores las partes marcadas dentro de los círculos, son acercamientos a las zonas con mayor concentración de esfuerzos.





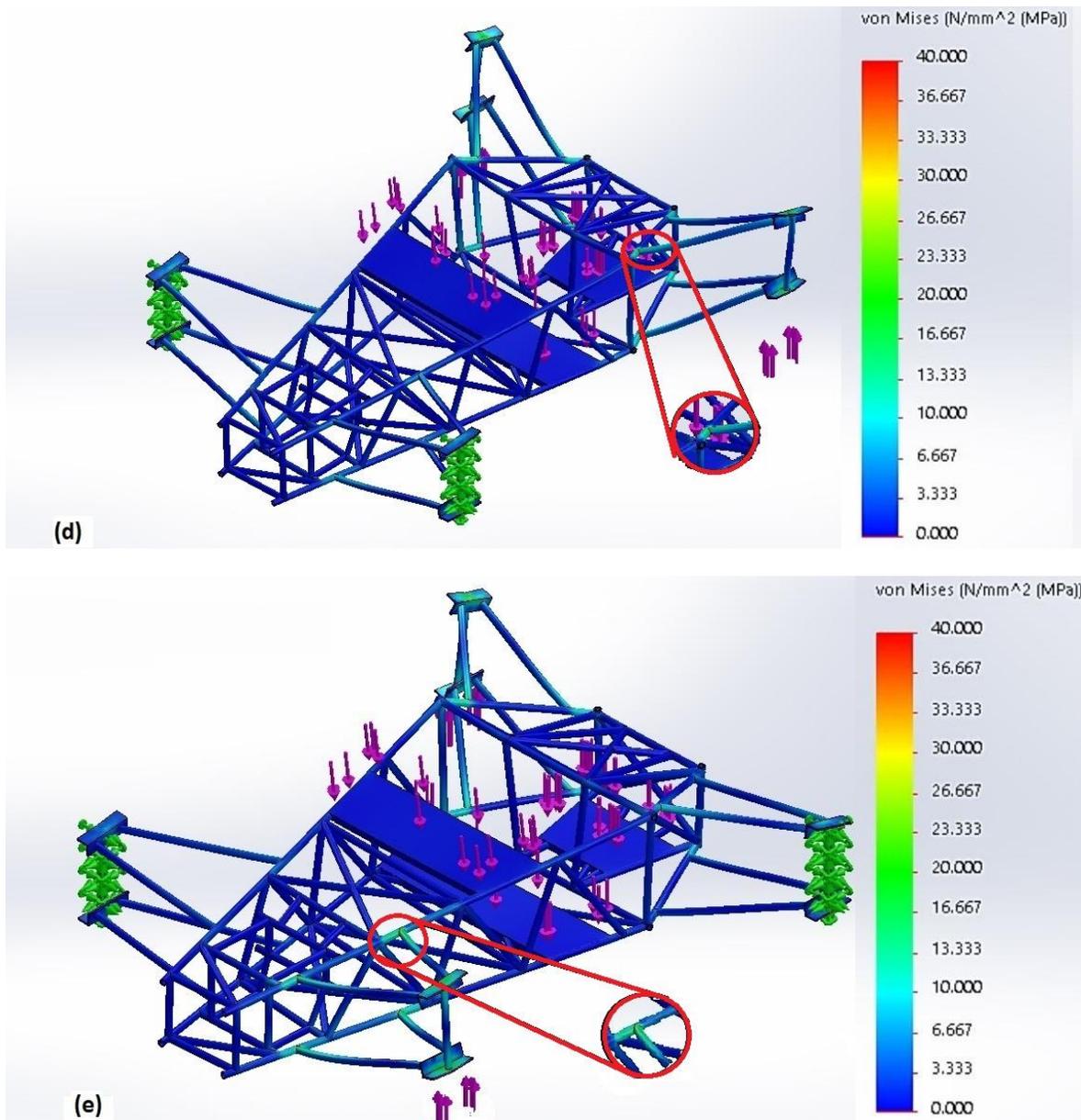


Figura 4.3.1.- (a) carga en el brazo delantero derecho; (b) carga en el brazo trasero derecho; (c) carga en los brazos delanteros; (d) carga en los brazos traseros; (e) carga en los brazos cruzados delantero izquierdo y trasero derecho.

#### 4.1.4 Pruebas Dinámicas.

De igual manera para realizar las pruebas dinámicas, se elaboró un banco de pruebas, este consistía en una banda con pequeños obstáculos (carrizos cortados a la mitad y pegados con cinta) que se movía mediante un motor eléctrico, para que estos pasaran por debajo del chasis y al girar la banda generaran perturbaciones en este, así se pudo observar el comportamiento que tenía con obstáculos o irregularidades en el camino, estas perturbaciones se midieron con ayuda de galgas.

Todo esto se llevó a cabo para simular las condiciones reales a las cuales estaría sujeto el chasis y comprobar qué tan factible es su configuración para terrenos irregulares.



Figura 4.1.4.1 Prueba en el banco de pruebas.

En esta prueba se ocupó el mismo equipo de medición. Se obtuvieron las gráficas del comportamiento del carro en el momento de las perturbaciones a las que fue sometido al pasar cualquier rueda por un obstáculo.

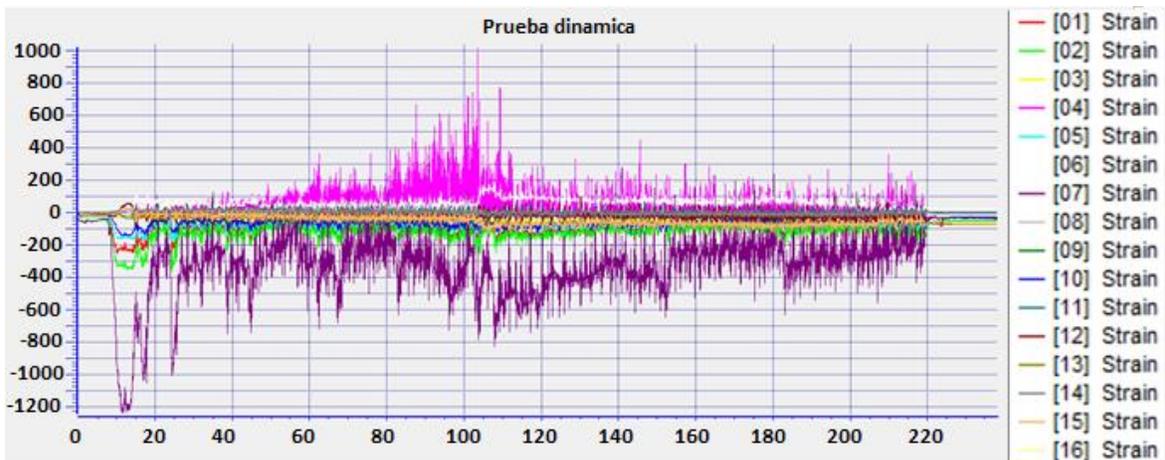


Figura 4.1.4.2 Graficas de microdeformación (monitoreo de la prueba dinámica). Todas las galgas.

Debido a que ésta fue una prueba dinámica, la gráfica en su totalidad es de gran importancia, ya que ésta demuestra el comportamiento que tuvo el carro durante la prueba. Se puede

apreciar que tanto en la zona inicial como en la final las gráficas están planas, casi en el cero, debido a que estaba en estado inmóvil, antes de iniciar la prueba, así como cuando termino.

En la Figura 4.1.4.2 es de gran interés los picos que se observan en dos gráficas generados por un par de galgas, los cuales son puntos a denotar por la gran deformación que tuvo el carro, para que se puedan apreciar de mejor manera se hace una separación de éstas y así se puedan ver con mayor detalle.

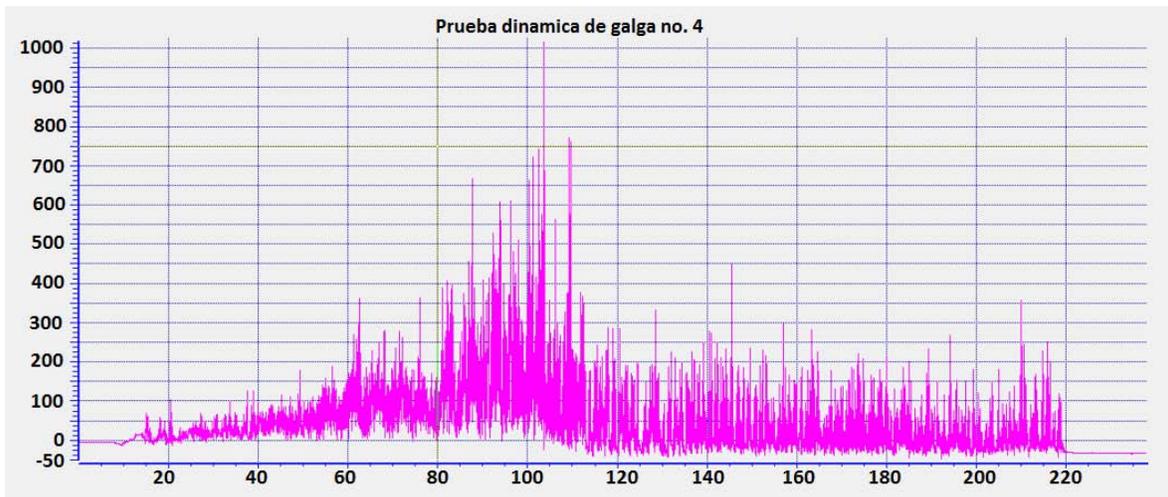


Figura 4.1.4.3 Graficas de microdeformación (monitoreo de la prueba dinámica). Galga con un pico alto de deformación. (Strain Gage #4).

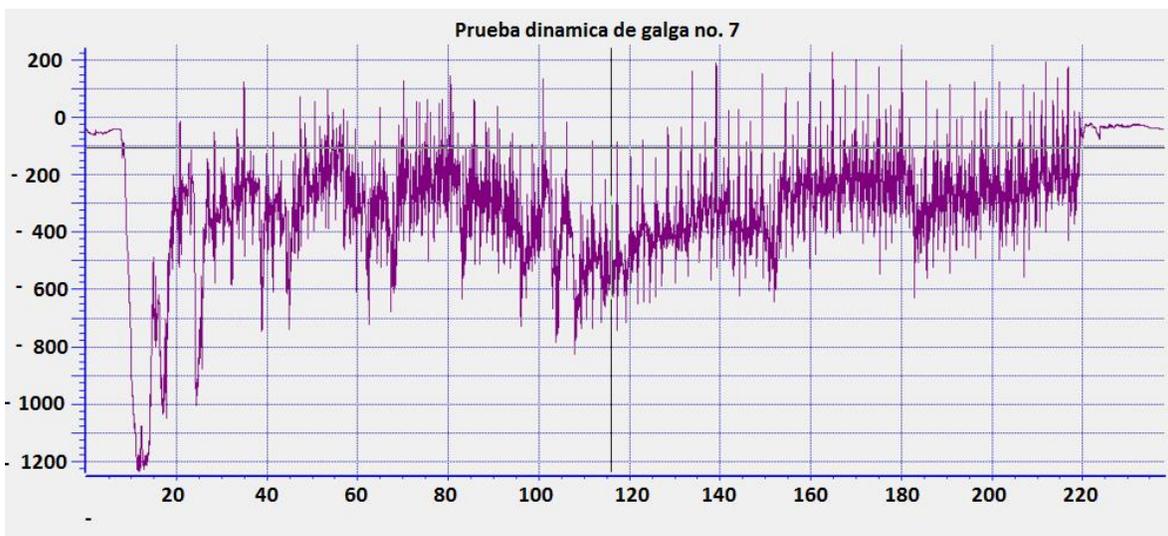


Figura 4.1.4.4 Graficas de microdeformación (monitoreo de la prueba dinámica). Galga con un pico alto de deformación. (Strain Gage #7).

## 4.2 Caracterización mecánica del material.

El comportamiento mecánico del carrizo es prácticamente lineal lo cual permitirá predecir de forma relativamente simple el comportamiento de este material bajo determinadas condiciones de carga.

El carrizo le otorga ligereza al vehículo por dos razones: por su densidad y porque la suspensión presenta menos elementos mecánicos en comparación con una suspensión convencional con resortes helicoidales y amortiguadores.

Además de flexibilidad, el carrizo presenta amortiguamiento; por lo tanto, es necesario realizar pruebas experimentales para determinar su coeficiente de amortiguamiento.

Debido a las propiedades físicas que presenta el carrizo, puede ser utilizado para conformar el chasis de un vehículo encontrando una configuración estructural adecuada. Este material es capaz de proporcionar:

- Resistencia mecánica para hacer frente a las sollicitaciones que estará sujeto el vehículo.
- Rigidez para soportar y proteger los componentes frágiles del vehículo.
- Capacidad de absorción de impactos por la flexibilidad y el amortiguamiento que presenta el material.
- Ligereza para hacer al vehículo más eficiente.

El chasis construido fue sustentado con el análisis asistido por computadora así como por el método experimental utilizado.

### **4.3 Conclusiones.**

El comportamiento mecánico del carrizo es prácticamente lineal lo cual permitirá predecir de forma relativamente simple el comportamiento de este material bajo determinadas condiciones de carga. Presenta un Módulo elástico de alrededor de 100MPa y 5500 microdeformaciones.

Las pruebas cuasiestáticas permitieron simular el movimiento de una persona dentro del vehículo mientras la estructura se encuentra flexionada o torcida, bajo éstas condiciones el chasis presentó un 20% de su capacidad en deformación elástica.

A pesar de que no se cuenta con un tren motriz se realizó un ensayo dinámico en un banco de pruebas que permitió observar el comportamiento del chasis, la prueba simula las condiciones de un camino irregular.

Con las pruebas dinámicas se observó que ninguna sección del chasis sobrepasó las 5500 microdeformaciones.

Los resultados obtenidos hasta el momento son parciales, se requieren realizar más pruebas para determinar la viabilidad del material para éste tipo de aplicación.

Las pruebas a realizar para obtener un estudio más completo serian:

- Pruebas de fatiga.
- Pruebas de amortiguamiento.
- Pruebas de durabilidad.
- Pruebas de envejecimiento.

El chasis construido es ligero (5 kg), y resistente ya que soportó las sollicitaciones mecánicas a las que fue sujeto.

Los estudios realizados a los vehículos a escala, permitieron dar el siguiente paso para la evolución del proyecto que consistió en construir un vehículo a escala real.

## **Bibliografía:**

[1] Ciencia popular (2006) **La Evolución del Automóvil** [Internet]. Disponible desde: <<http://www.cienciapopular.com/tecnologia/la-evolucion-del-automovil>> [Acceso 26 de Abril de 2014 14:00 Hrs.]

[2] Wikipedia (2009) **Vehículo eléctrico** [Internet] Disponible desde: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Carrocer%C3%Ada>> [Acceso 26 de abril de 2014 15:00 Hrs.]

[3] Hecho por Nosotros Mismos (2009) **Primer vehículo con motor de combustión interna** [Internet] Disponible desde: <<http://www.hechoxnosotrosmismos.com/t81-primer-vehiculo-con-motor-de-combustion-interna>> [Acceso 1 de Mayo de 2014 00:30 Hrs.]

[4] Calvo Rodríguez, Arturo (2009) **Diseño y Análisis de un Chasis para un Prototipo de Fórmula SAE**. Tesis de Licenciatura, Universidad pontificia de comillas.

[5] Era Replica Automobiles (2013) **Why Our Chassis Looks The Way It Does** [Internet] Disponible desde: <<http://www.erareplicas.com/misc/stress/deslogic.htm>> [Acceso 1 de Mayo de 2014 18:00 Hrs.]

[6] CENTRO DOCUMENTACIÓN ESTUDIOS Y OPOSICIONES CEDEO (2010) **Carrocerías y bastidores: Tipos, características, procesos de fabricación, elementos que los componen y métodos de ensamblado y unión de éstos** [Internet] Disponible desde: <[http://www.serina.es/empresas/cede\\_muestra/304/TEMA%20MUESTRA.pdf](http://www.serina.es/empresas/cede_muestra/304/TEMA%20MUESTRA.pdf)> [Acceso 1 de Mayo de 2014 20:00 Hrs.]

[7] Formula1-dictionary (2008) **Chassis explained** [Internet] Disponible desde: <<http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html>> [Acceso 1 de Mayo de 2014 21:30 Hrs.]

[8] José Rafael Valdez Gavilanes (2006) **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN DELANTERA INDEPENDIENTE PARA UN VEHÍCULO TUBULAR TIPO "BUGGY" PARA USO EN TODO TERRENO**. Tesis de Licenciatura, Escuela politécnica del Ejército.

[9] Ing. Aarón Alejandro Aguilar Espinosa (2003) **DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN DE UN CARRO TODO TERRENO TIPO SAE MINIBAJA**. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.

[10] Ramiro Gerardo Obando Navas (2006) **ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN VEHÍCULO DE ALTA MOVILIDAD TIPO BUGGY SEGÚN REGLAMENTO DE LA SAE PARA LA COMPETENCIA INTERUNIVERSITARIA "SAE"**. Tesis de Licenciatura. Escuela politécnica del Ejército.

[11] Víctor Yepes Piqueras (2014) **Evolución histórica de los materiales** [Internet] Disponible desde: <<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2014/07/18/evolucion-historica-de-los-materiales/>> [Acceso 17 de Mayo de 2014 16:30 Hrs.]

[12] José Antonio (2014) **Historia de los materiales** [Internet] Disponible desde: <<http://josantonius.blogspot.mx/2012/04/historia-de-los-materiales-desde-la.html>> [Acceso 5 de Junio de 2014 21:30 Hrs.]

[13] Gabriel Cabrera (2014) **MATERIALES DE USO TÉCNICO** [Internet] Disponible desde: <[https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2015/03/04-apuntes-materiales-i\\_propiedades\\_esfuerzos\\_ensayos.pdf](https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2015/03/04-apuntes-materiales-i_propiedades_esfuerzos_ensayos.pdf)> [Acceso 6 Junio de 2014 01:30 Hrs.]

[14] Tomás Gómez; José Martín; Eduardo Águeda; Jos's L. García. (2010) Materiales utilizados en la fabricación de carrocerías. Ed: Paraninfo. **Estructuras del vehículo**. Madrid, España. P. 69-11

[15] Fernandes, F. M. y De Carvalho, L. M. M. (2004) **Los Usos de Arundo Donax L. (Poaceae) en el Concejo de Beja, Alentejo, Portugal** [Internet], Etnobiología 4, p. 67-72. Disponible desde: <<http://www.asociacionetnobiologica.org.mx/mx2/administrator/Rev.%20socios/Rev%204%20Art%206.pdf>> [Acceso 10 Junio de 2014 18:00 Hrs.]

[16] Andure M.W, Jirapure S.C, Dhamande L.P. **Advance Automobile Material for Light Weight Future** – A Review. International Conference on Benchmarks in Engineering Science and Technology ICBEST 2012 Proceedings published by International Journal of Computer Applications

[17] M. Grujicic, V. Sellappan, T. He, Norbert Seyr, Andreas Obieglo, Marc Erdmann, Jochen Holzleitner. **Total Life Cycle-Based Materials Selection for Polymer Metal Hybrid Body-in-White Automotive Components**. Journal of Materials Engineering and Performance. March 2009, Volume 18, Issue 2, pp 111-128

[18] Railey, K (2001) **The amazing hemp plant (Cannabis satavi L** [Internet] Disponible desde : <<http://chetday.com/hemp.html>> [Acceso de de : Hrs.]

[19]Elaheh Ghassemieh. **Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects**. InTechMaterials in automotive application state of the art and prospects, January 8, 2011

[20] Erica R.H. Fuchs, Frank R. Field, Richard Roth, Randolph E. Kirchain. **Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design**. Composites Science and Technology, Volume 68, Issue 9, July 2008, Pages 1989-2002

[21]Alexander Vittouris, Mark Richardson. **Designing Vehicles for Natural Production: Growing a Velomobile from Bamboo**. Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings 28 - 30 September 2011

[22]Dukes, Jeffrey S. y Mooney, Harold A. (2004). **Disruption of ecosystem processes in western North America by invasive species.** [Internet]. Disponible desde: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000300003>> > [Acceso 17 de Agosto de 2014 21:30 Hrs.]

[23]Speck Olga. **Field measurements of wind speed and reconfiguration in arundo donax (poaceae) with estimates of drag forces.** American Journal of Botany 90(8): 1253–1256. 2003

[24]Franka Brüchert, Olga Speck, and Hanns–Christof Spatz. **Oscillations of plants' stems and their damping: theory and experimentation.** Phil. Trans. R. Soc. Lond. B September 29, 2003 358 1437 1487-1492

[25]Speck, O. and Spatz, H.-C. (2003), **Mechanical Properties of the Rhizome of Arundo donax L. Plant Biology**, 5: 661–669. doi: 10.1055/s-2003-44714

[26]Speck Olga. **Damped oscillations of the giant reed arundo donax (poaceae).** American Journal of Botany 91(6): 789–796. 2004.

[27]Physiology and Biochemistry: Markus Milwich, Thomas Speck, Olga Speck, Thomas Stegmaier, and Heinrich Planck. **Biomimetics and technical textiles: solving engineering problems with the help of nature's wisdom.** Am. J. Bot. October 2006 93:1455-146

[28] Tesis, “**Caracterización mecánica del carrizo (arundo donax) y análisis estructural de un chasis-suspensión elaborado del mismo material para un vehículo a escala**”, Rogerio Alberto Silva Reyes, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores plantel Aragón, Junio 2015

# **APÉNDICE A**

**PROCESO DE FABRICACIÓN.  
INSTRUMENTACIÓN DEL CHASIS.  
PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS.**



(a) Cortado de los carrizos al tamaño que se necesita; (b) Carrizos cortados al tamaño para hacer el subensamble; (c) Presentación del subensamble antes de sujetar con hilo; (d) Subensamble terminado con resina en los nodos.



(a) Ensamble del chasis completo, tanto parte delantera como trasera; (b) Ajustando al tamaño las donas de hule que funcionó como buje; Haciendo una abertura a las donas de hule para ponerlas en el carrizo; (d) Dona de hule colocada en el chasis de carrizo.



(a) Armado del cubo que va en la parte delantera; (b) Ensamble de los subensambles para formar la parte delantera del chasis; (c) Parte posterior del subensamble que soporta el motor; (d) Fijando la parte trasera, que soporta el motor, al chasis.



(a) Pieza de acero para acoplar brazos de la rueda, con buje de hule; (b) Ajustando los acoples metálicos para que no quedaran muy largos; (c) Dos coples metálicos que formaron los brazos para colocar en su posición la llanta; (d) Cople metálico unido por tuercas y tornillo.



(a) Los coples metálicos se limaban para evitar daño a los bujes o el carrizo; (b) Cortando ángulo que funcionó como cople, en la llanta, para los brazos de la llanta; (c) Chasis con los 16 coples que van sujetos a este; (d) Adaptación de las rótulas.



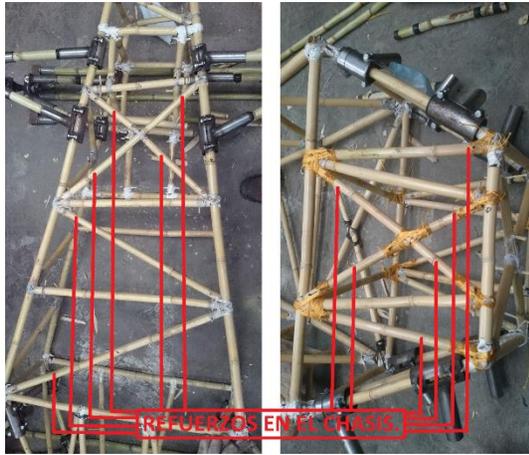
Elementos estructurales, así como de la suspensión de un brazo del eje delantero



(a) Cortando de solera de 2" para fabricación de masa delantera; (b) Calentando con equipo de oxiacetileno para doblar la solera; (c) Doblando la solera con ayuda de una llave; (d) Chasis terminado sin reforzar.



Chasis con la primera suspensión elaborada.



Algunos de los refuerzos que se le hicieron al chasis.



Chasis totalmente reforzado.



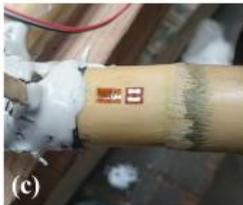
(a) Elaboración de la base que sostiene los tubo de la suspensión; (b) Base completa en la que se montaran 6 tubos de PVC para los brazos de la suspensión; (c) Elementos que van sujetos a la base anterior (Tubo PVC, tira de hule, abrazadera, tubo de carrizo); (d) Elementos acoplados que fungirán como elemento elástico de la suspensión.



(a) y (b) Ensamble de base de carrizo con tubo de PVC; (c) Carrizos para empotrar la base, que lleva los tubos, al chasis; (d) Ajustando la posición a la cual estará empotrada la base al chasis.



(a) Equipo P6000 con el que se hizo el monitoreo de las pruebas; (b) Tarjeta a la cual van conectados los cables (tres colores) soldados de las galgas y esta a su vez al equipo de medición; (c) Tarjetas conectadas al equipo; (d) Chasis instrumentado y conectado al P6000 para hacer las pruebas.

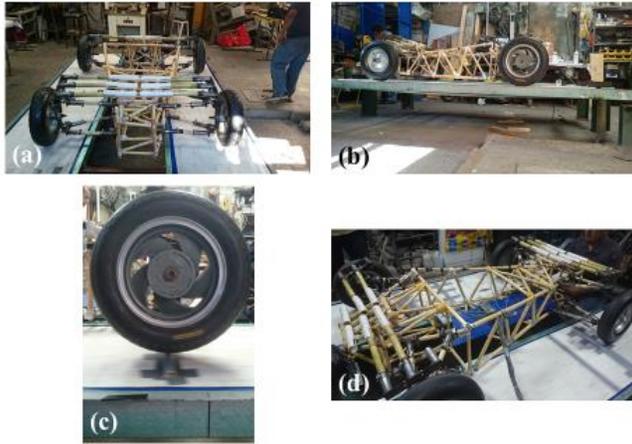


(a) Inicio del proceso de pegado de la galga, sacándola de su protector; (b) Galga y terminal pegada en la cinta adhesiva posicionada en el lugar que se pegara; (c) Galga y terminal ya pegada al carrizo; (d) Soldado de la galga.



(a) Colocando el motor eléctrico para simular el peso de la parte motriz; (b) Botes con agua (no están completamente llenos) que simula el peso de baterías y tripulante; (c) Prueba en la que se

levanta el brazo delantero derecho del carro para que este se torciera; (d) Prueba en la que se levanta el eje trasero para hacer flexionar el chasis.

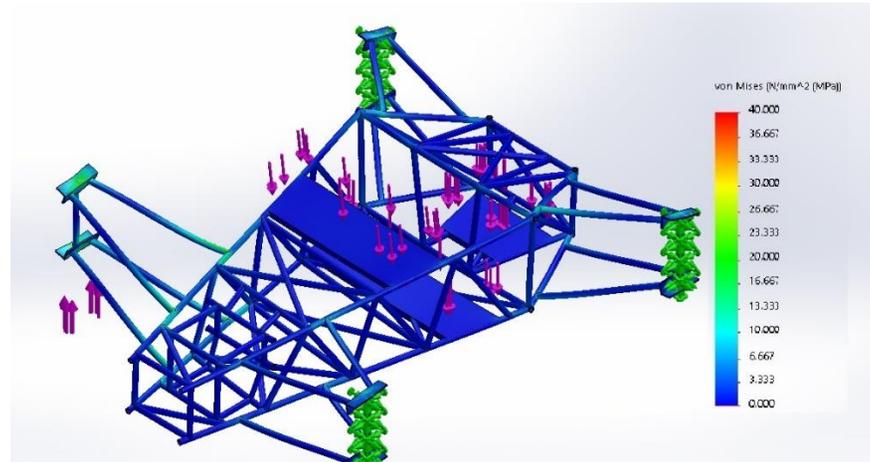


(a) y (b) Chasis montado en el banco de pruebas; (c) Momento en el que una llanta pasa por un obstáculo durante la prueba dinámica; (d) Chasis instrumentado y conectado el equipó de medición P6000, durante el estudio dinámico en el banco de prueba.

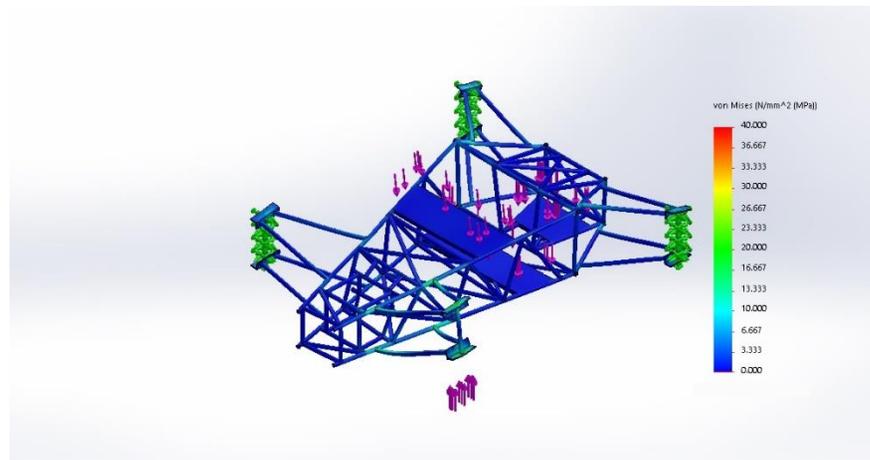
# **APÉNDICE B**

## **SIMULACIÓN DE CAD.**

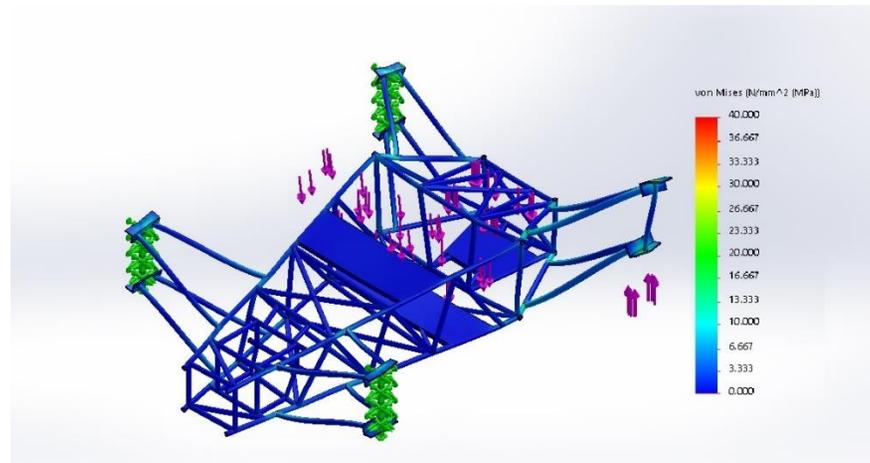
Prueba estática: “Llanta delantera derecha” Código de la prueba: “A”



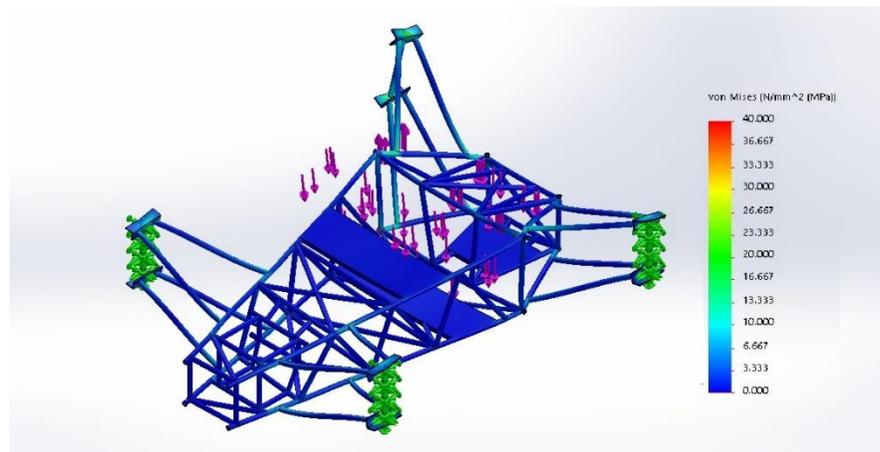
Prueba estática: “Llanta delantera izquierda” Código de la prueba: “B”



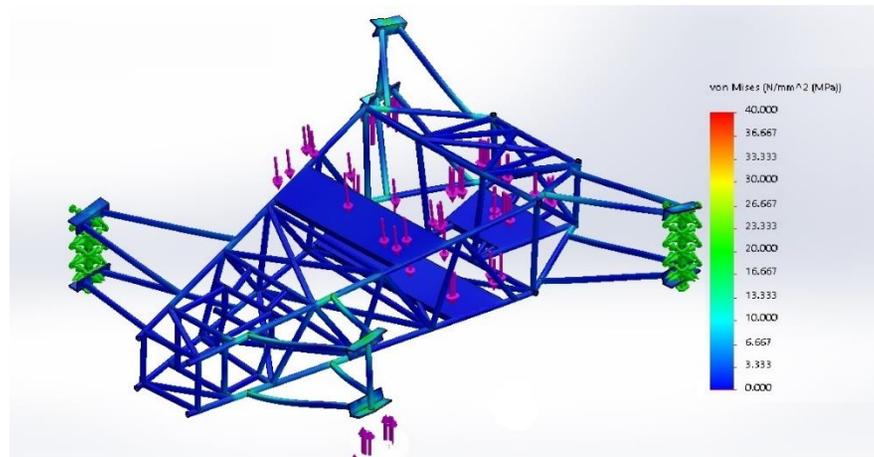
Prueba estática: “Llanta trasera izquierda” Código de la prueba: “C”



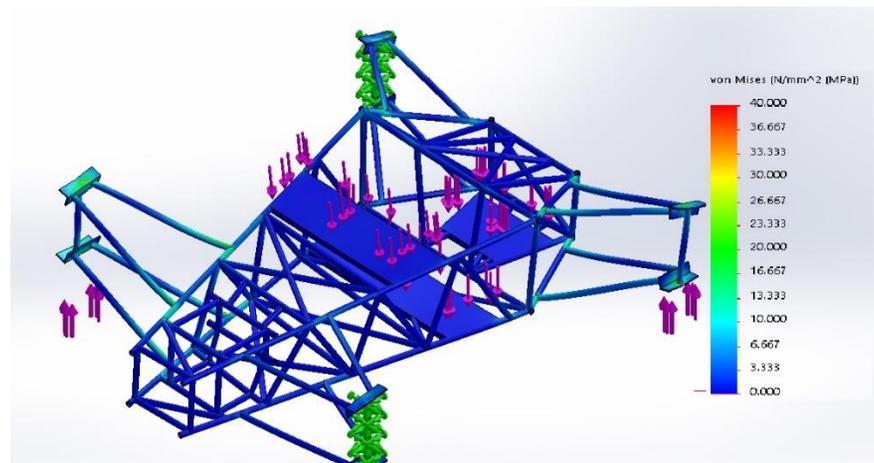
Prueba estática: “Llanta trasera derecha” Código de la prueba: “D”



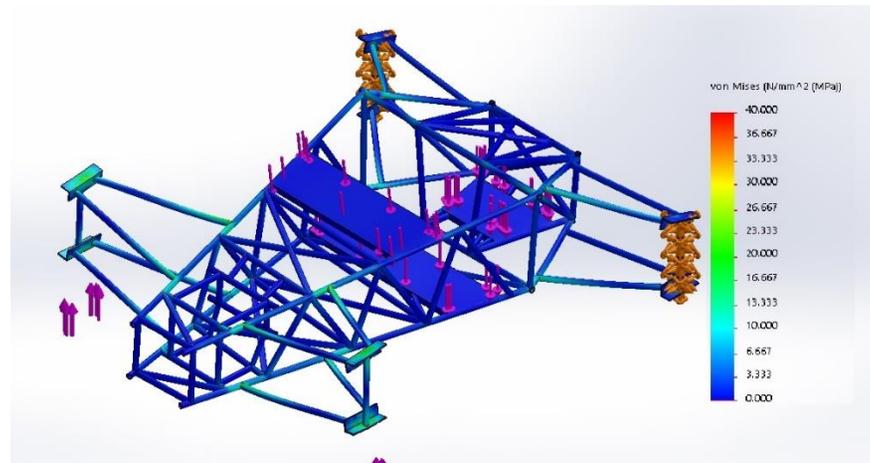
Prueba estática: “Llanta Llantas cruzadas (trasera derecha delantera izquierdo)” Código de la prueba: “E”



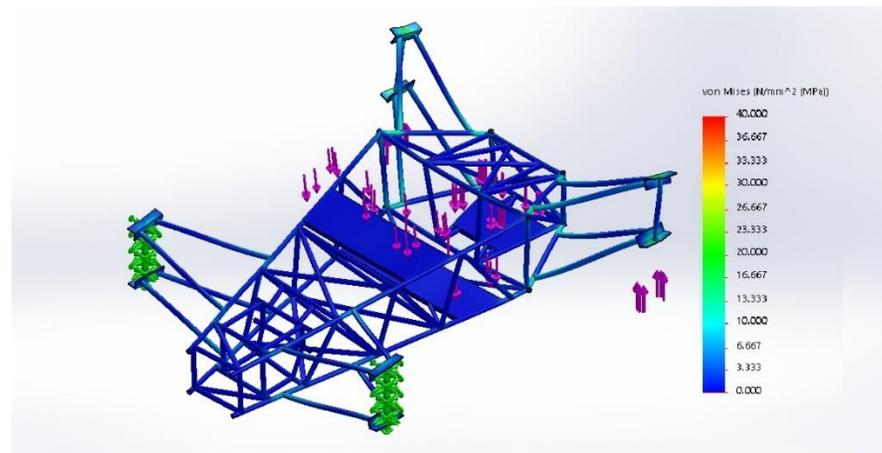
Prueba estática: “Llantas cruzadas (trasera izquierda delantera derecha)” Código de la prueba: “F”



Prueba estática: “Llantas de eje delantero” Código de la prueba: “G”

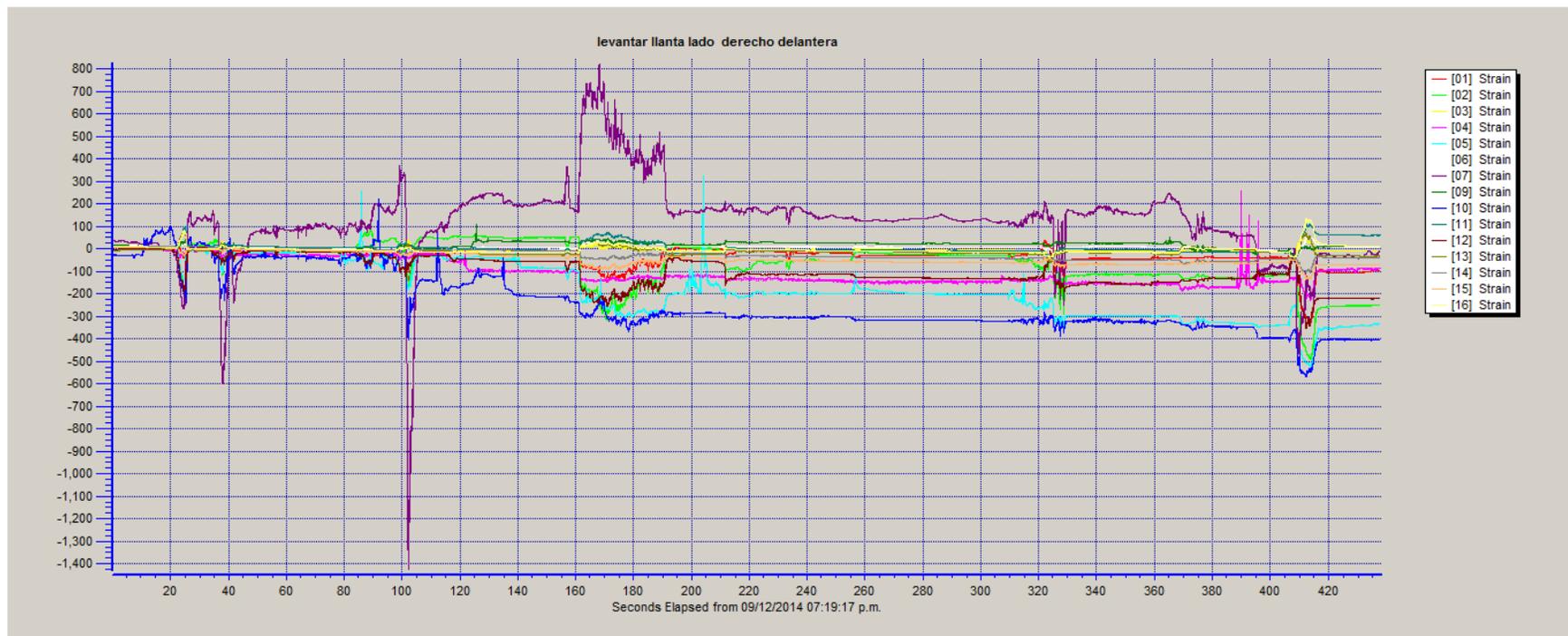


Prueba estática: “Llantas de eje trasero” Código de la prueba: “H”

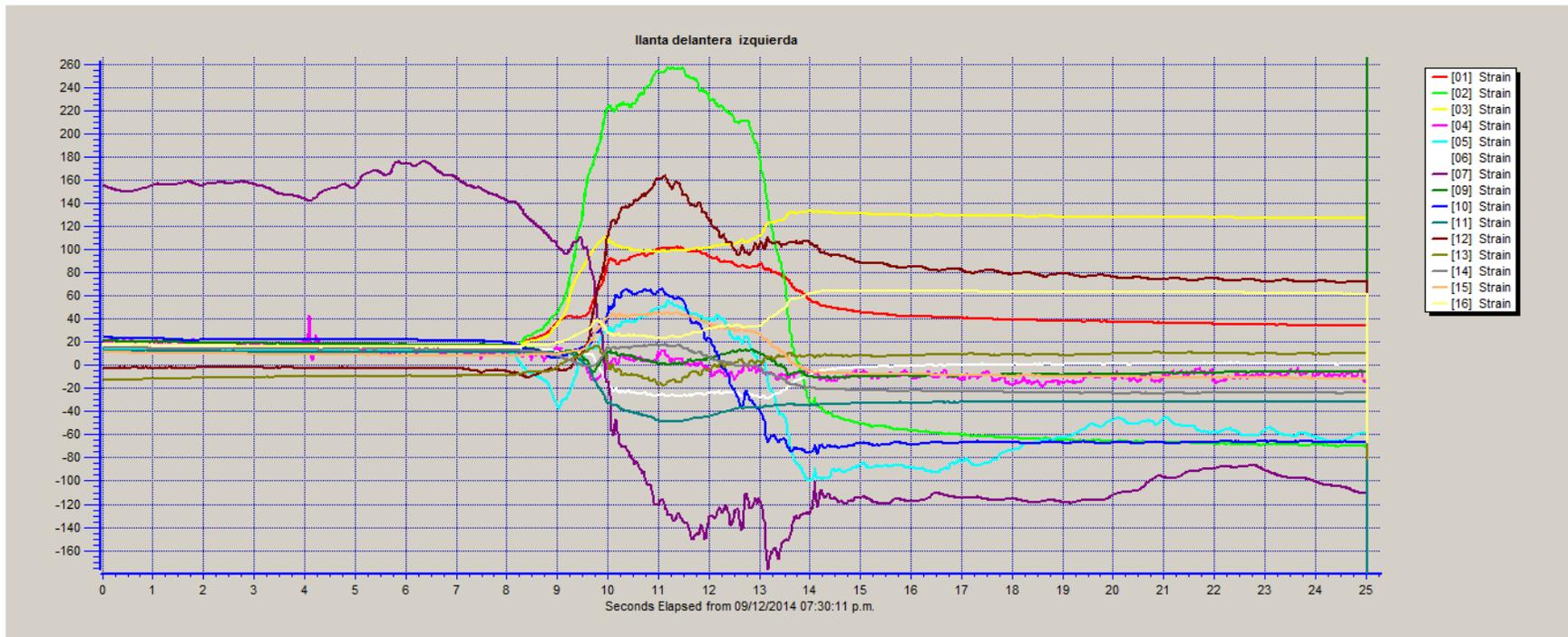


**APÉNDICE C**  
**GRAFICAS DE LAS PRUEBAS**  
**ESTÁTICAS Y DINÁMICAS.**

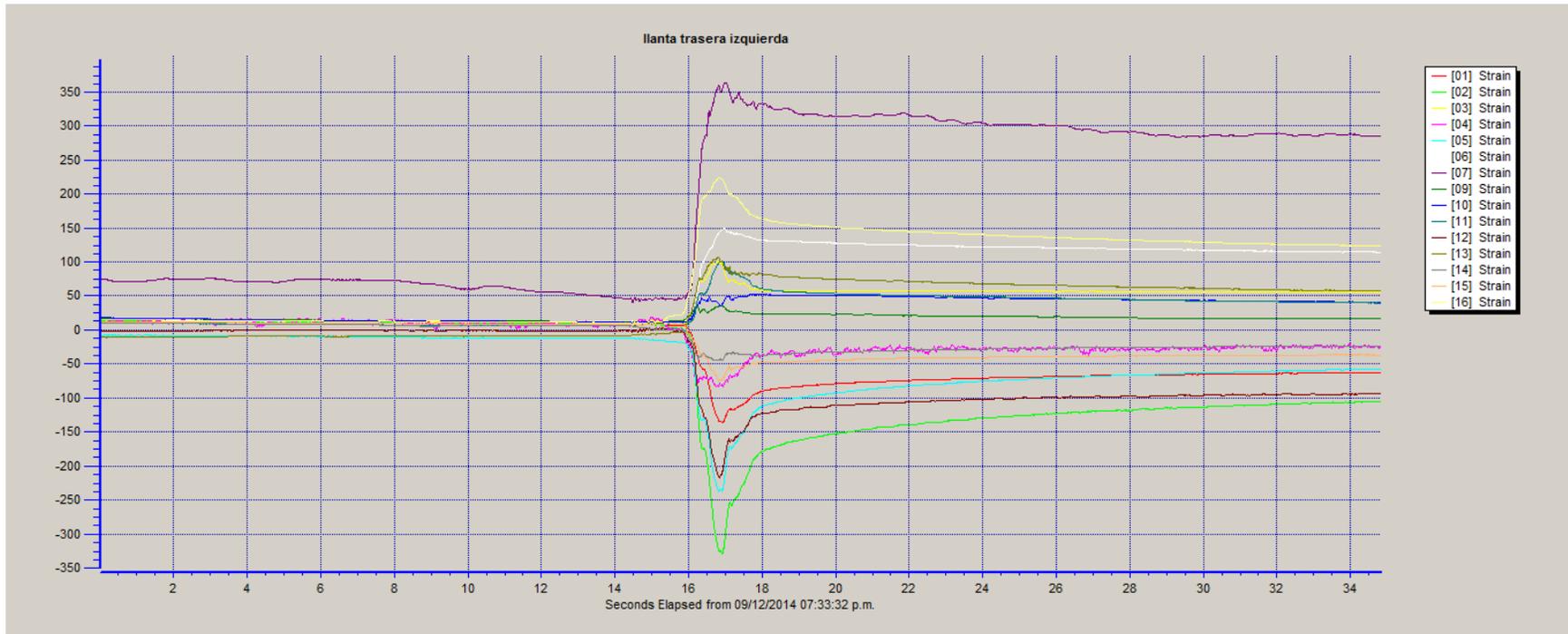
# Prueba estática: “Llanta delantera derecha” Código de la prueba: “A”



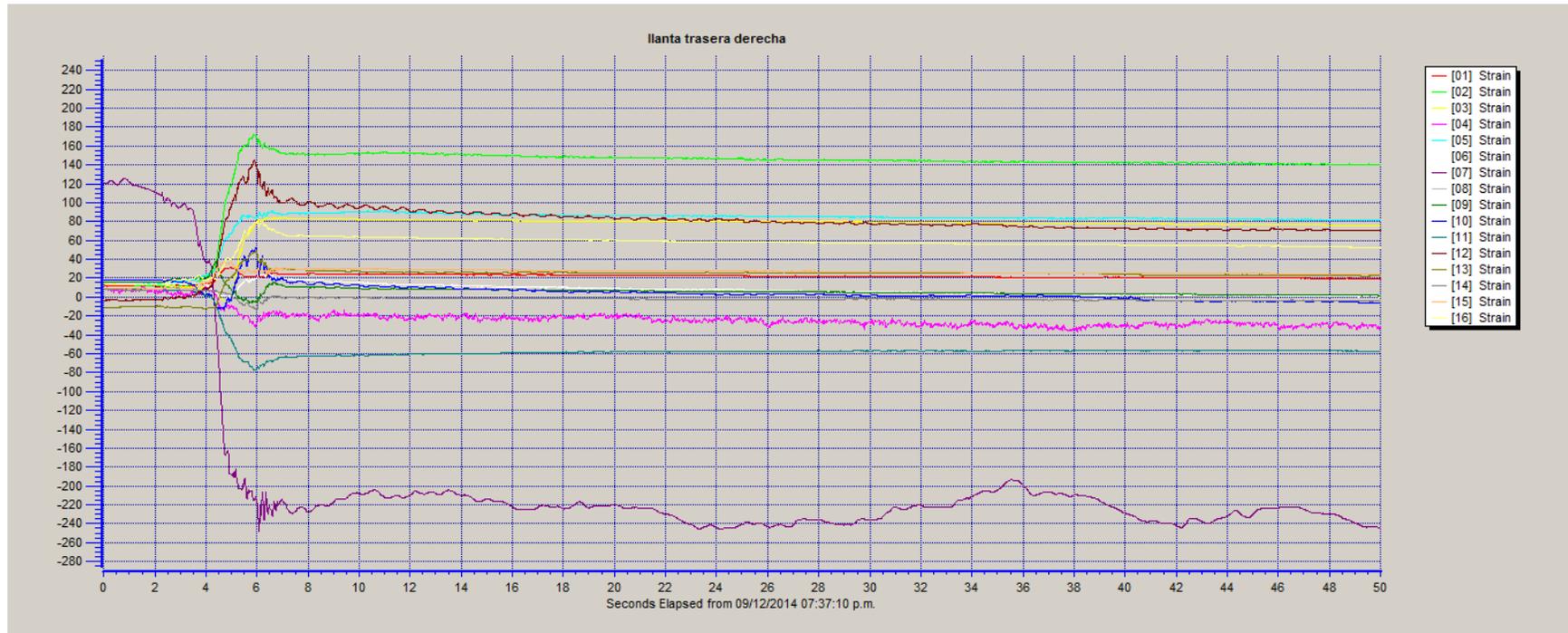
# Prueba estática: “Llanta delantera izquierda” Código de la prueba: “B”



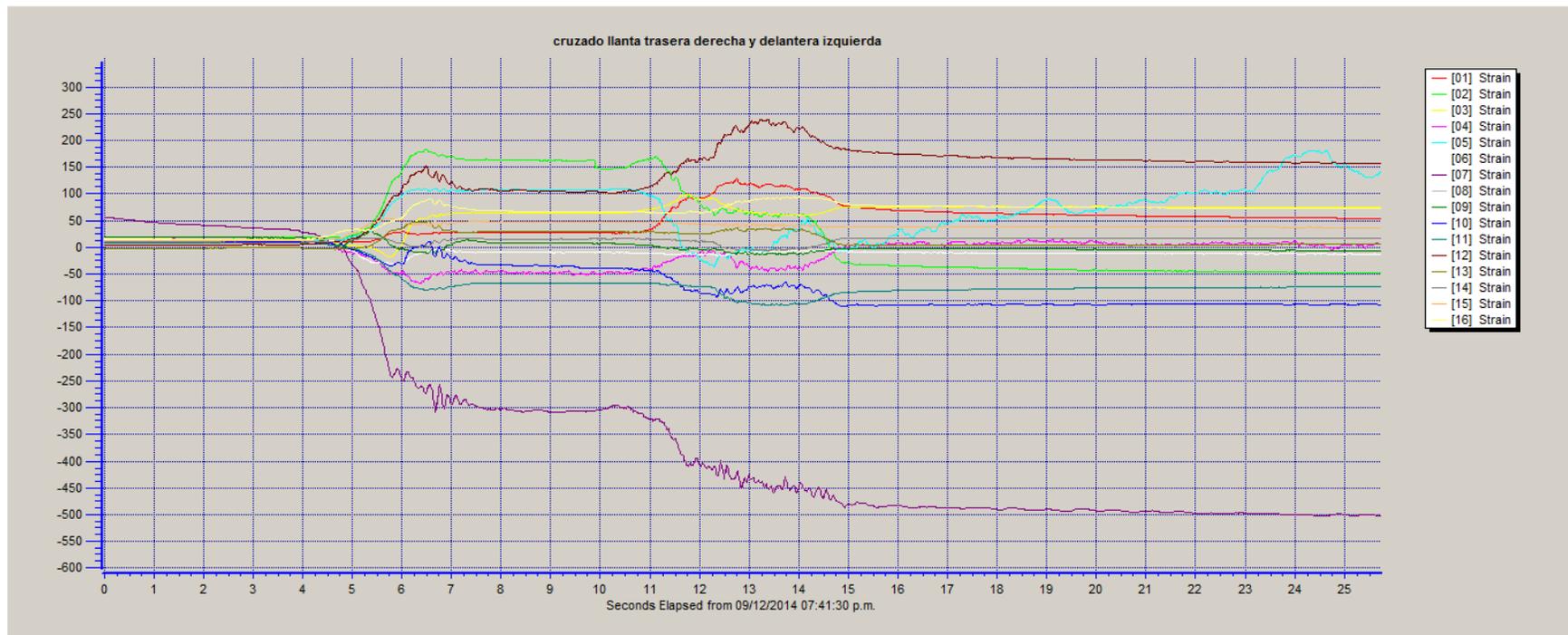
# Prueba estática: “Llanta trasera izquierda” Código de la prueba: “C”



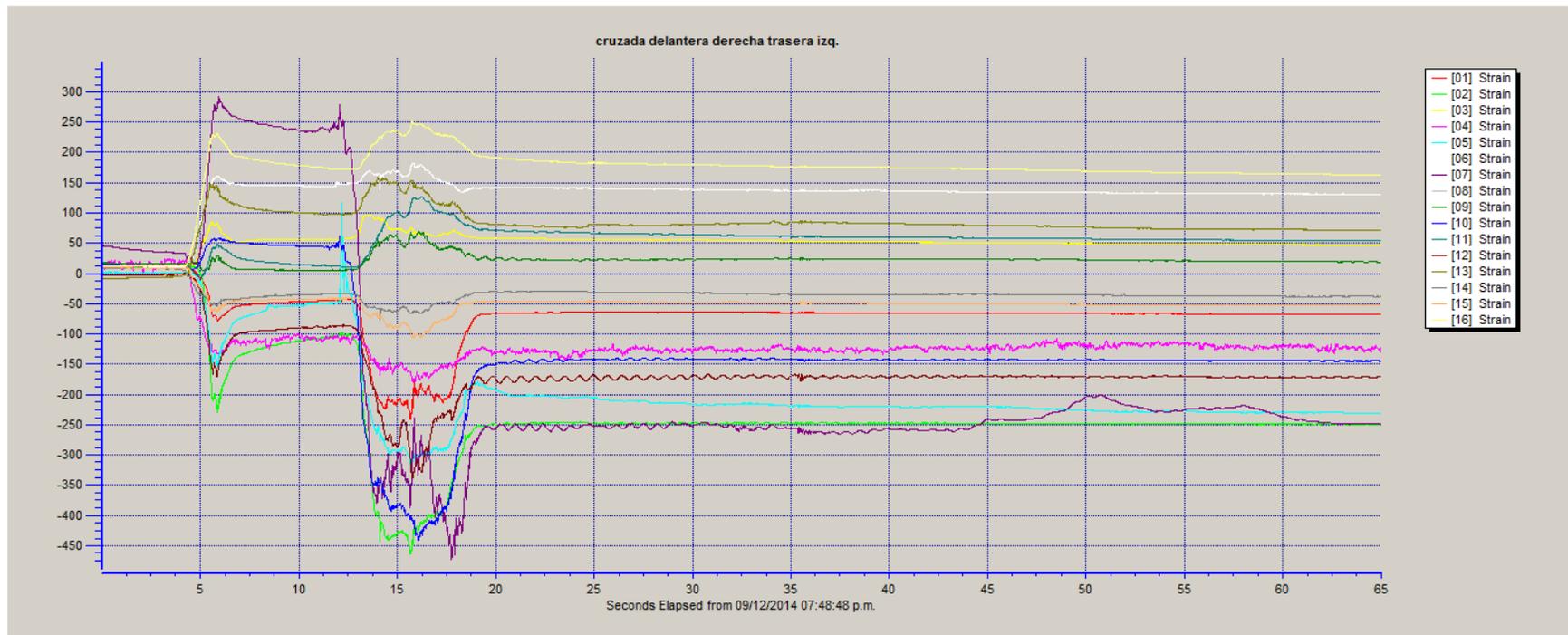
# Prueba estática: “Llanta trasera derecha” Código de la prueba: “D”



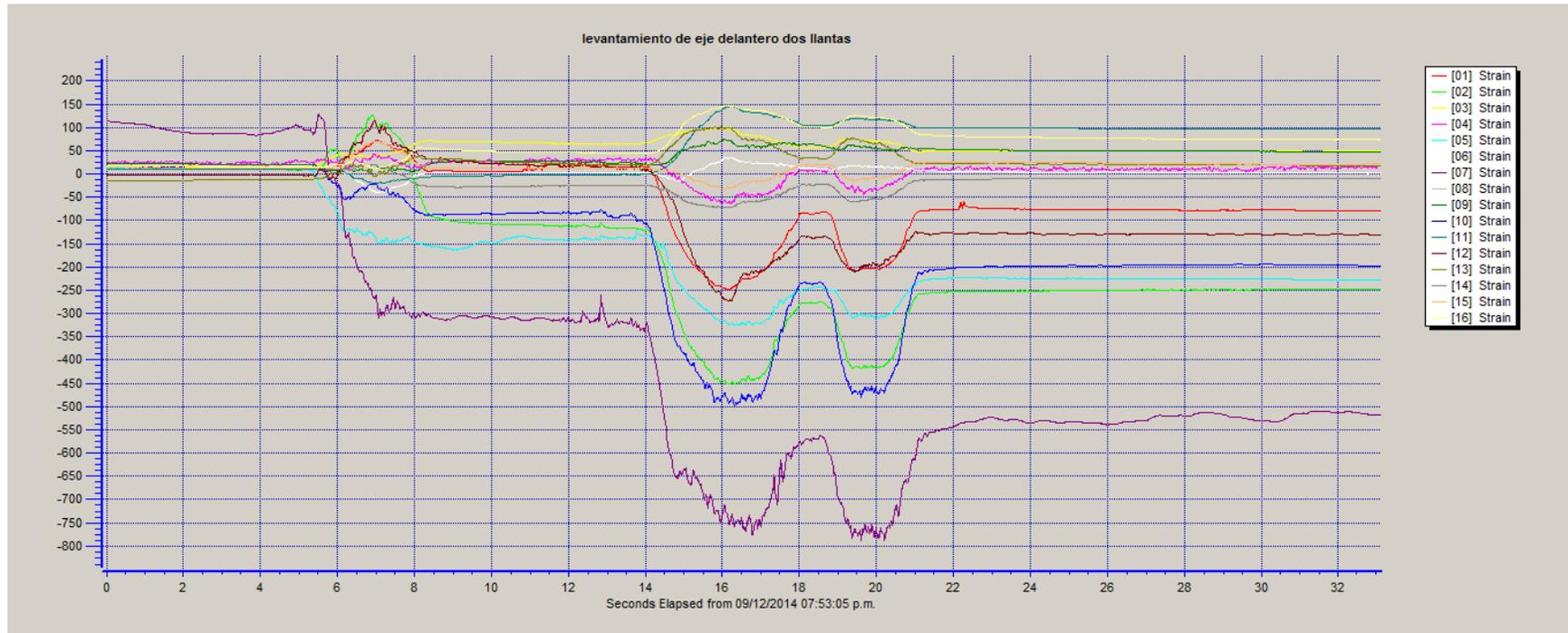
Prueba estática: “Llanta Llantas cruzadas (trasera derecha delantera izquierdo)”  
Código de la prueba: “E”



Prueba estática: “Llantas cruzadas (trasera izquierda delantera derecha)”  
Código de la prueba: “F”



# Prueba estática: “Llantas de eje delantero” Código de la prueba: “G”



# Prueba estática: “Llantas de eje trasero” Código de la prueba: “H”

