

Introducción

La empresa XY, especializada en la comercialización de vehículos, cuenta con un equipo multidisciplinario de ingenieros dedicados al diseño, pruebas y manufactura. El equipo de pruebas mide vehículos nuevos y existentes, proporcionando datos esenciales para decisiones y cálculos fundamentales en la integridad estructural del vehículo. La entrega puntual y precisa de estos datos es crucial, ya que afecta directamente la arquitectura del vehículo desde las etapas iniciales del proyecto. Malinterpretar los datos de pruebas por falta de tiempo puede tener consecuencias adversas. Sobre diseñar el vehículo resultaría en costos innecesarios y aumento de peso, reduciendo la eficiencia de combustible. Diseñar por debajo de las especificaciones podría provocar fallas estructurales, comprometiendo la seguridad del usuario y la reputación de la marca. Es crucial evitar estos escenarios garantizando precisión y prontitud en el análisis de los datos de pruebas.

El equipo de pruebas se centra en colocar sensores en los vehículos, replicar pruebas que imiten el uso del usuario y realizar cálculos para verificar si el vehículo cumple con las especificaciones de estándares aplicables. En este proyecto, se utilizan datos reales capturados en campo para la prueba. Aunque se omiten detalles del contexto y del vehículo por razones de privacidad, la falta de estos detalles no afecta la capacidad de realizar un análisis estadístico y descriptivo de la información. Los datos para este estudio se obtuvieron de una prueba realizada en un solo vehículo, dividida en 41 subconjuntos de operaciones. Cada operación implica la recopilación de información de 70 sensores, almacenados como series de tiempo con duraciones variables, oscilando entre 20 segundos y un máximo de 20 minutos. Cada sensor produce 200 mediciones por segundo (200Hz). Además, la distribución de los sensores en diversas partes del vehículo genera variabilidad en magnitudes, valles, picos, máximos, mínimos y cambios de polaridad (positivos o negativos). Esta variabilidad es esencial para comprender el comportamiento del vehículo en diversas situaciones, proporcionando una perspectiva detallada para el análisis del estudio.

Objetivos

El objetivo principal es garantizar la integridad estructural del vehículo. Por tanto, este estudio se centra exclusivamente en el procesamiento de información de una prueba específica, considerada la más crucial debido a su duración prolongada (20 minutos), en comparación con los 2 a 3 minutos de otras pruebas. El equipo de calidad determina que el cliente pasa el 90% del tiempo en esta operación, donde los sensores detectan el mayor daño estructural. Se han seleccionado los sensores 38 y 53 para el análisis, identificados previamente como los más críticos debido a sus registros de deformación más altos. Los objetivos para obtener información para las decisiones de diseño son los siguientes:

- Transcribir datos del programa de pruebas Y a un formato CSV limpio, eliminando información innecesaria para el postprocesamiento.
- En la prueba más crítica, buscar el tiempo en el que se minimice la suma de diferencias de un punto respecto a su media para todos los sensores.
- Identificar el ciclo de la serie de tiempo con el máximo daño estructural por fatiga.

Metodología

Para limpiar los datos CSV provenientes del software de pruebas, fue necesario transformarlo a un .txt debido a la presencia de caracteres que pandas no podía leer en CSV. En el texto, se eliminaron caracteres especiales, columnas y filas innecesarias, principalmente metadatos, para dejar únicamente las columnas con los nombres de las series de tiempo correspondientes. Para obtener el tiempo que minimice la suma de diferencias respecto a la media de todos los sensores, se siguen los siguientes pasos:

1.Calcular el RMS (*RMS_Serie*) de n series de tiempo. Cada serie de tiempo tendrá un valor de RMS.

$$RMS_Serie = 12*(x_{12}+x_{12}+.....x_{n2})$$

2.Restar el valor absoluto de cada observación (Obs) de la serie de tiempo con su respectivo valor de RMS del paso 1 para obtener DifObs. Si la serie de tiempo tiene m observaciones, se obtendrán m diferencias para n series de tiempo. Se realiza la transformación al valor absoluto porque los resultados del paso 1 son siempre positivos, mientras que las series de tiempo pueden contener valores positivos o negativos.

$$DifObs = abs(Obs) - RMS_Serie$$

3.Sumar n cantidad de diferencias de DifObs que tengan mismo valor de x (segundos) para obtener por cada valor de m una diferencia global (DifGlobalObs). Si se tienen x cantidad de segundos se ontendran x cantidad de DifGlobalObs

$$DifGlobalObs = 1nDifObs$$

4.Seleccionar aquel valor de x (segundos) donde la DifGlobalObs sea la mínima.

$$Segundo\ Seleccionado = Min(DifGlobalObs)$$

Para identificar el ciclo de la serie de tiempo con el máximo daño estructural por fatiga, se empleará un diagrama de Pareto para mostrar cuántos ciclos son necesarios para cubrir el 90% o 60% del daño equivalente. La teoría del daño equivalente queda fuera del alcance de este póster. Lo que se debe comprender con el diagrama de Pareto es identificar los ciclos más representativos de la serie de tiempo. Comprender cuáles son los ciclos con más daño estructural permite enfocarse en diseñar para ellos en lugar de abordar ciclo por ciclo, lo cual es prácticamente imposible. Para obtener los ciclos más relevantes, sigue los siguientes pasos:

- Filtrar de mayor a menor el daño estructural capturado por cada ciclo.
- Calcular el porcentaje del daño de cada ciclo en relación con el daño total.
- Añadir una columna de porcentaje acumulado.
- Crear un diagrama de Pareto con la tabla resultante.

	1	4	28	29	38	39	40	46	48	53
Promedio	26.34	222.57	193.00	-91.33	38.81	233.03	163.30	422.28	151.72	190.20
Valor en 437.125 segundos	20.26	189.60	197.40	-90.09	46.57	233.30	168.10	447.20	183.50	209.22

Tabla 1. Resultados diferencias de media vs valor en tiempo que minimiza la suma de diferencias para todos los sensores.

Resultados

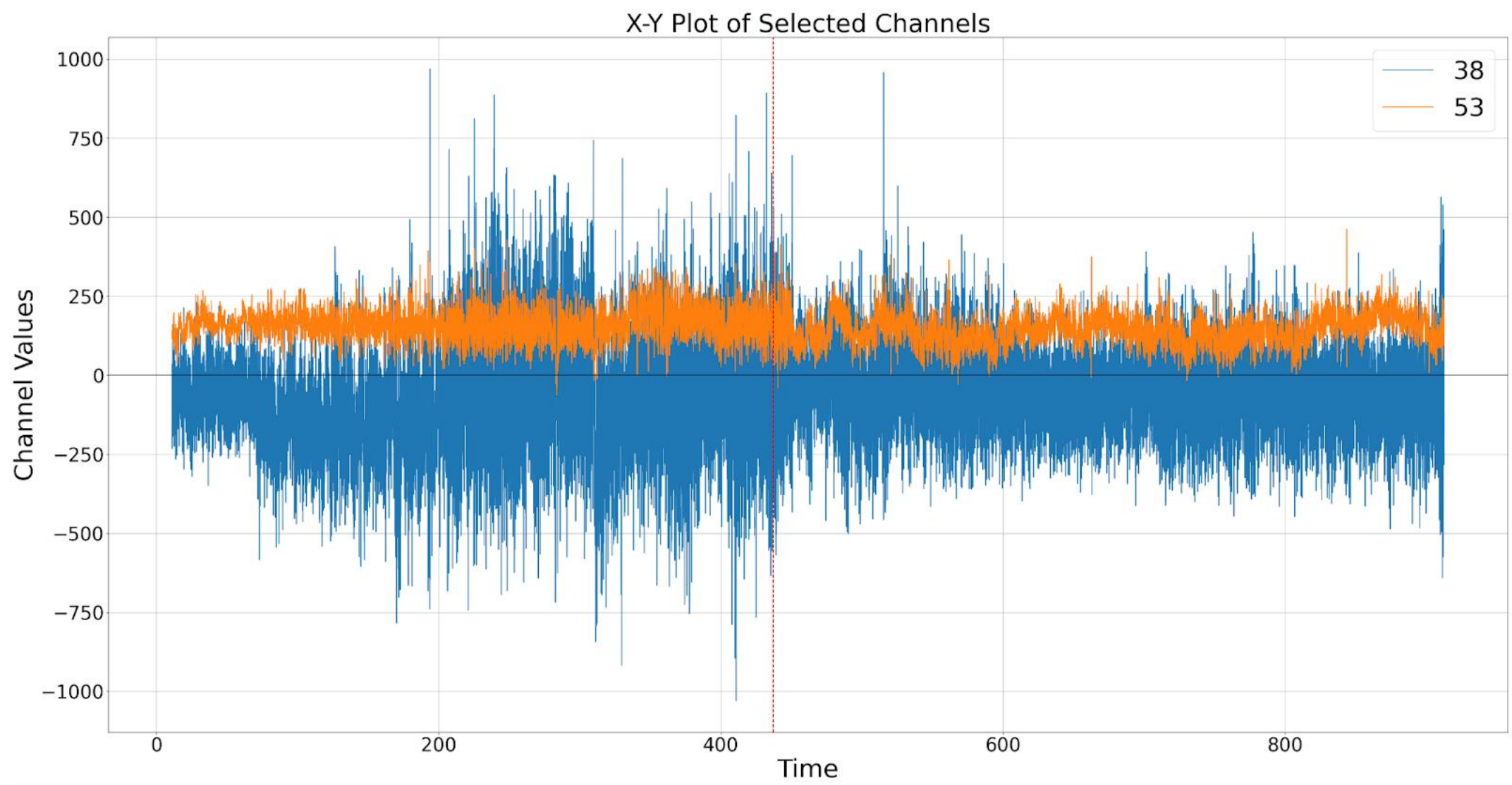


Figura 1. Series de tiempo sensores 38 y 53 con medida en segundo 437.25

	Maxp_Cyc	Minp_Cyc	CycleDamage	CumulativeCycleDamage	Percent Damage	Percent Cumulative Damage
41324	505.860	528.520	0.000104	0.000104	0.094405	0.094405
41323	993.595	371.095	0.000087	0.000192	0.078924	0.173328
37959	231.475	186.805	0.000068	0.000260	0.061734	0.235062
41322	383.760	495.450	0.000055	0.000315	0.049852	0.284914
14957	782.560	793.345	0.000037	0.000352	0.033069	0.317982

Tabla 2. Tabla de daño acumulado base para generar paretos (sensor 53)

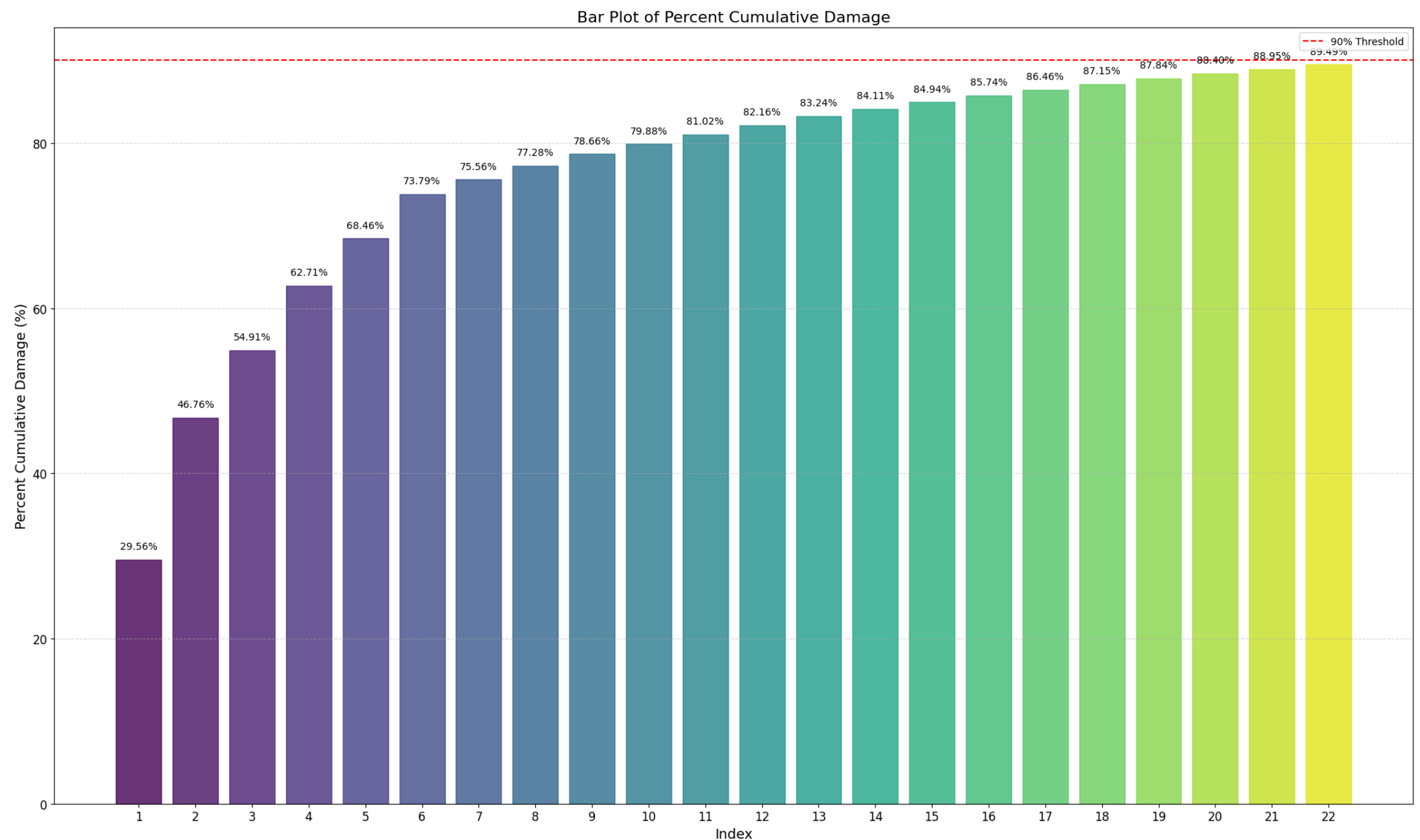


Figura 2 . Pareto ciclos más dañinos hasta llegar al 90% equivalente.

	Maxp_Cyc	Minp_Cyc	CycleDamage	CumulativeCycleDamage	Percent Damage	Percent Cumulative Damage
12266	592.510	231.950	0.000009	0.000009	0.295610	0.295610
9486	1005.550	784.520	0.000005	0.000015	0.172015	0.467625
12218	394.270	469.570	0.000003	0.000017	0.081430	0.549055
4086	886.870	977.365	0.000002	0.000019	0.078013	0.627068
12217	504.585	558.065	0.000002	0.000021	0.057510	0.684578

Tabla 3. Tabla de daño acumulado base para generar paretos (sensor 53)

Discusión

Los resultados del algoritmo para minimizar la suma de diferencias respecto a la media para todos los sensores son satisfactorios. Se identificó el tiempo objetivo como 437.25 segundos, y en la Tabla 1 se presentan los datos de 10 de los 70 sensores disponibles. Se observa que, aunque la diferencia con la medición respecto a la media no es perfecta, es lo suficientemente similar para iniciar el rediseño de las piezas y reducir el porcentaje sugerido por el equipo de pruebas. Por ejemplo, si se propone una reducción del 15% en la deformación para el sensor 53, el objetivo sería 177.837, mientras que para el sensor 38 sería 39.58. En el contexto de la prueba, estos números son mediciones de deformación en $\mu strain$, por lo que las diferencias entre el objetivo y el valor en 437.25 no son tan relevantes; lo más importante es alcanzar el objetivo propuesto por pruebas. La Figura 1 muestra un corte en las series de tiempo donde se proponen obtener los datos objetivos de rediseño. Se puede observar que, de manera visual o cualitativa, si no se siguiera el algoritmo propuesto, sería difícil encontrar el tiempo representativo de todos los sensores.

El tercer objetivo, que implica identificar los ciclos más dañinos para la estructura, se resume en las Tablas 2 y 3. Utilizando el daño calculado por ciclo, se generan diagramas de Pareto para destacar los pocos vitales y desestimar los muchos triviales. En la Figura 2, se observa que, aunque se necesitan 22 ciclos para alcanzar el 90% del daño acumulado, los primeros tres ciclos representan el 54% del daño. Esto es crucial, ya que permite al analista concentrarse en comprender la causa del daño solo para esos tres ciclos, en lugar de abordar todos, lo cual es técnicamente imposible. Después del umbral del 90%, la cantidad de ciclos se vuelve inmanejable y no contribuyen al daño, por lo que no tiene sentido trabajar en ellos. Con esta metodología, ahora podemos identificar de manera eficiente y representativa los ciclos más significativos para lograr un rediseño más eficaz y adaptado al uso del usuario.

Conclusiones

Los dos algoritmos lograron identificar los ciclos más dañinos para la estructura. Se determinó que el ciclo representativo ocurre a los 437.25 segundos. Esta información permite al equipo de diseño concentrarse en un solo ciclo, simplificando el enfoque en lugar de abordar miles de ciclos. Con estos datos, se pueden iniciar iteraciones mediante análisis de elementos finitos para llevar a cabo la reducción de deformación propuesta por el equipo de pruebas. También ahora se entienden los ciclos más perjudiciales y su contribución porcentual, así como el porcentaje acumulado hasta alcanzar el 90 o 60%, según el interés del usuario. Esta información será crucial para investigar especialmente los primeros tres ciclos de daño y comprender su origen, ya sea un impacto, una vuelta cerrada o un bache. Aunque el diagrama de Pareto no proporciona detalles sobre la causa, sirve como punto de partida para la investigación. Se requirieron 22 ciclos para llegar a la meta para los sensores 53 y 38.

Los siguientes pasos buscan desarrollar una metodología eficiente para eliminar datos que podrían ser considerados atípicos. Aunque en esta asignatura se aplicaron métodos como zscore, zcore modificado e isolation forest para limpieza, se observó que estos eliminaban datos que no deberían considerarse atípicos. Se necesita un entendimiento más profundo de las afirmaciones sobre la detección de atípicos en series de tiempo. La importancia de los datos atípicos en el cálculo de vida estructural es significativa, ya que una mayor diferencia en la magnitud de deformación en un ciclo conlleva a un mayor daño capturado. Esta investigación continuará en los próximos meses.

Contact

Joel Alejandro Rodarte Rivera
Universidad Autónoma de Nuevo León
Joel.rodarter@uanl.edu.mx
(+52) 81-104-641-98

References

- Chaturmutha, Mahendra. “The 80–20 Rule of Management : Vital Few and Trivial Many.” *Medium*, Medium, 18 Sept. 2019, medium.com/@mschaturmutha/the-80-20-rule-of-management-vital-few-and-trivial-many-3508596b9ea7
- Bai, Yong, and Qiang Bai. “Subsea Umbilical Systems.” *Elsevier eBooks*, 2010, pp. 797–825. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-689-7.10024-x>.