



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Análisis de esfuerzos en el chasis de una motocicleta

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autores:

Pedro Xavier Campoverde Merchán

Juan Efraín Carrión Pineda

Director:

Ing. Robert Rockwood Iglesias M.I.

**CUENCA – ECUADOR
2025**

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres a los que les debo todo y mis hermanos que han estado incondicionalmente a pesar de las adversidades. A mis profesores por sus conocimientos brindados han sido mi pilar fundamental para mi perfil profesional y personal.

Pedro Campoverde

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, amigos y profesores, quienes han sido apoyo y motivación en todo este tiempo. Agradezco a todos ellos por su guía, ayudarme a crecer como persona y profesional. Esta investigación es mi dedicatoria para todos ustedes, en agradecimiento por lo que han hecho por mí.

Juan Carrión Pineda

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra familias, amigos y profesores:

Familia, porque gracias a ellos su amor y apoyo en medida de lo posible, incluso con los que no están, pero viven en nuestros recuerdos.

Amigos, por esas risas, anécdotas y ayuda que se fueron forjando durante el tiempo.

Profesores, los cuales también influyeron, e inspiraron nuestro conocimiento.

Agradecemos a todos ellos por aportar a nuestra formación profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

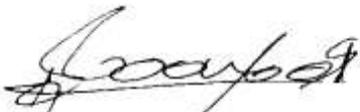
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	3
- <i>Materiales</i>	4
- <i>Protocolo de instalación</i>	4
- <i>Recolección de datos:</i>	5
- Cálculo de esfuerzos principales:	6
- Cálculo de esfuerzos principales:	6
III. RESULTADOS.....	7
IV. DISCUSIÓN	8
- Análisis de eventos.....	8
- Comportamiento del Bastidor	8
V. CONCLUSIONES	8
VI. REFERENCIAS	8
VII. ANEXOS.....	10

RESUMEN

En este estudio se analizaron los esfuerzos generados por cargas dinámicas en el chasis de una motocicleta eléctrica, para ello, se emplearon galgas extensiométricas junto con un sistema de adquisición de datos, a través del cual se procesaron las señales de variación de voltaje para calcular la deformación y los esfuerzos asociados. Las mediciones se realizaron mientras la motocicleta operaba en condiciones normales dentro del área urbana de la ciudad de Cuenca.

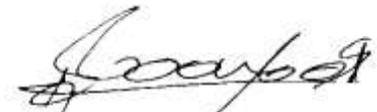
Los resultados experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante simulaciones de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) en Dinámica de Cuerpos Múltiples, determinando que los esfuerzos variaron en un 18.06%, esto posiblemente sea debido a que en las simulaciones CAE se consideran casos extremos de carga. Los hallazgos de este estudio contribuirán a mejorar el modelo computacional empleado para estimar los esfuerzos sobre el chasis y elementos de suspensión de motocicletas.

Palabras clave: Chasis de motocicleta, medición de esfuerzos, galgas extensiométricas, simulaciones CAE.



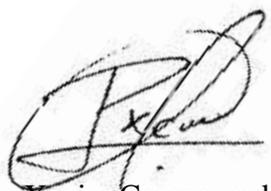
Ing. Robert Rockwood. M.I

Director del trabajo de titulación



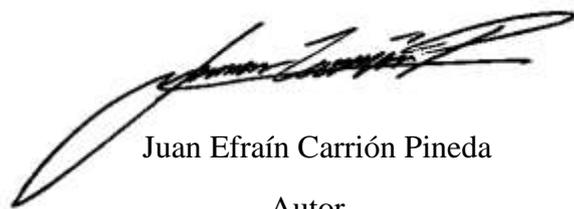
Ing. Robert Rockwood. M.I.

Director de Escuela



Pedro Xavier Campoverde Merchán

Autor



Juan Efraín Carrión Pineda

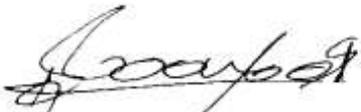
Autor

ABSTRACT

In this study, the stresses generated by dynamic loads on the chassis of an electric motorcycle were analyzed. For this purpose, strain gauges were used alongside a data acquisition system, through which voltage variation signals were processed to calculate deformation and associated stresses. Measurements were taken while the motorcycle operated under normal conditions within the urban area of Cuenca.

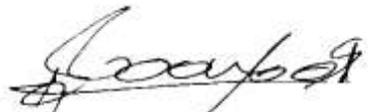
The experimental results were compared with those obtained through Computer-Aided Engineering (CAE) simulations in Multibody Dynamics, determining that measured stresses varied by 18.06%. This discrepancy is likely due to CAE simulations considering extreme load scenarios. The findings of this study will contribute to improve the computational model used to estimate stresses on the chassis and suspension components of motorcycles.

Keywords: Motorcycle chassis, stress measurement, strain gauges, CAE simulations.



Ing. Robert Rockwood. M.I.

Director of the degree project

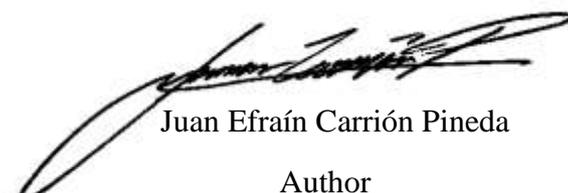


Ing. Robert Rockwood. M.I.

School director



Pedro Xavier Campoverde Merchán
Author



Juan Efraín Carrión Pineda
Author

Análisis de esfuerzos en el chasis de una motocicleta

Robert Esteban Rockwood Iglesias

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay
rrockwood@uazuay.edu.ec

Pedro Xavier Campoverde Merchán

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay

Juan Efraín Carrión Pineda

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay

Resumen - En este estudio se analizaron los esfuerzos generados por cargas dinámicas en el chasis de una motocicleta eléctrica, para ello, se emplearon galgas extensiométricas junto con un sistema de adquisición de datos, a través del cual se procesaron las señales de variación de voltaje para calcular la deformación y los esfuerzos asociados. Las mediciones se realizaron mientras la motocicleta operaba en condiciones normales dentro del área urbana de la ciudad de Cuenca.

Los resultados experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante simulaciones de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) en Dinámica de Cuerpos Múltiples, determinando que los esfuerzos variaron en un 18.06%, esto posiblemente sea debido a que en las simulaciones CAE se consideran casos extremos de carga. Los hallazgos de este estudio contribuirán a mejorar el modelo computacional empleado para estimar los esfuerzos sobre el chasis y elementos de suspensión de motocicletas.

Palabras clave: Chasis de motocicleta, medición de esfuerzos, galgas extensiométricas, simulaciones CAE.

Abstract- In this study, the stresses generated by dynamic loads on the chassis of an electric motorcycle were analyzed. For this purpose, strain gauges were used alongside a data acquisition system, through which voltage variation signals were processed to calculate deformation and associated stresses. Measurements were taken while the motorcycle operated under normal conditions within the urban area of Cuenca.

The experimental results were compared with those obtained through Computer-Aided Engineering (CAE) simulations in Multibody Dynamics, determining that measured stresses varied by 18.06%. This discrepancy is likely due to CAE simulations considering extreme load scenarios. The findings of this study will contribute to improving the computational model used to estimate stresses on the chassis and suspension components of motorcycles.

Keywords: Motorcycle chassis, stress measurement, strain gauges, CAE simulations.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se evaluaron los esfuerzos generados por cargas dinámicas en el chasis de una motocicleta eléctrica, para esto, se utilizaron galgas extensiométricas junto con un sistema de adquisición de datos, así las señales de variación de voltaje fueron procesadas para calcular la deformación de las galgas, y posteriormente los esfuerzos asociados.

Previo a la realización de este estudio, se realizaron diferentes simulaciones computacionales de Ingeniería Asistida por Computador (CAE, por sus siglas en Inglés), en ellas se evaluó la resistencia del chasis de la motocicleta eléctrica bajo diferentes condiciones de carga, entre ellas: Análisis de esfuerzo y deformación por cargas estáticas (figura 1), Análisis de esfuerzo y deformación por cargas dinámicas (Dinámica Computacional de Cuerpos múltiples), figura 2, Análisis modal, entre otros. Los resultados obtenidos muestran que este elemento soportaría eficientemente las cargas impuestas; No obstante, es necesario corroborar los resultados obtenidos, con mediciones reales, y así generar conocimiento que permita ajustar los modelos CAE utilizados, para aproximarlos de mejor manera a la realidad.

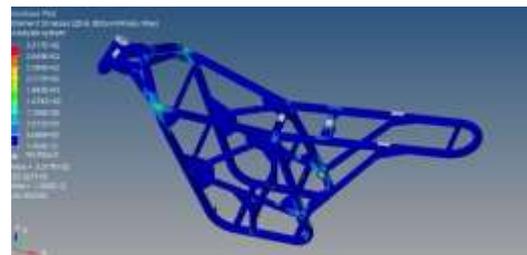


Figura 1.- Análisis CAE de esfuerzo y deformación del chasis de la motocicleta por cargas estáticas [1]



Figura 2. - Análisis CAE de esfuerzo y deformación del chasis de la motocicleta por cargas dinámicas. [1]

Para el desarrollo de la simulación de desempeño mecánico a través de pruebas de dinámica de cuerpos múltiples CAE, se colocaron dos postes que excitan de manera aleatoria el sistema de suspensión de la motocicleta, alcanzando un desplazamiento de hasta 100 mm. Adicionalmente se consideró el peso de los principales componentes, así como el peso de 2 personas de 55kg cada una.

La motocicleta eléctrica utilizada en el presente estudio fue construida en la Universidad del Azuay junto con la Empresa Tratural Cía. Ltda., con el financiamiento de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia, CEDIA (fondos 1 a 1), en la figura 3 se observa una fotografía de la motocicleta manufacturada.



Figura 3.- Fotografía de la motocicleta utilizada en el presente estudio.

Las características de esta motocicleta se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Características de la motocicleta.

Tipo de Chasis:	Tubular
Material del chasis:	Acero ASTM A36
Largo:	1800 mm
Ancho:	780 mm
Alto:	1079 mm
Distancia al suelo:	240 mm
Distancia entre ejes:	1430 mm
Ángulo de avance	23°
Potencia nominal del motor	4KW
Tipo de batería:	Ion de litio
Tensión nominal	72v
Capacidad	40Ah
Freno delantero	Disco
Freno posterior	Disco
Suspensión delantera	Horquilla telescópica
Suspensión posterior	Monoshockc NITROX
Neumático Delantero	100/80 R17
Neumático posterior	130/70 R17

Las galgas extensiométricas según se indica en la publicación de Alzate, Montes, y Silva es un sensor de efecto piezoresistivo que permiten medir la deformación de elementos mecánicos, su funcionamiento está basado en la variación de su resistencia eléctrica, en función de su deformación, su exactitud permite aplicarlas en una amplia variedad de campos de la ingeniería e investigaciones. Para ajustar su nivel de sensibilidad, suelen conectarse mediante un puente de Wheatstone [2].

De acuerdo a la página oficial de OMEGA ENGINEERING [3] las galgas extensiométricas trabajan dentro de la zona de deformación elástica (figura 4); en el caso de llegar a sobrepasar este esfuerzo la galga pierde su capacidad de medición; hay que considerar que su aplicación está diseñada para medir deformaciones muy pequeñas.

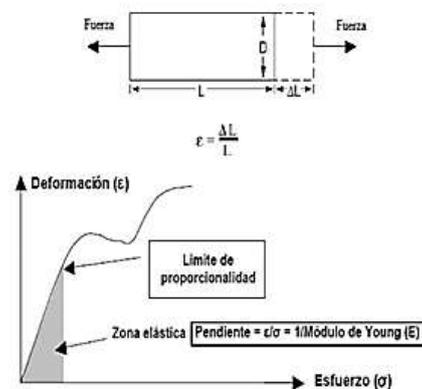


Figura 4.- Funcionamiento de la galga dentro de su rango elástico. [4]

Muchos estudios se han realizado con el fin de medir esfuerzos a través de galgas extensiométricas, a continuación, se presentan los más relevantes.

En un estudio desarrollado en la Universidad del Azuay por Muñoz F. (2020) [5], el autor planteó la validación de los datos obtenidos del análisis CAE, a través de galgas extensiométricas para medir los esfuerzos en el chasis monoplaza de un vehículo construido para la competencia "Shell Eco Marathon", las variaciones de las mediciones respecto a los resultados obtenidos en simulaciones computacionales de ingeniería asistida tienen un rango admisible para el estudio.

En el estudio realizado por Domínguez C. y Tierra J. [6] se planteó la construcción de un banco de pruebas con la finalidad de determinar la tensión de elementos mecánicos a través de la aplicación de galgas extensiométricas. En su desarrollo se obtuvo un error porcentual menor al 1% entre los esfuerzos medidos y los calculados a partir de la medición de la deformación observada.

En la Universidad del Azuay, Contreras F. y Sigüencia J. [7] desarrollaron el estudio de una viga en

voladizo en acero inoxidable para determinar la deformación aplicando esfuerzos a flexión y torque para lo que se usó galgas extensiométricas de dos tipos donde se logró determinar que el uso de las galgas de tipo roseta, poseen características más eficientes para el análisis realizado. Lo que nos ayudó a seleccionar el tipo de galga extensiométrica en nuestro estudio.

Borja R. y Morocho P. [8] realizaron un estudio para determinar la variación de esfuerzos en una viga empotrada con la aplicación de 3 distintos métodos (analítico, numérico y experimental). Muestran en su estudio la aplicación de galgas extensiométricas y un reloj comparador para determinar la deformación unitaria, logrando un rango de error que varía entre 0.13% a 4.61%.

Fernández I. [9] realizó una investigación de diseño, cálculo, optimización y fabricación de un subchasis para una motocicleta de competición y Fernández de la Cuesta P. realizó un análisis del basculante de una motocicleta de competición [10]; en donde nos basamos para comparar puntos de estudio en común con un chasis y basculante de altas prestaciones.

En el libro *Motocicletas, Comportamiento dinámico y diseño de chasis; el arte y la ciencia* [11] se establece el método y los datos necesarios para realizar el análisis dinámico de cuerpos múltiples CAE.

Del análisis del estado del arte, queda claro que el uso de galgas extensiométricas para la medición de deformaciones, y el cálculo de esfuerzos en componentes mecánicos, constituye un método viable para evaluar la resistencia de componentes mecánicos como el bastidor de la motocicleta eléctrica.

El presente estudio busca determinar el nivel de correlación de los esfuerzos que soporta el chasis de una motocicleta eléctrica, comparando los resultados obtenidos en simulaciones CAE, respecto a los medidos a través de galgas extensiométricas, considerando un escenario de aplicación real.

II. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos planteados, se siguió la metodología esquematizada en la figura 5. La misma está basada en cuatro pilares fundamentales.

Como primer paso, la búsqueda de la información donde se ha aplicado el método de adquisición de datos con galgas extensiométricas, con la finalidad de poder validar el método que se desea emplear en el proyecto. Luego utilizando los valores proporcionados a través de análisis CAE para determinar los puntos críticos y tomar la decisión para la selección de la galga adecuada para el sistema. Por consiguiente, instalar el sistema de galgas y adquisición de datos en la motocicleta para obtener los datos dinámicos y finalmente procesarlos así poder obtener los esfuerzos principales y de Von Mises, los cuales se compararán con los obtenidos en las simulaciones CAE.

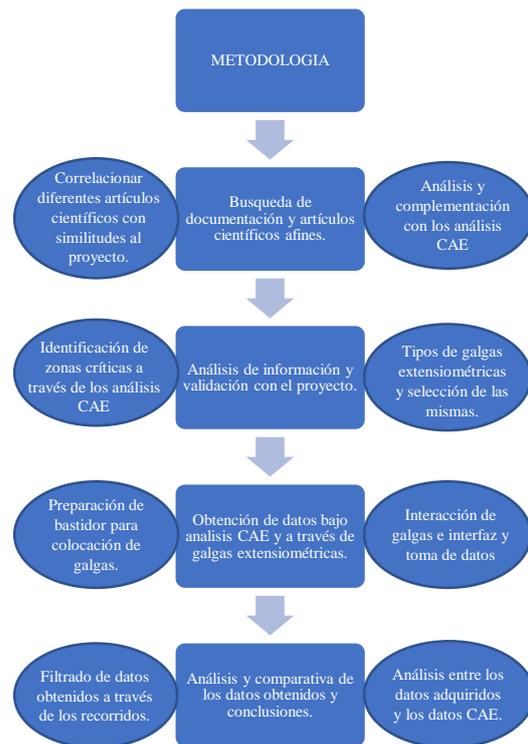


Figura 5.- Diagrama de flujo que muestra la metodología utilizada en el presente estudio.

Respecto a la obtención de los resultados de las simulaciones CAE, se identificó la zona crítica del chasis de la motocicleta, siendo este el que mayor esfuerzo mecánico soporta. Este corresponde a la base de los rodamientos de dirección, en este punto los esfuerzos alcanzan 73.75MPa en la simulación bajo cargas estáticas y 122.04 MPa en la simulación de Dinámica de Cuerpos Múltiples.

La zona de análisis corresponde a la de unión entre la suspensión delantera y los tubos de unión con el bastidor, las cuales se unen a través de un cordón de soldadura, por ello la galga extensiométrica fue colocada en la zona adyacente en dirección hacia el manillar, como se observa en la figura 6.

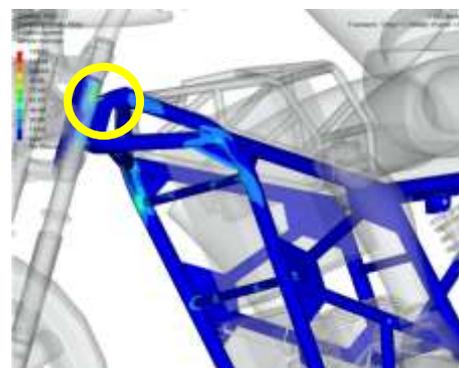


Figura 6.- Concentración de esfuerzos durante la simulación de esfuerzos que soporta el chasis, durante la prueba de Dinámica de Cuerpos Múltiples. [1]

- *Materiales*

Tarjeta de adquisición de datos National Instruments NI-9219; la cual tiene 4 canales; lo que facilita realizar varias tomas de datos a la vez; posee una velocidad de muestreo de 100 datos por segundo (100 Hz), generando la confiabilidad de adquirir la cantidad de datos necesarios para el análisis. Se puede apreciar su estructura en la figura 7.



Figura 7.- Modulo NI-9219. [12]

Galgas extensiométricas; existen una gran variedad de tipos de galgas, para el proyecto hemos optado por utilizar las de tipo roseta (WA-06-120WR-350) por la facilidad de toma de datos en un plano triaxial, donde la toma de valores se realiza cada 45 grados (Figura 8). En la tabla 2, se muestra las propiedades de la misma.

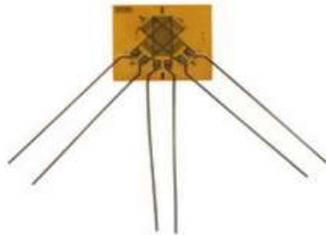


Figura 8 Galga extensiométrica 120WR. [13]

Tabla 2. PROPIEDADES DE LA GALGA WA-06-120WR-350

Serie	WK, WA, SK, SA
Resistencia	$350 \pm 0.5\% \Omega$
Factor de sensibilidad	$1.2 \pm 0.2\%$
Material	Constantan
Recubrimiento	Aldehído
Sensibilidad transversal	$(+0.3 \pm 0.2) \%$

- *Protocolo de instalación*

En primera instancia; se realizó una limpieza exhaustiva del lugar donde se ubicó la galga. Se retiró la pintura, y se pasaron 3 tipos de lija (No. 160, No. 240, y No.350) con la finalidad de no dejar imperfecciones que afecten la toma de datos; En la figura 9 se puede observar el resultado obtenido.



Figura 9.- Limpieza y acabado para colocación de galga.

Se realizó la preparación de la galga extensiométrica, como se observa en la figura 10, al retirarla del empaque, conviene colocar cinta transparente en la parte posterior de la galga, con la finalidad de no contaminarla y perjudicar su pegado en el chasis.



Figura 10.- Preparación de la galga extensiométrica.

Se coloca la galga en la zona preparada con un pegamento resistente a base de cianoacrilato quedando fijada al chasis como se puede observar en la figura 11.



Figura 11.- Ubicación de la galga en el chasis.

Posteriormente se mide el valor de la resistencia eléctrica inicial (Figura 12) para utilizarla como “cero” para la recolección de datos observando que entre cada toma no exista una variación de +/- 1 ohm.



Figura 12.- Revisión de resistencia inicial de la galga.

Finalmente es necesario soldar el cable multipar a las galgas a través de “pads” como se observa en la figura 13.



Figura 13.- Soldado de cable multipar.

- *Recolección de datos:*

- Preparación Inicial: Se realizó la conexión a la tarjeta de adquisición de datos, para ello se configuró un medio puente de Wheatstone (figura 14), así las pequeñas variaciones de resistencia en la galga, generarán una mayor variación de tensión a

la salida del puente.

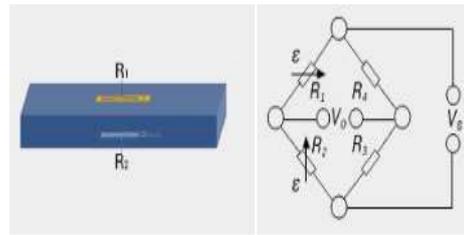
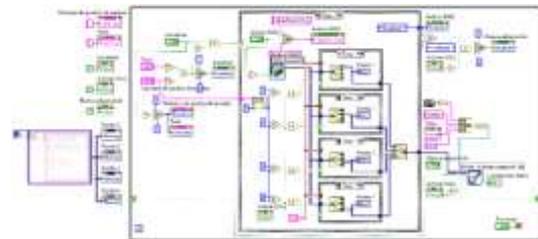


Figura 14.- Conexión de medio puente de Wheatstone [14].

Para realizar la adquisición de datos es necesario desarrollar una interface que permita procesar y almacenar los datos transferidos desde la tarjeta National Instruments NI-9219, para ello se desarrolló un programa en Labview® (Anexo A1), el cual está compuesto de cuatro secciones principales que son:

- Ingreso de señal, filtrado y amplificación.
- Ingreso de señales muestreadas y cuantificadas para el análisis de frecuencias.
- Salida de valores en formato digital.
- Pantalla de interfaz del usuario.



Los valores obtenidos a través de la tarjeta NI-9219 y el programa en Labview® se guardan en un archivo .xlsx

Los datos obtenidos a través del sistema de adquisición de datos, sirven para alimentar un programa “script” desarrollado en el programa Matlab®, este se encarga de ubicar los datos adquiridos en relación al tiempo y transformarlos al dominio de la frecuencia, a través del algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT), estos datos son graficados para aislar los datos del ruido inducido.

El código desarrollado en Matlab® y las gráficas obtenidas se observan en el anexo A.2.1 y en el anexo A.3.1 respectivamente.

- Filtrado: Una vez determinados los espectros de señal; es necesario filtrar los datos, para ello se configuró un filtro FIR (Anexo A.2.2) con las siguientes características:

- Frecuencia de paso de 25Hz.
- Frecuencia de parada de 35HZ.
- Atenuación de la frecuencia de parada de 60db.
- Frecuencia de muestreo de 100Hz.

Como salida del programa obtenemos señales de variación de voltaje en cada rama de la galga como se puede observar en el anexo A.3.2.

- Cálculo de esfuerzos principales:

Para el análisis de esfuerzos; se utilizaron las siguientes ecuaciones (BERROCAL, 1998) [15], para encontrar en primer lugar la deformación axial de cada componente de la galga tipo roseta.

$$\varepsilon_A = \frac{4F_A}{ExcK} \quad [1]$$

$$\varepsilon_B = \frac{4F_B}{ExcK} \quad [2]$$

$$\varepsilon_C = \frac{4F_C}{ExcK} \quad [3]$$

Donde Exc es el voltaje de excitación (5 v); K es el factor de galga; F_A, F_B, F_C son cada señal filtrada y $\varepsilon_A, \varepsilon_B, \varepsilon_C$ la deformación unitaria en cada plano de la galga.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_A \quad [4]$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_C \quad [5]$$

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C \quad [6]$$

Las resultantes de las fórmulas son los componentes matriciales de la deformación de la galga, donde ε_x y ε_y representan las deformaciones unitarias y γ_{xy} es la deformación Angular, con estos valores se puede estimar las deformaciones principales en base al análisis del círculo de Mohr (ecuaciones 7 y 8).

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad [7]$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad [8]$$

Con las deformaciones principales (ε_1 y ε_2) se procede a calcular los esfuerzos principales, utilizando las ecuaciones 9 y 10.

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2) \quad [9]$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1) \quad [10]$$

Donde σ_1 y σ_2 representan los esfuerzos principales, E es el módulo de Young y μ es el coeficiente de Poisson.

El “script” que permite calcular los esfuerzos principales obtenidas en la ruta realizada, así como sus gráficas correspondientes se presenta en los anexos A.2.3 y a A.3.3.

Finalmente utilizando los esfuerzos principales es posible calcular el esfuerzo equivalente de Von Mises (ecuación 11).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2}{2}} \quad [11]$$

Para obtener el esfuerzo de Von Mises en el punto crítico del chasis de la motocicleta se desarrolló en Matlab® un programa que se presenta en los anexos A.2.4 y A.3.4, respectivamente.

- Recorrido:

Para determinar la ruta adecuada se consideró la repetitividad de la misma; estado de la vía y que cuente con obstáculos y curvas que no se vean modificados con el tiempo, la ruta seleccionada se observa en la figura 15.

La ruta empieza desde el taller de mecánica automotriz de la Universidad del Azuay en la ciudad de Cuenca – Ecuador, inicia en la calle Hernán Malo hasta la Av. 24 de Mayo; tomamos la segunda salida del redondel en dirección a la calle Francisco Moscoso hasta la Av. 27 de Febrero; giramos a la izquierda y seguimos hasta la Av. Solano, giramos a la derecha por 150 metros y damos vuelta en U sobre la Av. Solano hasta llegar al redondel de los 3 puentes, tomamos la cuarta salida sobre la Av. 24 de Mayo hasta llegar a la calle Hernán Malo, damos 2 vueltas al redondel y tomamos la salida en la calle Hernán Malo hasta llegar al taller nuevamente.



Figura 1.- Ruta de pruebas.

En la figura 16 se observan los puntos de interés en la ruta, en la cual se detectaron los esfuerzos máximos sobre el porta rodamientos de la dirección, la tabla 3, muestra el detalle de la ubicación con su respectiva descripción.



Figura 16.- Zonas críticas en la ruta.

Tabla 3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE DATOS FUNDAMENTALES.

N.º	Ubicación	Descripción
1	Salida de taller de IMA de la U.D.A.	Cuneta.
2	Calle Hernán Malo; entrada de gradas (CCTT).	Botones reflectivos.
3	Calle Hernán Malo; entrada patio de diseño.	Desnivel de calzada.
4	Calle Hernán Malo y Av. 24 de Mayo.	Frenado.
5	Calle Francisco Moscoso.	Curva izquierda y derecha.
6	Puente Calle Francisco Moscoso.	Desnivel de calzada.
7	Calle Francisco Moscoso y Av. 27 de febrero.	Tapa alcantarillado.
8	Av. 27 de febrero y calle Julio Torres	Parche de calzada.
9	Av. 27 de febrero y calle Francisco Cuesta.	Frenado y cambio de calzada.
10	Av. 27 de febrero y Av. Solano.	Aceleración en pendiente.
11	Av. Solano y 27 de febrero	Desnivel de paso cebra.
12	Av. Solano y 1º de mayo	Frenado y desnivel
13	Redondel tres puentes.	Tapa de alcantarilla
14	24 de mayo y Camino viejo a Turi.	Cambio de calzada.
15	24 de mayo y 5 de Junio	Falla Geológica

16	Hernán Malo; salida parqueadero.	Parches de calzada
----	----------------------------------	--------------------

Es necesario recalcar que, para el desarrollo de las pruebas experimentales, la motocicleta fue ocupada por dos personas, cuyos pesos son: 53 kg y 110 kg, respectivamente.

III. RESULTADOS

En la tabla 4, se presenta los esfuerzos principales medidos en el punto crítico, en diferentes tramos de la ruta.

Tabla 4. ESFUERZOS DE VON MISES MÁXIMOS Y MÍNIMOS SEGÚN SU UBICACIÓN

Ubicación	σ_{VM} [MPa]	
	Max	Min
1	64	2
2	55	2
3	37	12
4	48	5
5	37	4
6	51	3
7	39	1
8	41	3
9	37	12
10	88	2
11	55	3
12	48	2
13	51	3
14	42	10
15	43	1
16	62	1

Los esfuerzos máximos de Von Mises se obtuvieron en condiciones de conducción normal, los cuales están comparados en la tabla 5, con los valores obtenidos en simulaciones CAE tanto Estática como Dinámica de Cuerpos Múltiples.

Tabla 5. VALORES DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS SEGÚN SU ANÁLISIS.

Tipo de análisis	σ_{VM} Max	σ_{VM} Min	η
	[MPa]	[MPa]	
Estático	73.75	36.86	3.39
Dinámico de cuerpos múltiples	122.04	48.81	2.04
Medición con Galgas extensiométricas	88	1	2.84

IV. DISCUSIÓN

- Análisis de eventos.

Con la medición de esfuerzos en el porta rodamientos del manillar de dirección se ha determinado que existe correlación respecto a los siguientes factores:

- *Variación de velocidad.*
 - La tensión durante los frenados fluctúa entre los 2 y 48 MPa.
 - La tensión durante las aceleraciones varía entre 2 y 88 MPa.
- *Curvas.*
 - La tensión al girar a la izquierda fluctúa entre los 4 y 25 MPa.
 - La tensión al girar a la derecha varía entre -12 y 48 MPa.
- *Deformaciones en calzada.*
 - La tensión al pasar por desniveles fluctúa entre 2 y 64 MPa.

Para la obtención de los esfuerzos máximos que soporta el porta rodamientos del manillar de dirección durante las simulaciones CAE de Dinámica de Cuerpos Múltiples, se excitó la estructura a través de un patrón de movimientos aleatorios aplicados a cada una de las ruedas, este método genera esfuerzos mayores a los medidos a través de galgas extensiométricas en este estudio, debido a que las simulaciones CAE pueden llevar a límites extremos el bastidor donde los valores pueden excederse.

- Comportamiento del Bastidor

Como se puede ver en las tablas de resultados y en su posterior análisis, se consideran una variedad de eventos que se pueden presentar. A su vez se puede notar que cada evento no se presenta más de dos veces dentro de todo el análisis. Estos factores hacen que los resultados obtenidos sean estadísticamente insuficientes para describir el comportamiento que presenta el chasis durante el funcionamiento normal.

V. CONCLUSIONES

El presente proyecto aporta con generación de conocimiento de acceso libre respecto al uso de galgas extensiométricas en la evaluación de prestaciones mecánicas de componentes automotrices, permitiendo realizar ajustes a los modelos de simulación CAE, en miras de mejorar su aproximación con la realidad.

Los resultados obtenidos muestran correlación entre las mediciones experimentales y las simulaciones de Ingeniería Asistida por Computador (CAE), con una variación del 18.06%. Siendo los esfuerzos obtenidos en las simulaciones mayor. Para reducir la variabilidad de los datos, se podrían ajustar el desplazamiento máximo de los postes de rueda configurados, o realizar pruebas experimentales con mayores exigencias sobre el bastidor. Otro factor

importante a considerar es que en las pruebas experimentales la masa de los ocupantes fue mayor con 53kg, respecto a la considerada en las simulaciones CAE.

El diseño del chasis propuesto genera confianza en base a los resultados obtenidos, se lo considera ligero en comparación con los observados en vehículos del mismo segmento, no obstante, hacen falta pruebas que lleven al límite su resistencia para conocer su versatilidad en aplicaciones que no han sido contempladas en los estudios hasta ahora realizados.

VI. REFERENCIAS

[1] Informe de proyecto CEDIA - fondos 1a 1, CEDIA, Universidad del Azuay, Tratural Cia. Ltda. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MOTOCICLETA ELÉCTRICA, Y ELABORACIÓN DEL PLAN PARA SU PRODUCCIÓN” COFINANCIADO POR CEDIA Y “TRATURAL CIA.LTDA.”; Y ENCARGADO A LA IES “UNIVERSIDAD DEL AZUAY” BAJO LOS TÉRMINOS DEL FONDO CONCURSABLE 1ª 2020 (JLE-CN-2021-0000), Ecuador, 2021

[2] Alzate Edwin; Montes Jose; Silva Carlos (2007). “Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas”. Rev. Sci. Tech., Vol.XIII, no. 34.

[3] Omega Engineering Inc., “Force-Related Measurements,” Trans. Meas. Control, vol. 3, 1998.

[4] González D. y Nivicela E. (2015). “Análisis de las cargas en el sistema de suspensión de un vehículo formula SAE mediante extensometría eléctrica”; Universidad Politécnica Salesiana.

[5] Muñoz Arévalo F. (2020). “Validación de metodologías empleadas en simulaciones CAE utilizadas para el desarrollo del prototipo SHELL ECO-MARATHON de la Universidad del Azuay”. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9710>

[6] Domínguez C. y Tierra J. (2022). “Diseño y construcción de un banco para prácticas de extensiométrica”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16146>

[7] Contreras F. y Siguencia J. (2024). “Caracterización del sistema de adquisición de datos para medir esfuerzos mecánicos de manera experimental en una viga de acero inoxidable en voladizo”. Universidad del Azuay.

[8] Borja R. y Morocho P. (2017). “Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana”. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15081>

[9] Fernández I. (2014). “Diseño, Cálculo, Optimización y fabricación de un subchasis para una

motocicleta de competición”. Escuela Superior
Técnica de Ingeniería de Sevilla.
https://www.academia.edu/30917386/Fabricacion_de_un_chasis

[10] Fernández de la Cuesta P. (2021). “Diseño y análisis del basculante de una motocicleta de competición”.

[11] Foale T. (2002). “MOTOCICLETAS. COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y DISEÑO DEL CHASIS. EL ARTE Y LA CIENCIA”. Traducido por: David Sánchez.

[12] National Instruments, “Modulo NI-9219” [Online]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/model/ni-9219.html>

[13] Micro measurements, “Galga WA-06-120WR-350”. Disponible en: <https://www.micro-measurements.com/pca/detail/120wr>

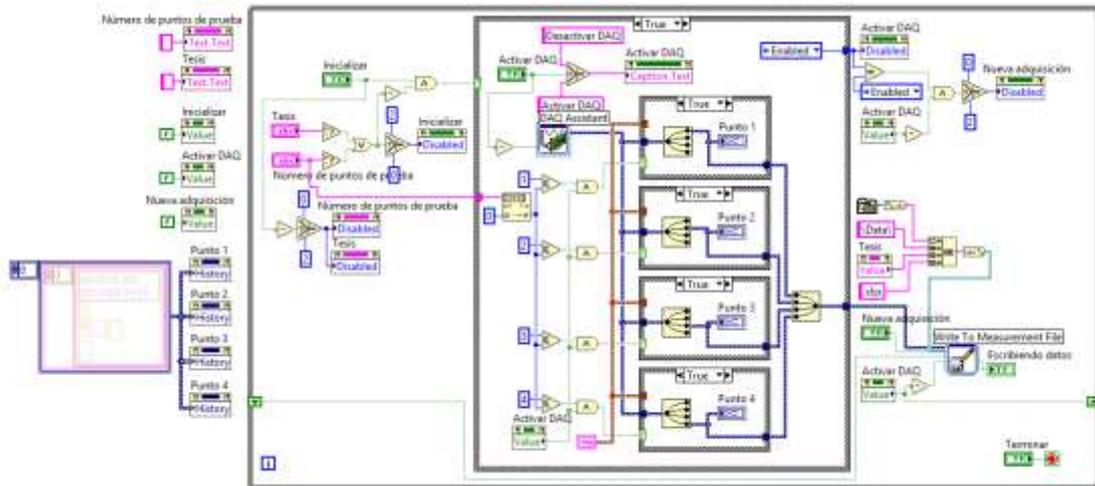
[14] HBM, “El puente de Wheatstone | Galgas extensométricas | HBM.” [Online]. Disponible en: <https://www.hbm.com/es/7163/el-puente-de-wheatstone-galgas-extensometricas>.

[15] Ortiz Berrocal, L. (1998). Métodos Experimentales en Elasticidad. En C. Fernández (Ed.), Elasticidad (pp. 509-540). M McGraw-Hill Companies.

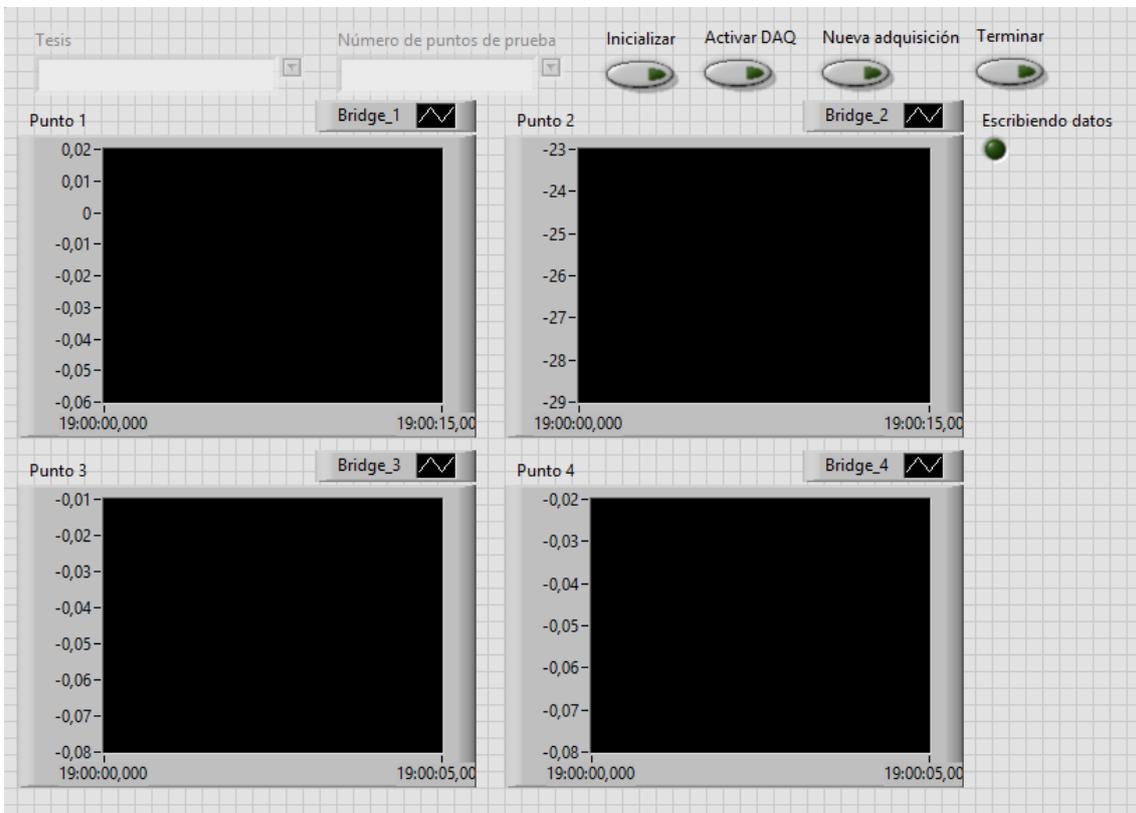
VII. ANEXOS

A.1 Programa en LabView®

A.1.1 Diseño del programa.



A.1.1 Pantalla de interfaz.



A.2 Programación en Matlab®

A.2.1 Programa de dispersión de datos

```
1 data = csvread('G1.csv');
2 G1 = data(:,1);
3 Gc = data(:,2);
4 Gd = data(:,3);
5 tiempo = data(:,4);
6
7 galgas = G1;
8
9 i = 1; %intervalo de datos
10 j = 1; % intervalo de gráficos
11 ultimo_dato = length(tiempo); %graficar los últimos datos
12 while(i < ultimo_dato)%bucle para graficar datos en intervalos de 1 min
13     intervalo = 6000;
14     if(i+6000 > ultimo_dato)
15         intervalo = ultimo_dato - i;
16     end
17     figure('position',[403 143 917 523]);
18     figure(j);
19     scatter(tiempo(i:i+intervalo),galgas(i:i+intervalo),2.4, 'filled');
20     %graficar en forma de puntos
21     ylim([-0.18 0.14]);
22     title('Señal Galga');
23     xlabel('t (milliseconds)');
24     ylabel('X(t)');
25     grid on;
26     saveas(figure(j), strcat('G1 sd/galga_1zq', int2str(j), '.png'))
27     i = i + 6000;
28     j = j + 1;
29 end
```

A.2.2 Programa de filtrado de datos.

```
1 data = csvread('G1.csv');
2
3 d = designfilt('lowpassfir', 'Passbandfrequency', 25, 'Stopbandfrequency', 35, 'Passbandripple', 1, 'Stopbandattenuation', 40, 'SampleRate', 100);
4 %ftool(d) %visualización de comportamiento del filtro
5
6 G1 = data(:,1);
7 Gc = data(:,2);
8 Gd = data(:,3);
9 tiempo = data(:,4);
10
11 S1 = filtfilt(d,G1);
12 S2 = filtfilt(d,Gc);
13 S3 = filtfilt(d,Gd);
14
15 galgas = S3;
16
17 i = 1; %intervalo de datos
18 j = 1; % intervalo de gráficos
19 ultimo_dato = length(tiempo); %graficar los últimos datos
20
21 while(i < ultimo_dato) %bucle graficar los datos en intervalos de 1 min
22     intervalo = 6000;
23     if(i+6000 > ultimo_dato)
24         intervalo = ultimo_dato - i;
25     end
26     figure('position',[403 143 917 523]);
27     figure(j);
28
29     plot(tiempo(i:i+intervalo),galgas(i:i+intervalo));
30     %graficar en forma de puntos
31     ylim([-0.21 0.1]);
32     title('Datos filtrados');
33     xlabel('t (segundos)');
34     ylabel('X(t)');
35     grid on;
36     saveas(figure(j), strcat('fil G1/galga_der', int2str(j), '.png'))
37     i = i + 6000;
38     j = j + 1;
39 end
```

A.2.3 Programa de tensiones principales

```

1  data = csvread('E2_009.txt');
2
3  E = designfilt('lowpassfir', 'PassbandFrequency', 25, 'StopbandFrequency', 30, 'Passband Ripple', 1, 'Stopband Attenuation', 60, 'SampleRate', 100);
4  %Frecuencia de normalización de comportamiento del filtro
5
6  G1 = data(:,1);
7  Gc = data(:,2);
8  Gd = data(:,3);
9  tiempo = data(:,4);
10
11  S1 = filtfilt(d,G1);
12  Sc = filtfilt(d,Gc);
13  Sd = filtfilt(d,Gd);
14
15  F = 2.5; % voltaje de excitación
16  E = 2.1; % constante de la galga
17
18  Ex = (4*E0)/(E*M);
19  Ey = (4*E0)/(E*M);
20  Ex = (4*E1)/(E*M);
21
22  Zx = Ex+E0*E1;
23
24  Zy = Ey;
25
26  Lxy = E0*E1;
27
28  EP1 = (Ex+Ey)/2+(1/2)*((Ex-Ey)^2 + Lxy.^2).^ (1/2);
29
30  EP2 = (Ex+Ey)/2-(1/2)*((Ex-Ey)^2 + Lxy.^2).^ (1/2);
31
32  Ne = 210; %módulo de elasticidad E
33
34  Mpo = 0.28; %módulo de poisson v
35
36  T1 = (Ne)/(1-Mpo^2)*(EP1+Mpo*EP2);
37
38  T2 = (Ne)/(1-Mpo^2)*(EP2+Mpo*EP1);
39
40  galgas = T2;
41
42  i = 1; % intervalo de datos
43  j = 1; % intervalo de gráficos
44  ultimo_dato = length(tiempo); %graficar los últimos datos
45
46  while(i < ultimo_dato) %bucle para graficar los datos en intervalos de 1 min
47      intervalo = 6000;
48      if(i+6000 > ultimo_dato)
49          intervalo = ultimo_dato - i;
50      end
51      figure('position',[400 140 617 525]);
52      figure(i);
53
54      plot(tiempo(i:i+intervalo),galgas(i:i+intervalo)); %graficar en forma de puntos
55
56      ylim([-100 50]);
57      title('Cálculo tensiones');
58      xlabel('longitudes');
59      ylabel('T (MPa)');
60      grid on;
61      saveas(figure(i), strcat('tem E2/tension2_', int2str(i), '.png'));
62      i = i + 6000;
63      j = j + 1;
64  end

```

A.2.4 Programa de esfuerzos de Von Mises.

```

>> clear;
data = csvread('G2.csv');

d = designfilt('lowpassfir', 'PassbandFrequency', 25, 'StopbandFrequency', 35, 'PassbandRipple', 1, 'StopbandAttenuation', 60, 'SampleRate', 100);
%ftool(d) %visualizacion de comportamiento del filtro

G1 = data(:,1);
Gc = data(:,2);
Gd = data(:,3);
tiempo = data(:,4);

S1 = filter(d,G1);
Sc = filter(d,Gc);
Sd = filter(d,Gd);

F = 1.5; % voltaje de excitacion
K = 2.1; % constante de la galga

Ec = (4*S1)/(F*K);
Ed = (4*Sd)/(F*K);
Ei = (4*Sc)/(F*K);

Ex = Ec+Ed+Ei;

Ey = Ec;

Lxy = Ed+Ei;

EP1 = (Ex+Ey)/2+(1/2)*((Ex-Ey).^2 + Lxy.^2).^(1/2);
EP2 = (Ex+Ey)/2-(1/2)*((Ex-Ey).^2 + Lxy.^2).^(1/2);
EPI = (Ex+Ey)/2+(1/2)*((Ex-Ey).^2 + Lxy.^2).^(1/2);
EPI = (Ex+Ey)/2-(1/2)*((Ex-Ey).^2 + Lxy.^2).^(1/2);

Me = 210; %modulo de elasticidad E
Mpo = 0.28; %modulo de poisson nu

T1 = (Me)/(1-Mpo^2)*(EP1+Mpo*EPI);
T2 = (Me)/(1-Mpo^2)*(EPI+Mpo*EP1);

Vn = (((T1.^2)+(T2.^2)+(T1-T2).^2)/2).^(1/2);

i = 1; % intervalo de datos
j = 1; % intervalo de graficos
ultimo_dato = length(tiempo); %graficar los ultimos datos

while(i < ultimo_dato) %bucle para graficar los datos en intervalos de 1 min
    intervalo = 6000;
    if(i+6000 > ultimo_dato)
        intervalo = ultimo_dato - i;
    end
    figure('position',[403 143 917 528]);
    figure(j);

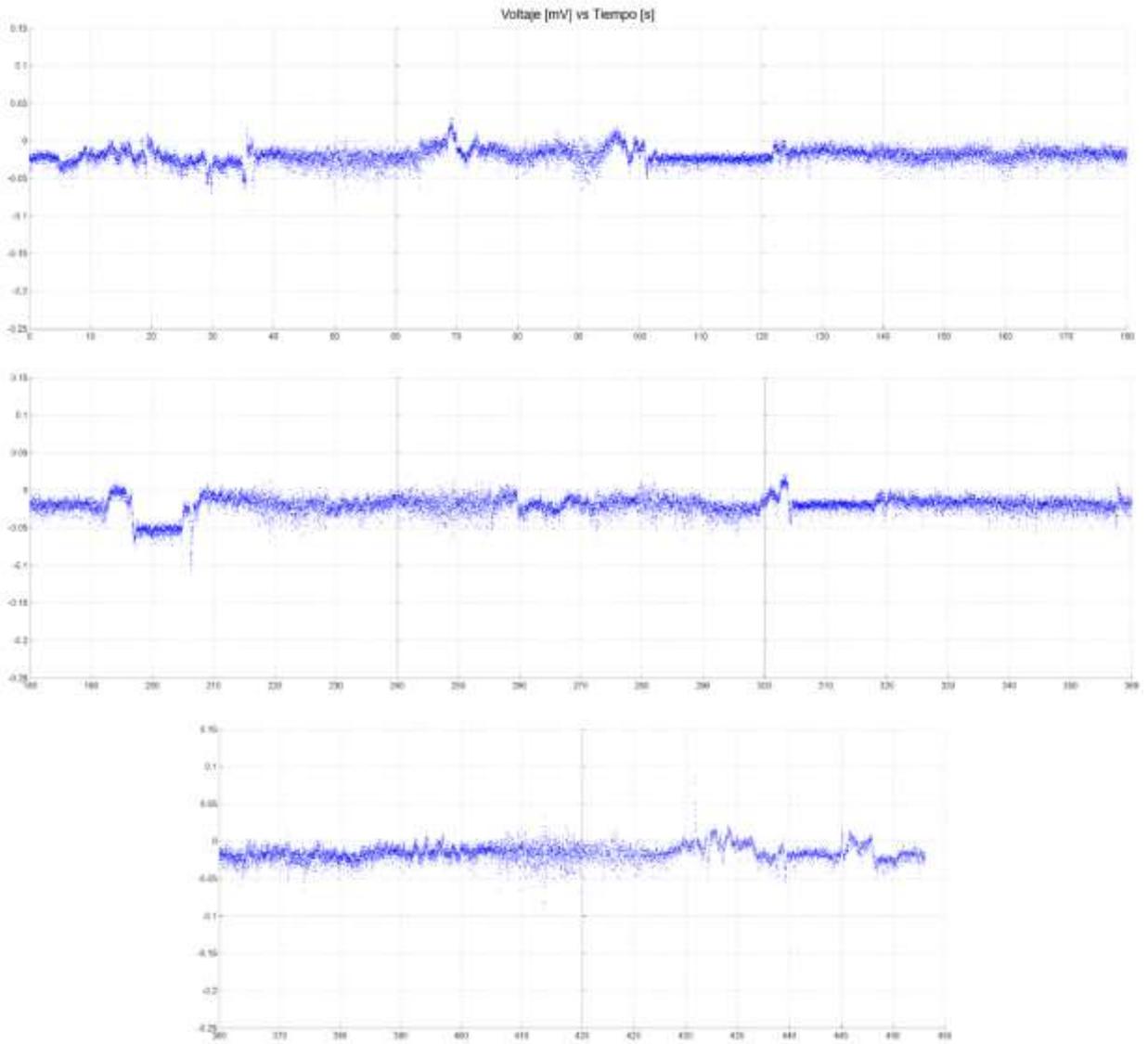
    plot(tiempo(i:i+intervalo),Vn(i:i+intervalo)); %graficar en forma de puntos
    %plot(tiempo(i:i+intervalo),galgas(i:i+intervalo),tiempo(i:i+intervalo),G1(i:i+intervalo)); %graficar en forma de puntos
    ylim([-150 150]);
    title('Calculo Von Mises');
    xlabel('t (segundos)');
    ylabel('T [MPa]');
    grid on;
    saveas(figure(j), strcat('vonnises/Vn2_', int2str(j), '.png'));
    i = i + 6000;
    j = j + 1;
end

```

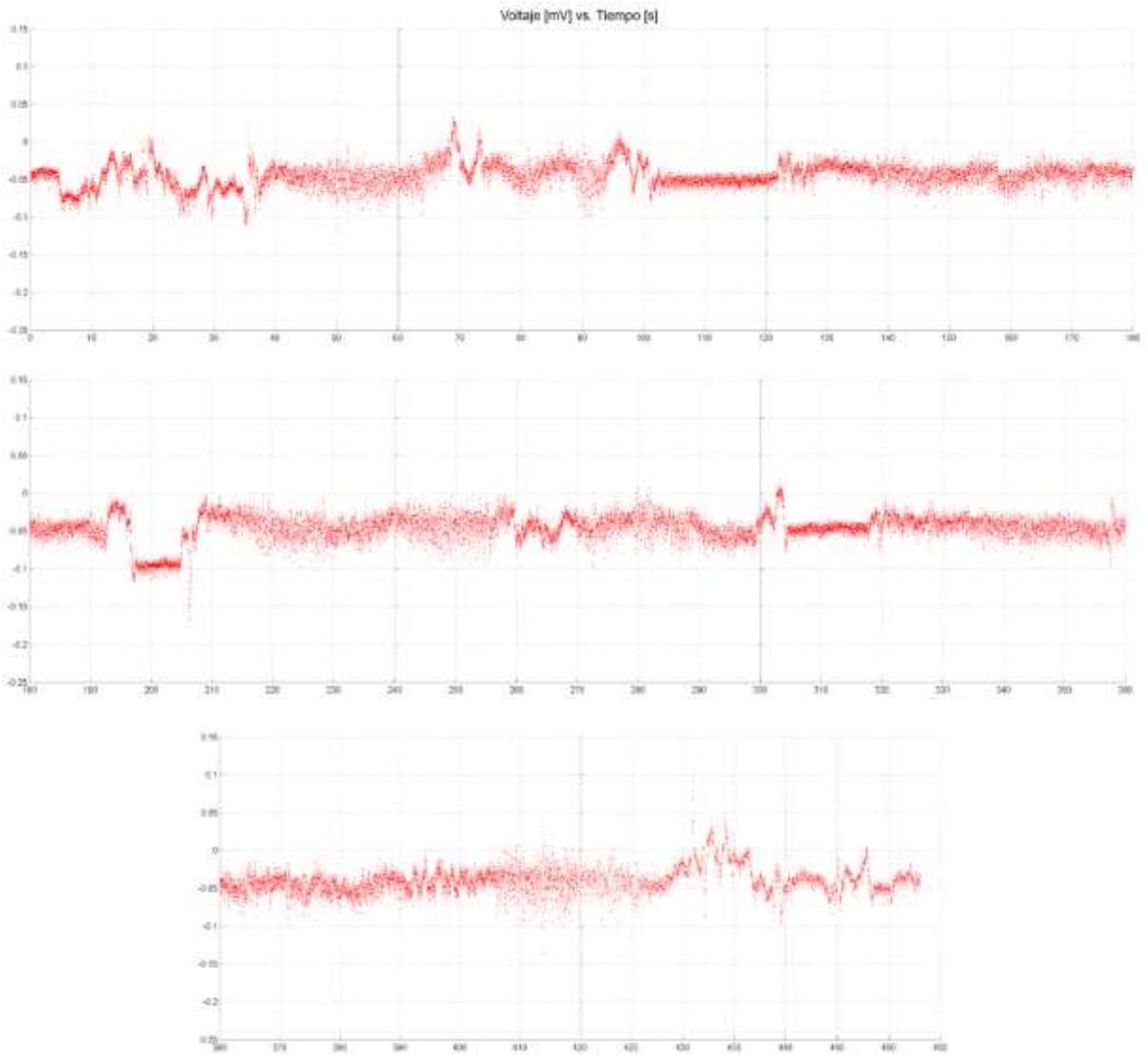
A.3 Graficas

A.3.1 Señales adquiridas en la roseta.

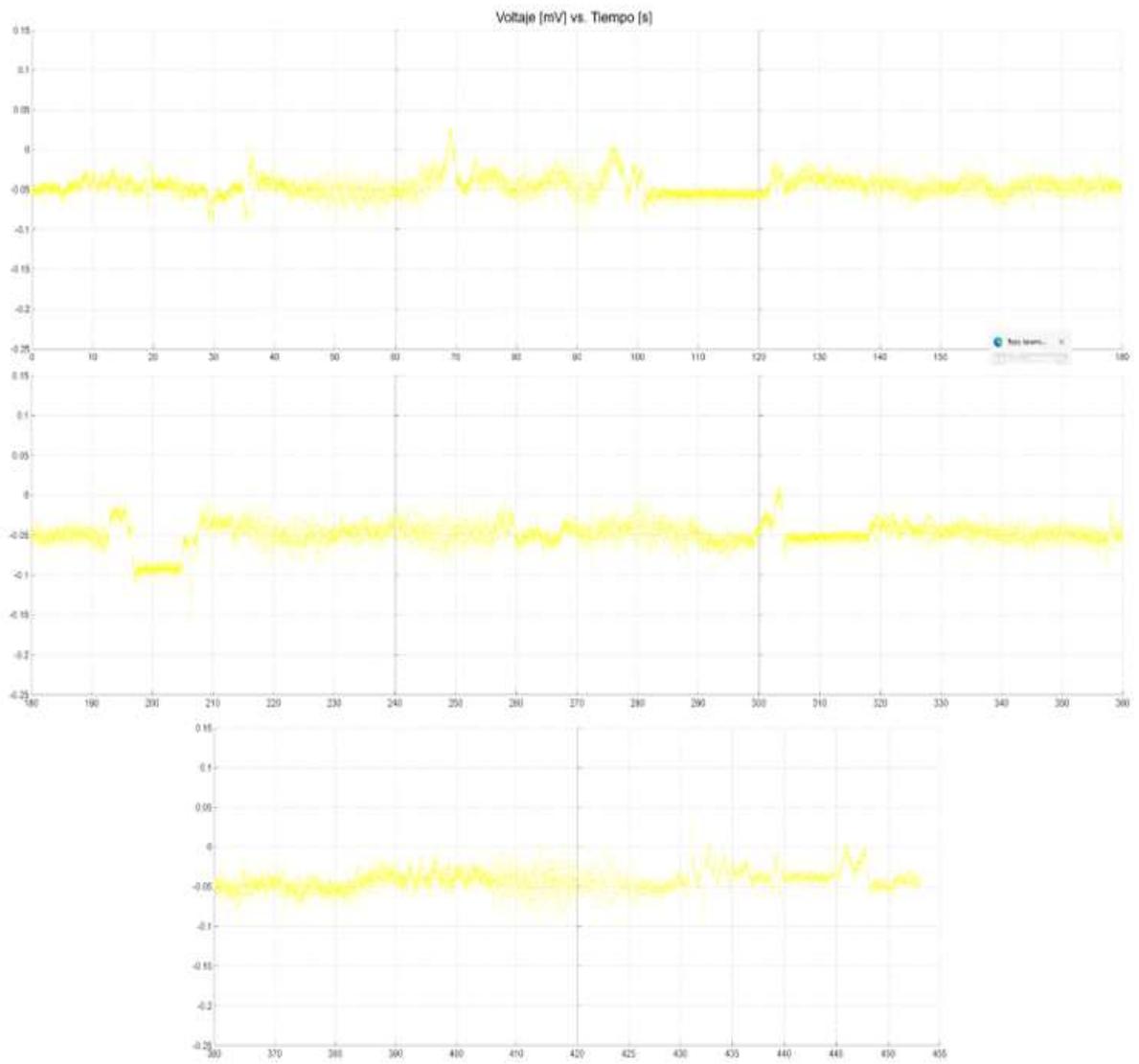
A.3.1.1 Señales de la galga “izquierda”.



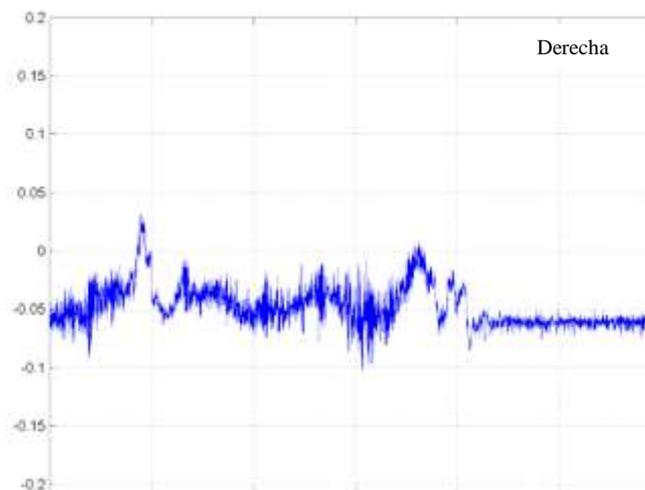
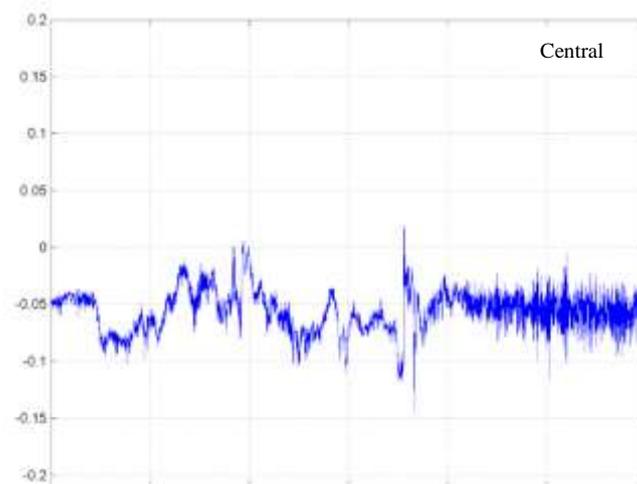
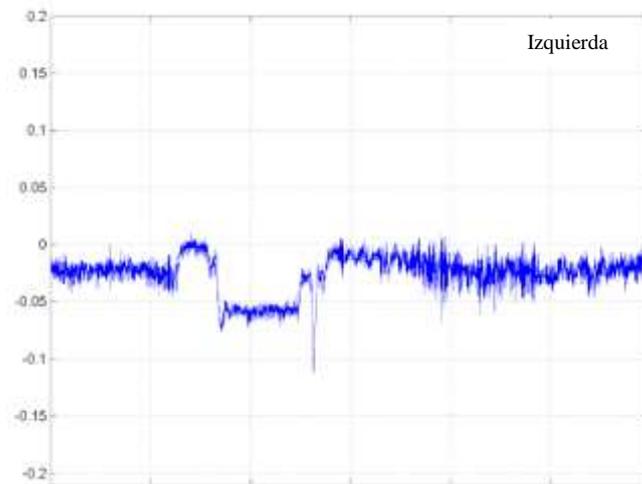
A.3.1.2 Señales de la galga “central”.



A.3.1.3 Señales de la galga “derecha”.

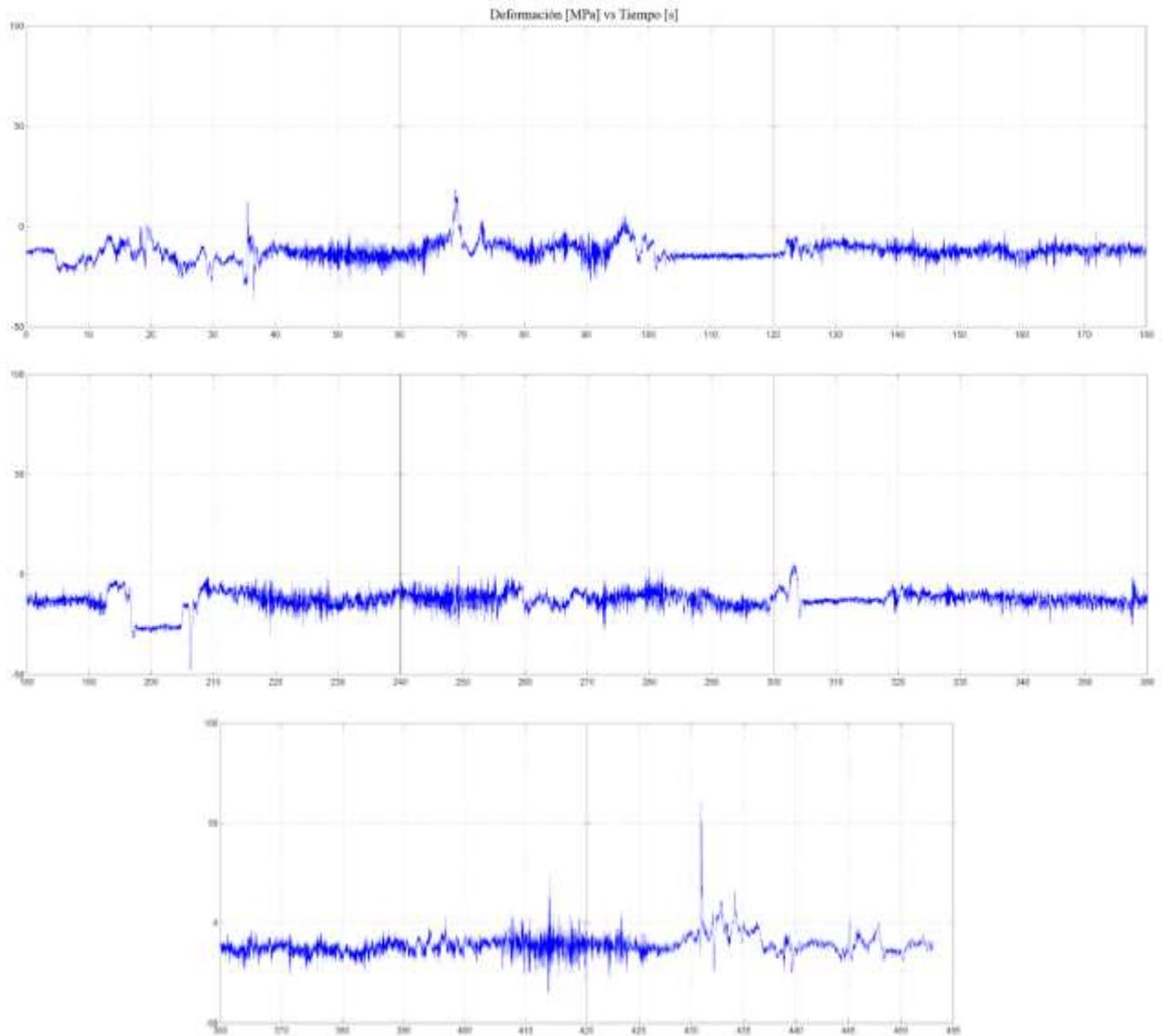


A.3.2 Espectros de señal.

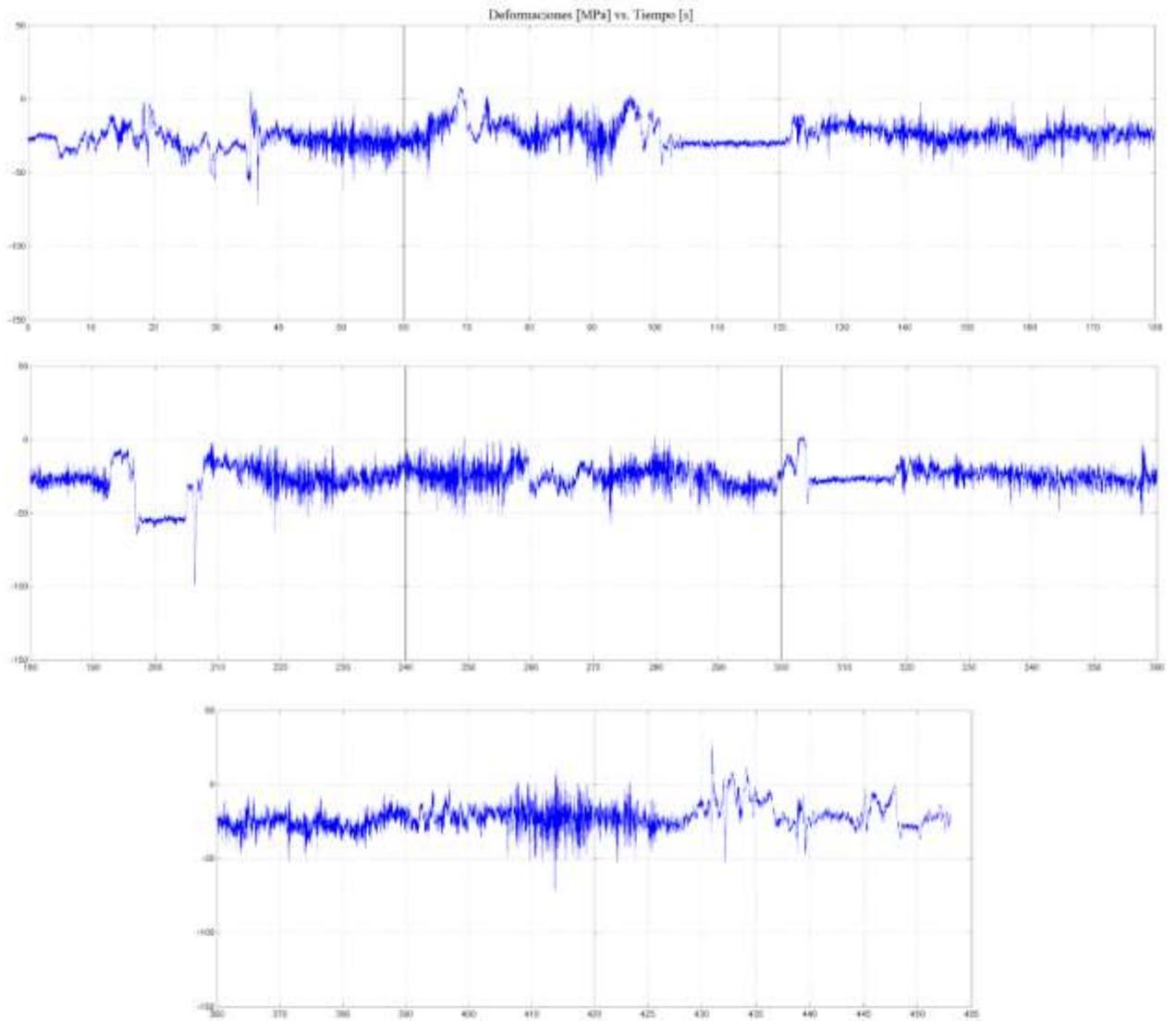


A.3.3 Gráficas de esfuerzos.

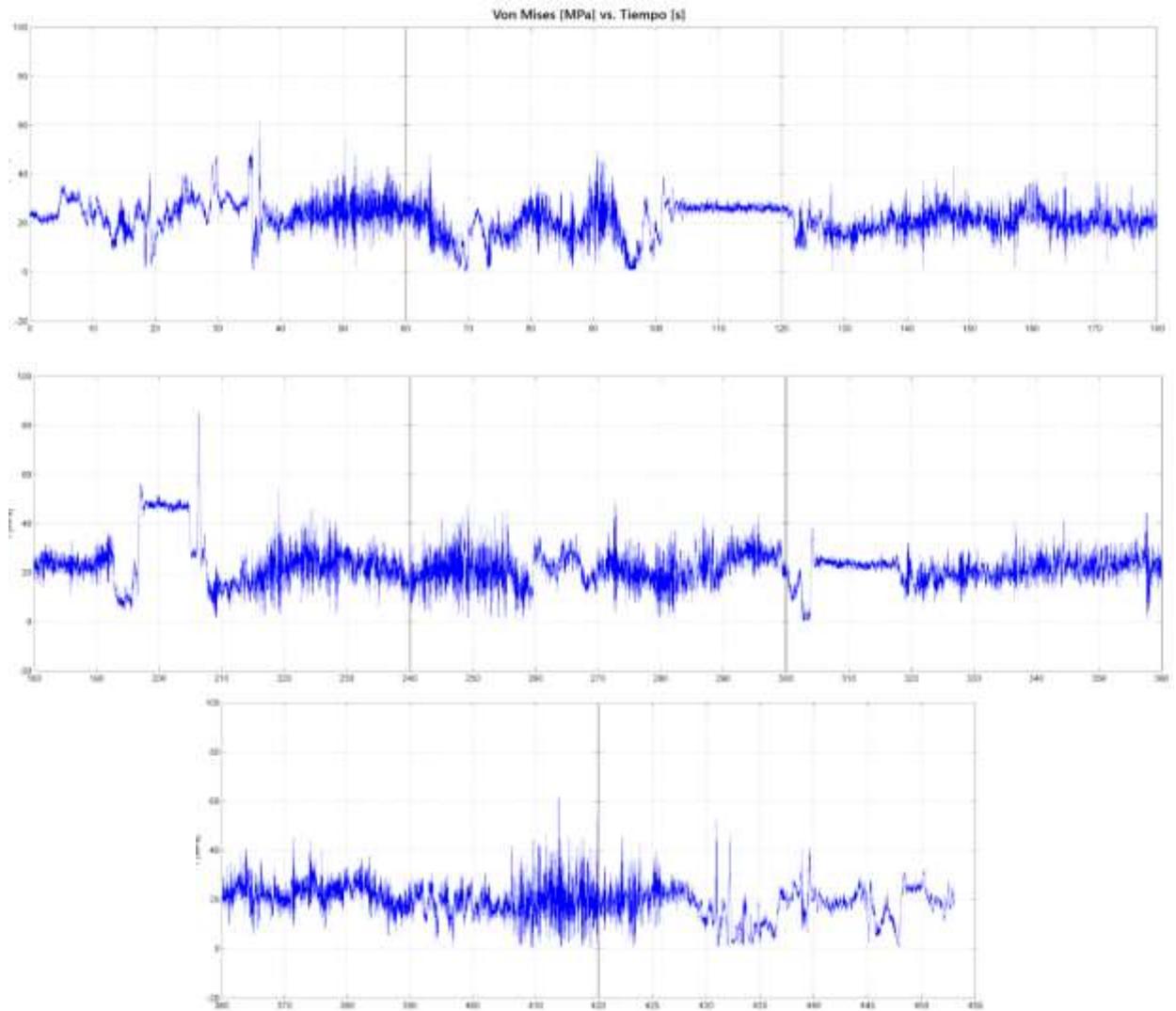
A.3.3.1 Tensión.



A.3.3.2 Compresión.

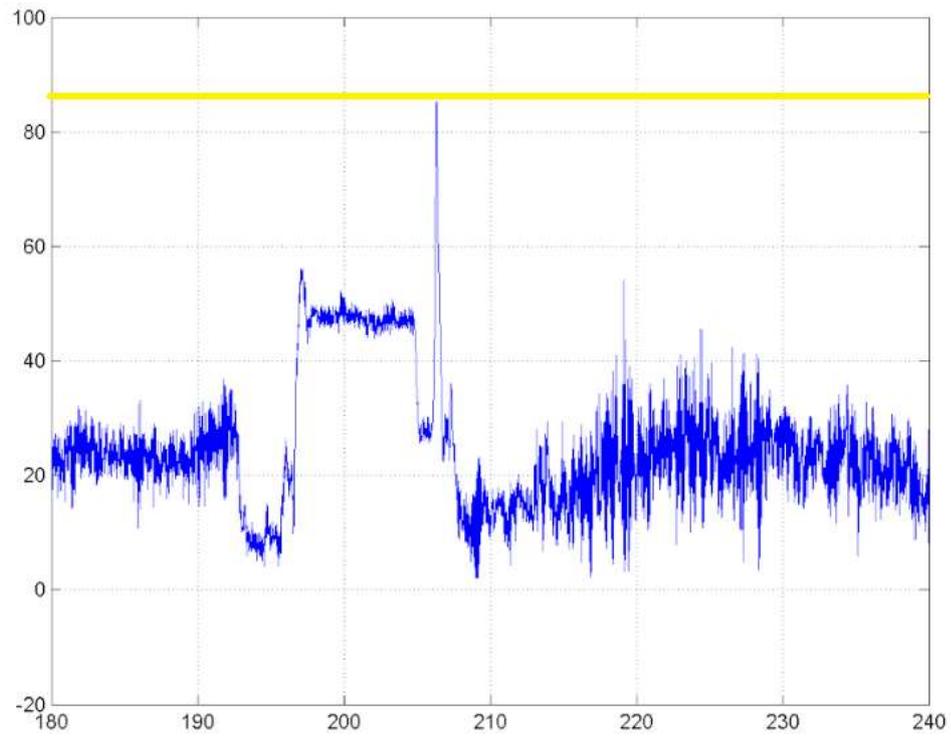


A.3.4 Esfuerzos de Von Mises



A.3.5 Deformaciones máximas.

A.2.5.1 Máxima.



A.2.5.2 Mínima.

