



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**Análisis experimental de los
esfuerzos generados por cargas
dinámicas en el chasis del
vehículo eléctrico Bi-plaza**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de:

Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autores:

**Jorge Andrés Jaramillo Aguilar
Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar**

Director:

Ing. Hernán Viteri Cerda Mgst.

**CUENCA - ECUADOR
2024**

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado tener la fuerza y voluntad para concluir esta formación académica. A mis padres por el apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera profesional, también al resto de mi familia y en especial a mi hija que ha sido el motor de mi vida mi gran inspiración para no parar de luchar para conseguir mis metas.

Jorge Andrés Jaramillo Aguilar

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado especialmente a mis padres que me brindaron un apoyo incondicional que me permitirá lograr esta importante etapa en mi vida. Marcela, por darme la mano en este importante proceso. Mis amigos de universidad que me permitieron compartir buenos momentos y conocimientos en todos estos años de estudio.

Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar

AGRADECIMIENTOS

Agradezco los consejos de mis padres y la motivación que me han dado para no rendirme en el transcurso de mi carrera, incluyo también el cariño, afecto y la ayuda que me ha dado mi esposa, madre de mi hija, por apoyarme en cada decisión.

Agradezco a todos los Ingenieros que fueron parte de mi desarrollo profesional, por haberme ayudado en las inquietudes que se me presentaron en todo el proceso de mi carrera, también por el apoyo que obtuve por parte de mis compañeros y amigos con los que compartí muchos momentos de aprendizaje.

Jorge Andrés Jaramillo Aguilar

Mi profundo agradecimiento a Dios por guiarme siempre para alcanzar este gran logro.

A mi abuela Esther, por ser mi inspiración y por estar pendiente de mí.

A mis padres por su sacrificio y esfuerzo que tuvieron que pasar.

A Marcela, por ser mi apoyo incondicional en este logro e impulsarme a culminar esta etapa.

A mi tutor de tesis Hernán Viteri, por su paciencia y ayuda con sus conocimientos durante el proceso de este trabajo de titulación.

Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN	- 1 -
METODOLOGÍA	- 2 -
A. Materiales.....	- 3 -
1) Módulo de entrada analógico universal NI-9218.....	- 3 -
2) Galga extensiométrica, WA-06-120WR-350.....	- 3 -
B. Protocolo de Instalacion.....	- 3 -
C. Recolección de datos	- 5 -
1) Preparación Inicial.....	- 5 -
2) Circuito.....	- 5 -
3) Puntos Clave del Circuito (Rosetas 1 y 2)	- 5 -
4) Análisis Espectral.....	- 6 -
5) Filtrado.....	- 6 -
D. Cálculo de tensiones principales.....	- 6 -
RESULTADOS	- 6 -
DISCUSIÓN	- 7 -
A. Análisis de los eventos.....	- 7 -
B. Señales adquiridas.....	- 7 -
C. Comportamiento general del vehículo.....	- 7 -
CONCLUSIONES	- 8 -
REFERENCIAS	- 8 -
ANEXOS	- 9 -
A.1. Códigos Matlab.....	- 9 -
A.2. Gráficas	- 13 -

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS ESFUERZOS GENERADOS POR CARGAS DINÁMICAS EN EL CHASIS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO BI-PLAZA

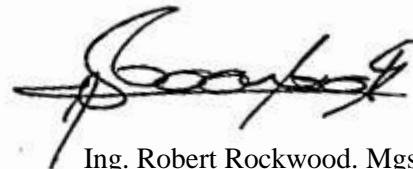
RESUMEN

En el presente trabajo se midió los esfuerzos que se producen en un chasis de un vehículo eléctrico bi-plaza; para ello, se instrumentó con galgas extensiométricas en zonas específicas del bastidor, logrando captar los pequeños desplazamientos longitudinales producto de las deformaciones durante pruebas de manejo del vehículo en carretera. Los instrumentos de medida se seleccionaron a fin de identificar los esfuerzos en un plano tridimensional y se usaron los modelos de galgas que mejor se establezcan en la zona donde serían colocadas en el chasis tubular. Los valores obtenidos de las mediciones se presentaron como señales de variación de voltaje, las cuales luego de pasar por un proceso de filtrado y refinamiento fueron interpretadas y transformadas en unidades de presión. Los resultados que se obtuvieron de este trabajo fueron comparados con los valores de los esfuerzos de una simulación previamente llevada a cabo en computador a través de un programa CAE (Computer Aided Engineering). Se obtuvo que la relación de esfuerzos entre las zonas seleccionadas en el chasis proporciona mediciones muy similares, sin embargo, la comparativa en los valores de esfuerzos netos entre ambos métodos varían aproximadamente en un 79% debido a la baja exigencia de la suspensión durante la prueba de manejo.

Palabras clave — vehículo eléctrico, galga extensiométrica, chasis, deformación estructural.



Ing. Hernán Viteri Cerda. Mgst.
Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood. Mgst.
Director de Escuela



Jorge Andrés Jaramillo Aguilar
Autor



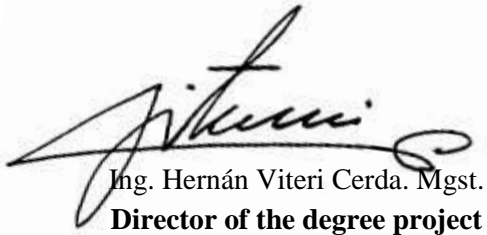
Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar
Autor

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE STRESSES GENERATED BY DYNAMIC LOADS ON THE CHASSIS OF THE BI-PLAZA ELECTRIC VEHICLE

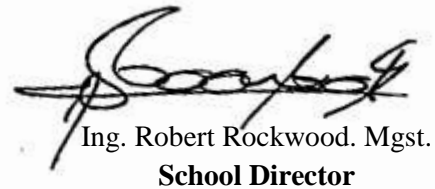
ABSTRACT

In the present work, the stresses that occur in a chassis of a two-seater electric vehicle were measured; for this purpose, strain gauges were instrumented in specific areas of the frame, capturing the small longitudinal displacements resulting from deformations during vehicle handling tests on the road. The measuring instruments were selected in order to identify the stresses in a three-dimensional plane and the gauges models that best fit the area where they would be placed in the tubular chassis were used. The values obtained from the measurements were presented as voltage variation signals, which after going through a filtering and refinement process were interpreted and transformed into pressure units. The results obtained from this work were compared with the stress values of a simulation previously carried out on computer through a CAE (Computer Aided Engineering) program. It was obtained that the stress ratio between the selected zones in the chassis provides very similar measurements; however, the comparison in the net stress values between both methods varies by approximately 79% due to the low demand of the suspension during the test drive.

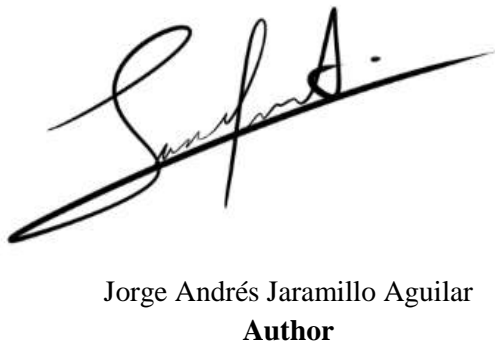
Keywords — electric vehicle, strain gauge, chassis, structural deformation.



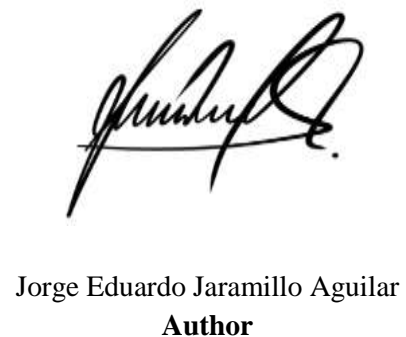
Ing. Hernán Viteri Cerda. Mgst.
Director of the degree project



Ing. Robert Rockwood. Mgst.
School Director



Jorge Andrés Jaramillo Aguilar
Author



Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar
Author

Análisis experimental de los esfuerzos generados por cargas dinámicas en el chasis del vehículo eléctrico Bi-plaza.

Hernán Arturo Viteri Cerda
 Facultad de Ciencia y Tecnología
 Ingeniería en Mecánica Automotriz
 Universidad del Azuay
 hviteri@uazuay.edu.ec

Jorge Andrés Jaramillo Aguilar
 Facultad de Ciencia y Tecnología
 Ingeniería en Mecánica Automotriz
 Universidad del Azuay
 sucoj94@es.uazuay.edu.ec

Jorge Eduardo Jaramillo Aguilar
 Facultad de Ciencia y Tecnología
 Ingeniería en Mecánica Automotriz
 Universidad del Azuay
 jjaramilloa1@es.uazuay.edu.ec

Resumen — En el presente trabajo se midió los esfuerzos que se producen en un chasis de un vehículo eléctrico bi-plaza; para ello, se instrumentó con galgas extensiométricas en zonas específicas del bastidor, logrando captar los pequeños desplazamientos longitudinales producto de las deformaciones durante pruebas de manejo del vehículo en carretera. Los instrumentos de medida se seleccionaron a fin de identificar los esfuerzos en un plano tridimensional y se usaron los modelos de galgas que mejor se establezcan en la zona donde serían colocadas en el chasis tubular. Los valores obtenidos de las mediciones se presentaron como señales de variación de voltaje, las cuales luego de pasar por un proceso de filtrado y refinamiento fueron interpretadas y transformadas en unidades de presión. Los resultados que se obtuvieron de este trabajo fueron comparados con los valores de los esfuerzos de una simulación previamente llevada a cabo en computador a través de un programa CAE (Computer Aided Engineering). Se obtuvo que la relación de esfuerzos entre las zonas seleccionadas en el chasis proporciona mediciones muy similares, sin embargo, la comparativa en los valores de esfuerzos netos entre ambos métodos varían aproximadamente en un 79% debido a la baja exigencia de la suspensión durante la prueba de manejo.

Palabras clave — vehículo eléctrico, galga extensiométrica, chasis, deformación estructural

Abstract — In the present work, the stresses that occur in a chassis of a two-seater electric vehicle were measured; for this purpose, strain gauges were instrumented in specific areas of the frame, capturing the small longitudinal displacements resulting from deformations during vehicle handling tests on the road. The measuring instruments were selected in order to identify the stresses in a three-dimensional plane and the gauges models that best fit the area where they would be placed in the tubular chassis were used. The values obtained from the measurements were presented as voltage variation signals, which after going through a filtering and refinement process were interpreted and transformed into pressure units. The results obtained from this work were compared with the stress values of a simulation previously carried out on computer through a CAE (Computer Aided Engineering) program. It was obtained that the stress ratio between the selected zones in the chassis provides very similar measurements; however, the comparison in the net stress values between both methods varies by approximately 79% due to the low demand of the suspension during the test drive.

Keywords — electric vehicle, strain gauge, chassis, structural deformation.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se determinaron los esfuerzos generados por las cargas dinámicas en un vehículo eléctrico Bi-plaza. Para ello se utilizaron galgas extensiométricas, las mismas que acompañadas de cálculos matemáticos nos permitieron conocer las deformaciones mecánicas que se generan en el chasis del auto anteriormente mencionado.

Con la realización de este trabajo se pudo verificar la confiabilidad de medición de las galgas extensiométricas y determinar los errores que surgen en la toma de datos. El punto de partida fueron los valores de esfuerzos mecánicos que se obtuvieron previamente en simulaciones mediante software.

Las galgas extensiométricas son dispositivos de medición, utilizados para cuantificar cambios de deformación en estructuras o componentes mecánicos. Estos elementos están diseñados para detectar variaciones en la resistencia eléctrica de un material conductor adherido a la superficie de la muestra.

Las galgas extensiométricas están hechas de un alambre o una lámina delgada de material conductor como el aluminio o la aleación de níquel-cromo. La galga material se pega a la superficie del componente o estructura a medir. Cuando se aplica una fuerza o tensión a la estructura el material de la galga extensiométrica se estira o comprime, lo que cambia su longitud y, por lo tanto, su resistencia eléctrica.

Un estudio muy similar al objetivo de este proyecto es de Muñoz F. (2020) [1], donde se planteó validar la metodología empleada en simulaciones CAE (Computer Aided Engineering) con instrumentos de medición como lo son las galgas extensiométricas. La particularidad de este trabajo radica en la utilización de un chasis de un vehículo monoplaza de propulsión a combustión. El autor nos indica que los valores que obtuvieron en pruebas estáticas mediante la instrumentación se mantienen en un rango admisible, al comparar los esfuerzos medidos, con los obtenidos en las simulaciones CAE.

Así mismo, González D. y Nivicela E. [2] en su trabajo de investigación analizaron el sistema de suspensión de un vehículo fórmula SAE con la implementación de galgas extensiométricas. Nos indican que el software utilizado para el tratamiento de señales es el NI LabVIEW con una tarjeta de adquisición de

datos NI DAQ. Los autores obtuvieron las fuerzas que actúan en los elementos de la suspensión delantera y posterior, como son los brazos de suspensión.

Al respecto en el estudio realizado por Quintanilla L. y Idrovo P. [3], propone analizar la aplicación de galgas extensiométricas en condiciones controladas para determinar deformaciones en probetas de estudios sometidas a distintas cargas. Los autores nos presentan que los valores obtenidos con las galgas extensiométricas en lo que respecta al módulo de elasticidad y rigidez de materiales como el acero, aluminio y bronce tienen un margen de error del 2% con lo que respecta a los valores teóricos presentes en su bibliografía. Aseguran así, que es un método muy confiable en la toma de medidas

En el estudio realizado por Domínguez C. y Tierra J. [4] se muestra la construcción de un banco de pruebas cuyo objetivo fue determinar el estado tensorial de elementos mecánicos mediante la aplicación de galgas extensiométricas como dispositivos de adquisición de datos. En su trabajo se menciona que se obtuvo un error porcentual menor al 1% entre lo medido y los datos entregados por el fabricante.

Mansilla F. [5] nos demuestra el objetivo de su trabajo, el cual fue analizar la deformación unitaria de una estructura con dos métodos en paralelo, en donde se dio el uso de galgas extensiométricas y la aplicación del software CATIA. En este caso ambos métodos presentan una gran aproximación en el resultado, y puntualiza que el software significa un gran ahorro de tiempo y facilidad en la exposición de resultados.

El estudio que se llevó a cabo por los ingenieros Borja R. y Morocho P. [6] permitió analizar la diferencia en los resultados de la aplicación de 3 distintos métodos (analítico, numérico y experimental) al momento de obtener los valores de esfuerzos en una viga empotrada. Muestra en su estudio la aplicación de galgas extensiométricas y un reloj comparador para determinar la deformación unitaria de la viga antes mencionada, logrando un rango de error de 0.13 a 4.61%.

En cuanto a Velasco E. nos muestra un estudio con el uso de elementos finitos y la aplicación de galgas extensiométricas para la descripción de los esfuerzos en el modelo de una bicicleta de carga [7]. La estructura del chasis fue modelada en el programa ANSYS WorkBench. Las pruebas de estudio, dieron como resultado un error relativo aproximado del 4%, demostrando un alto índice de confiabilidad en el análisis por solución numérica.

Por otra parte, cabe mencionar el proyecto de investigación realizado por los ingenieros Rodríguez D. y Patiño B. [8] en el cual nos indicas los puntos en donde el chasis de estudio tiene los mayores concentrados de esfuerzos según las simulaciones estáticas que llevaron a cabo en Software CAE, esto con la utilización del programa MotionView.

De esta manera, conocemos que ya existen estudios previos referente a la aplicación de metrología para modelos en los que es necesario conocer cómo se encuentran incidiendo los esfuerzos. Sin embargo, la carencia de un estudio netamente orientada en medir las deformaciones del chasis de este vehículo

eléctrico hace valido la investigación y análisis que serán descritos a continuación en este trabajo.

Al contar en la actualidad con una gran cantidad de sistemas y elementos de medición, se vuelve necesario la tarea de comprender que tan fiables son y los porcentajes de error que presentan. Este estudio pretende determinar cómo las galgas extensiométricas representan las deformaciones que se generan en el bastidor mediante pruebas dinámicas, que problemas ocurren durante todo el proceso de instalación y adquisición de datos, y la adecuación de los resultados mediante fórmulas matemáticas que interpreten los datos adquiridos.

II. METODOLOGÍA

El proceso se inició identificando en el modelo CAE del chasis las zonas en las que se generan los esfuerzos más grandes y que además sean accesibles a la colocación de las galgas extensiométricas, los criterios para la colocación fueron que el área sea de fácil acceso y que la superficie se encuentre lo más regular posible (una superficie plana); las zonas que se escogieron son los que se muestran en la figura 1.

El punto 1 se encuentra en la parte superior lateral izquierda y en este punto se da la unión de 4 tubos. Mientras que el punto 2 se encuentra a la mitad en la parte lateral izquierda donde se fusionan 3 tubos. Ambos puntos están ubicados en los largueros que representan la estructura principal del chasis.

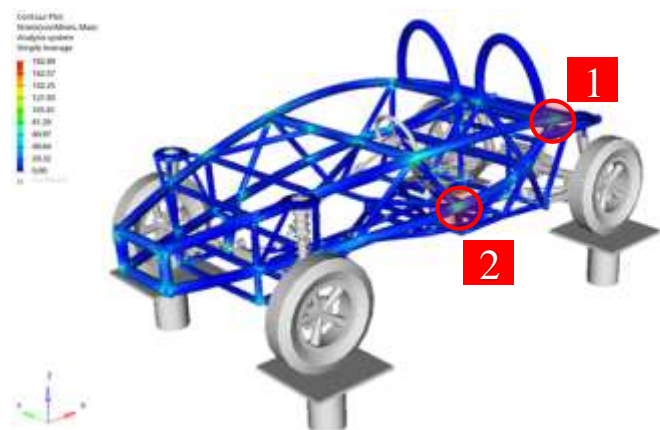


Fig 1. Rodríguez D. y Patiño B. (2022). Esfuerzos en chasis. [Figura 16.a.]. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12496>

La simulación fue llevada a cabo mediante una prueba estática de 4 postes como indican los autores Rodríguez D. y Patiño B. [8] en donde se realizó un desplazamiento máximo de los postes durante la elevación, con patrones aleatorios simultáneos en cada rueda; por lo que la suspensión fue sometida a condiciones de gran exigencia mecánica. En dicha prueba obtuvieron un esfuerzo máximo de 182,89 MPa en el chasis, sin embargo, en las zonas en donde se pretende realizar el estudio mediante galgas se observa que se genera esfuerzos de aproximadamente 81 MPa para la zona 1 y de 112 MPa para la zona 2.

El flujoograma en el que se desarrolló el proceso de estudio se presenta en la figura 2. Toda la investigación se apoya de 4 fases principales de las cuales siguen un orden lineal.

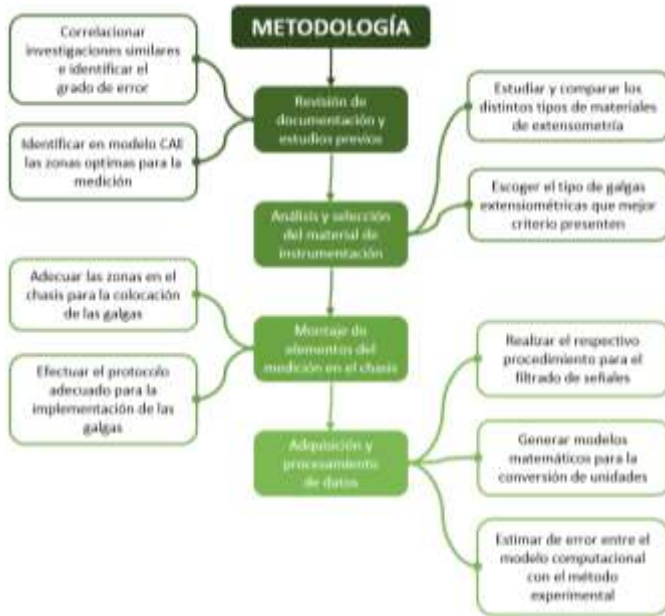


Fig 2. Diagrama de etapas que se siguió en el proyecto de investigación

A. Materiales

1) *Módulo de entrada analógico universal NI-9218*: Es un módulo diseñado para pruebas multipropósito. Se pueden estimar varias señales y seleccionar canales por separado. Tiene una frecuencia de muestreo máxima de 100 datos/s para cada uno de sus canales. En la figura 3 se muestra fotografía del controlador empleado.



Fig 3. Módulo NI-9218.

2) *Galga extensiométrica, WA-06-120WR-350*: Se trata de una roseta triaxial o también conocida como roseta rectangular. Presenta una distribución entre cada terminal de 45 grados lo que permite 2 mediciones de manera perpendicular y una en medio de las dos. En la tabla 1 se presentan las especificaciones de la galga 120WR y en la figura 4 tenemos la fotografía de la misma.

TABLA I.
LISTA DE PROPIEDADES DE LA GALGA

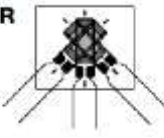
120WR 	Serie de Galga		WA, WD, WK, SA, SK, SD
		Resistencia de red (Ohms)	
Roseta rectangular apilada de tres elementos a 45°	Longitud Galga	pulg	0.12
		mm	3.05
Tamaño de la matriz: 8,6 x 10,2 mm (0,34 x 0,40 pulg.)	TC del factor de galga, % 100°C		(1.2±0.2)
	Sensibilidad transversal		(+0.3±0.2) %



Fig 4. Galga extensiométrica 120WR, roseta triaxial

B. Protocolo de Instalación

Para este proceso se emplean los siguientes pasos, los cuales aseguraron una correcta colocación y toma de datos.

1.- En primer lugar, se hizo una limpieza minuciosa de la superficie donde iba a ser colocada la galga. Se utilizó un desengrasante para quitar cualquier impureza y se pasó un cepillo de acero de cerdas suaves. En la figura 5 podemos observar la aplicación del cepillo de cerdas de acero.



Fig 5. Limpieza en el tubo superior, ubicación de la galga 1

2.- Luego se realizó un acabado superficial liso, en las cuales se aplicaron 3 tipos de papel de lijas con granos de calidad medio (600), fino (1000) y muy fino (1200); además, como se presenta en la figura 6, se agregó una solución acuosa para lograr un mejor acabado.



Fig 6. Proceso de lijado

3.- Se procedió ahora a preparar la galga extensiométrica, para ello, como vemos en la figura 7, se colocó cinta adhesiva en la parte posterior de la galga para poder ubicarla en el tubo del chasis de mejor manera y así evitar la contaminación de impurezas que podría malograr el pegado.

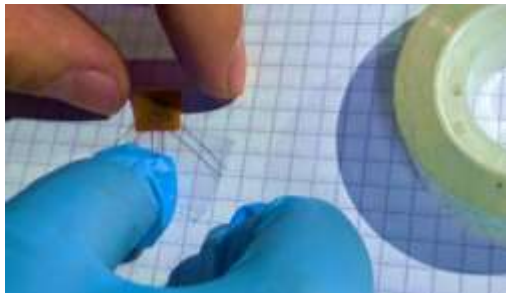


Fig 7. Colocación de cinta adhesiva

4.- Se retira la galga de la mesa de preparación a través de la sujeción de la cinta, luego en la superficie ya preparada se colocó una gota de gel adhesivo “bonder” cómo se aprecia en la figura 8.a. y posteriormente se coloca con precaución la galga sobre esta sustancia como se muestra en la figura 8.b. fijándose así su cuerpo principal.



Fig 8.a. Colocación de pega bonder



Fig 8.b. Ubicación de la galga en el chasis

5.- Se dejó reposar la galga durante 5 minutos con el fin de obtener una fijación fuerte. Después se procedió a pegar también los terminales de la galga al tubo del chasis, con la finalidad de evitar desprendimiento cuando estos sean soldados a los cables que se unirán. La figura 9 nos muestra como quedó sujeta la galga triaxial al chasis.



Fig 9. Cuerpo completo de la galga adherido al chasis

6.- Lo siguiente fue realizar el soldado de los terminales de las galgas a los cables de comunicación, esto se lo hace mediante la utilización de cautín, como se aprecia en la figura 10, calibrado a una temperatura de 350 °C durante un tiempo de 30 segundos con una aleación 60% Pb - 40% Sn.



Fig 10. Soldado de cables a terminales de las galgas

7.- Finalmente, mediante el multímetro, se comprueba que todos los terminales de la galga presenten una resistencia entre los 350 a 352 ohmios. La misma comprobación se la realiza también al final de los cables que fueron soldados.

A través de la tarjeta madcad (Módulo NI-9218) se estableció conexión con el programa “LabView” en la computadora y se realizaron simulaciones con el fin de calibrar correctamente el equipo para futuras mediciones. Todo este procedimiento se realizó tanto en la colocación de la roseta 1 como en la 2. La figura 11 muestra la interfaz del programa al conectarse con la galga extensiométrica.

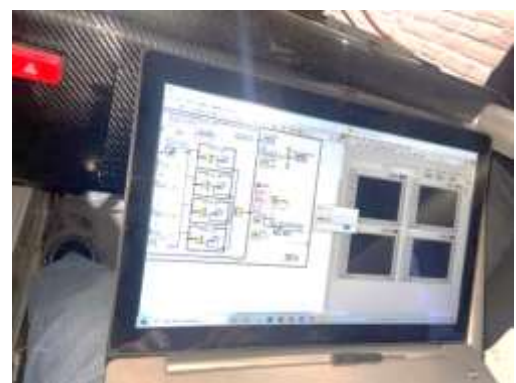


Fig 11. Conexión del computador a la tarjeta madcad

C. Recolección de datos

1) *Preparación Inicial:* Antes de la instrumentación del vehículo se realizó el protocolo de instalación descritos anteriormente:

2) *Circuito:* Para la selección del circuito de prueba se consideraron factores como el tipo de carretera (asfalto y adoquín) y el estado de la misma, así como condiciones de frenados, aceleraciones y giros. El circuito seleccionado se muestra a continuación en la figura 12:

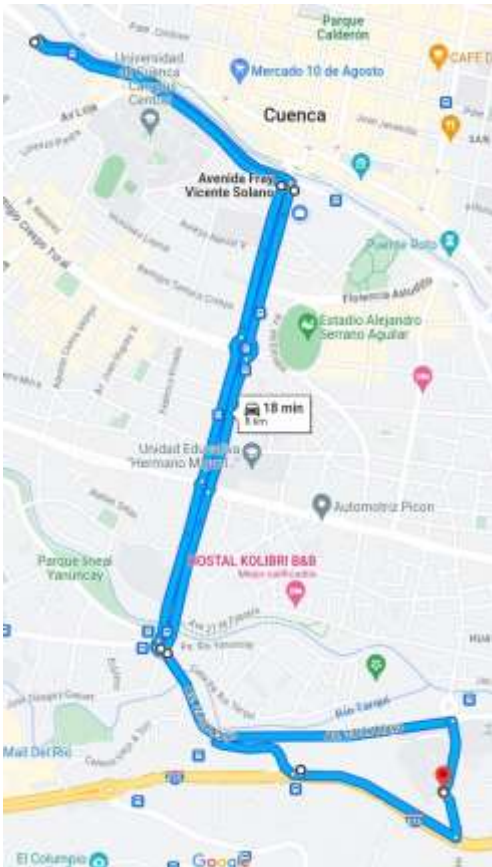


Fig 12. Circuito de prueba.

3) *Puntos Clave del Circuito (Rosetas 1 y 2):* Dado que únicamente se tiene una tarjeta de adquisición de datos, la toma de datos tuvo que realizarse de manera separada, repitiendo el recorrido del circuito para cada galga. Se procedió a filmar de manera paralela los recorridos, para que la identificación de los puntos clave y eventos sea fácilmente reconocible.

A continuación, en las figuras 13.a y 13.b se muestran las ubicaciones y descripciones de las zonas más críticas donde se presentaron mayores esfuerzos en el chasis del vehículo. En las tablas 2 y 3 se indica la descripción de cada una de las zonas críticas para cada roseta respectivamente.



Fig 13.a. Zonas Críticas, roseta 1



Fig 13.b. Zonas Críticas, roseta 2

TABLA II.
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PUNTOS CLAVE PARA LA PRIMERA ROSETA.

N.º	Ubicación	Descripción
1	Redondel de los 3 Puentes	Aceleración
2	Av. Solano frente al hospital Monte Sinaí	Frenado
3	Redondel de la Av. 12 de Abril	Vuelta
4	Redondel de la Av. 12 de Abril	Giro a la derecha
5	Av. 12 de Abril, frente de la Universidad de Cuenca	Adoquín
6	Av. 24 de Mayo, frente entrada al parqueadero de la Universidad del Azuay	Desnivel
7	Redondel de la Universidad del Azuay	Giro a la derecha

TABLA III.
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PUNTOS CLAVE PARA LA SEGUNDA ROSETA.

N.º	Ubicación	Descripción
1	Hernán Malo hacia la autopista Cuenca - Azuques	Asfalto irregular
2	Semáforo de la Av. 24 de Mayo	Frenado
3	Av. Solano, tramo desde frente del hospital	Asfalto irregular
4	Monte Sinaí hasta redondel de la Av. Remigio Crespo	Asfalto irregular
5	Av. Solano, frente al Banco del Pichincha	Aceleración
6	Redondel de la Av. 12 de Abril	Vuelta
7	Av. 12 de Abril, frente a la Universidad de Cuenca	Asfalto irregular
8	Av 12 de Abril, frente a la Universidad de Cuenca	Adoquín
9	Av Solano, frente al colegio Bilingüe	Frenado

El código de Matlab utilizado y las gráficas de dispersión se muestran en el Anexo A.1.1 y en el Anexo A.2.1 respectivamente.

4) *Análisis Espectral*: Debido a que la señal proveniente del puente de Wheatstone de la tarjeta de adquisición es pequeña, tiende a ser muy vulnerables al ruido eléctrico, por lo que se hace menester separar la señal del ruido para obtener una medida fiable.

Uno de los métodos utilizados para estos casos es el filtrado de la señal, sin embargo, tenemos que conocer previamente dentro de que rangos de frecuencia es más probable que se encuentre la señal. Esto lo conseguimos mediante el análisis espectral de los datos obtenidos, para lo cual aplicamos la transformada rápida de Fourier (FFT). Una vez obtenida la gráfica de espectro se procede a seleccionar el rango de frecuencias por inspección visual.

El código de Matlab utilizado y las gráficas de espectro se muestran en el Anexo A.1.2 y en el Anexo A.2.2 respectivamente.

5) *Filtrado*: Teniendo en cuenta el comportamiento que se vio en los espectros de señal, el filtro que se va a elaborar tiene las siguientes características:

- Pasa bajo tipo FIR.
- Frecuencia de paso: 25 Hz.
- Frecuencia de parada: 35 Hz.
- Atenuación de la frecuencia de parada: 60dB
- Frecuencia de muestreo: 100 Hz

El código de Matlab utilizado y la gráfica comparativa de señal vs señal filtrada se muestran en el Anexo A.1.3 y en el Anexo A.2.3 respectivamente.

D. Cálculo de Tensiones Principales:

Para el cálculo de las tensiones principales, se procedió como se indica en el libro *Elasticidad* de Luis Ortiz Berrocal [9]. A continuación, se muestra un resumen de las ecuaciones que se aplicaron sobre la señal filtrada:

$$E_A = \frac{4F_A}{ExcK} \quad (1)$$

$$E_B = \frac{4F_B}{ExcK} \quad (2)$$

$$E_C = \frac{4F_C}{ExcK} \quad (3)$$

Siendo Exc el voltaje de excitación, K factor de galga, F_A la señal filtrada y el resultado siendo la deformación de la galga.

$$E_x = E_B \quad (4)$$

$$E_y = E_A - E_B + E_C \quad (5)$$

$$r_{xy} = E_C - E_A \quad (6)$$

Siendo los resultados los componentes de la matriz de deformación en el punto considerado.

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

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

Siendo ε_1 y ε_2 las deformaciones principales.

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

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

Siendo σ_1 y σ_2 las tensiones principales.

El código de Matlab utilizado se muestra en el Anexo A.1.4.

III. RESULTADOS

Una vez realizado el cálculo de las tensiones principales para todo el conjunto de datos, nos centramos en los valores máximos y mínimos que se han producido durante los eventos ocurridos en los puntos clave del circuito. Las gráficas correspondientes se muestran en el Anexo A.2.4.

A continuación, se muestran en las tablas 4 y 5 el resumen de los máximos y mínimos de las rosetas en los puntos clave correspondientes:

TABLA IV.
VALORES DE ESFUERZOS MÍNIMOS Y MÁXIMOS MEDIDOS EN LA ROSETA 1 EN SUS RESPECTIVOS PUNTOS CLAVE:

N°	Ubicación	σ_1 (MPa)		σ_2 (MPa)	
		Max	Min	Max	Min
1	Redondel de los 3 Puentes	9.62	-5.68	3.01	-12.29
2	Av. Solano frente al hospital Monte Sinaí	10.19	-4.33	2.98	-12.67
3	Redondel de la Av. 12 de Abril	16.01	-3.18	4.51	-10.94
4	Redondel de la Av. 12 de Abril	5.84	-7.29	1.08	-20.38
5	Av. 12 de Abril, frente de la Universidad de Cuenca	16.90	-8.30	4.41	-23.65
6	Av. 24 de Mayo, frente entrada al parqueadero de la Universidad del Azuay	11.04	-4.55	3.95	-10.11
7	Redondel de la Universidad del Azuay	4.80	-7.10	-0.86	-23.20

TABLA V.
VALORES DE ESFUERZOS MÍNIMOS Y MÁXIMOS MEDIDOS EN LA ROSETA 2 EN
SUS RESPECTIVOS PUNTOS CLAVE:

N°	Ubicación	σ_1 (MPa)		σ_2 (MPa)	
		Max	Min	Max	Min
1	Hernán Malo hacia la autopista Cuenca - Azogues	11.81	-0.55	6.26	-6.82
2	Semáforo de la Av. 24 de Mayo	10.08	0.62	5.20	-8.55
3	Av. Solano, tramo desde frente del hospital	18.03	3.51	3.18	-9.89
4	Monte Sinaí hasta redondel de la Av. Remigio Crespo	18.19	5.68	-0.78	-11.05
5	Av. Solano, frente al Banco del Pichincha	15.56	7.71	-3.81	-9.80
6	Redondel de la Av. 12 de Abril	18.08	4.53	-1.48	-12.64
7	Av. 12 de Abril, frente a la Universidad de Cuenca	17.60	9.63	-0.84	-10.02
8	Av 12 de Abril, frente a la Universidad de Cuenca	22.56	7.78	1.24	-11.18
9	Av Solano, frente al colegio Bilingüe	13.84	1.86	7.90	-3.17

IV. DISCUSIÓN

A. Análisis de los eventos

Para este análisis se han seleccionado eventos que presenten las 2 rosetas, realizando una comparativa entre los valores obtenidos entre estas. Esto se muestra a continuación:

Cambios de velocidad:

- Roseta 1:
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por aceleraciones se encuentran en los 15 MPa.
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por frenados se encuentran en los 15 MPa.
- Roseta 2:

- Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por aceleraciones se encuentran en los 7 MPa y los 6 MPa.
- Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por frenados se encuentran en los 12 MPa y los 11 MPa.

Giro a la izquierda:

- Roseta 1:
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por el giro a la izquierda se encuentran en los 19 MPa y 15 MPa.
- Roseta 2:
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por el giro a la izquierda encuentran en los 14 MPa y los 11 MPa.

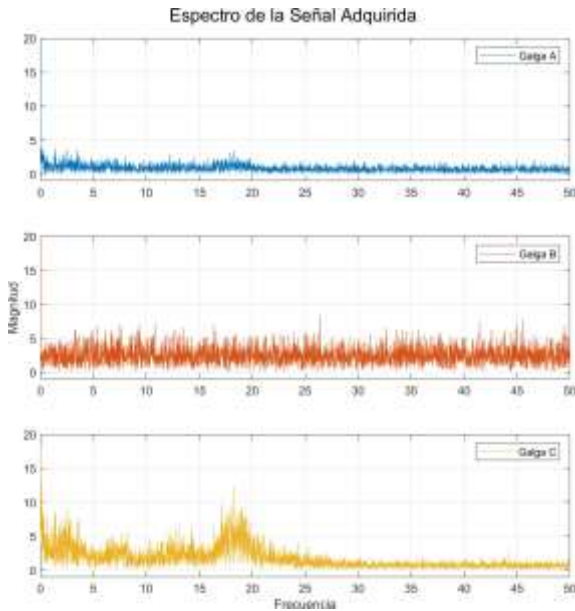
Adoquín:

- Roseta 1:
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por el paso por el adoquín se encuentran en los 25 MPa y 28 MPa.
- Roseta 2:
 - Las tensiones σ_1 y σ_2 provocadas por el paso por el adoquín se encuentran en los 30 MPa y los 12 MPa.

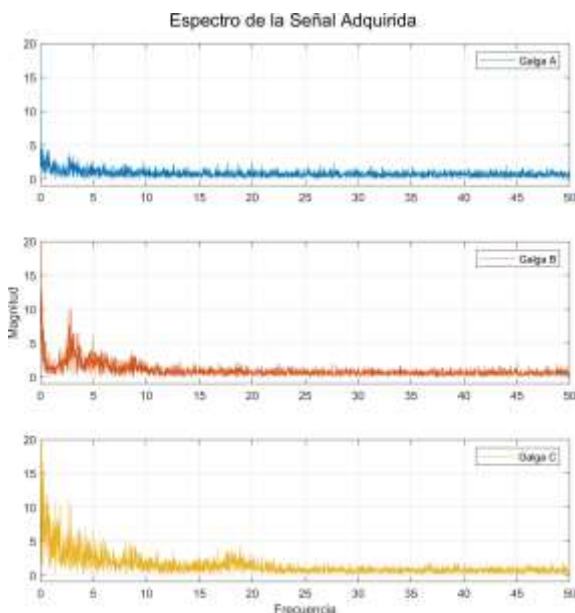
De esto se concluye que donde el material se encuentra bajo mayor tensión es cuando el vehículo pasa por adoquín, presentando tensiones de hasta 30 MPa, manteniéndose en todos los casos restantes con valores inferiores a los 15 MPa.

B. Señales adquiridas

Analizando los datos adquiridos y las gráficas de espectro que se muestran a continuación en la figura 18, se tiene que en las galgas A y B de la roseta 1 y en la galga A de la roseta 2, la magnitud de la señal y del ruido eléctrico es la misma, por lo que se concluye que la variación de deformación de estas galgas es irrisoria.



a. Espectro roseta 1.



b. Espectro roseta 2.

Figura 18: Espectros de las señales adquiridas.

Este comportamiento es debido muy probablemente a que la dirección en que se deforma el material no se encuentre alineado con respecto a estas galgas.

C. Comportamiento general del vehículo

Como se puede ver en las tablas de resultados y en su posterior análisis, no se consideran todos los tipos de eventos que se pueden presentar. A su vez también 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 vehículo durante el funcionamiento normal.

Con la finalidad de corregir estos problemas y generar una muestra de datos heterogénea, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Mejorar la planeación de los circuitos para:
 - Incluir más tipos de eventos.
 - Optimizar los tiempos muertos durante la toma de datos.
- Aumentar la cantidad de circuitos que se realizarán para la toma de datos.
- Recorrer varias veces cada circuito.

V. CONCLUSIONES

En el presente documento se ha mostrado el procedimiento y los resultados del cálculo de tensiones principales en dos puntos críticos del vehículo, con lo que se ha cumplido efectivamente con los objetivos planteados al inicio del informe.

Adicionalmente se ha realizado un análisis sobre los resultados y las condiciones de la toma de datos, terminando con un conjunto de recomendaciones que permitan generalizar y describir de mejor manera el comportamiento del vehículo en cuestión.

Con los valores que se logró obtener en las mediciones se tiene en la roseta 1 un máximo de 16,90 MPa y para la roseta 2 un máximo de 22,56 MPa. Esto en contraste con los valores presentados en las simulaciones a computador dan una diferencia del 79,14% para la roseta 1 y del 79,85% para la roseta 2.

Podemos concluir que la relación entre la cantidad de carga que absorbe la roseta 1 en comparación con la roseta 2 es de 0,749 muy similar a la relación que se obtiene en las simulaciones de 0,723; no obstante, hay una gran diferencia en los valores netos de esfuerzos, esto debido a que la prueba no es de gran exigencia como la que se realiza en las simulaciones CAE.

VI. REFERENCIAS

- [1] Muñoz Arevalo F. (2020). Validación de metodologías empleadas en simulaciones CAE utilizadas para el desarrollo del prototipo SHELL ECO-MARATHON de la Universidad del Azuay. Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9710>
- [2] Gonzáles D. y Nivicela E. (2015). Análisis de las cargas en el sistema de suspensión de un vehículo formula SAE mediante extensiométrica eléctrica. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7871>
- [3] Quintanilla Molina L. y Idrovo Urgilés P. (2010). Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometido a carga combinadas. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4482>
- [4] 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>
- [5] Mansilla F. (2016). Ensayos Estructurales con Extensometría. Universidad Politécnica de Valencia. <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/71938>
- [6] 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>
- [7] Velasco E. (2018). Evaluación de integridad estructural del modelo de bicicleta de carga marca BogBi. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/40419>
- [8] Rodríguez D. y Patiño B. (2022). Integración CAD/CAE y análisis metrológico de los componentes del sistema de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza. Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12496>
- [9] Ortiz Berrocal, L. (1998). Metodos Experimentales en Elasticidad. En C. Fernandez (Ed.), *Elasticidad* (pp. 509-540). M McGraw-Hill Companies.

VII. ANEXOS

A.1. Códigos de Matlab

A.1.1. Gráficas de dispersión de datos adquiridos

```

1  %cargamos los datos desde el archivo
2  data = csvread('TesisB.csv');
3
4  %separamos los datos de acuerdo a su tipo
5  tiempo = data(:,3);    %tiempo
6  GA = data(:,4);       %galga A
7  GB = data(:,5);       %galga B
8  GC = data(:,6);       %galga C
9
10 %fijamos los limites superior e inferior de la grafica
11 y_min = -0.2;
12 y_max = 0.2;
13
14 %fijamos el intervalo de tiempo a graficar
15 interval = 6000;
16
17 %fijamos el tamaño de la grafica y el titulo
18 figure('position', [488 41.8 756.2 740.8]);
19 figure(1);
20 sgtitle('Voltaje vs Tiempo');
21
22 %dividimos el espacio de la grafica para que se grafiquen las tres galgas
23 %dentro de la misma imagen, asignamos el nombre de cada conjunto de datos
24 %y activamos la grilla
25 subplot(3,1,1)
26 scatter(tiempo(1:interval),GA(1:interval), 2, '.', 'MarkerEdgeColor', [0
27 0.4470 0.7410]);
28 ylim([y_min, y_max]);
29 legend('Galga A');
30 grid on;
31
32 subplot(3,1,2)
33 scatter(tiempo(1:interval),GB(1:interval), 2, '.', 'MarkerEdgeColor',
34 [0.8500 0.3250 0.0980]);
35 ylim([y_min, y_max]);
36 legend('Galga B');
37 ylabel('Voltaje')
38 grid on;
39
40 subplot(3,1,3)
41 scatter(tiempo(1:interval),GC(1:interval), 2, '.', 'MarkerEdgeColor',
42 [0.9290 0.6940 0.1250]);
43 ylim([y_min, y_max]);
44 legend('Galga C');
45 xlabel('Tiempo');
46 grid on;

```

Programa 1: Creación de espectro de señal

A.1.2. Cálculo y grafica de espectros de señal

```

1  %cargamos los datos desde el archivo
2  data = csvread('TesisB.csv');
3
4  %separamos los datos de acuerdo a su tipo
5  tiempo = data(:,3); %tiempo
6  GA = data(:,4); %galga A
7  GB = data(:,5); %galga B
8  GC = data(:,6); %galga C
9
10 %fijamos los limites superior e inferior de la grafica
11 y_min = -1;
12 y_max = 20;
13
14 %asignamos la frecuencia y el periodo de muestreo de la senal
15 fs = 100;
16 T = 1/fs;
17
18 %fijamos el intervalo de tiempo a analizar
19 interval = 6000;
20
21 %calculamos la transformada rapida de fourier, tomamos la parte real y
    %escalamos para cada galga
22 SGA = abs(fft(GA(1:interval)));
23 SGA = SGA(1:interval/2+1);
24 SGA(2:end-1) = 2*SGA(2:end-1);
25
26 SGB = abs(fft(GB(1:interval)));
27 SGB = SGB(1:interval/2+1);
28 SGB(2:end-1) = 2*SGB(2:end-1);
29
30 SGC = abs(fft(GC(1:interval)));
31 SGC = SGC(1:interval/2+1);
32 SGC(2:end-1) = 2*SGC(2:end-1);
33
34 %configuramos para que en el eje x se muestre la frecuencia de cada
    %componente de la senal
35 f = fs/interval*(0:(interval/2));
36
37 %fijamos el tamaño de la grafica y el titulo
38 figure('figure_id');
39 sgtitle('Espectro de la Senial Adquirida');
40
41 %dividimos el espacio de la grafica para que se grafique el espectro de
    %las tres galgas dentro de la misma imagen, asignamos el nombre de cada
    %conjunto de datos y activamos la grilla
42 subplot(3,1,1)
43 plot(f, SGA, 'Marker', 'none', 'Color', [0 0.4470 0.7410]);
44 ylim([y_min, y_max]);
45 legend('Galga A');
46 grid on;
47
48 subplot(3,1,2)
49 plot(f, SGB, 'Marker', 'none', 'Color', [0.8500 0.3250 0.0980]);
50 ylim([y_min, y_max]);
51 legend('Galga B');
52 ylabel('Magnitud');
53 grid on;
54
55 subplot(3,1,3)
56 plot(f, SGC, 'Marker', 'none', 'Color', [0.9290 0.6940 0.1250]);
57 ylim([y_min, y_max]);
58 legend('Galga C');
59 xlabel('Frecuencia');
60 grid on;
61

```

Programa 2: Creación de gráfica de dispersión de la señal

A.1.3. Filtrado de la Señal

```

1  %cargamos los datos desde el archivo
2  data = csvread('TesisB.csv');
3
4  %separamos los datos de acuerdo a su tipo
5  tiempo = data(:,3); %tiempo
6  GA = data(:,4); %galga A
7  GB = data(:,5); %galga B
8  GC = data(:,6); %galga C
9
10 %configuramos el tipo y parametros del filtro a utilizar
11 %filtro FIR pasabajo, frecuencia de paso 25Hz, frecuencia de parada 35Hz
%ondulacion de la banda de paso 1, atenuacion de la banda de parada 60
dB, frecuencia de muestreo 100Hz
12 lpFilt = designfilt('lowpassfir', 'PassbandFrequency', 25, '
StopbandFrequency', 35, 'PassbandRipple', 1, 'StopbandAttenuation', 60,
'SampleRate', 100);
13
14 %filtramos la senal de cada galga
15 FGA = filtfilt(lpFilt, GA);
16 FGB = filtfilt(lpFilt, GB);
17 FGC = filtfilt(lpFilt, GC);
18
19 %fijamos los limites superior e inferior de la grafica
20 y_min = -0.2;
21 y_max = 0.2;
22
23 %fijamos el tamano de la grafica y el titulo
24 figure('position', [488 41.8 756.2 740.8]);
25 figure(1);
26 sgtitle('Voltaje Filtrado vs Tiempo');
27
28 %dividimos el espacio de la grafica para que se grafique las senales
filtradas de las tres galgas dentro de la misma imagen, asignamos el
nombre de cada conjunto de datos y activamos la grilla
29 subplot(3,1,1)
30 plot(tiempo(1:interval),FGA(1:interval), 'Marker', 'none', 'Color', [0
0.4470 0.7410]);
31 ylim([y_min, y_max]);
32 legend('Galga A');
33 grid on;
34
35 subplot(3,1,2)
36 plot(tiempo(1:interval),FGB(1:interval), 'Marker', 'none', 'Color',
[0.8500 0.3250 0.0980]);
37 ylim([y_min, y_max]);
38 legend('Galga B');
39 ylabel('Voltaje');
40 grid on;
41
42 subplot(3,1,3)
43 plot(tiempo(1:interval),FGC(1:interval), 'Marker', 'none', 'Color',
[0.9290 0.6940 0.1250]);
44 ylim([y_min, y_max]);
45 legend('Galga C');
46 xlabel('Tiempo');
47 grid on;
48

```

Programa 3: Creación de gráfica de señal filtrada

A.1.4. Cálculo de tensiones principales

```

1  %cargamos los datos desde el archivo
2  data = csvread('TesisB.csv');
3
4  %separamos los datos de acuerdo a su tipo
5  tiempo = data(:,3); %tiempo
6  GA = data(:,4); %galga A
7  GB = data(:,5); %galga B
8  GC = data(:,6); %galga C
9
10 %configuramos el tipo y parametros del filtro a utilizar
11 %filtro FIR pasabajo, frecuencia de paso 25Hz, frecuencia de parada 35Hz
12 % , ondulation de la banda de paso 1, atenuacion de la banda de parada 60
13 % dB, frecuencia de muestreo 100Hz
14 lpFilt = designfilt('lowpassfir', 'PassbandFrequency', 25, '
15 % StopbandFrequency', 35, 'PassbandRipple', 1, 'StopbandAttenuation', 60,
16 % 'SampleRate', 100);
17
18 %filtramos la señal de cada galga
19 FGA = filtfilt(lpFilt, GA);
20 FGB = filtfilt(lpFilt, GB);
21 FGC = filtfilt(lpFilt, GC);
22
23 %escalamos la señal para que se represente en voltios:
24 FGA = FGA/1000;
25 FGB = FGB/1000;
26 FGC = FGC/1000;
27
28 %calculamos la deformacion de cada galga
29 Exc = 2.5; %voltaje de excitacion
30 K = 2.1; %constante de galga
31 EGA = (4 * FGA)/(Exc * K);
32 EGB = (4 * FGB)/(Exc * K);
33 EGC = (4 * FGC)/(Exc * K);
34
35 %calculamos la deformacion del material
36 Ex = EGB;
37 Ey = EGA - EGB + EGC;
38 rxy = EGC - EGA;
39
40 %calculamos las deformaciones principales
41 E1 = (Ex + Ey)/2 + 1/2*((Ex - Ey).^2 + rxy.^2).^(1/2);
42 E2 = (Ex + Ey)/2 - 1/2*((Ex - Ey).^2 + rxy.^2).^(1/2);
43
44 %calculamos las tensiones principales
45 E = 210; %coeficiente de poisson
46 u = 0.3; %modulo de elasticidad
47 r1 = (E/(1 - u^2)) * (E1 + u*E2);
48 r2 = (E/(1 - u^2)) * (E2 + u*E1);

```

Programa 4: Cálculo de las tensiones principales

A.2. Gráficas

A.2.1. Datos adquiridos por las rosetas

Roseta 1.

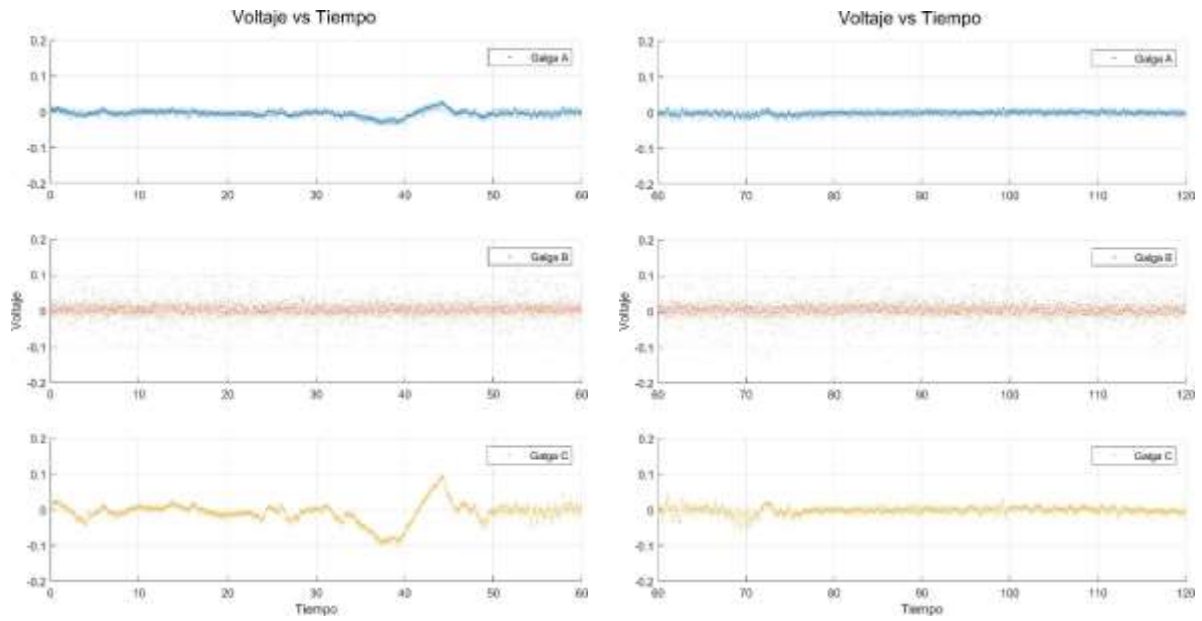


Fig 14. Datos adquiridos roseta 1 (1).

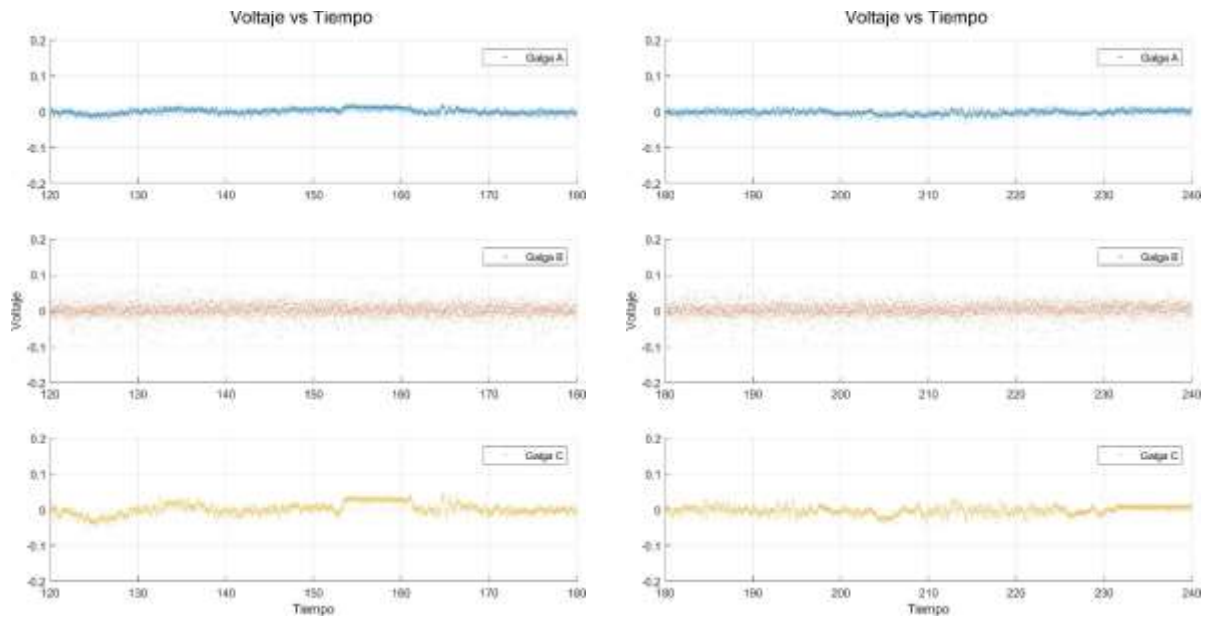


Fig 15. Datos adquiridos roseta 1 (2).

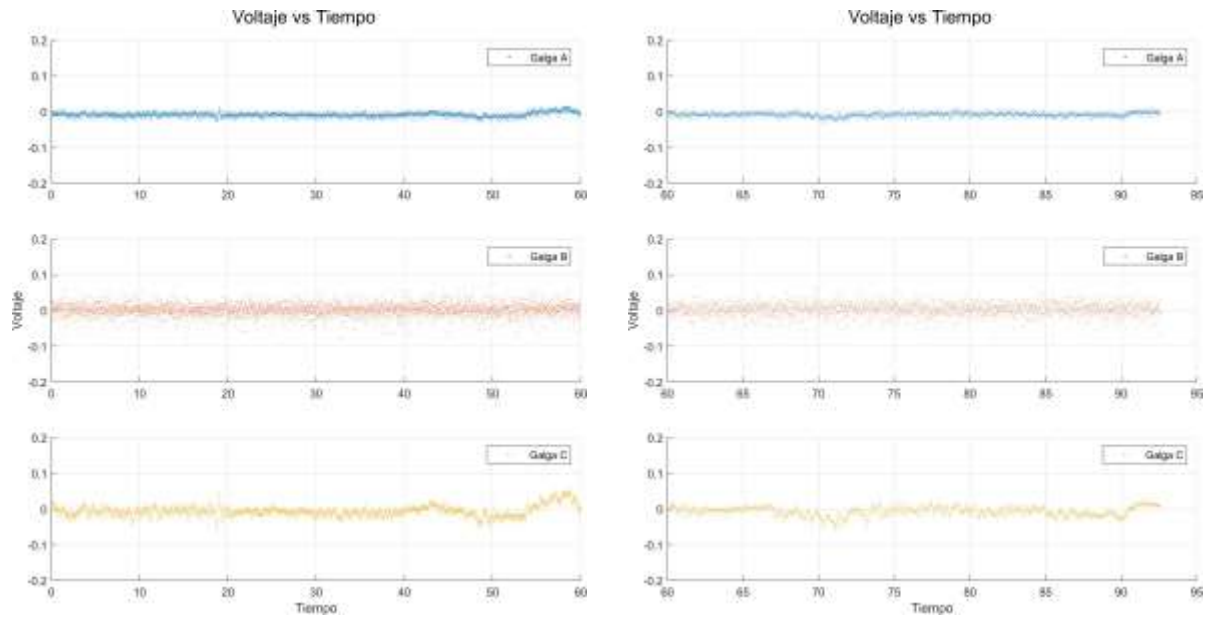


Fig 16. Datos adquiridos roseta 1 (3).

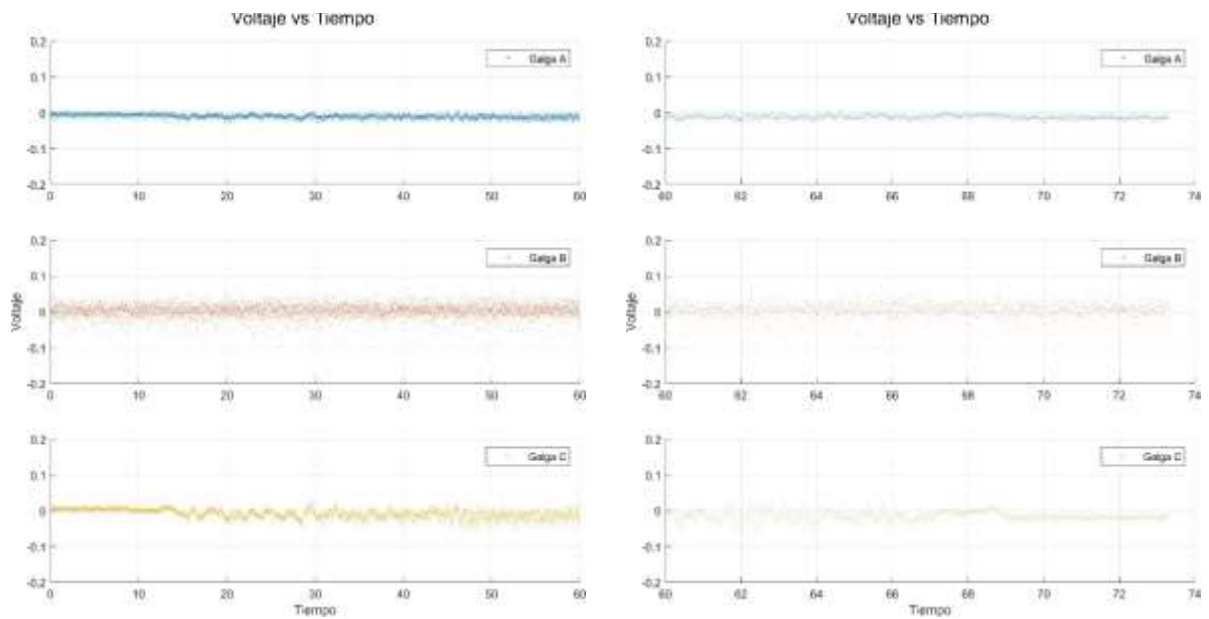


Fig 17. Datos adquiridos roseta 1 (4).

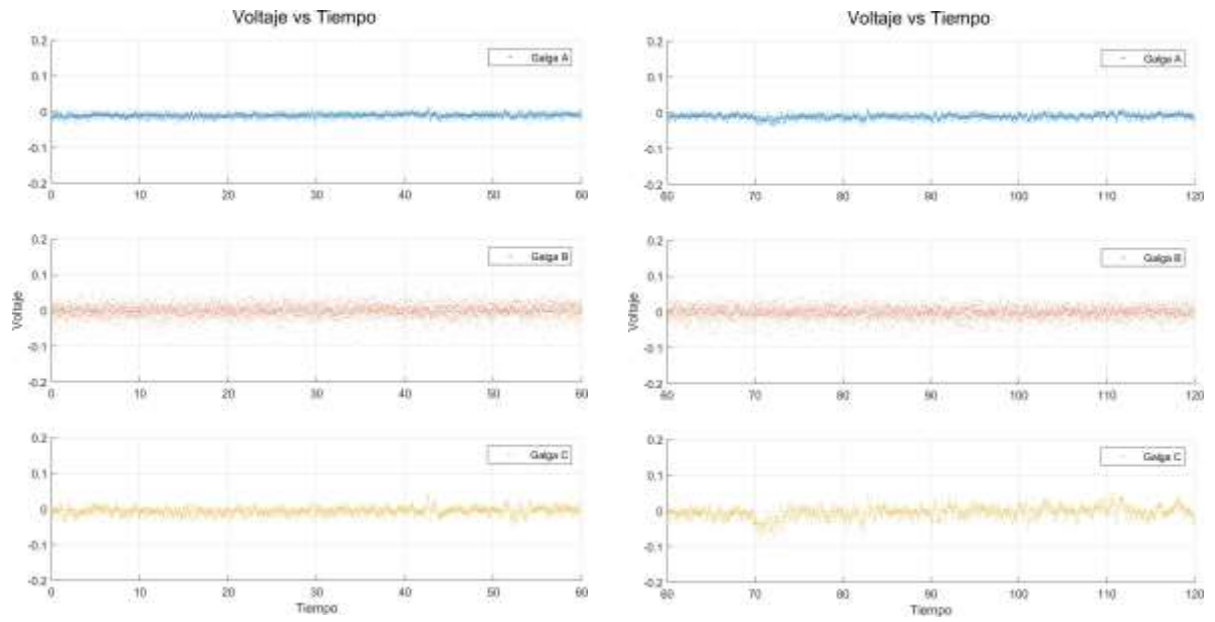


Fig 18. Datos adquiridos roseta 1 (5).

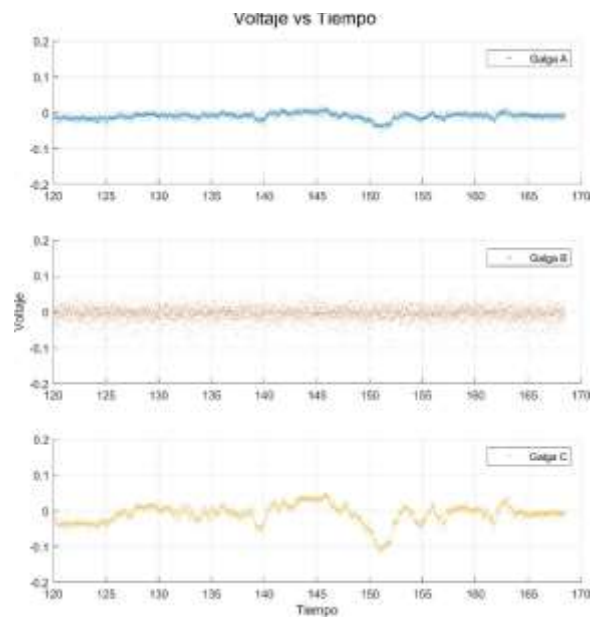


Fig 19. Datos adquiridos roseta 1 (6).

Roseta 2.

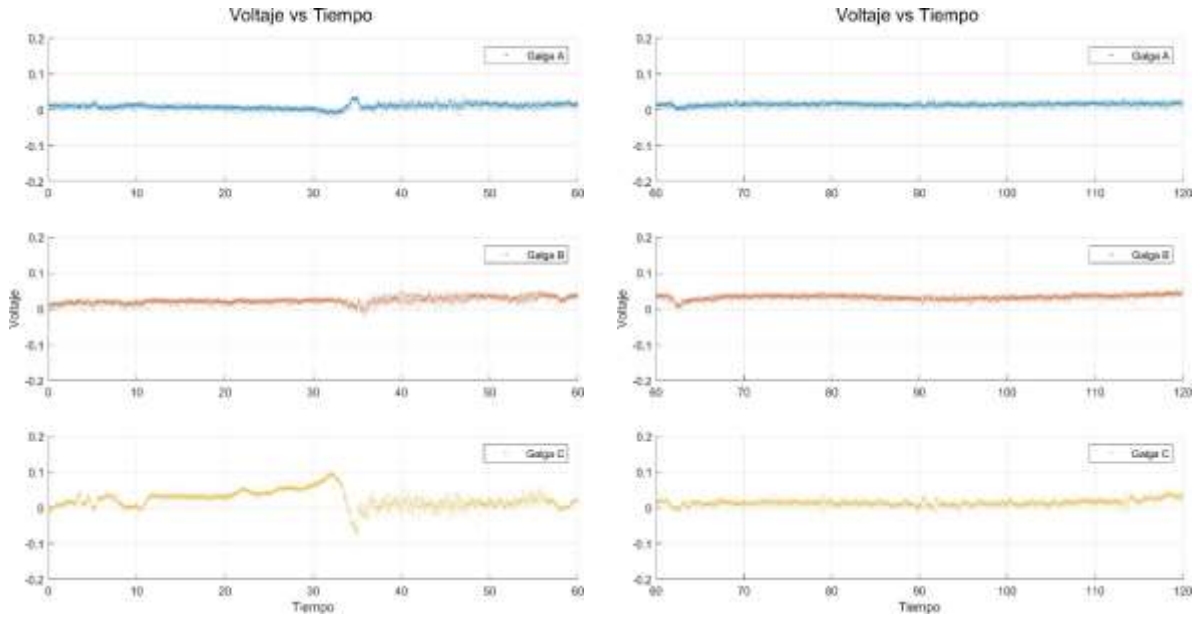


Fig 20. Datos adquiridos roseta 2 (1).

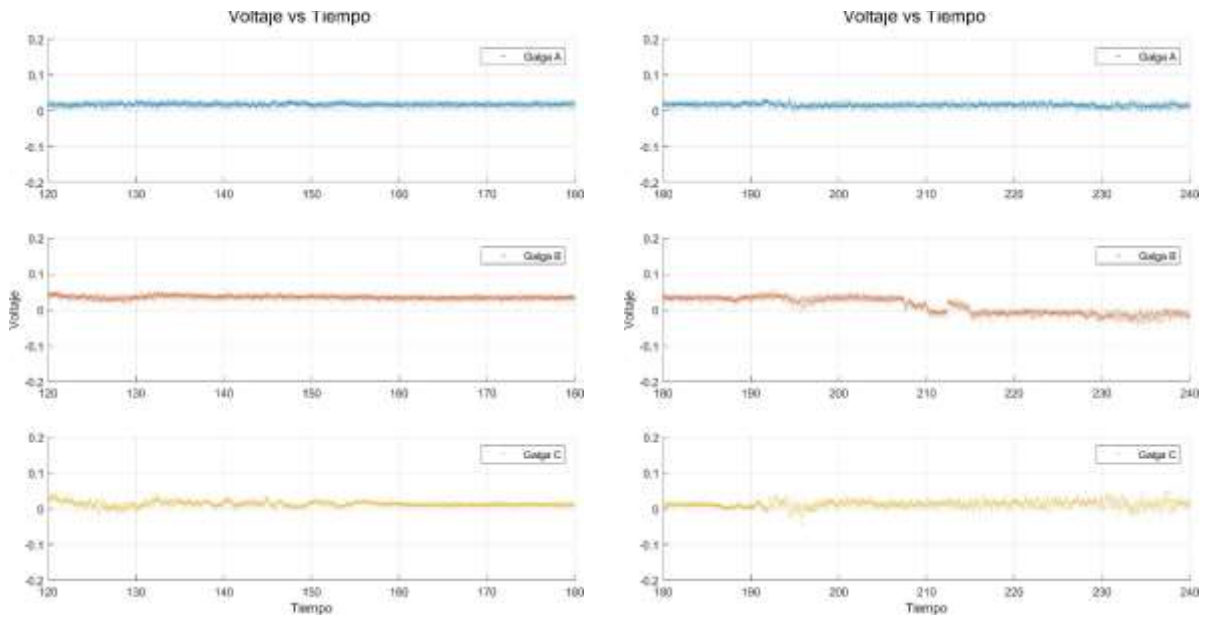


Fig 21. Datos adquiridos roseta 2 (2).

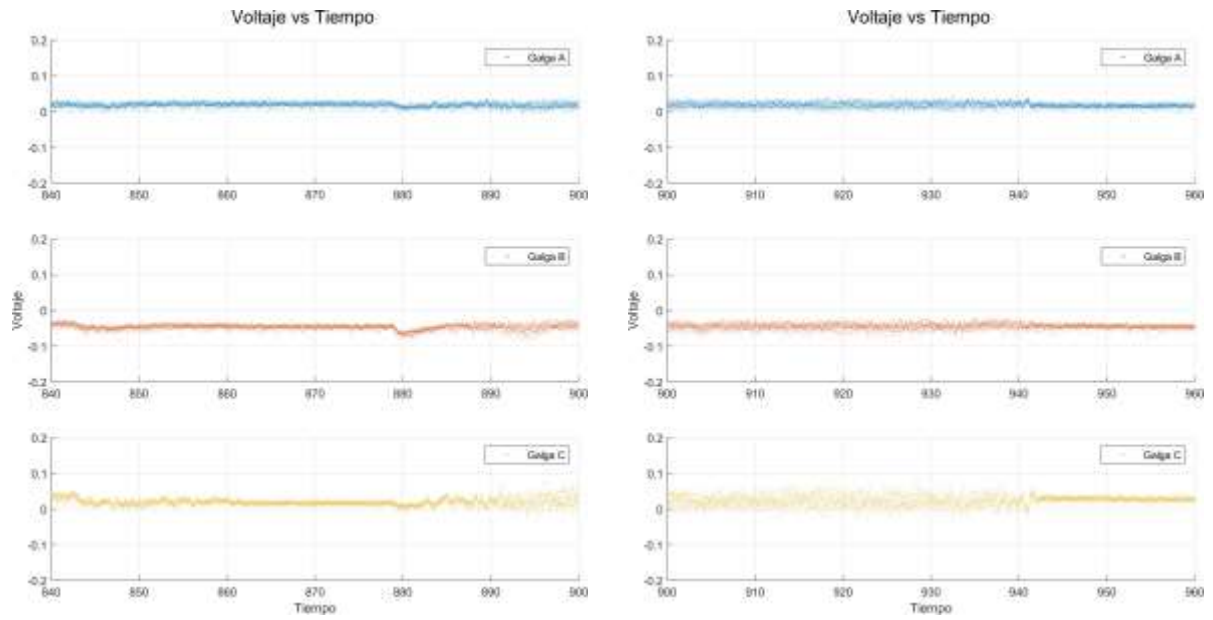


Fig 22. Datos adquiridos roseta 2 (3).

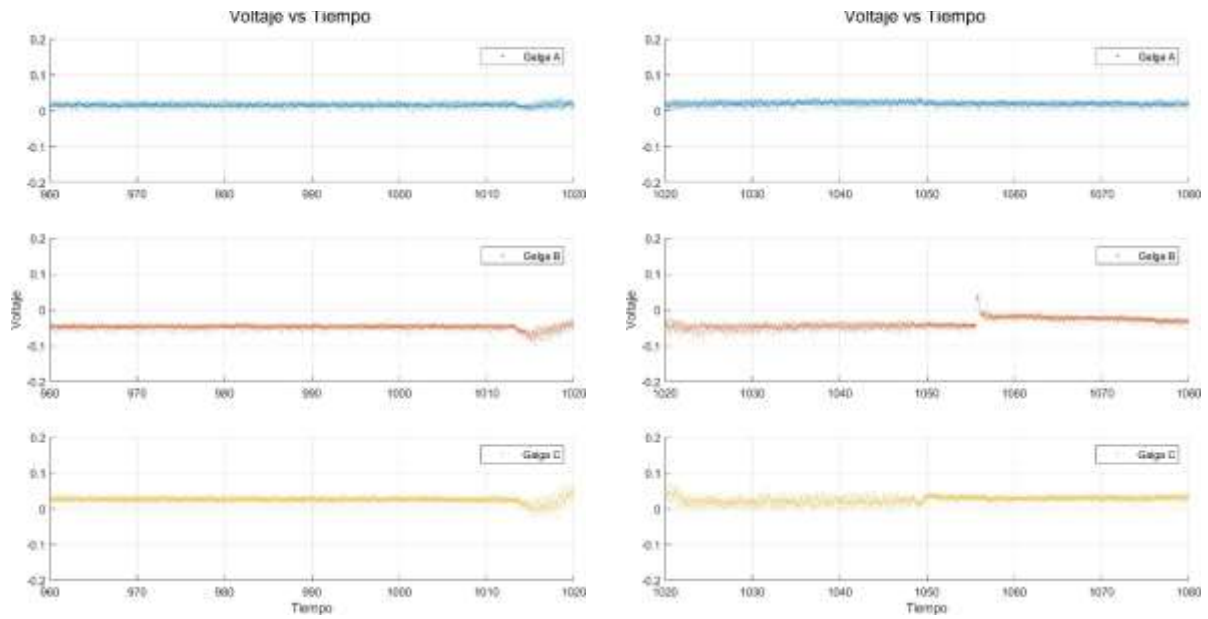


Fig 23. Datos adquiridos roseta 2 (4).

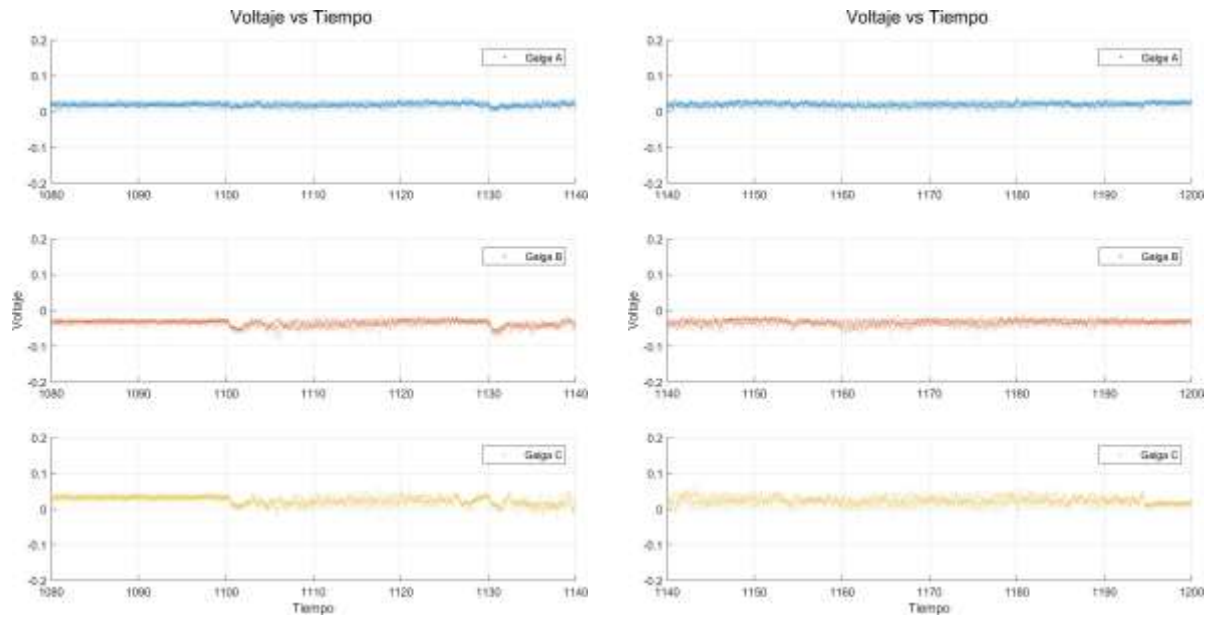


Fig 24. Datos adquiridos roseta 2 (5).

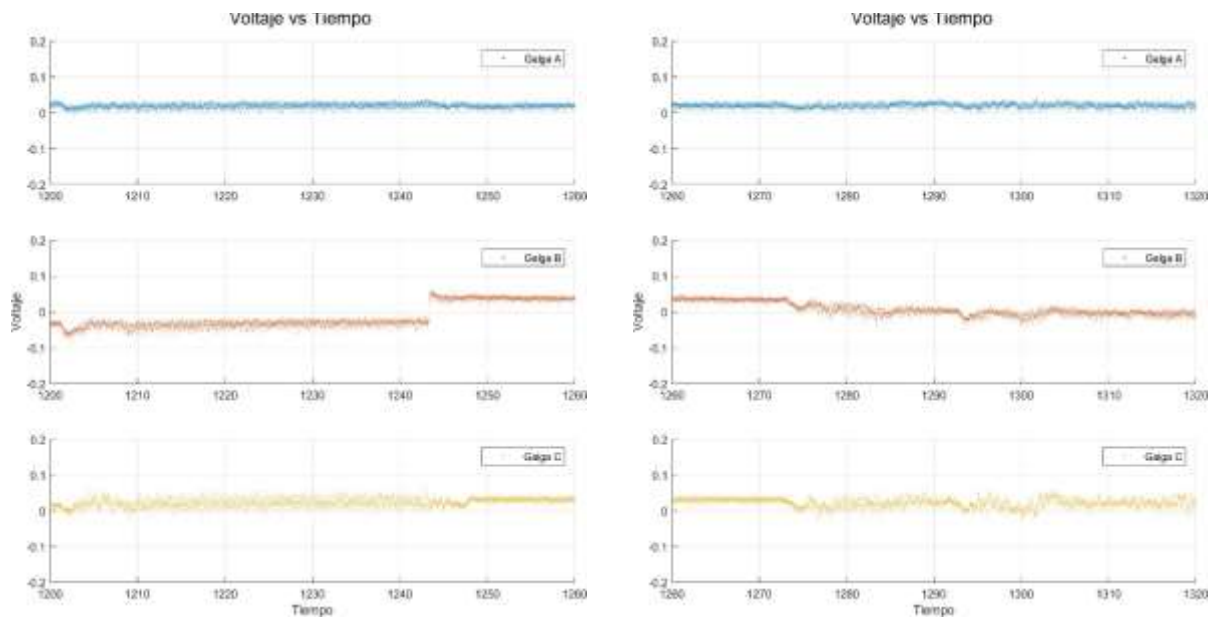


Fig 25. Datos adquiridos roseta 2 (6).

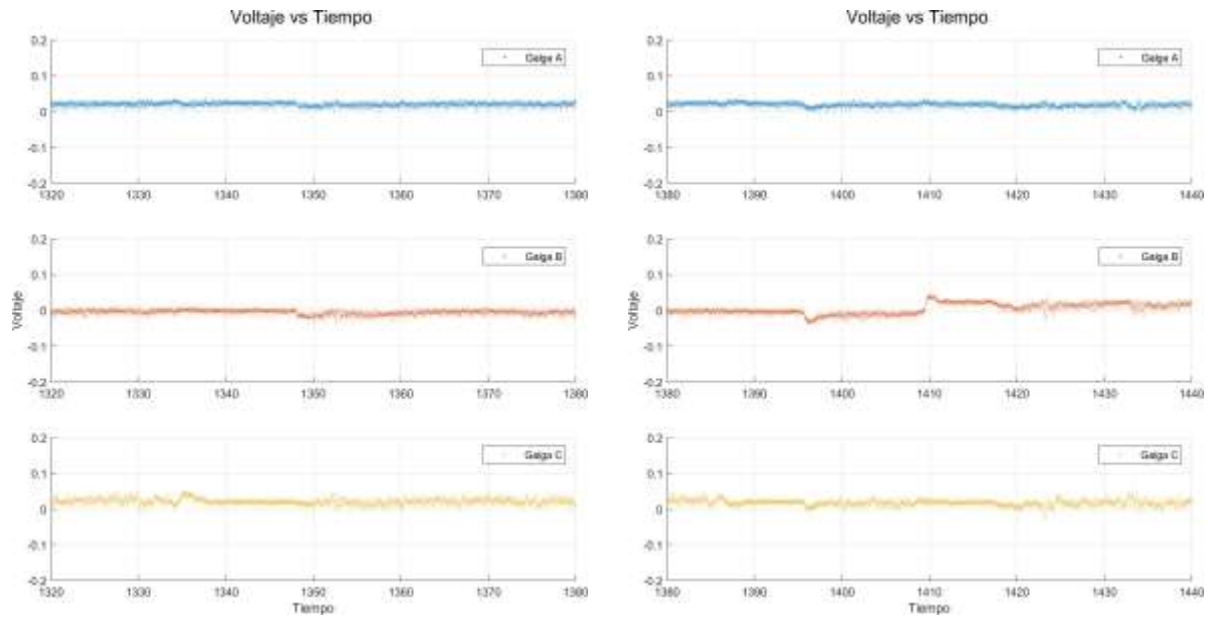


Fig 26. Datos adquiridos roseta 2 (7).

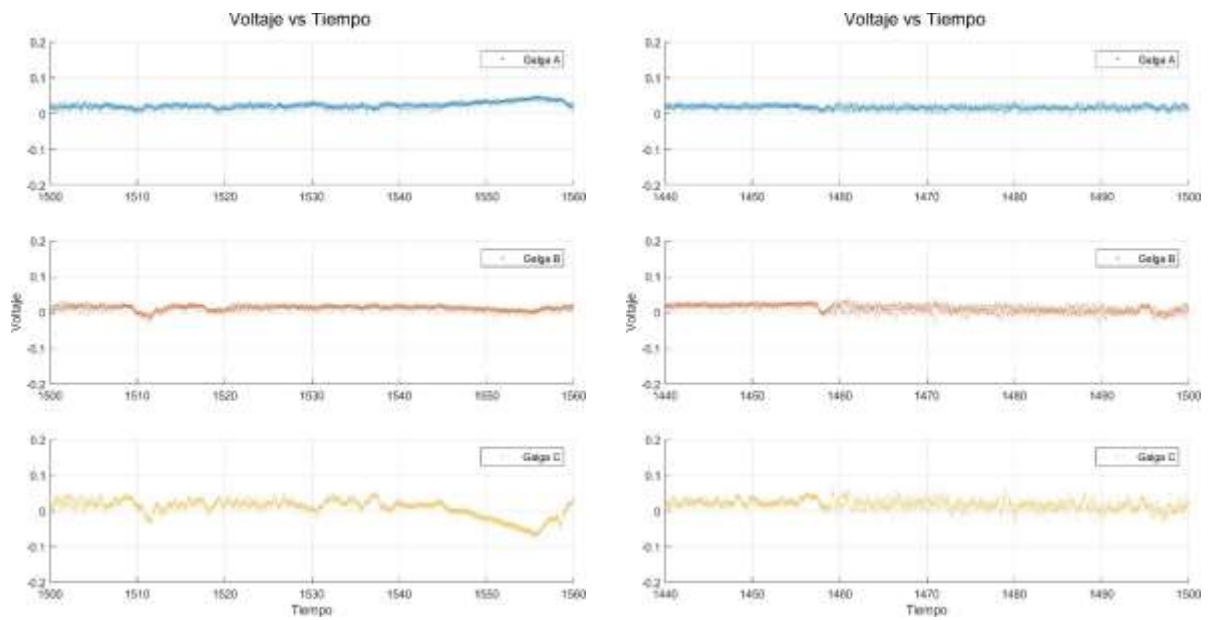


Fig 27. Datos adquiridos roseta 2 (8).

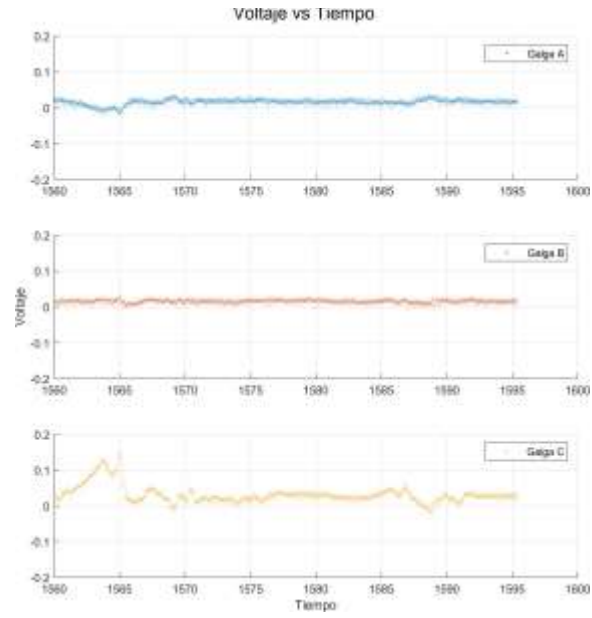
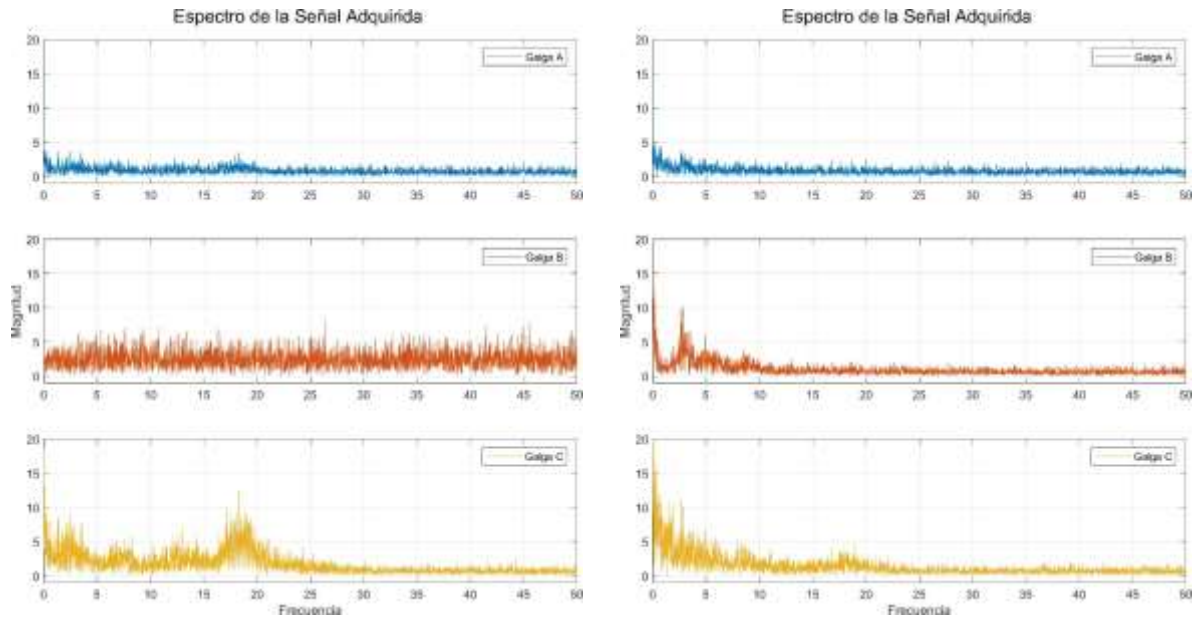


Fig 28. Datos adquiridos roseta 2 (9).

A.2.2. Gráficas de espectros de señal



(a) Espectro roseta 1.

(b) Espectro roseta 2.

Fig 29. Espectros de las señales adquiridas.

A.2.3. Gráficas de espectros de señal

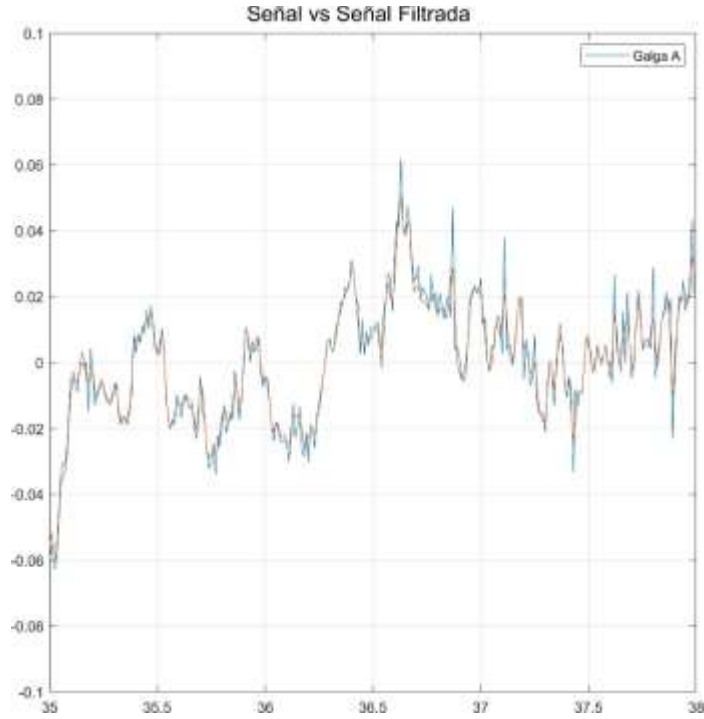


Fig 30. Señal vs señal filtrada

A.2.3. Comportamiento en los puntos clave del circuito

Roseta 1.

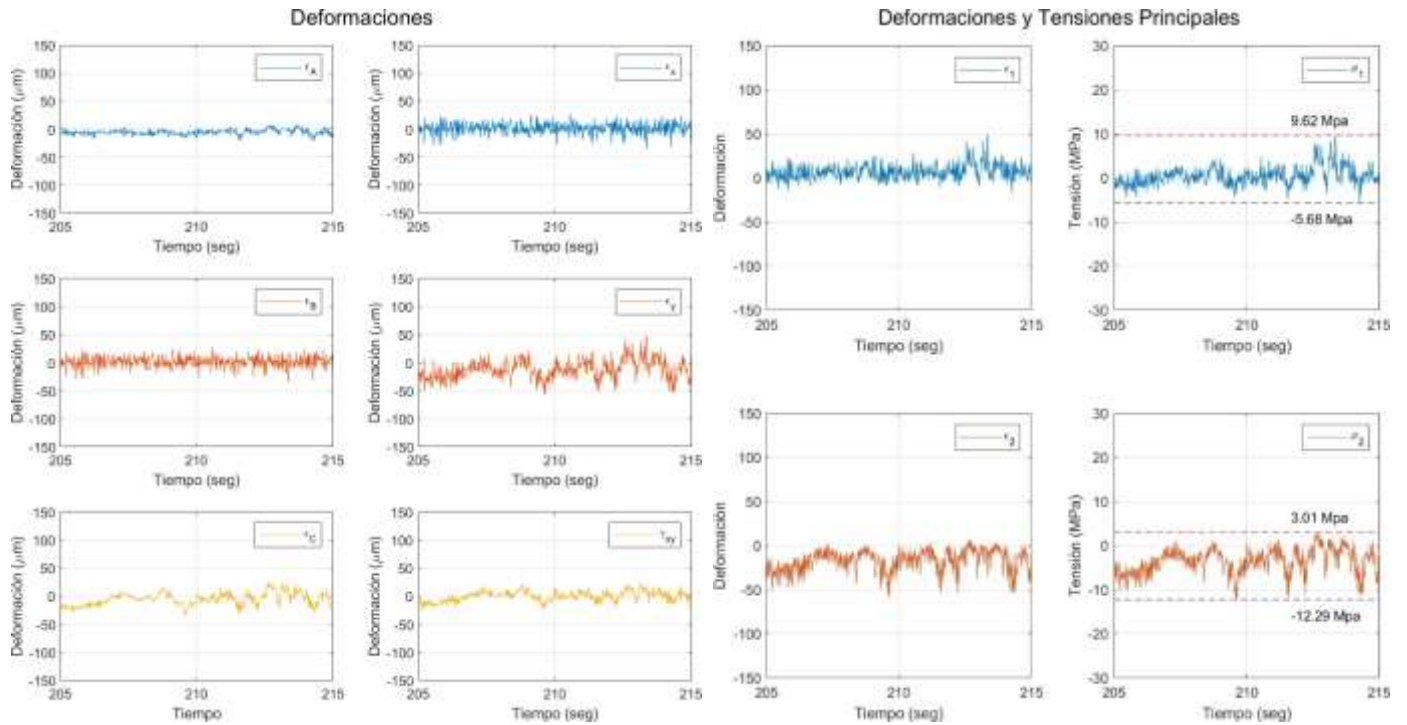


Fig 31. Comportamiento del material (punto clave 1).

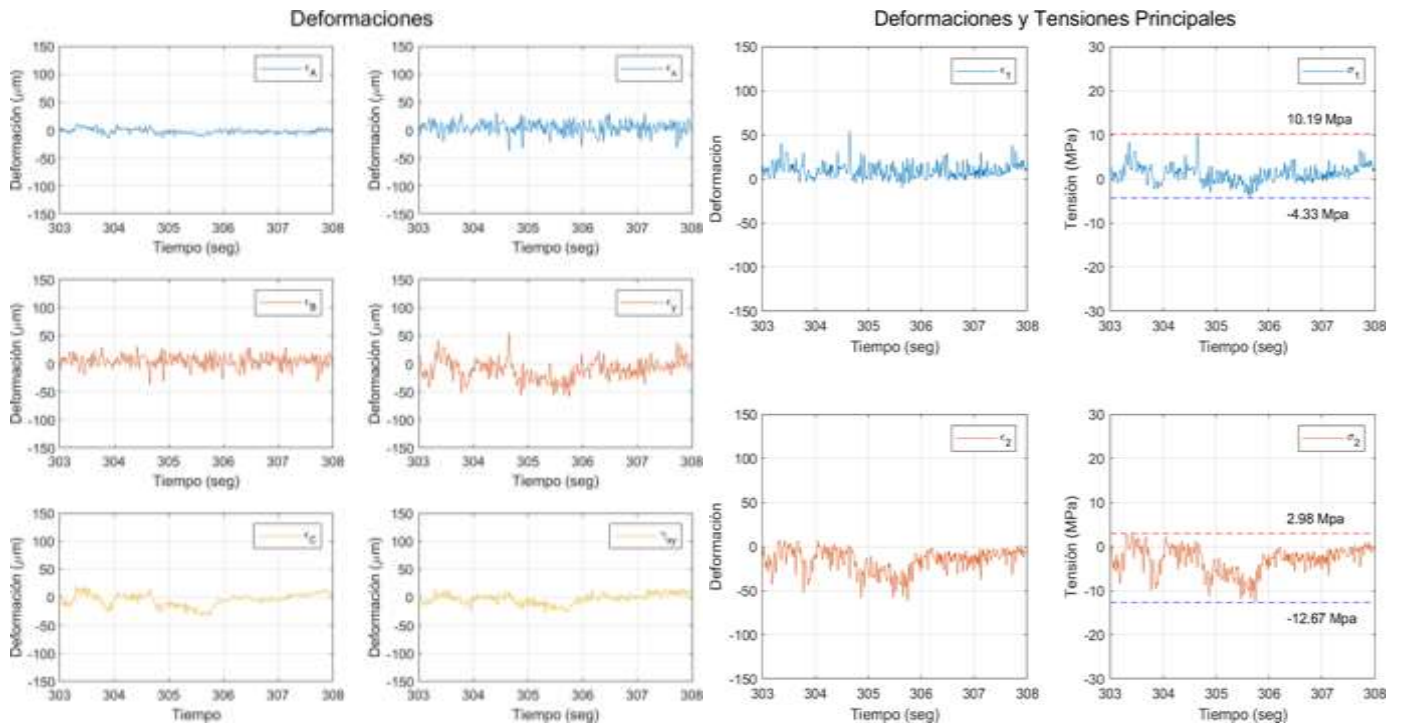


Fig 32. Comportamiento del material (punto clave 2).

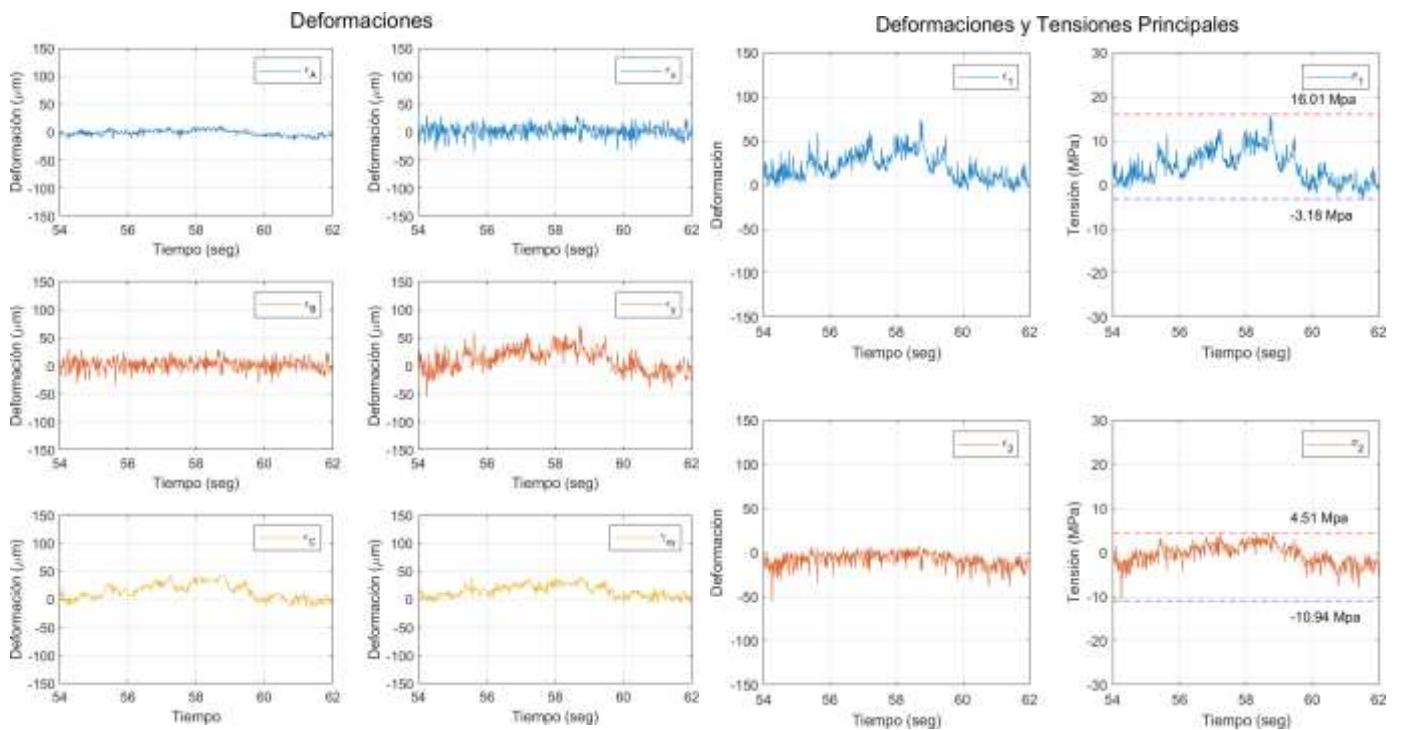


Fig 33. Comportamiento del material (punto clave 3).

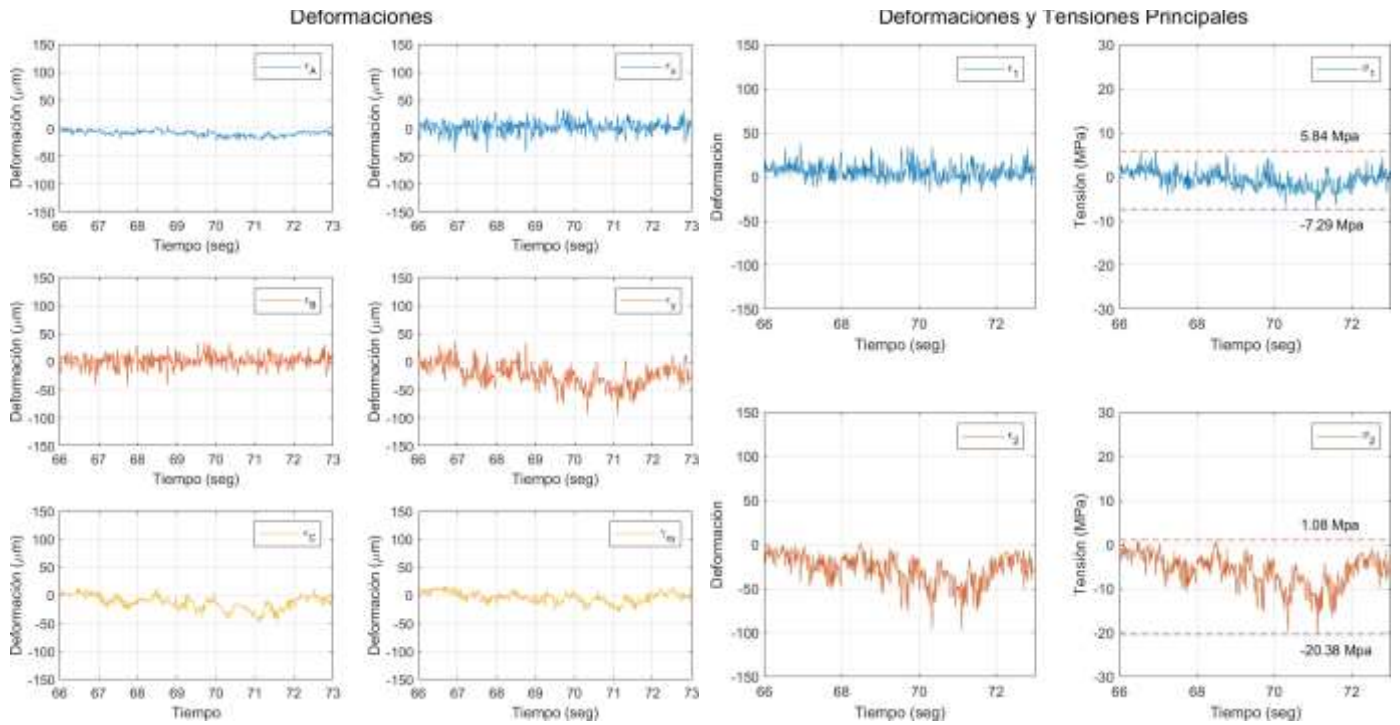


Fig 34. Comportamiento del material (punto clave 4).

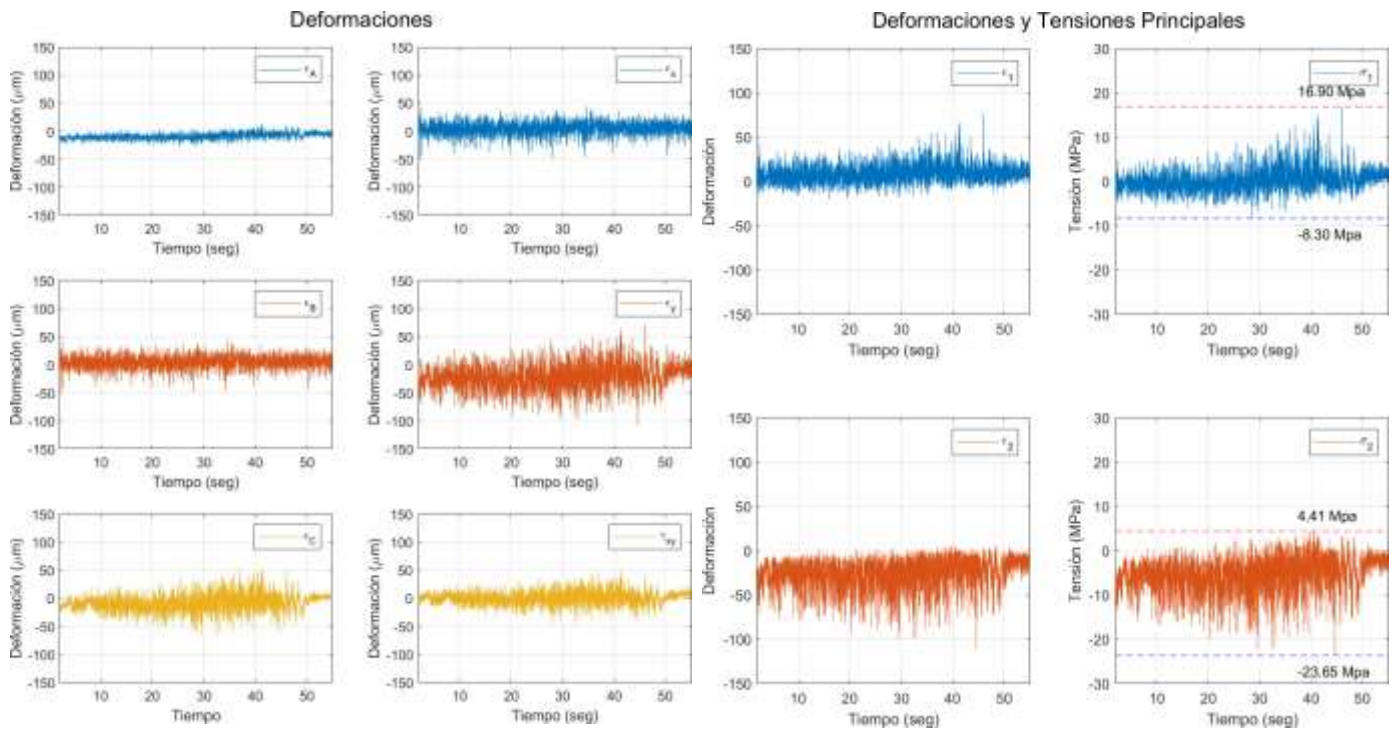


Fig 35. Comportamiento del material (punto clave 5).

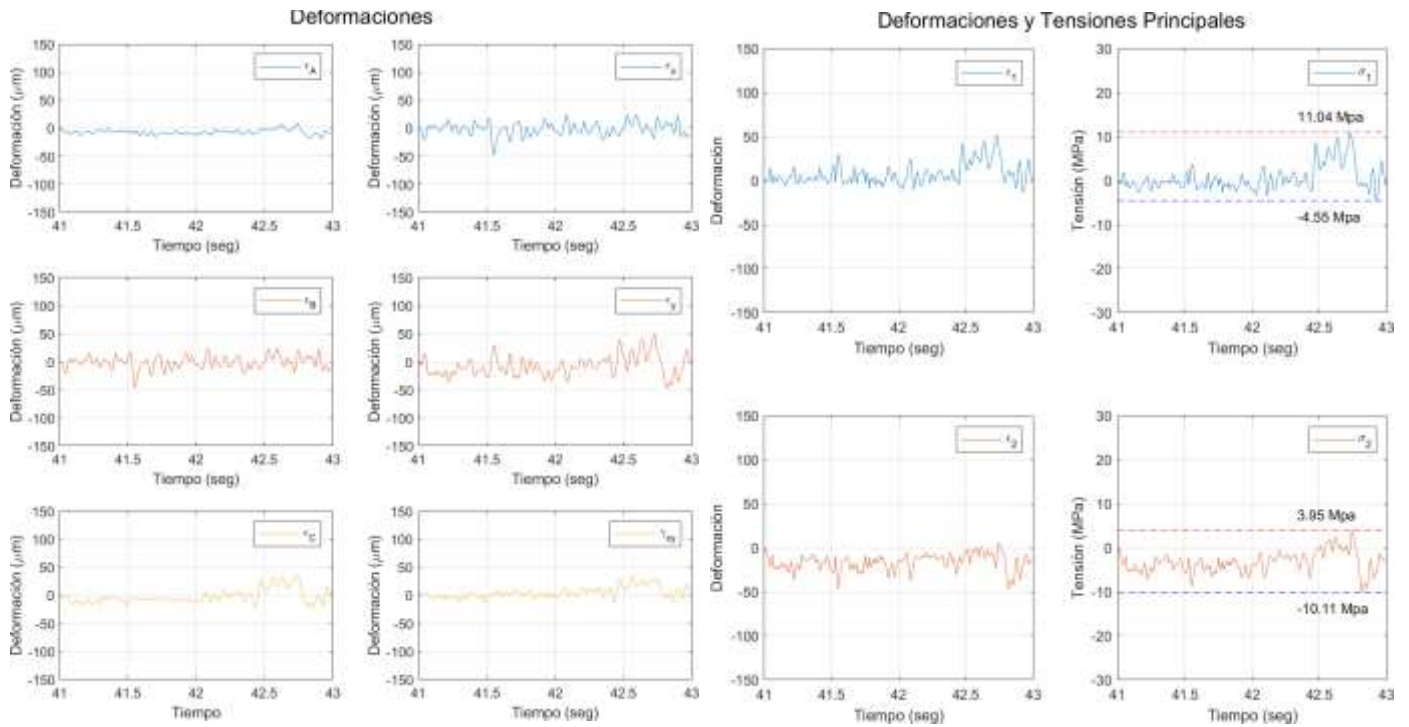


Fig 36. Comportamiento del material (punto clave 6).

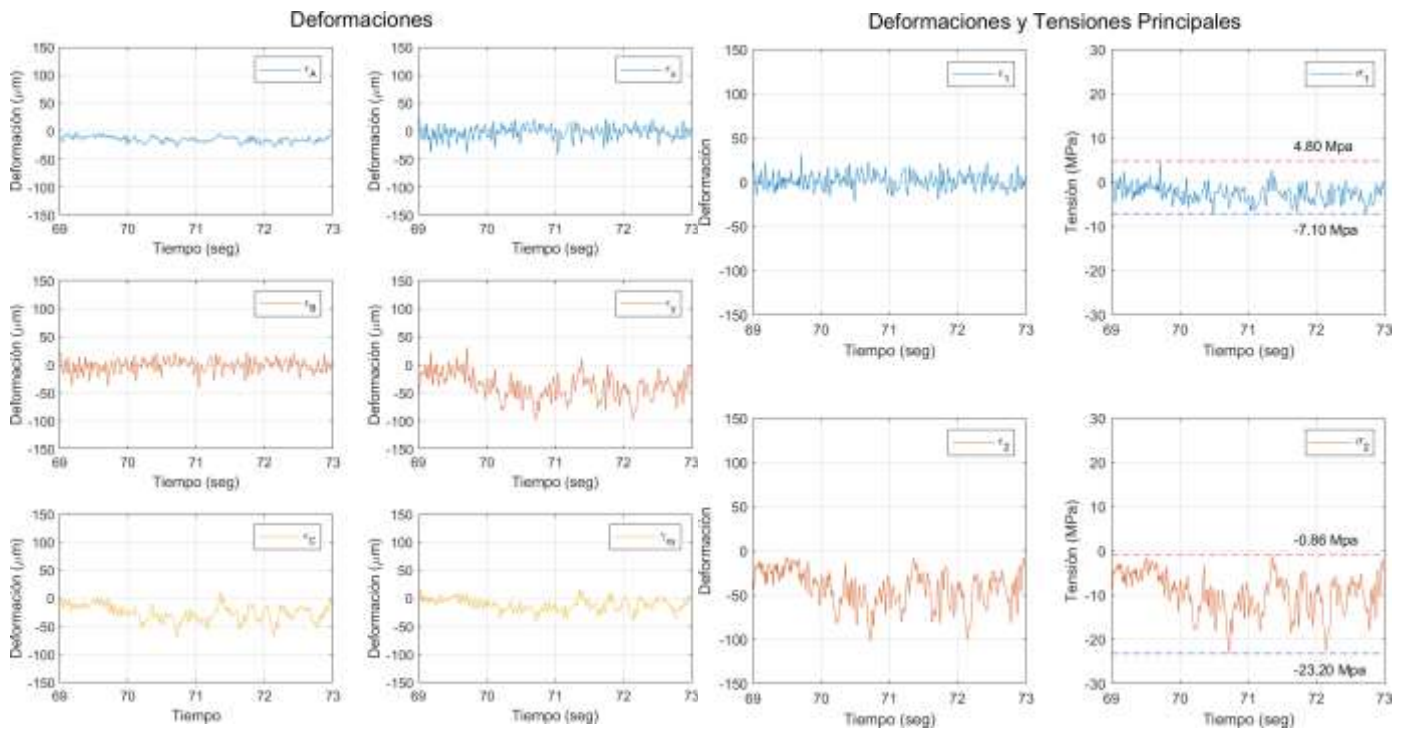


Fig 37. Comportamiento del material (punto clave 7).

Roseta 2.

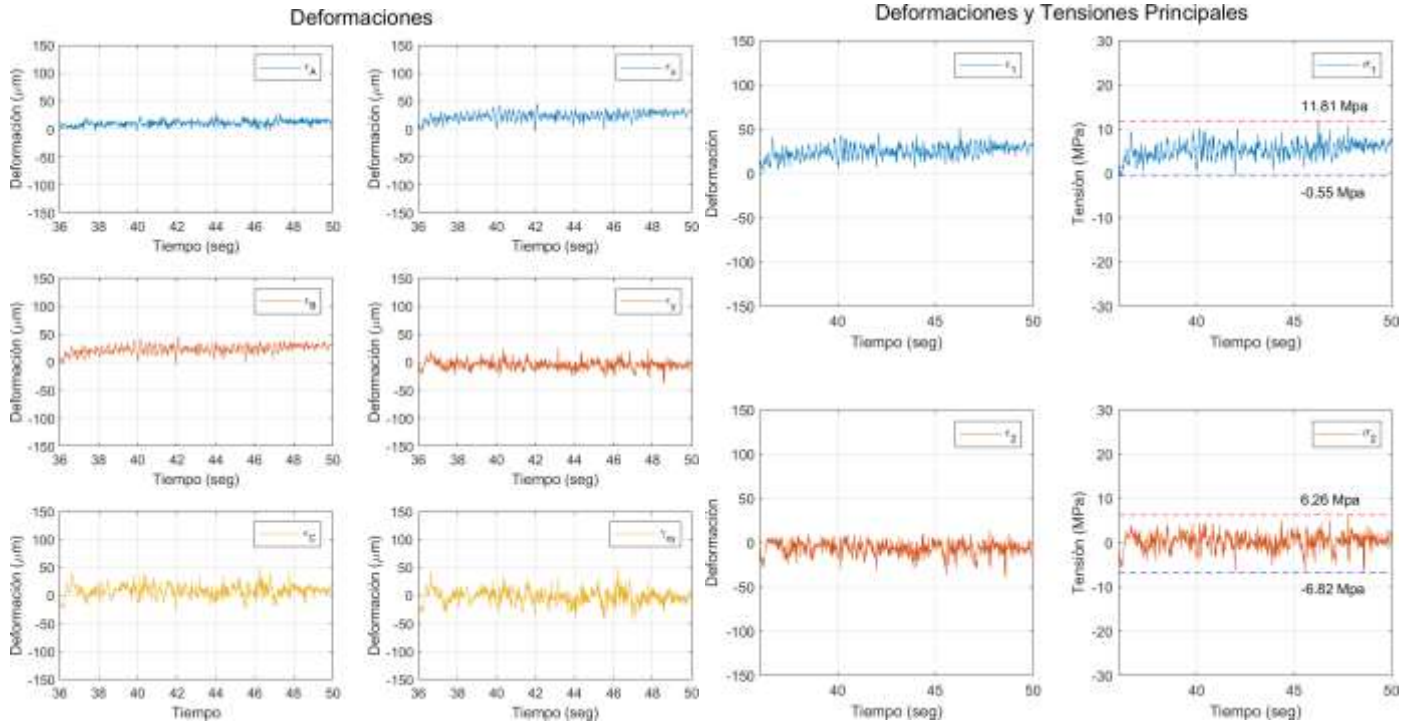


Fig 38. Comportamiento del material (punto clave 1).

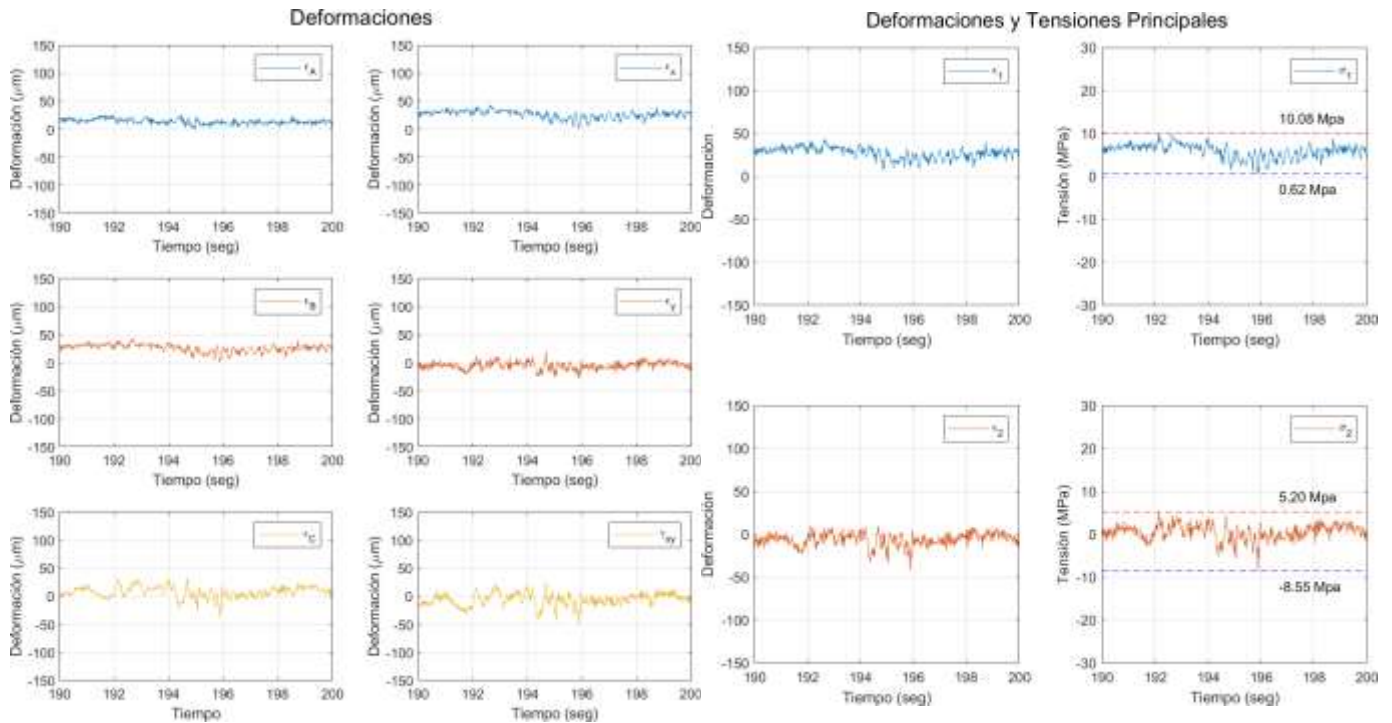


Fig 39. Comportamiento del material (punto clave 2).

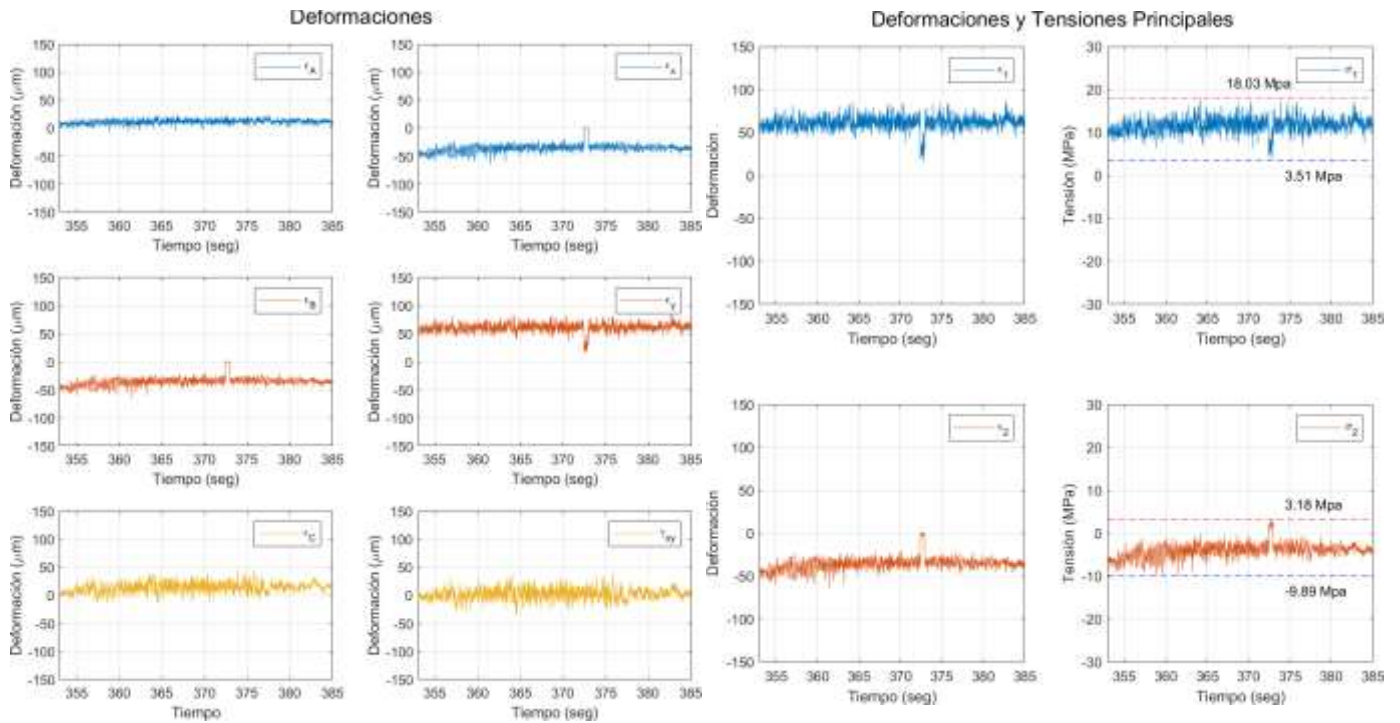


Fig 40. Comportamiento del material (punto clave 3).

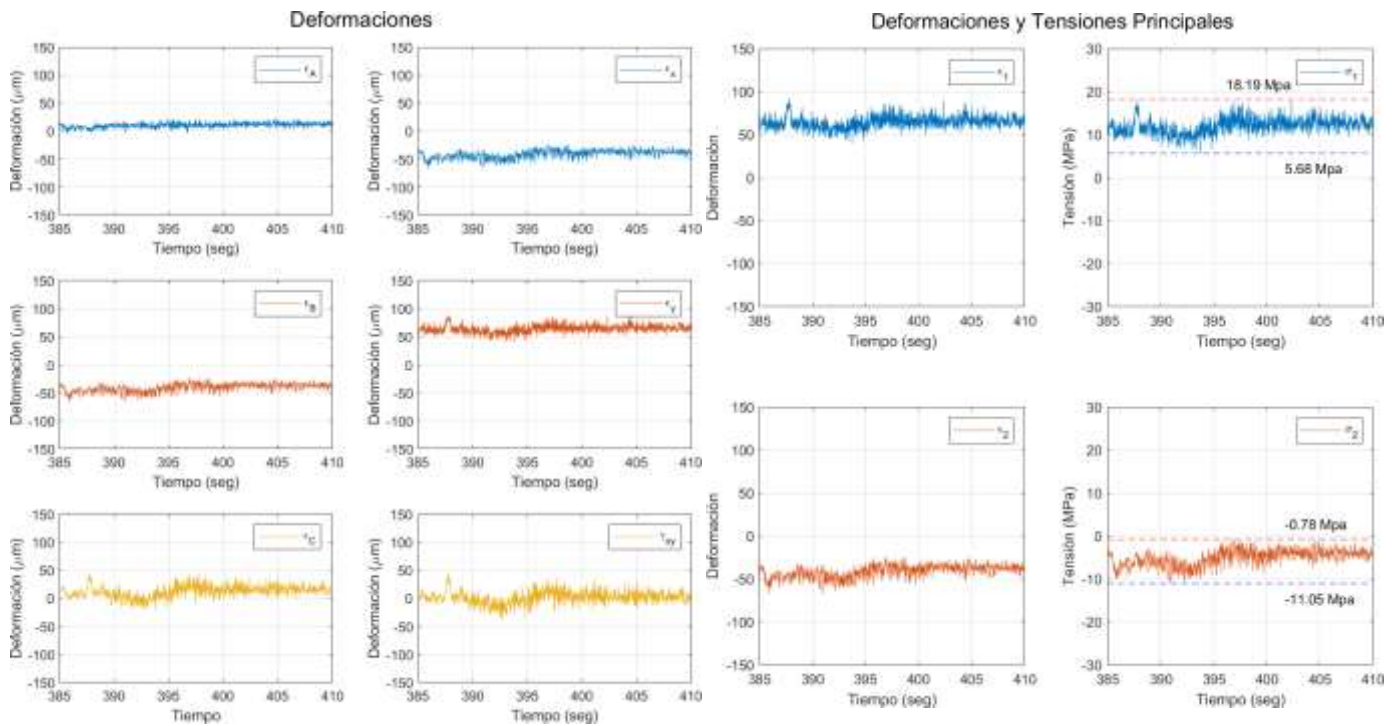


Fig 41. Comportamiento del material (punto clave 4).

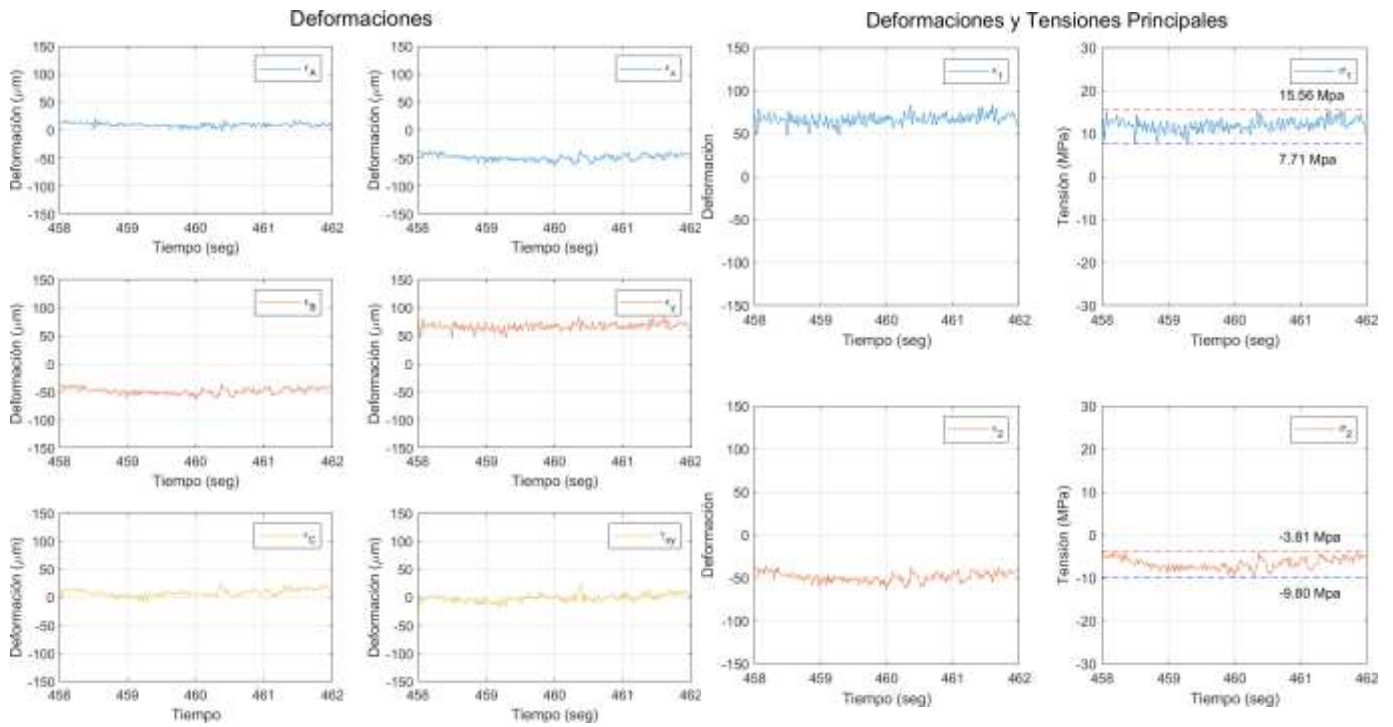


Fig 42. Comportamiento del material (punto clave 5).

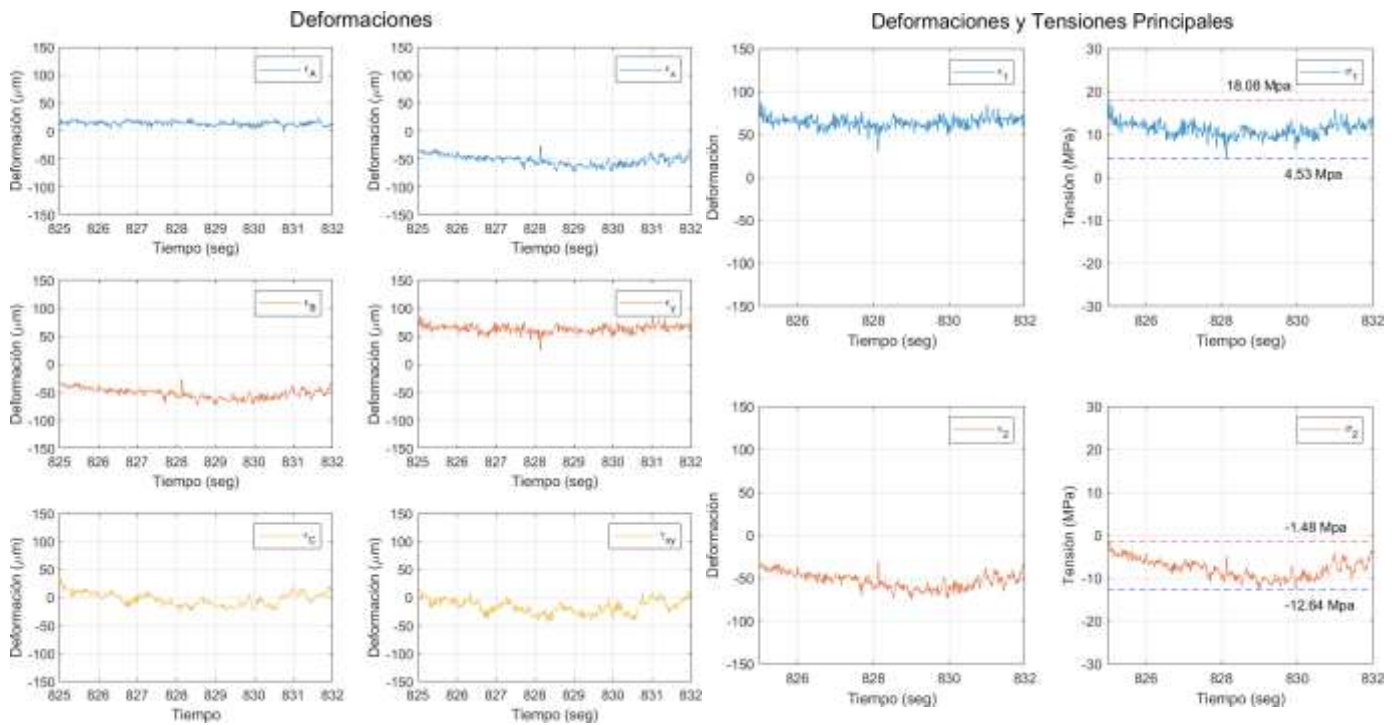


Fig 43. Comportamiento del material (punto clave 6).

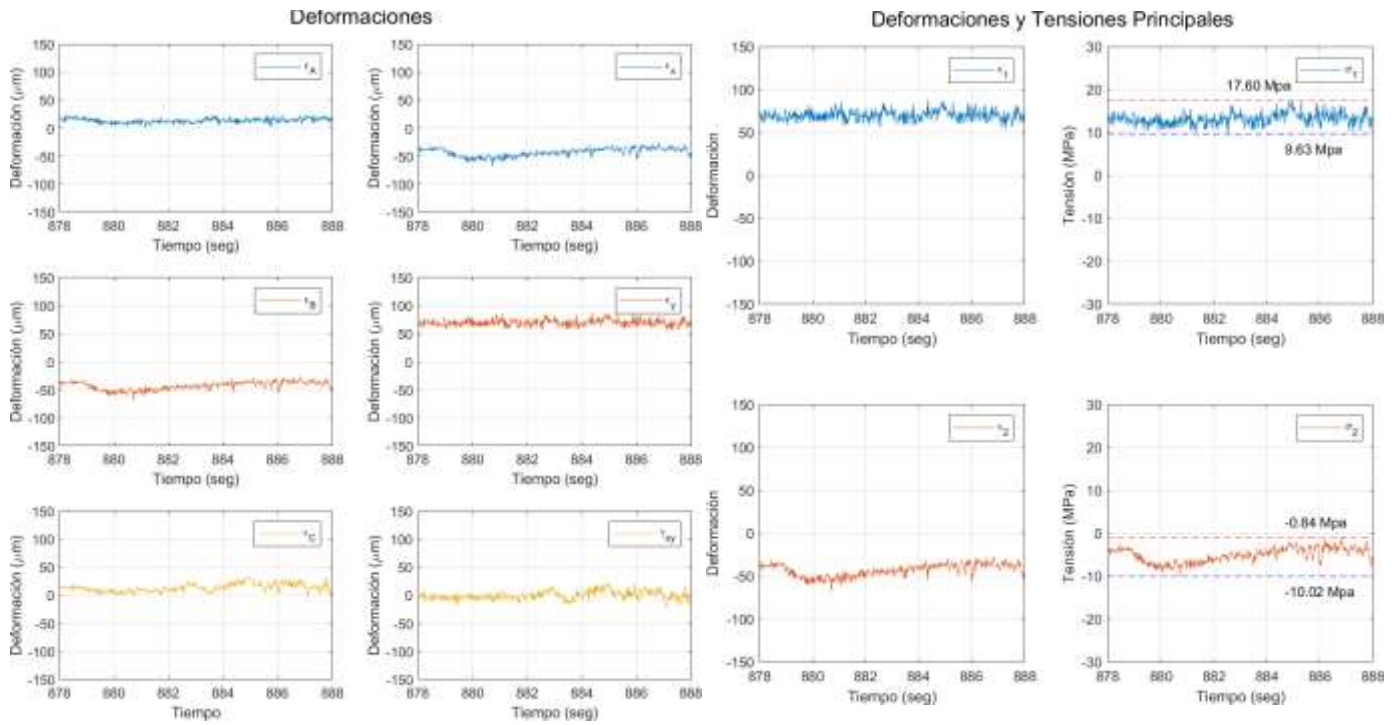


Fig 44. Comportamiento del material (punto clave 7).

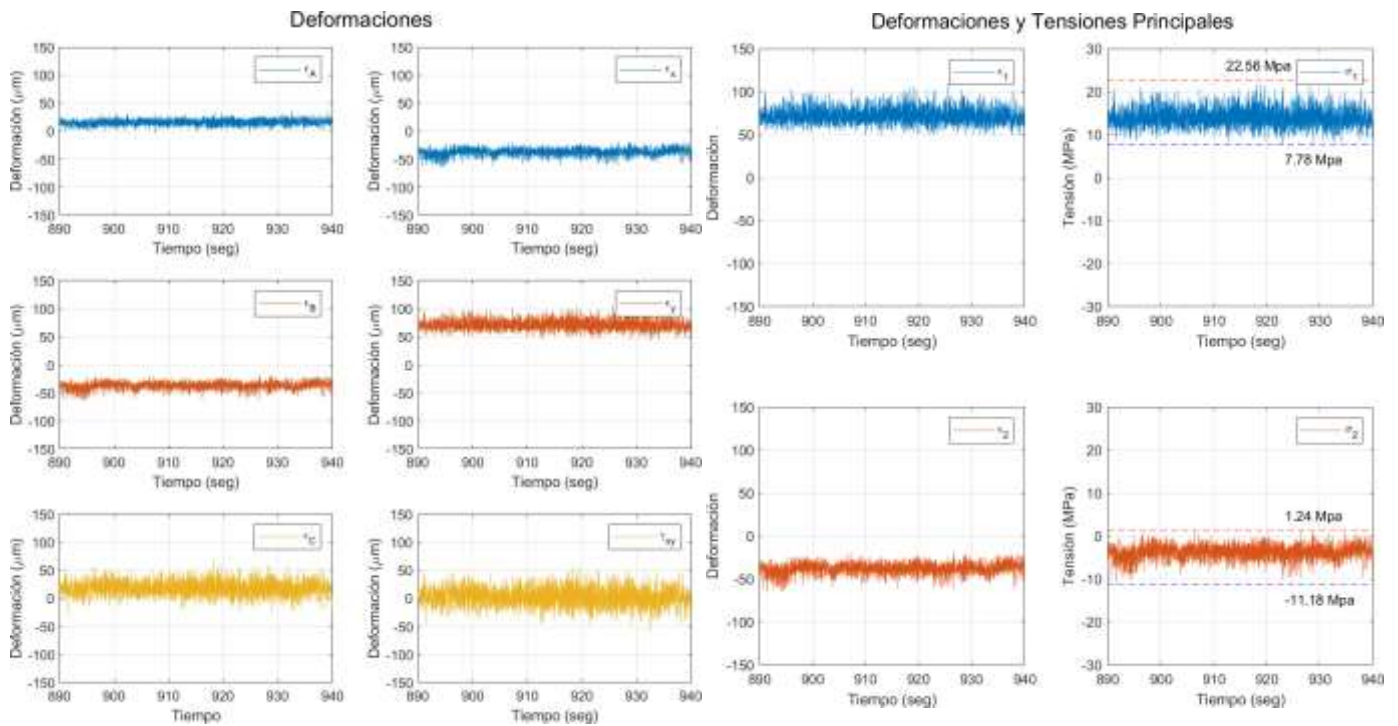


Fig 45. Comportamiento del material (punto clave 8).

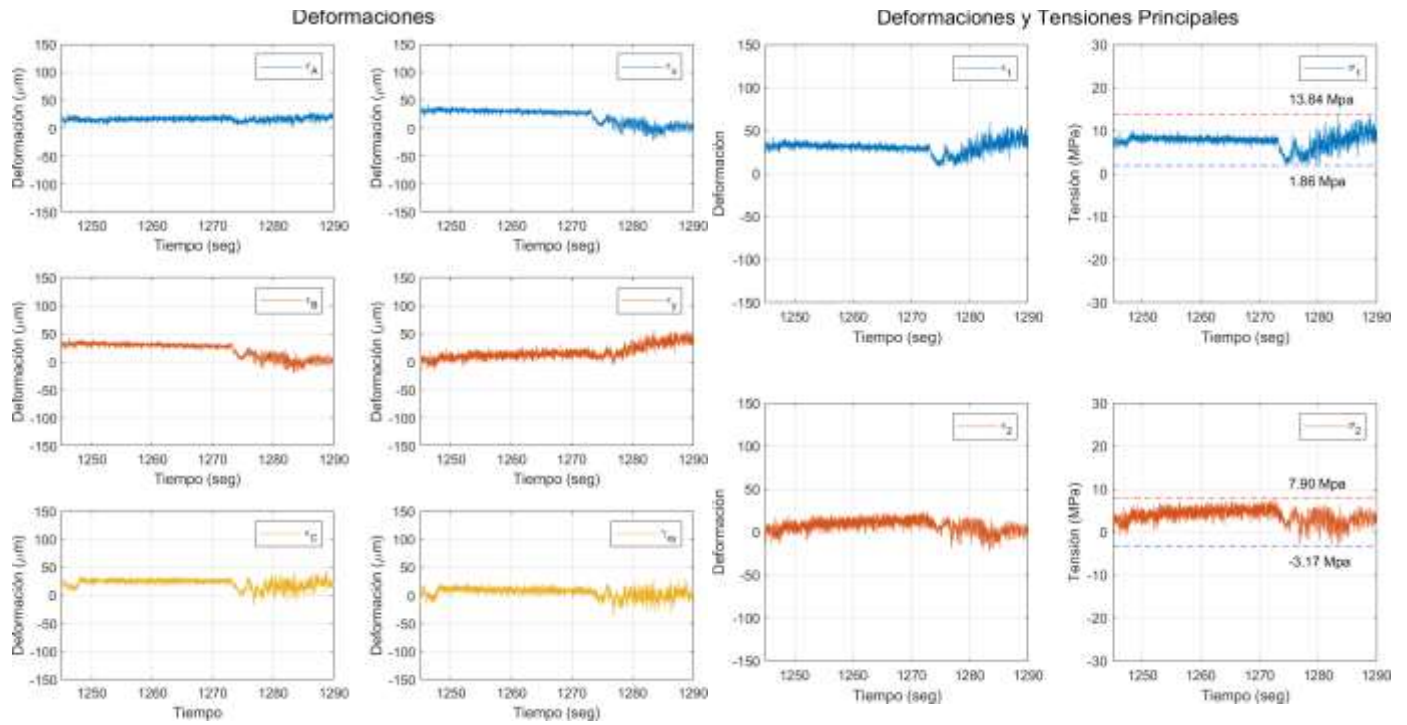


Fig 46. Comportamiento del material (punto clave 9).