



# DETECCIÓN DE FALLAS EN UNA CAJA DE CAMBIOS EMPLEANDO SEÑALES VIBRATORIAS

**Natalia Higueta Alzate**

Estudiante del programa de Ingeniería Mecatrónica  
Universidad Autónoma de Occidente



El conocimiento  
es de todos

Minciencias



Enlazando el futuro de los jóvenes Vallecaucanos

## DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Grupo de Investigación Bearings' Health Monitoring and Residual Life Estimation - John Deere

Tutoría a cargo de la Dr. Patricia Davies  
Universidad de Purdue

## DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Grupo de Investigación Diseño de Experiencias

Tutoría a cargo del Dr. Diego Martínez  
Universidad Autónoma de Occidente

Ministerio de Ciencia  
Tecnología e Innovación  
Gobernación del Valle del Cauca  
Instituto Financiero para el Desarrollo del Valle del Cauca INFIVALLE  
Universidad Santiago de Cali

Pasantía Internacional "Nexo Global Valle del Cauca"

Santiago de Cali, Colombia

3 de mayo de 2022

## COMITÉ EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

Carlos Andrés Pérez Galindo

*Rector*

Claudia Liliana Zúñiga Cañón

*Directora General de Investigaciones*

Edward Javier Ordóñez

*Editor*

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Juan Diego Tovar Cardenas

[librosusc@usc.edu.co](mailto:librosusc@usc.edu.co)



El conocimiento es de todos

Minciencias

# DETECCIÓN DE FALLAS EN UNA CAJA DE CAMBIOS EMPLEANDO SEÑALES VIBRATORIAS

*Gearbox fault detection using vibrating signals*

## **Natalia Higueta Alzate**

Estudiante del programa de Ingeniería Mecatrónica  
Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Colombia

 [natalia.higueta@uao.edu.co](mailto:natalia.higueta@uao.edu.co)

**Resumen.** Se conoce que en la industria es fundamental llevar a cabo el mantenimiento en las máquinas con el propósito de evitar a toda costa riesgos laborales, tiempos muertos, cambios prematuros de elementos, entre otras situaciones. Es por ello por lo que la implementación de un sistema que permita la detección temprana de fallas se vuelve provechoso e importante para las empresas. El objetivo de este artículo es describir el proceso llevado a cabo para lograr la detección de fallas en una caja de cambios mediante el uso de señales vibratorias.

Se demuestra entonces el proceso que se realiza con sensores acelerómetros que captan las señales de vibración convirtiéndolas en señales electrónicas digitales con las que se trabajan directamente desde el programa Matlab en el cual se desarrolla un código que permite evaluar las señales obtenidas del monitoreo constante de la caja de cambios, este procesamiento realizado a la señal a través del código permite determinar si la señal obtenida es de buena calidad para poder proseguir con la fase de entrenamiento de un algoritmo de inteligencia artificial que permita la clasificación o detección de una falla en el elemento. Se exponen los beneficios de llevar a cabo este sistema de monitoreo constante y detección de fallas.

Por último, se desarrolla una reflexión sobre la experiencia obtenida del desarrollo de la pasantía de investigación desarrollada por el programa Nexo Global Valle, la cual se realizó para 20 estudiantes Vallecaucanos.

**Palabras clave:** mantenimiento, detección de fallas, señales vibratorias, sensores, datos, inteligencia artificial.

**Abstract.** It is known that in the industry it is essential to carry out maintenance on machines in order to avoid at all costs occupational hazards, downtime, premature changes of elements, among other situations. That is why the implementation of a system that allows the early detection of failures becomes profitable and important for companies. The objective of this article is to describe the process carried out to achieve the detection of faults in a gearbox through the use of vibrating signals.

It is then demonstrated the process that is performed with accelerometer sensors that capture vibration signals converting them into digital electronic signals with which they work directly from the Matlab program in which a code is developed to evaluate the signals obtained from the constant monitoring of the gearbox, this processing performed to the signal through the code allows to determine whether the signal obtained is of good quality to proceed with the training phase of an artificial intelligence algorithm that allows the classification or detection of a fault in the element. The benefits of carrying out this system of constant monitoring and fault detection are presented.

Finally, a reflection is developed on the experience obtained from the research internship developed by the Nexo Global Valle program, which was carried out for 20 students from Valle del Cauca.

**Keywords:** maintenance, fault detection, vibrating signals, sensors, data, artificial intelligence.

## INTRODUCCIÓN

En el entorno industrial, las actividades relacionadas con el mantenimiento de la maquinaria desempeñan un papel crucial, ya que influyen en gran medida en la capacidad de mantener unos estándares de calidad y rendimiento adecuados. El uso de maquinaria rotativa, y en especial la compuesta por balines o rodamientos, es ampliamente utilizada para impulsar múltiples procesos y objetos. En estos procesos productivos, el tratamiento de los fallos de dicha maquinaria es fundamental, ya que se ve reflejado directa o indirectamente en el proceso principal de la máquina u objeto. De no ser tratadas las fallas detectadas en un equipo estas podrían llegar a aumentar considerablemente los costes de operación y disminuir el rendimiento y la fiabilidad de los equipos, además de aumentar los riesgos laborales [1].

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, y basándose en estudios realizados, se refleja que los gastos de mantenimiento pueden representar la mayor

parte de los costes de operación de un sistema. Las razones son varias, pero una de las principales, en la que se centrará este documento, es el desconocimiento del estado actual del elemento y, por tanto, los malos pronósticos y decisiones que se toman respecto a la vida útil del objeto, acabando con ella prematuramente o excediendo su tiempo de vida y llegando así a fallas de múltiples sistemas. Es por ello que se han desarrollado múltiples formas de diagnosticar fallos que a su vez permiten estimar la vida útil restante del elemento.

En el desarrollo de este trabajo se discutirá cómo la detección de fallas mediante señales de vibración permite estimar la vida útil restante del elemento, y para describir mi participación en el proyecto se enfatizará en la importancia de una recolección exitosa de los datos a utilizar.

En términos generales, el proyecto consiste en la toma de las señales de vibraciones de los rodamientos de una caja de cambios otorgada por la empresa John Deere, para después ser procesadas y analizadas, lo que nos da diferentes características y comportamientos que nos permiten deducir el estado de la máquina y definir si hay o no un fallo. Con este estado definido, se puede proseguir al siguiente paso del proyecto lo cual se espera que sea el entrenamiento de un algoritmo de inteligencia artificial para realizar una monitorización remota constante y gracias a esta monitorización constante a través de las vibraciones captadas de la máquina, es posible definir si existe un fallo en el elemento y cuál es su tiempo de vida útil restante.

El desarrollo de este proyecto se ha apoyado en algunos conceptos y resultados tratados en trabajos posteriores relacionados con el tema de la monitorización constante de un elemento y su estado actual. Los elementos que más se han investigado y trabajado suelen ser los rodamientos de las máquinas, ya que son los elementos más propensos a fallar y su monitorización se puede realizar por diferentes métodos.

El propósito de esta revisión bibliográfica se basó en establecer los diferentes parámetros que permitirían un óptimo desarrollo del proyecto, influyendo estos en un resultado exitoso. Analizando el trabajo de Mohd y Rahiman (2021) y Li (2016), se decidió que el mejor sensor para trabajar, según los resultados y el éxito, son los acelerómetros. Estos sensores también fueron seleccionados debido a la capacidad de convertir la energía de las vibraciones y transformarla en energía eléctrica, lo que permite una mejor gestión de los datos y, por tanto, un mejor procesamiento de estos; además, el enfoque del proyecto radica en el análisis del espectro de frecuencias de las ondas vibratorias, por lo que los acelerómetros son el sensor óptimo para captar estas ondas vibratorias.

Para el procesamiento de la señal seguimos el ejemplo del trabajo de Li (2016), que se centra en el análisis del espectro de frecuencias de las ondas vibratorias. Se decidió que el mejor programa para el procesamiento de la señal es Matlab, ya que facilita una visualización más cómoda y completa de los datos y análisis obtenidos. Para la parte de entrenamiento del algoritmo de inteligencia artificial, se tuvo en cuenta el trabajo Barbieri (2018), que define que el mejor método de detección inteligente sería el método de máquinas de soporte vectorial, pero cabe aclarar que esto último aún no ha sido definido en el proyecto en su totalidad, se requiere finalizar el proceso de obtención de datos para proseguir con este paso.

## METODOLOGÍA

### Participantes

Antes de entrar en los puntos principales, empezaré con una breve contextualización del proyecto en general, ya que es importante aclarar que el desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en la Universidad de Purdue en el departamento de ingeniería mecánica. El proyecto se sigue llevando a cabo actualmente y se desarrolla en el laboratorio Ray W. Herricks, situado al norte del campus universitario. El proyecto se está desarrollando para la empresa John Deere, que ha proporcionado las cajas de cambios que son las máquinas evaluadas constantemente para el desarrollo de la in-



investigación. En el grupo de trabajo somos varios los estudiantes y cada uno contribuye desarrollando diferentes tareas.

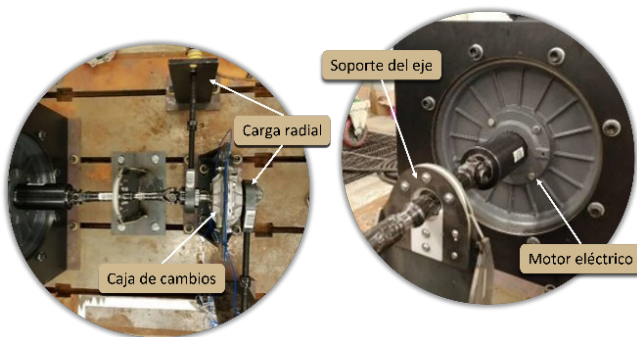
Los estudiantes que estuvieron trabajando conmigo de la mano en el proyecto fueron: Zhiyang Wen, estudiante de pregrado en programa de intercambio proveniente de China y Francesco Danzi, investigador asociado postdoctoral en los laboratorios Ray W. Herrick de la Universidad de Purdue. *Francesco Danzi, PhD. (s/f).*

Por el lado de los tutores que estuvieron guiando mi proceso en este proyecto está el Dr. Diego Martínez, profesor de la facultad de ingeniería en la universidad Autónoma de Occidente con doctorado en Automática, Robótica e Informática Industrial y la Dr. Patricia Davies profesora de la facultad de ingeniería mecánica en la universidad de Purdue con doctorado del instituto de investigación en sonido y vibraciones de Reino Unido. *Diego Martínez Castro. (2020). Davies, P. (s/f).*

### Materiales

El elemento foco de este proyecto son las cajas de cambios de John Deere, como ya se había mencionado. Su estructura general está compuesta por el soporte del eje, la carga radial, el motor eléctrico y la propia caja de cambios, como se puede observar en la Figura 1.

**Figura 1.** Descripción de la composición de la caja de cambios.



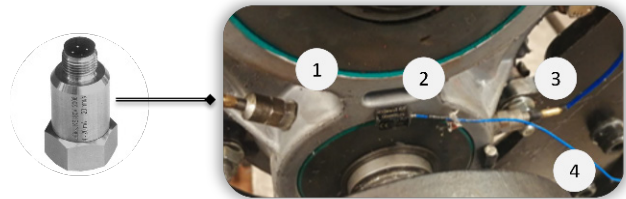
Tomada de una presentación preparada por el estudiante de posdoctorado Francesco Danzi (2021).

Es importante resaltar que el principal uso del motor eléctrico en este proyecto, además de ejecutar la caja de cambios, es llevarla a condiciones extremas para poder obtener una falla en un menor tiempo al especificado por el fabricante. Es por esto que su tamaño y velocidad son superiores a los de un motor para el cual fue diseñada la caja de cambios inicialmente.

Las señales de vibración con las que detectamos los fallos y predecimos la vida útil del elemento se recogen a través de 4 acelerómetros. Los acelerómetros son sensores que nos permiten

convertir la energía de vibración en una señal eléctrica digital con la que se puede trabajar cómodamente desde un ordenador. Los 4 acelerómetros están situados en diferentes posiciones de la caja de cambios para la mejor y mayor obtención de las señales de vibración, como se puede observar en la Figura 2. Dos en posición radial (número 1 y 3) y dos en posición axial (número 2 y 4).

**Imagen 2.** Acelerómetro utilizado y sus ubicaciones.



Tomado de una presentación preparada por el estudiante de doctorado Francesco Danzi (2021).

Para el procesamiento de las señales fue fundamental el desarrollo de un código el cual se llevó a cabo en su totalidad en la plataforma de programación y cálculo numérico, Matlab.

### Procedimiento

Inicialmente se establece el espacio en el que se va a llevar a cabo la puesta en funcionamiento de la máquina. Una vez organizado el espacio con las medidas de seguridad necesarias, se ubican los sensores. Una vez el sistema se encuentra en funcionamiento se comienza con la toma de las señales de vibración otorgadas por los sensores. El encargado de esta función es el investigador posdoctoral Francesco Danzi. Francesco se encarga de recibir las señales de vibración de los 4 sensores y posteriormente organizarlas para que queden en un formato compatible con el programa de Matlab.

El siguiente paso por desarrollar es el análisis y procesamiento de las señales que se obtuvieron. En este proceso trabajé de la mano con el estudiante Zhiyang Wen elaborando un código en Matlab que permitiera saber si los datos recolectados son de buena calidad. Una vez identificado esto se pueden entrar a ver en detalle los diferentes comportamientos de la señal.

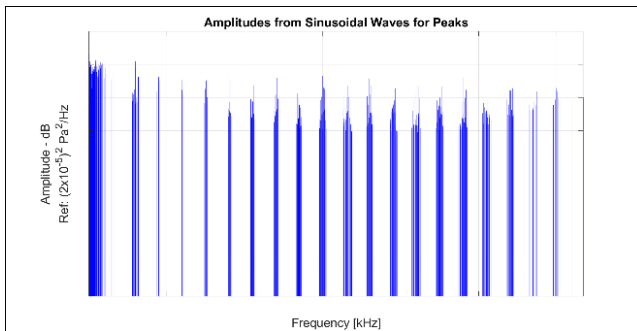
Este paso de la verificación de la calidad de los datos es crucial para el desarrollo exitoso del proyecto, debido a que el uso de un algoritmo de inteligencia artificial es indispensable para lograr la tarea de clasificación de fallas e incluso poder predecir el tiempo de vida útil restante del elemento. Y ya que es indispensable el uso de este algoritmo, se requiere que cumpla con su tarea con altos índices de eficacia; y para que esto suceda, se necesita rea-

lizar un entrenamiento exhaustivo de este método de inteligencia artificial. Y para ese entrenamiento, es imprescindible disponer de suficientes datos de buena calidad.

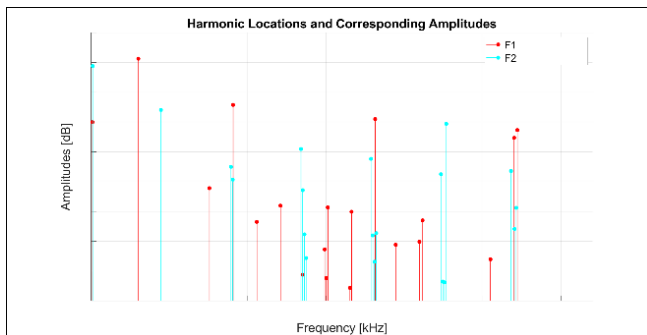
Una vez entonces Francesco recoge los datos, se procede a realizar un análisis de estos. Y para este análisis, Zhiyang y yo realizamos un código que permitiera procesar cada señal de muestra, extraer los respectivos análisis, graficarlos para una mejor observación y organizar los datos obtenidos en carpetas que permitan una búsqueda y posterior uso de los datos de una manera más simple y efectiva.

Como resultado del procesamiento realizado con el código a las señales, podemos obtener información como las amplitudes de las ondas sinusoidales de los picos encontrados en el análisis de la señal (Figura 3). Con estas amplitudes (medidas en decibelios) podemos deducir qué frecuencias tienen una mayor amplitud que otras. Y como podemos ver las amplitudes, también podemos ver la ubicación de la familia armónica (Figura 4), la ubicación de los picos (Figura 5) y la densidad espectral de potencia (Figura 6). Barbieri (2018).

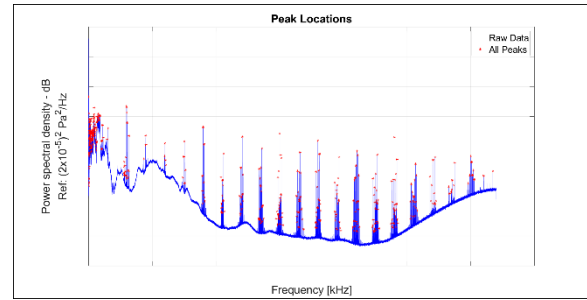
**Figura 3.** Amplitud de ondas sinusoidales.



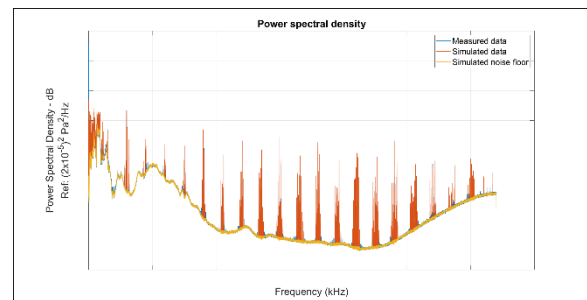
**Figura 4.** Familia de Armónicos y sus respectivas amplitudes.



**Figura 5.** Ubicación de los picos.



**Figura 6.** Densidad espectral de potencia de la señal.



Con cada una de las gráficas obtenidas, en comparación con otras muestras de señales, podemos llegar a diferentes conclusiones y análisis, que nos permiten deducir cuándo la máquina está teniendo un comportamiento extraño y cuándo no. Y gracias a esta deducción de comportamientos y fallos se puede llegar a una predicción de la vida útil restante del equipo. Haciendo cálculos con respecto al estado actual del elemento y la proyección de vida útil dada por el fabricante con respecto a cómo fue diseñado.

Con este proceso que se realiza a la señal se puede identificar si los datos son de buena calidad. Y teniendo una cantidad importante de buenos datos se puede pasar al siguiente paso.

## EXPECTATIVAS DEL PROYECTO

Una vez obtenida esa cantidad significativa de datos buenos se espera realizar un aumento de datos o mejor conocido como data augmentation. Esto significa distorsionar la información original de maneras diferentes y no muy drásticas, con el fin de generar una cantidad muy grande de datos para entrenar el algoritmo de inteligencia artificial. Cuantos más datos tenga el algoritmo inteligente para entrenarse, mejores resultados de clasificación se obtendrán. Por ello, el proceso de recogida y verificación de datos es



crucial, ya que, si los datos que tenemos no son de buena calidad, el algoritmo no podrá realizar su tarea de clasificación de fallos.

Como objetivo final, con el algoritmo de inteligencia artificial entrenado, se espera que sea capaz de realizar la predicción correctamente y así obtener información y monitorizar la máquina de forma remota. Permitiendo saber si hay una avería en la máquina y cuál es el tiempo de vida útil desde cualquier lugar sin necesidad de contacto directo con la máquina.

## CONCLUSIONES

La detección temprana de fallas tiene múltiples beneficios. Estos pueden estar enfocados tanto en la empresa misma como en el desarrollo del sector industrial de la región y hasta se pueden tener beneficios que favorezcan el cuidado del medio ambiente.

Para la empresa es claro que al predecir una falla se pueden disminuir los tiempos muertos de producción, ya que es posible obtener un repuesto con anticipación o una solución lista que permita un tiempo de planeación, en vez de tener que frenar las máquinas en tiempo de producción por una falla que no se predijo y simplemente ocurrió. También permite aprovechar toda la vida útil de los elementos evaluados ya que se conoce su estado constantemente y no se requiere de hacer cambios prematuros de las máquinas con la intención de prevenir un daño de estas. F. (2021).

Evita que los operarios e incluso otras máquinas corran riesgos irreparables, ya que si una máquina de daña desprendiendo piezas por el espacio puede causar daños perjudiciales en la salud del operario o también dañar otros sistemas que se encuentren cercanos.

Todos estos beneficios mencionados anteriormente aportan al ahorro de dinero de las empresas en mantenimientos innecesarios, compras de elementos nuevos, tiempos muertos de producción y demandas por accidentes laborales. F. (2021).

El desarrollo tecnológico, ya que este proyecto emplea tecnologías de industria 4.0 que convienen en el desarrollo de la región e incluso del país. Por otro lado, también aporta al cuidado del medio ambiente, ya que al evitar desechar de manera prematura elementos con altos componentes contaminantes, también optimiza los horarios de trabajo de las máquinas reduciendo así uso innecesario o excesivo de energía.

Hay un inconveniente importante de resaltar y es que para tomar los datos de un fallo de la máquina en funcionamiento se necesitan muchas horas de grabación y muchos gigabytes de almacenamiento. Hasta ahora el proyecto tiene 400 horas de grabación y 200 GB de almacenamiento. Este inconveniente intervino en el

desarrollo total de los alcances que se planeaban obtener al inicio de la pasantía de investigación.

## REFLEXIÓN

En el marco del proyecto gestionado por la gobernación del Valle del Cauca y llevado a cabo con la intervención de Infivalle y la universidad Santiago de Cali, este proyecto le brindó la oportunidad a 20 estudiantes vallecaucanos de realizar una pasantía de investigación en diferentes proyectos relacionados con sus respectivas carreras. Y allí es donde radica la importancia de Nexo Global para mí, en la oportunidad que nos ha brindado de crecer, de ampliar nuestros horizontes en muchos y diferentes contextos, en la oportunidad que nos brindó seguir soñando, pero sin dejar de perder el horizonte y luchar para conseguir esos sueños.

Esta experiencia ha significado para mi crecimiento y claridad en mi proyección a futuro. Por un lado, crecimiento porque he elevado mis conocimientos académicos, pero no sólo en ese aspecto sino también en el aspecto personal, cultural y social, con todos los retos y experiencias que se nos presentaron en esta vivencia. Y por otro lado, proyección a futuro porque cada una de esas experiencias y retos me han ayudado a ir puliendo el camino que quiero seguir, hacia dónde me quiero proyectar.

Considero que los conocimientos adquiridos en el ámbito académico y las experiencias en los grandes y modernos laboratorios fueron extremadamente enriquecedores, me llenaron de mucha motivación para continuar en mi proceso profesional. Me llené de expectativas e ideas que me brindaron imágenes de un futuro prometedor. Pude conocer tecnologías y un nivel de organización que no conocía y que en definitiva no quiero dejar ir.

Así como valoro esos conocimientos adquiridos por mis experiencias académicas también valoro profundamente las conexiones y relaciones que pude desarrollar y forjar. Relaciones que sin duda durarán para toda la vida y me brindarán oportunidades infinitas, relaciones que me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

Estoy completamente segura de que este tipo de oportunidades brindan muchas posibilidades de generación de ideas para nuevos proyectos, pero sobre todo motivación a nuestra región, motivación a querer seguir educándose o a empezar a educarse. Motivación a los demás jóvenes del país y por qué no a los adultos también para creer que las oportunidades sí existen y que vale la pena luchar por ellas. Que la academia y la vida va más allá de conseguir un trabajo y conformarse con un salario mínimo. Que continuar con una educación y sobre todo con las de nivel

superior, da muchos frutos en diferentes aspectos de la vida. Que de esta manera podemos ayudar a un mejor desarrollo del país y a mejorar de muchas maneras, nuestra calidad de vida.

En cuanto a el desarrollo del proyecto y el grupo de trabajo estoy completamente feliz con los resultados. El hecho de haber estado en un proyecto perteneciente a la compañía John Deere fue completamente emocionante. Es muy interesante descubrir y pertenecer a esta forma de innovar de las grandes empresas, por medio de propuestas de investigación en entidades educativas. Siento que es una oportunidad de innovación externa que le aporta mucho a la empresa y también a la entidad educativa, ya que les permite a muchos estudiantes desarrollar proyectos encontrando su vocación y adquiriendo otro tipo de habilidades.

El acompañamiento de mis dos grandes mentores, el doctor Diego Martínez y la doctora Patricia Davies fue fundamental en el desarrollo de esta pasantía. Sus conocimientos tanto académicos como personales me formaron un poco más y le dieron estructura a muchos propósitos a futuro en mi vida.

El intercambio cultural es otra gran experiencia que considero importante resaltar. La adecuación a un nuevo espacio puede resultar difícil, pero empeora la dificultad si hay una brecha entre culturas y algo de lo que me sentí muy orgullosa al momento de interactuar con otras culturas fue la flexibilidad y capacidad de adaptarme a los distintos comportamientos y formas de pensar, considero que parte de esas capacidades las tengo por lo cálida que es la cultura colombiana.

Para el intercambio de ideas con personas que se me presentaban en diferentes ocasiones del diario vivir, el uso del inglés fue primordial, y superó los niveles de importancia que le había otorgado en mi vida, siendo estos ya bastante altos, a decir verdad.

Considero que también es muy importante mencionar que los retos cotidianos un poco más relacionados a la convivencia del apartamento, la limpieza, el mercado, la búsqueda de transporte a cada destino y hasta el clima, forman en gran medida también. Fueron muchas decisiones que debieron tomarse de la manera correcta y la dificultad, pero al mismo tiempo enseñanza se encontraba en asumir las consecuencias de aquellas decisiones. Es probable que asumir las consecuencias de las decisiones también ocurra en otros entornos incluso familiares, pero llevar a cabo situaciones y vivencias nunca antes experimentadas y llevarlas sobre todo con sabiduría y éxito genera logros en la vida personal que se reflejan perfectamente la vida profesional.

Por último, me gustaría mencionar y resaltar que las oportunidades sí existen, que vale la pena estudiar y luchar por un futuro porque

en definitiva trae logros, trae experiencias, trae conocimiento y con ello motivación, motivación de seguir adelante de proyectarse de buscar una estabilidad y quizás por qué no, dejar en la región e incluso en el mundo un granito de arena o aún mejor una semillita.

## REFERENCIAS

- Estratégica, E. (2020). La importancia del mantenimiento predictivo para instalaciones eléctricas en Chile - Energía Estratégica. Retrieved 19 April 2021, from <https://www.energiaestrategica.com/laimportancia-del-mantenimiento-predictivo-para-instalaciones-electricas-en-chile/>
- Barbieri, M., Mambelli, F., Lucchi, J., Diversi, R., Tilli, A., Sartini, M. (2018). Condition Monitoring of a Paper Feeding Mechanism Using Model-of-Signals as Machine Learning Features.
- Li, C., Valente de Oliveira, J., Cerrada, M., Pacheco, F., Cabrera, D., Sanchez, V., Zurita, G. (2016). Observer-biased bearing condition monitoring: From fault detection to multi-fault classification. *CrossMark*, 287-301.
- Mohd, M. H., Rahiman, W. (2021). Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis: A Systematic Review. *Hindawi*, 25.
- Francesco Danzi, PhD. (s/f). Fdanzi.Com. Recuperado el 3 de abril de 2022, de <http://fdanzi.com>
- Diego Martínez Castro. (2020, abril 15). UAO Portal. <https://www.uao.edu.co/perfil/diego-martinez-castro/>
- Davies, P. (s/f). Patricia Davies, school of mechanical engineering, Purdue university. Purdue.edu. Recuperado el 4 de abril de 2022, de <https://engineering.purdue.edu/~daviesp/>
- F. (2021, 9 mayo). Prevención de fallas de la máquina mediante la detección de señales tempranas de problemas. Fluke. Recuperado el 4 de abril de 2022, de <https://www.fluke.com/es-cl/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/prevencion-de-fallas-de-la-maquina-mediante-la-deteccion-de-senales-tempranas-de-problemas#:~:text=Uno%20de%20los%20principales%20beneficios,para%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20reparaciones.>

### Cita recomendada

Higueta Alzate, N. (2022). Detección de fallas en una caja de cambios empleando señales vibratorias. *Nexo Global. Artículos de reflexión*, pp. 1-8.