



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil en Informática

## **OPTIMIZACIÓN DE LOS MODOS ACÚSTICOS DE UN TUBO USANDO UN ALGORITMO GENÉTICO**

Proyecto para optar al título de  
**Ingeniero Civil en Informática**

**PROFESOR PATROCINANTE:  
DR. CRISTÓBAL NAVARRO GUERRERO**

**PROFESOR CO-PATROCINANTE  
DR. MARIO GONZÁLEZ MONTENEGRO**

**PROFESORA INFORMANTE  
DRA. ELIANA SCHEIHING GARCÍA**

**DIEGO IGNACIO ROJAS ASENJO**  
VALDIVIA – CHILE  
2022

## Dedicatoria y/o Agradecimientos

Es una sección compleja para mí, porque en el transcurso de mi vida académica, he conocido mucha gente tanto la que está presente, como la que ya no está. Sobre todo, a esas personas que no están, porque estoy seguro que sabían que lo lograría.

Sigue siendo difícil así como la misma vida que escogí seguir a base de mis propias decisiones. Porque es complicado en una familia donde no se posee el privilegio de elegir, llegar a tanto para que valga la pena, fue algo que no fue sencillo justificar. Por ello agradezco porque me dieron esa oportunidad de hacerlo bajo mis propios términos y que a pesar de todo, se valoró el que de alguna forma estén presentes en mi vida. Esos amigos con los que crecí y me acompañaron me es difícil hacerles saber que aún los pienso. Los profesores que no se rindieron en tratar de que comprenda lo que me enseñaban, y más que contenidos muchas veces. Mis compañeros de carrera, cuales conocí por como se daba una vida de distintas realidades y saberes, me hizo entender que podía verme en algo.

Fue una cantidad de esfuerzo muy grande para lo mucho que significaba el que no me rindiera. Donde más de alguien estuvo para contener esas ganas que tenía de alzar la bandera blanca, además de muchas personas con algo de impotencia y quizás hasta rezos hacia alguien en especial, pidiendo que no lo hiciera. Por respeto a esas personas también, que me escucharon las muchas rabias que pasé de todo lo que sucedía, además de las muchas otras que inspiré a seguir eso que no se compra con dinero. Muchos ex-colegas que conocí por efectos de mi doble vida académica y laboral, a la gente que ayudé sin pedir nada a cambio, a los que me dejaron pasar por la calle tras los muchos kilómetros que corrí y pedalié por deporte y transporte, a las personas que no me negaron el plato de comida, la misma universidad que me ayudó frente a muchas cosas que uno no espera pasar, a Valdivia que me dió la posibilidad de tener techo donde vivir, Y así...

Como diría Silvio Rodríguez *“La gente que me odia y que me quiere, no me va a perdonar que me distraiga”* (Te doy una canción) , y como no esperar que sea así, pues de hacer mucho lo mínimo es lograr lo que uno se propone.

*A todas esas personas, no solamente gracias, hago mi mejor esfuerzo en como poder hacer algo de todo lo que aprendí desde la escuela, hasta en la universidad, en ayudar a la humanidad y con algún grano de arena al planeta, nuestro gran hogar.*

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE II.....	II
ÍNDICE DE TABLAS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
1 RESUMEN.....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 Antecedentes.....	2
2.2 Trabajo de Título.....	3
2.2.1 Definición del problema.....	3
2.2.2 Planteamiento caso de estudio.....	3
2.2.3 Objetivo general.....	4
2.2.4 Objetivos específicos.....	4
2.2.5 Metodología.....	5
3 MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 Trabajos relacionados al proceso de investigación ingenieril.....	6
3.2 Definición teórica del comportamiento físico.....	7
3.2.1 Desarrollo Matemático.....	7
3.2.2 Herramienta de Optimización.....	11
4 DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	13
4.1 Elaboración de requisitos.....	13
4.1.1 Declaración de posicionamiento del producto.....	13
4.1.2 Definición de escenarios y usuarios problemas.....	14
4.1.3 Propuesta de acoplamiento.....	15
4.1.4 Entrevista y análisis de resultados.....	15
4.1.5 Definición de épicas e historias usuarias.....	17
4.2 Diseño lógico funcional del AG.....	19
4.2.1 Modelo lógico y conjunto de procedimientos.....	20
4.2.2 Representación de datos.....	21
4.2.3 Esquema genético.....	22
4.2.4 Esquema funcional de operadores genéticos.....	24
4.2.4.1 Operador de selección.....	24
4.2.4.2 Operador de cruzamiento.....	24
4.2.4.3 Operador de mutación.....	25
4.3 Implementación.....	25
4.3.1 Recursos usados.....	26
4.3.2 Despliegue de información.....	28
4.3.3 Análisis de datos.....	32
4.4 Pruebas.....	33
4.5 Mantenimiento.....	34
4.5.1 Detección de errores y mantenimiento.....	35
4.5.2 Soluciones y Actualizaciones implementadas.....	37
4.5.3 Análisis y estrategias de convergencia.....	38

## ÍNDICE II

<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>7 REFERENCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>8 ANEXOS.....</b>	<b>48</b>
<b>8.1 Investigación del tema de estudio.....</b>	<b>48</b>
<b>8.1.1 Objetivo y pregunta de revisión.....</b>	<b>48</b>
<b>8.1.2 Método de Revisión.....</b>	<b>48</b>
<b>8.1.2.1 Metodología del proceso de revisión.....</b>	<b>48</b>
<b>8.1.2.2 Fuentes y estrategias de búsqueda.....</b>	<b>49</b>
<b>8.1.2.3 Cadenas de Búsqueda.....</b>	<b>49</b>
<b>8.1.2.4 Criterios de selección.....</b>	<b>51</b>
<b>8.1.2.5 Extracción de información.....</b>	<b>51</b>
<b>8.1.2.6 Estudios incluidos e excluidos.....</b>	<b>52</b>
<b>8.1.2.7 Caracterización de artículos seleccionados.....</b>	<b>53</b>
<b>8.1.3 Principales hallazgos y factores claves.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b>	<b>: Hipótesis para Cristobal Navarro.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2</b>	<b>: Hipótesis para Mario González.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 3</b>	<b>: Hipótesis para Eliana Scheihing.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 4</b>	<b>: Generación de propuestas para usuarios.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 5</b>	<b>: Instrumento de entrevista usuarios.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 6</b>	<b>: Instrumento para definición de épica detallada.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>: Épica, Creación de cromosomas.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 8</b>	<b>: Épica, Ejecución y convergencia.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 9</b>	<b>: Épica, Inicialización específica.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 10</b>	<b>: Especificaciones de Hardware.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 11</b>	<b>: Ejemplo representación para salida de datos por AG.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 12</b>	<b>: Tabla catálogo de pruebas funcionales.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 12</b>	<b>: Tabla catálogo de pruebas funcionales(Continuación).....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 13</b>	<b>: Reporte de incidencias por fallas de código.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 14</b>	<b>: Ejemplo de incidencia 001, sección 3.5.1.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 15</b>	<b>: Ejemplo de incidencia 007, sección 3.5.1.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 16</b>	<b>: Frecuencias objetivo.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 17</b>	<b>: Tópicos relevantes para artículos seleccionados.....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 : Modelo geométrico lineal de aproximación FEM para un tubo.....	8
Figura 2 : Esquema básico del proceso de optimización por Algoritmo Genético.....	11
Figura 3 : Diagrama de Clases del Software.....	20
Figura 4 : Lista enlazada poblacional.....	22
Figura 5 : Arreglos de radios y genes del tubo.....	22
Figura 6 : Estrategia de selección por torneo.....	24
Figura 7 : Estrategia de Cruzamiento usando 1 punto de corte.....	25
Figura 8 : Esquema de mutación binaria.....	25
Figura 9 : Arquitectura básica del funcionamiento del SW.....	26
Figura 10 : Sección de código Base y lectura de Experimentos.....	29
Figura 11 : Búsqueda de experimentos por filtros.....	29
Figura 12 : Revisión de experimento generacional.....	30
Figura 13 : Gráfica de concentración de radios.....	30
Figura 14 : Gráfica de incerteza con respecto al mejor individuo.....	31
Figura 15 : Relación de tiempo de ejecución por población v/s variación de elementos de forma.....	31
Figura 16 : Gráfica de calor y resonancia con respecto a sus modos acústicos.....	32
Figura 17 : Valor de ajuste referencia del optimizador realizado por matlab.....	39
Figura 18 : Comportamiento de convergencia del AG usando FEM.....	40
Figura 19 : Concentración de radios respecto al mejor tubo en generaciones.....	40
Figura 20 : Gráfico de incerteza con respecto a sus radios.....	41
Figura 21 : Cargas de ejecución en horas v/s la cantidad de elementos formas.....	42
Figura 22 : Gráfica de distribución radial y respuesta del tubo en dominio de frecuencia.....	44
Figura 23 : Distribución de búsqueda según bibliotecas.....	52
Figura 24 : Concentración de documentación aceptada y rechazada.....	53
Figura 25 : Gráfica resumen de publicaciones en relación al objetivo de búsqueda.....	53

# 1 RESUMEN

El estudio y análisis de ondas acústicas ha permitido soluciones en áreas de la ingeniería como manufactura, estudio y mejora acústica en instrumentos musicales, predicción de roturas de tuberías, la búsqueda de estabilidad en potencia y resistencia de materiales, y el estudio de cápsulas de presurización, por mencionar algunas. El elemento común es encontrar una geometría que maximice propiedades como; la potencia, timbre, presión, frecuencia, tono, energía del objeto. Esta exploración del objeto es un problema de optimización de gran dificultad, por la gran cantidad de configuraciones a desarrollar, donde se pueden usar algoritmos computacionales de alto rendimiento. En el instituto de acústica de la UACH, existe la necesidad de contar inicialmente con un software de código abierto que pueda encontrar la geometría óptima de estructuras acústicas simples, con apertura a la complejidad.

Este trabajo presenta la implementación de un Algoritmo Genético (AG) desarrollado en C++. El AG encuentra la geometría óptima de un tubo acústico de largo fijo y radios variables e independientes. Cada individuo de la población se representa como una secuencia de radios, usando codificación binaria. La fase de selección es realizada por el método de torneo, el cruzamiento lo realiza por intercambio de secciones del cromosoma (en binario) a cada par de individuos, y la mutación por operación XOR a individuos, aleatoriamente en su cromosoma.

Los resultados demuestran que el algoritmo genético logra minimizar sintonizando frecuencias a 270Hz, 353Hz, 496Hz y 659Hz con respecto a un input de 350Hz, 450Hz, 550Hz, y 650Hz, encontrando un tubo de radios irregulares por el AG. Para tal experimento, la tasa de error fue de 22.85%, 21.55% 9.45% y 1.38%. A nivel estadístico, la distribución uniforme permite una geometría con secciones suaves y valores dispersos en sus radios. En cuanto al rendimiento, aproximar una población de 50 tubos usando 65 elementos de radio independiente, tomó aproximadamente 2 horas de ejecución para 1000 generaciones de simulación. Su funcionalidad permite llegar a un resultado aproximado además de poder estimar su tiempo de ejecución, logrando desarrollos adicionales además de potenciales.

## **2 INTRODUCCIÓN**

### **2.1 Antecedentes**

Diferentes estudios han permitido determinar, como diversos espacios de la ciencia a través de variadas herramientas, logran dar respuestas a preguntas que representan los fenómenos de la naturaleza. Uno de ellos, es la posibilidad de someter a estudio los conocimientos de la acústica junto con la informática, ampliando antecedentes además de herramientas, que proyecten nuevos desafíos a trabajos futuros sobre las ondas y vibraciones.

En la práctica, los modelos de tubos acústicos como representación inicial de ensayos vibratorios, son una de las herramientas básicas de estudio, permitiendo así tener respuesta a distintos modos de sintonizar el sonido en espacios cerrados[Ram15a]. El estudio de éstos elementos, permitió la generación de grandes espacios de orden sonoro, como anfiteatros, salas de cine, estudios de música, además de estar inicialmente adentrada en las áreas de las comunicaciones por sus propiedades del mismo orden. De lo anterior, resultados de diversas experimentaciones a base de las propiedades del tubo acústico, han permitido en la misma universidad, la instalación de laboratorios con equipo tecnológico como los tubos de resonancia para ondas acústicas, que permiten el estudio práctico de ondas y vibraciones.

En ámbitos tecnológicos, el desarrollo de algoritmos para el uso de programas computacionales, potencia distintos usos al momento de establecer desafíos que impliquen procesamiento de datos. Por ello, aplicaciones para la obtención de resultados, permite comprender fenómenos que se someten a estudio mediante procesos tanto de cálculo como desarrollo de estados predictivos [Hao18]. En el área de la inteligencia artificial, existe el estudio de metaheurísticas siendo una rama de la optimización, cual propósito es resolver problemas rápidos, largos y obtener robustos algoritmos [Tal09]. Uno de los principales estudios cual realizará este trabajo, es implementar algún algoritmo inspirado en el comportamiento natural de procesos biológicos [Dar59], específicamente uno de tipo evolutivo de orden genético, cual función es la búsqueda del “mejor” parámetro mediante etapas básicas de orden natural, encontrando una solución dentro de un conjunto poblacional de individuos.

### **2.2 Trabajo de título**

Para llevar a cabo los procesos prácticos de un trabajo experimental, es necesario definir los alcances que formarán parte del problema junto con sus restricciones, permitiendo determinar además de solventar una base de procesos, que justifiquen lo que se logrará en el presente estudio. A continuación, se describirá un conjunto de requerimientos que permitan ver como se abordará el problema, para posteriormente determinar su conjunto de pasos que elaboran los resultados esperados.



### **2.2.1 Definición del problema**

El estudio del comportamiento acústico de un tubo, se desarrolla en distintas áreas de la ciencia y la ingeniería considerando la estructura del objeto, practicando distintos usos en las áreas de la música como una flauta, la construcción en carreteras subterráneas, búsqueda de fallas en gasoductos, máquinas de resonancia magnética para lecturas médicas, sensores de resonancia para detección de fallas en conexiones de fibra óptica, entre otras aplicaciones.

Las herramientas tecnológicas componen una parte esencial de estos estudios, debido que permiten definir estrategias para soluciones computacionales. En las áreas de la ingeniería, la informática aporta al desarrollo de soluciones, para la obtención de resultados precisos, rápidos, informativos y claros. A través de esta disciplina, está presente el desafío en como implementar un algoritmo de optimización, que permita a través de un conjunto de parámetros, encontrar la solución de un problema acústico basado en el principio de la minimización.

En términos físicos, el tubo acústico es de cavidad rígida cerrada, que en su interior mantiene un fluido (líquido, gas u solvente) cual interactúa con ondas mecánicas de ámbito sonoro. En dicho comportamiento, se deprecia la relación entre las paredes de la estructura evitando absorción. El contenido del tubo, dada la materialidad del fluido, se pueden describir parámetros acústicos adecuados, mediante vibraciones respondiendo en ondas sonoras. Dichos parámetros como la velocidad de la partícula y la presión sonora, permiten el estudio del comportamiento de la onda que interactúa con la dinámica del fluido a causa de su vibración, resultando sintonizar los modos acústicos en una determinada geometría en el dominio de la frecuencia, que para nuestro caso de estudio será determinada por el radio variable con respecto a su largo.

### **2.2.2 Planteamiento caso de estudio**

Bajo trabajos y procesos prácticos experimentales, en la búsqueda de modos acústicos de un tubo de dimensión regular, se puede sintonizar frecuencias que den respuesta a los modos de vibración a determinada geometría [Ram15a].

Por ello, se busca un tubo con geometría de relación radial variable equiparticionada, que responda a una distribución de frecuencias naturales.

Una de las respuestas deseadas, será no solo llegar al resultado esperado, se necesita saber también a través de este proceso, el comportamiento que justifiquen lo que se busca.

### **2.2.3 Objetivo general**

En el presente documento, se abordará un problema de optimización que busca la mejor geometría de un tubo acústico 1D asociada a frecuencias naturales, usando un algoritmo genético conocido junto con propuestas estratégicas de forma paramétrica, siendo posible monitorizar y controlar dicho proceso hacia un resultado deseado.

### **2.2.4 Objetivos específicos**

Se propone implementar un algoritmo genético, con una función de objetivo que minimiza un valor de ajuste relacionada a las características de los tubos en experimentación, desarrollado en un lenguaje de programación basado en C++, permitiendo su edición y compilación en distintas plataformas con licencia OpenSource. De esta manera se sabrá que el optimizador, como algoritmo genético, cumple con su cometido en la experimentación del tubo 1D.

Se busca calibrar un algoritmo genético, en conjunto con las librerías matemáticas Octave para el desarrollo de elementos finitos, se logre calcular mediante una función objetivo, un valor de ajuste que permita mediante los operadores funcionales del algoritmo genético, encontrar las mejores características de un tubo, tras las generaciones asignadas como proceso iterativo en una búsqueda poblacional.

Mejorar y determinar la convergencia del optimizador, cual calidad en funcionamiento del AG depende de los parámetros que fijan, donde las estrategias a proponer como criterios de operación, permitan definir cual usar dentro de las distribuciones y procesos aleatorios, logrando saber cual estrategia es la más conveniente.

Consistente en los resultados, siendo un punto importante a revisar cuando se necesita visualizar en reiteradas ocasiones su comportamiento. El mismo algoritmo, debe ser determinista en lograr que estos resultados permitan ser reproducibles, usando herramientas de generación numérica aleatoria por medio de semillas. Estas librerías para producciones aleatorias, permiten en el AG llegar al mismo resultado para variadas pruebas.

Medir el factor tiempo de ejecución, siendo el rendimiento como factor en los cálculos, se considera un tratamiento aún más si se trabaja con precisión. Permitiendo tener una vista previa a futuras soluciones a implementar, con multiprocesamiento para las operaciones del AG sumado a la solución de aproximación por elementos finitos. Esta estrategia en el tratamiento del factor de tiempo en procesamiento, será importante para medir rendimiento a través de la exigencia.

### **2.2.5 Metodología**

Para efectos del desarrollo de software, se utilizará un ciclo de vida tradicional de tipo Scrum, que pongan en etapas los procesos en sus distintos niveles, transparentando no sólo la lógica tras el algoritmo sino también su implementación para el funcionamiento, junto con sus pruebas, mejoras realizadas y sus validaciones respectivas, permitiendo el avance de las tareas que se asignan durante los procesos de desarrollo.

El conjunto de pasos irán en coordinación a reuniones periódicas con los profesores patrocinantes, para la revisión de avances y próximos objetivos que signifiquen el proceso de desarrollo del proyecto.

### **3 MARCO TEÓRICO**

Antes de comenzar con el proceso de experimentación, además de la construcción y gran parte de los procesos de desarrollo del software, fue necesario realizar una breve investigación sobre algunas aplicaciones, donde la disciplina coloca tanto en práctica como en ejecución, el concepto de “tubo” bajo restricciones acústicas pensando en sus propiedades mecánicas que resultan al ser modeladas. Por ello también, es necesario describir como dicho comportamiento que resulta del análisis frecuencial a partir de una perturbación, es modelada de manera discreta matemáticamente.

#### **3.1 Trabajos relacionados al proceso de investigación ingenieril**

Tras lo anterior, en la actualidad existen métodos usados para poder hacer frente a este tipo de problemas, usando técnicas de monitoreo mediante la identificación de campo de las estructuras lineales, o caracterización de las estructuras de campo, permitiendo detallar las interacciones de impacto objetivo de las estructuras dinámicas, las cuales influyen reportes de ondas acústicas. También, realizan simulaciones para el estudio de técnicas con FEM, no solo por su efectividad en la evaluación, si no que además permite los estudios del campo lejano de propagación de ondas en placas.

Sus resultados, logran identificar las reflexiones asociadas a espectro de potencia en bajas frecuencias, desde el final de los tubos, en término de los elementos calculados. Además logran, consistentes resultados a lo referenciado por monitoreo, los cálculos de estrés y en la respuesta de banda ancha para campos acústicos [Oko14].

En otros estudios, sabemos que las ondas de propagación acústica, se generan cuando existe un medio que permita su transporte. Por ello las técnicas de monitoreo siguen siendo factibles frente a este tipo de problemas, además de herramientas como correlaciones de detección tempranas, para la propagación de nodos a respuestas acústicas, usando simulaciones mediante análisis de elementos finitos (FEA) con enfoques para tiempos de vuelo. Los resultados permitieron definir, la importancia en cómo los distintos modelos de FEA fueron aplicados, logrando reducir los errores en costos computacionales, además de la verificación que el enfoque usado habilita precisión, para los tipos de elementos usados como posibles respuestas a distintas soluciones [Abd18].

Los trabajos asociados al uso de tuberías, entregan ideas sobre cómo los comportamientos de una onda de presión sonora, se asocia como flujo de energía. La aplicación de FEM con condiciones de borde es bien usado, donde ésta vez se propone bajo la restricción de una ecuación de onda para el modo acústico asociado. La aplicación en esta experimentación, permitió determinar la necesidad en el uso del número de elementos de manera proporcional a las longitudes de onda, ya que en caso contrario presentan pérdidas en su precisión.

El cálculo de la frecuencia, depende de las pérdidas en la transmisión del sonido de un tubo “reflexivo”, con una presente salida espacial. Dicha pérdida de transmisión del sonido, depende de la frecuencia de la pared acústicamente rígida, cual es calculada por una relación entre el radio y la longitud. En sus resultados, se verifican las condiciones iniciales las cuales se practicaron los cálculos asociados a los experimentos [Str10].

En cuanto a precisión, la forma geometría del elemento, no sólo es una restricción, también es necesario saber que la cantidad de nodos influye en la frecuencia que se desea buscar. En el proceso, intervienen energías cinéticas y potenciales que discretizan un sistema a calcular. Se evidencia que a una menor cantidad de nodos, la frecuencias por modos aumentan a falta de precisión, haciendo que se esté trabajando con un sistema más rígido [Ram15a][Ram15b].

Basado en cálculos de similares características, se logra un estudio de alta complejidad dimensional, al simular la respuesta que causa un disturbio en un material de orden espacial. Se busca saber, la reacción del potencial de velocidad al interior del elemento en cuestión, tras el disturbio, logrando buenos resultados en términos de precisión y tiempos de cómputo como referencia para caso de estudio [Cha18].

Por otro lado, el estudio de optimización para bocinas acústicas con FEM usando un algoritmo genético tradicional, busca las mejores propiedades acústicas basadas en su geometría. En la búsqueda de tipo multiobjetivo, la estrategia de término del AG son por tope generacional y cuando el valor de la función objetivo alcanza una cierta exigencia. Usa tipo de reproducción elitista, rangos de mutación y cruzamiento con indicios de exploración ( $p_c=5\%$ ,  $p_m=2\%$ ) para una población de 25 individuos. Se propone el uso de la regla de integración de Simpson, como relación de frecuencias para función objetivo. Basado en sus resultados, la implementación numérica permite completar con los análisis de frecuencias buscadas [Bar13].

## **3.2 Definición teórica del comportamiento físico**

### **3.2.1 Desarrollo matemático**

Para el desarrollo del estudio, el cual contempla el uso de técnicas FEM propuesto y desarrollado por [Fah17], es necesario definir el modelo vibroacústico, en un tubo de extremos cerrados. Para ello en primera instancia se define la representación geométrica de un elemento en 1D (Ver Fig. 1).

Se tiene que  $\varphi(x,t)$  corresponde a la representación lineal de un potencial de velocidad y  $p(x,t)$  como la presión del sonido que satisfacen los criterios de construcción nodal para el método de Rayleigh–Ritz.

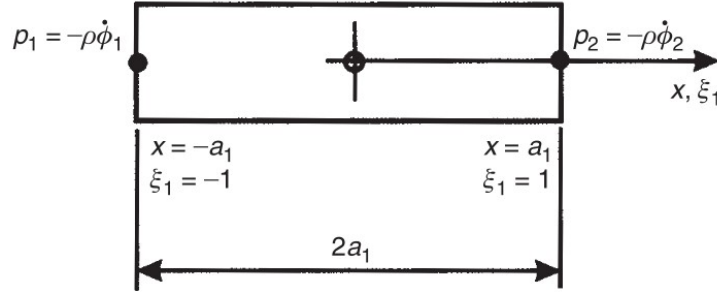


Figura 1 : Modelo geométrico lineal de aproximación FEM para un tubo.

Tenemos como ecuación (1) principal, que representa la presión nodal sonora como:

$$\{p\} = -\rho_0 \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\} , \quad (1)$$

con  $\rho_0$  como la densidad del fluido al interior del tubo, multiplicado por la variación de potenciales de velocidad por nodo, además se asume una unión nodal con función polinomial de elementos forma, para un apropiado número de términos a aproximar mediante la siguiente ecuación:

$$\phi(\xi_1) = \alpha_1 + \alpha_2 * \xi_1 , \quad (2)$$

Se desprende que la ecuación (2) del potencial de velocidad, donde  $\xi_n = x/\alpha_1$ , con  $2\alpha_2$  correspondiente al largo total de tubo. Las constantes  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son las determinadas constantes de condición de borde del tubo. Evaluando  $\xi = \mp 1$  en ec(2) obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones en ec(3):

$$\begin{array}{l} \phi_1 = a_1 - a_2 \\ \phi_2 = a_1 + a_2 \end{array} , \quad (3)$$

donde  $\phi_1$  y  $\phi_2$  son los potenciales de velocidad de los nodos 1 y 2 respectivamente, y al resolver  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  se tiene:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2), \alpha_2 = \frac{1}{2}(\phi_2 - \phi_1) , \quad (4)$$

A través del potencial de velocidad, el elemento acústico unidimensional esta dado por:

$$\phi(\xi_1, t) = \frac{1}{2}(1 - \xi_1)\phi_1(t) + \frac{1}{2}(1 + \xi_1)\phi_2(t) , \quad (5)$$

donde:

$$\phi(\xi_1, t) = [G_1(\xi_1)G_2(\xi_2)] \left[ \frac{\phi_1(t)}{\phi_2(t)} \right] = [g(\xi_1)] \{\phi_e(t)\} \quad , \quad (6)$$

$$G_1(\xi_1) = \frac{1}{2}(1 - \xi_1); G_2(\xi_1) = \frac{1}{2}(1 + \xi_1) \quad , \quad (7,8)$$

y

$$\{\phi_e(t)\} = \left[ \frac{\phi_1(t)}{\phi_2(t)} \right] \quad . \quad (9)$$

Una vez desarrolladas las ecs(6,7 y 8) son usadas para evaluar cada elemento las energías cinéticas y potenciales. Las expresiones energéticas para un único elemento serán:

$$T_e = \frac{1}{2} \rho_0 \int_{-1}^{+1} \frac{A}{a_1^2} \left( \frac{\partial \phi(\xi_1, t)}{\partial \xi_1} \right)^2 a_1 d\xi_1 \quad , \quad (10)$$

y

$$U_e = \frac{1}{2} \rho_0 \int_{-1}^{+1} \frac{A}{c_1^2} \left( \frac{\partial \phi(\xi_1, t)}{\partial t} \right)^2 a_1 d\xi_1 \quad , \quad (11)$$

donde “A” es el área de sección transversal y “c” es la velocidad del sonido. Reemplazando la ecs(6) en las ecs (10) y (11), se tiene:

$$T_e = \frac{1}{2} \rho_0 \{\phi_e\}^T [H_e] \{\phi_e\} \quad , \quad (12)$$

$$U_e = \frac{1}{2} \rho_0 \{\phi_e\}^T [Q_e] \{\phi_e\} \quad , \quad (13)$$

Donde:

$$[H_e] = \frac{A}{a_1} \int_{-1}^{+1} \left[ \frac{\partial g(\xi_1)}{\partial \xi_1} \right]^T \left[ \frac{\partial g(\xi_1)}{\partial \xi_1} \right] d\xi_1 = \frac{A}{a_1} \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/2 \end{bmatrix} \quad , \quad (14)$$

$$[Q_e] = \frac{Aa_1}{c^2} \int_{-1}^{+1} [g(\xi_1)]^T [g(\xi_1)] d\xi_1 = \frac{Aa_1}{c^2} \begin{bmatrix} 2/3 & 1/3 \\ 1/3 & 2/3 \end{bmatrix} \quad , \quad (15)$$

Se logra obtener [Q<sub>e</sub>] y [H<sub>e</sub>] de orden bidimensional, a través de un proceso de ensamble (Assembling process) [Fah17].

Aplicando las condiciones de borde para los correspondientes grados de libertad nodal, obteniendo  $[H]$  y  $[Q]$  como resultado para ecuación diferencial de segundo grado que simula el tubo dada por:

$$[Q]\{\ddot{p}(t)\}+[H]\{p(t)\}=\{F\} \quad , \quad (16)$$

Donde  $[H]$  y  $[Q]$  corresponden a las matrices globales de inercia y rigidez acústica respectivamente. Si  $\{F\} = \{0\}$ , obtendremos las frecuencias naturales y las formas modales del tubo. Para ello, se propone una solución armónica del tipo  $\{p\} = \{a\}\sin\omega t$ , para resolver un sistema de valores propios del tipo:

$$\det([H] - \omega^2[Q]) = 0 \quad , \quad (17)$$

- ***Función de Optimización***

El problema de optimización en este trabajo consiste en sintonizar las frecuencias naturales de un tipo de tubo acústico cual fue aproximado.

La idea es representar las frecuencias deseadas a través de un algoritmo de optimización, permitiendo encontrar la geometría que alcance dichas frecuencias. Para formalizar el problema se considera los siguientes vectores de datos:

$$fnat = (fnat_1, \dots, fnat_n) \quad , \quad (18)$$

$$f_n = (f_1, \dots, f_n) \quad , \quad (19)$$

Donde se tiene  $fnat$  que corresponde a las  $N$  frecuencias naturales que se requieren alcanzar, mientras que  $f_n$  son las frecuencias resueltas por FEM del tubo y directamente relacionadas de la ec (18). Para efectos comparativos en orden relacional de frecuencias, se propone la siguiente función objetivo:

$$f_{obj} = norma(f_{nat}, f_n) \quad , \quad (20)$$

Siendo un valor de distancia euclidiana entre las frecuencias buscadas por tubo, que posteriormente servirá como valor de ajuste para el algoritmo de optimización. Para los cálculos y desarrollo de la técnica FEM con el AG, se usó código adaptado desde [Gon17] con herramienta de software libre Octave.



### 3.2.2 Herramienta de optimización

Una vez ejecutado el proceso de cálculo con FEM por tubo y desarrollada su función de optimización, éste ingresa a un algoritmo genético, el cual usa una estrategia elitista, con representación binaria para los genes por cromosoma, hacia operaciones de selección, cruzamiento y mutación.

Dichos pasos de funcionamiento se desarrollan consistentemente bajo la siguiente estructura básica de la siguiente (Ver Fig. 2).

Los operadores que hacen funcionar el AG, trabajan con estrategia aleatoria, la cual permite que el proceso de búsqueda sea en lo posible al azar. Por ello, la etapa de selección trabaja usando un algoritmo de torneo ejecutando captura aleatoria.

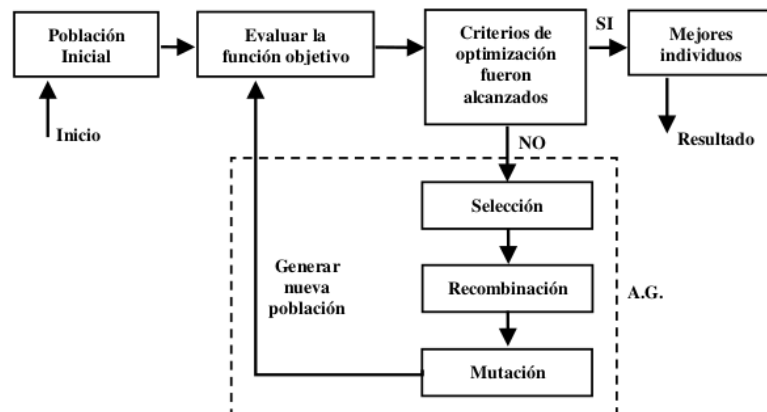


Figura 2 : Esquema básico del proceso de optimización por Algoritmo Genético

Respecto al cruzamiento, este funciona de manera tradicional, realizando intercambios de información con pares de individuos, seleccionados previamente por una probabilidad global del operador a base de la población total, usando 1 sola posición de punto de cruzamiento con respecto a la información binaria, reescribiendo los mismos individuos actualizados. Por último, se trabaja con el operador de mutación, cual preselecciona con una probabilidad global el operador, un conjunto acotado de individuos de manera aleatoria, donde intercambia el valor de un bit en una ubicación cualquiera, redefiniendo características del individuo respecto a su información genética.

Una vez realizados estos 3 pasos, se ejecuta el proceso de evaluación y comparación elitista.

Para terminar, pregunta si las restricciones establecidas satisfacen la condición propuesta, que siendo falsa, regresa al proceso de selección, de lo contrario finaliza. Para más en detalle sobre el funcionamiento del Algoritmo Genético, éste se revisará en la sección 3.2.

## 4 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para esta sección, se realizará la descripción de cada paso realizado para el proceso del desarrollo del software, mediante el conjunto de etapas básico de un ciclo de vida del mismo. Dichos pasos, conformarán de manera documentada, no sólo cual es la lógica de su construcción, si no que además permitirá una comprensión de su funcionamiento y consistencia en la implementación.

### 4.1 Elaboración de requisitos

En esta primera etapa, se realiza un conjunto de elementos básicos a considerar, una vez se pase a la fase de diseño del software. Durante esta etapa, se toman necesidades básicas que conforman el conjunto de elementos dando funcionamiento al sistema por desarrollar. En la declaración de posición se definirán los usuarios, los escenarios de interacción con el sistema, las propuestas a considerar, entrevista y su análisis, para finalizar con las épicas e historias de usuario.

#### 4.1.1 Declaración de posicionamiento del producto

Se formula una declaración que nos permita realizar una breve descripción sobre como posicionar, el producto de software cual se está desarrollando. Esta formulación está basada en la metodología “Crossing the Chasm” [Moo91], permitiendo dar a entender de que se trata, para quienes va dirigida y cómo queremos darla a entender.

El ejercicio se basa en contestar la siguiente declaración:

***“Para:  
quienes:  
el:  
es:  
que:  
A diferencia de:  
nuestro producto:”***

Donde al contestar logramos obtener:

**Para** profesores,  
**quienes** deseen usar un proceso de optimización geométrica de un tubo basado en sus modos acústicos,  
**el** Optimizador Genético  
**es** una herramienta de software en C++

**que** mediante el uso de Algoritmo Genético, usar un desglose de problemas tomando una población de elementos desarrollados aleatoriamente y una función objetivo, encontrando al mejor individuo con las mejores características que lo definan geométricamente.

**A diferencia de** Global Optimization Toolbox desarrollado por matlab,

**nuestro producto** será para uso libre con adaptación de ajustes adicionales y propuesta operacional con una arquitectura que permita ensamble de mejoras hacia otras instancias de experimentación.

#### 4.1.2 Definición de escenarios y usuarios a problemas

Para esta sección, se creará una visión sobre los usuarios del producto, donde se plantea una hipótesis de lo importante en la definición del problema, permitiendo saber la alternativa que poseen junto con la propuesta que se presenta.

Escogemos a tres profesores de las áreas de la investigación que muestran interés del producto a desarrollar:

Nombre	Rol
Cristobal A. Navarro	Profesor / Investigador
Mario Gonzalez	Profesor / Investigador
Eliana Scheihing	Profesora / Investigadora

Posteriormente, se entablan las hipótesis por cada personaje, recreando posibles escenarios hacia un problema, describiendo “Nombre”, “Lo que piensa”, “Lo que ve”, “Lo que siente” y “Lo que hace”, en las siguientes Tablas 1, 2, 3, respectivamente:

Tabla 1 : Hipótesis para Cristobal Navarro

Nombre, rol	Cristobal A. Navarro, Profesor / investigador
Lo que piensa	Cristobal piensa que el optimizador a pesar de que funciona, ocupa mucho almacenamiento y poco rendimiento. Esto es importante porque puede afectar a los resultados junto con los tiempos expeditos de ejecución en el desarrollo de pruebas
Lo que ve	El software con una mediana/alta exigencia, Cristobal ve que el algoritmo genético toma bastante tiempo de ejecución.
Lo que siente	Cuando se ejecuta el AG, Cristobal siente impaciencia. Porque la velocidad de ejecución debe ser prudente según la exigencia puesta.
Lo que hace	Cristobal realiza pruebas de 10 veces por distintos niveles de exigencias. Cristobal gasta aproximadamente 2,5 horas en promedio para probar 1 nivel de exigencia

Tabla 2 : Hipótesis para Mario Gonzalez

Nombre, rol	Mario Gonzalez, Profesor /Investigador
Lo que piensa	Mario piensa que el resultado de los modos acústicos son incompletos. Esto es porque la geometría ocupada, afecta las condiciones en como se produce la frecuencia mediante una perturbación externa.
Lo que ve	El software al producir una población determinada, Mario ve que al ocupar distintas geometrías hay modos acústicos que no aparecen de manera precisa.
Lo que siente	Cuando prueba una población, Mario se confunde. Porque los resultados para casos determinados varían.
Lo que hace	Mario realiza 10 pruebas en la optimización por 5 poblaciones distintas. Mario gasta 45-95 minutos aproximadamente por población ejecutada en la búsqueda de buena precisión

Tabla 3 : Hipótesis para Eliana Scheihing

Nombre, rol	Eliana Scheihing, Profesor /Investigador
Lo que piensa	Eliana piensa que la distribución de elementos aleatorios no es representativa. Esto es importante porque afecta los conjuntos de probabilidades generados para la optimización.
Lo que ve	El software al generar elementos, Eliana Eliana ve que ocupando herramientas estadísticas pueda mejorar las condiciones de convergencia.
Lo que siente	Cuando prueba los conjuntos aleatorios, Eliana se desorienta, porque siente que estos conjuntos no pertenecen a una base representativa.
Lo que hace	Eliana realiza 20 pruebas en la optimización cambiando de a 2 veces los conjuntos aleatorios. Eliana gasta 10-25 minutos aproximadamente en la ejecución de cada cambio de conjunto.

### 4.1.3 Propuestas de acoplamiento

Mediante la definición de hipótesis, sobre los posibles problemas a enfrentar los usuarios, se describen los escenarios, alternativas que solucionan y proponen valor, en la siguiente Tabla 4.

### 4.1.4 Entrevista y análisis de resultados

Para la elaboración de entrevistas, donde las preguntas permitan descubrir no sólo a los usuarios, también a los escenarios y alternativas existentes. Por ello es importante validar las hipótesis elaboradas permitiendo en pasos posteriores, la generación de más instrumentos que verifiquen lo que se desarrollará.

Tabla 4 : Generación de propuestas para los usuarios.

Escenarios Problemas	Alternativas Actuales	Propuesta de Valor
Cristobal como profesor patrocinante además de ser especialista y Doctor en las áreas de la computación de alto rendimiento, nota problemas de rendimiento que causa la generación de soluciones acotadas sobre una optimización	Por lo que en primera implementación, ve necesario ocupar un equipo con altas prestaciones computacionales, para entrega de resultados	Agilizar el procesamiento, mediante librerías de paralelismo para agilizar procesamientos complejos.
Mario como profesor copatrocinante además de ser Doctor en las Áreas de la física, nota problemas de precisión en poblaciones pequeñas de elementos.	Por lo que en la implementación tradicional, ve necesario apoyarse en el software Matlab para restricciones acotadas ocupando parámetros automáticos.	Lograr aumentar la población de individuos, Mediante un AG genético personalizado para abarcar más variabilidad en la búsqueda precisa de más modos acústicos.
Eliana como profesora informante además investigadora y Doctora en las áreas matemáticas, nota problemas de representatividad en la generación del conjunto de datos	La implementación de base usa el cálculo de números aleatorios sin alguna base distributiva.	Implementar alguna distribución probabilística, mediante librerías estadísticas para sustentar la generación de datos aleatorios.

Los instrumentos de entrevistas irán orientadas en 3 etapas diferentes por usuarios, donde es necesario tener una hipótesis de la persona y el problema, finalizando con preguntas de información adicional. Dicho instrumento se esquematiza en la siguiente tabla, Tabla 5.

Tabla 5 : Instrumento entrevista a usuarios.

<b>Hipótesis Sobre el Personaje, Preguntas:</b>
<b>Hipótesis sobre el problema, Preguntas</b>
<b>Cierre de la entrevista e información adicional, Preguntas</b>

De las entrevistas se logra desprender los siguientes resultados, comprendiendo que las hipótesis descritas que conforman la necesidad de propuestas a soluciones:

En la entrevista realizada con el profesor Cristobal Navarro, se comprendió que es necesario revisar cómo se contemplan las codificaciones que permiten las operaciones de mezcla, ya que usando transformaciones binarias se obtiene mayor especificación y detalle de un cromosoma, a diferencia de las operaciones realizadas a valores reales. Además, las funciones principales como mutación y cruzamiento ofrecen mayores niveles de mezcla, donde es importante revisar que estos parámetros que ajusten dichos operadores, ya que de eso depende la variabilidad hacia una buena convergencia y diversa población evitando resultados prematuros, como en casos de la búsqueda de óptimos locales y globales. Para ello además, es necesario revisar cómo se inicializan las poblaciones, ya que en los procesos aleatorios no se sabe bajo qué condiciones son producidos.

Con el profesor Mario Gonzalez, fué necesario revisar cuidadosamente los cálculos, debido a que los resultados que se esperan a nivel físico, deben ser interpretados según la respuesta que entregue como resultado, donde los modos acústicos relacionados a las frecuencias naturales, siendo ambas dependientes de su geometría. Para el proceso de optimización, se espera buscar una respuesta a nivel de frecuencia que mejor se ajuste en el tubo, bajo la restricción geométrica que pueda contener al sintonizar modos acústicos siendo la más cercana a la fundamental, esperando ser una condición ideal en lo propuesto.

Con la profesora Eliana se reconoce que desde los puntos iniciales, se puede lograr procesos de convergencia, basado en el desarrollo de cálculos matemáticos, logrando ser competitivo en tiempos de ejecución para la entrega de resultados comparativos.

#### **4.1.5 Definición de épicas e historias usuarias**

La construcción de épicas, que permite al desarrollador, tener una noción guía de construcción del software, como metas u objetivos preliminares de las distintas fases de desarrollo.

Por ello se usará el siguiente instrumento, en Tabla 6 como plantilla en la creación de épicas, describiendo una historia junto con algunos criterios que validen un procedimiento como terminado, siendo esta historia la que cumpla con las expectativas.

Una vez descrito el instrumento de definición de épica, se definirán las historias de usuario que estructurarán las épicas en sus respectivas Tablas 7, 8 y 9:

Tabla 6 : Instrumento para definición de épica detallada

Épica: Nombre de la épica

Enunciado de la Historia	Criterios de aceptación
Historia 1	Criterio 1
	Criterio 2
	Criterio 3
Historia 2	Criterio 1
	Criterio 2
	Criterio 3

Tabla 7 : Épica, Creación de cromosomas

Enunciado de la Historia	Criterios de Aceptación
Yo como desarrollador necesito un diseño de codificación para representar un cromosoma en un algoritmo genético	En caso que el codificador sea ejecutado, el sistema deberá transformar un valor real a binario
	En caso que el codificador sea ejecutado, el sistema deberá encontrar la cantidad de bits adecuada a la transformación.
	En caso que el codificador sea ejecutado, el sistema deberá proceder con el proceso de cruzamiento del Algoritmo genético
Yo como desarrollador necesito un diseño de creación aleatoria de individuos	Dado que necesito generar población de tubos, cuando requiero una función aleatoria inicial, el sistema deberá ocupar una librería específica para generación de individuos.
	Dado que necesito un número aleatorio, cuando sea invocada dicha función dentro de un rango, el sistema deberá retornar un número cualquiera dentro del rango escogido.

Para esta épica de la Tabla 7, se dará una propuesta de diseño en la sección 3.2.2



Tabla 8 : Épica, Ejecución y convergencia

Enunciado de la Historia	Criterios de Aceptación
Yo como investigador necesito algoritmo genético, con la finalidad de buscar un tubo sintonizado a nivel geométrico	Dado que necesito un tubo acústico, cuando sea ejecutado, el sistema deberá solicitar la cantidad de tubos a buscar.
	Dado que necesito un tubo acústico, cuando ingrese la cantidad de tubos, el sistema entregará los modos acústicos encontrados.
Yo como investigador necesito un Algoritmo Genético, con la finalidad de investigar los criterios de convergencia	Dado que necesito un optimizador, cuando sea ejecutado el algoritmo genético, el sistema deberá solicitar la probabilidad de cruzamiento.
	Dado que necesito un optimizador, cuando sea ejecutado el algoritmo genético, el sistema deberá solicitar la probabilidad de mutación.

Tabla 9 : Épica, Inicialización específica

Enunciado de la Historia	Criterios de Aceptación
Yo como investigador necesito un modelo matemático, con la finalidad de concretar una base inicial como conjunto de datos para el algoritmo genético	Dado que necesito un tubo acústico, cuando sea ejecutado, el sistema deberá solicitar la cantidad de tubos a buscar.
	Dado que necesito un tubo acústico, cuando ingrese la cantidad de tubos, el sistema entregará los modos acústicos encontrados.

## 4.2 Diseño lógico funcional del AG

Para esta etapa, se presentará modelos de representación lógica que permitan al usuario o para desarrolladores, comprender las representaciones de datos, esquemas genéticos, esquemas funcionales de operadores genéticos y análisis de datos, que dan a conocer el conjunto de pasos que requiere el software para la entrega de información, además de revisar de manera estructurada cómo este se ajusta hasta su convergencia.

### 4.2.1 Modelo lógico y conjunto de procedimientos

En esta sección, mediante un diagrama estructurado estático tipo UML, detallaremos a nivel general el sistema través de sus atributos, operaciones y como éstos se relacionan, para conformar la lógica tras su desempeño hacia el desarrollo y posterior ejecución. El siguiente diagrama de clases entregará la información necesaria, que describe mediante estados de asociación y agregación en la Fig. 3.

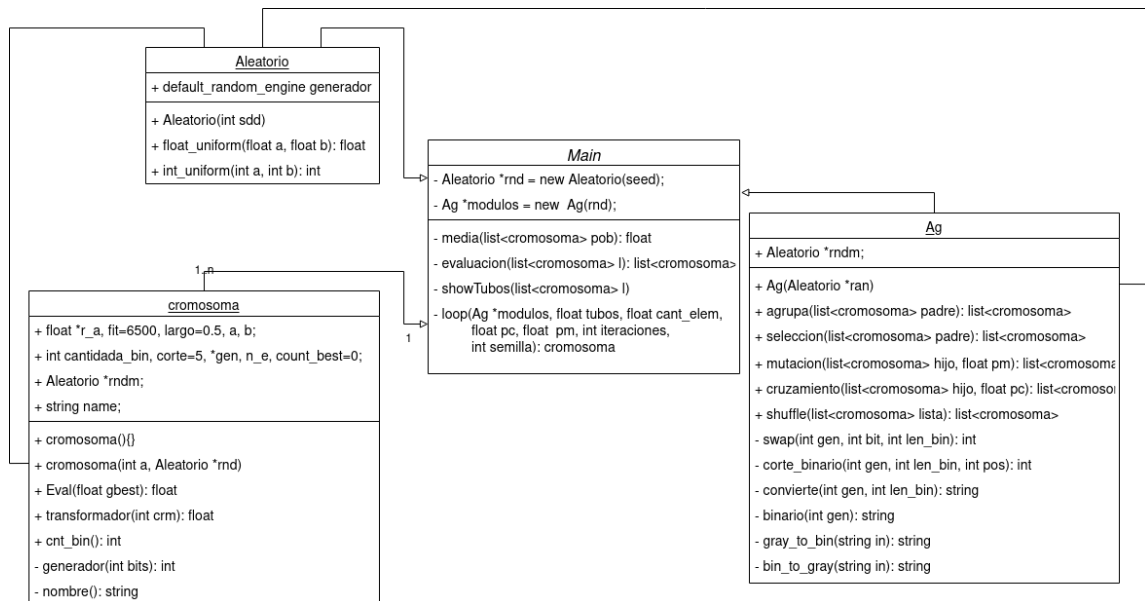


Figura 3 : Diagrama de Clases del Software.

Bajo la estructura lógica la cual define el funcionamiento del software, el algoritmo sigue el siguiente conjunto de pasos:

1. *Inicia población de tubos*
2. *Evaluación*
  - a. *Desarrolla FEM para cada tubo iniciado.*
  - b. *calcula norma euclidiana para conjunto de modos acústicos óptimos por tubo.*
  - c. *Compara el valor de ajuste euclidiano del tubo evaluado con el mejor seleccionado.*
3. *Selección de tubos*
4. *Cruzamiento de tubos*
5. *Mutación de tubos*
6. *Evaluación*
  - a. *Desarrolla FEM para cada tubo*

- b. *calcula norma euclidiana para conjunto de modos acústicos óptimos por tubo.*
- c. *Compara el valor de ajuste euclidiano del tubo evaluado con el mejor seleccionado.*
- 7. *¿Alcanzamos la cantidad de iteraciones?*
  - a. *Si, Terminamos, retorno mejor tubo*
  - b. *No, Vuelvo a paso 3*
- 8. *Imprimir resultados de mejor tubo.*

Mediante un proceso de asociaciones, se tiene acceso a las otras clases mediante la principal “Main”, que al ser la que junta todo el proceso lógico, recibe como input los parámetros de funcionamiento para el algoritmo genético respectivamente los cuales son: población, cantidad de elementos formas, probabilidad de cruzamiento, probabilidad de mutación, generaciones y semilla. Dentro de la clase “Main”, existe una función principal privada llamada “loop”, que lleva las entradas y una referencia de la clase “Ag”, conteniendo al mismo tiempo en su constructor, una referencia al proceso aleatorio mediante dos funciones de distribución uniforme de formato entera y flotante en la clase llamada “Aleatorio”. El constructor de ésta clase, recibe como parámetro el uso de una semilla para así replicar experimentos, como también sólo hacer uso de pruebas fuera de lo determinista.

Una vez que se lanza este evento “loop”, se procede a generar las poblaciones a partir de la clase “cromosoma” con parámetros de la cantidad de elementos de forma y una referencia de la clase “Aleatorio” asociada a “Ag”. Una vez generadas las poblaciones, se ocupa la función “evaluacion” de la clase “Main” con parámetro de entrada poblacional, la cual desarrolla el proceso de elementos finitos por individuo junto con la comparación del mejor individuo ajustado. Finalizada la primera evaluación, sigue la iteración de forma repetitiva al procesar los operadores de “selección”, “cruzamiento” y “mutación” de la clase “Ag”, para posteriormente continuar con la “evaluacion”, esto es, comparar y finalizar si las iteraciones de generación terminan. Cabe mencionar que los operadores de “selección”, “cruzamiento” y “mutación”, poseen sus propios parámetros de ingreso descritos en la Fig. 3, permitiendo trabajar con las poblaciones respectivamente.

#### **4.2.2 Representación de datos**

Dentro de los procesos funcionales del software, es necesario definir que tipo de estructura dato se escogerá para el tratamiento de la información. Por ello se define una “población” de “cromosomas”, por lo que en estos casos hablamos de “tubos”, donde la estructura de dato base a usar será la lista enlazada, dado la flexibilidad que entrega el uso de distintos tipos de datos como registros en su interior por sección de memoria generado (Ver Fig. 4), para así en revisar, estudios posteriores el impacto por sobre el uso de arreglo estático como estructura de dato a nivel de rendimiento.

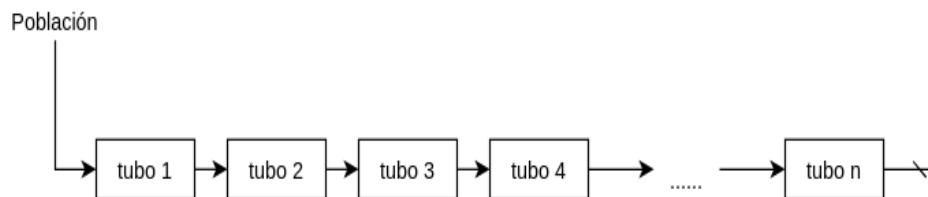


Figura 4 : Lista enlazada poblacional

Una vez definida la lista enlazada (siendo 2 de tipo poblacional, el cual será “padre” e “hijo”), cada tubo de la población, incorpora 2 arreglos unidimensional de tipo flotante y otro entero como atributos de la clase “cromosoma” con largo “cant\_elem”. Dicho largo, define la cantidad de radios que contiene cada tubo. Además cada radio tiene su representación genética para efectos operacionales del algoritmo, siendo esta relación funcional de tipo biyectiva (Ver Fig. 5).

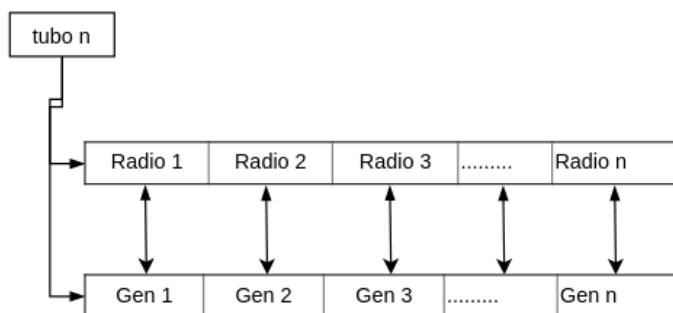


Figura 5 : Arreglos de radios y genes del tubo.

Para el procesos de generación inicial de poblaciones, se ocupa la librería Random, la cual permite crear datos iniciales al contenedor de genes por tubo. De esta manera la población inicial se podrá trabajar con elementos totalmente independientes, a través de una base numérica por distribución uniforme.

### 4.2.3 Esquema genético

Se menciona anteriormente, la base y relación que construye el almacenamiento genético del tubo, por lo que se describirá su representación a través de un esquema funcional, con un conjunto de etapas que hacen consistente la relación y transformación Radio-Gen.

El esquema de representación numérica en la identificación del individuo (que para estos casos será el radio de cada elemento con forma del tubo), será a través de algún tipo

de codificación que permita describir en detalles los genes, al momento de usar los operadores genéticos tales como cruzamiento y mutación. Por ello se usará una estrategia binaria que cumpla con los requisitos de transformación normalizada [IEE08]

La representación binaria es considerada como parámetro principal que caracteriza el radio del tubo, permitiendo ser procesado por los operadores genéticos. Dicha característica forma parte del proceso de soluciones por FEM en la búsqueda del óptimo valor a encontrar por el AG

Para la representación se ocupará una técnica de composición [Mic96], donde se realizan los siguientes pasos:

- 1 Definir cual será el nivel de precisión que se dará a la codificación binaria en un “n” para una base 10 resultando  $10^n$ .
- 2 Tener claro bajo que dominio se realiza el experimento. En otras palabras,  $[a, b] \in D$ , donde “a” es el límite inferior y “b” el límite superior en un conjunto “D”, siendo el largo dimensional del tubo .
- 3 Se denota buscar un número entero “m” para el criterio de representación binaria, a la cantidad de bits a ocupar en el Gen del tubo, que satisface los requerimientos de precisión, según la ecuación (18):

$$(b - a) * 10^n \leq 2^m - 1 \quad (18)$$

- 4 Encontrado el valor de “m”, se puede desarrollar un cromosoma “crm” de orden binario con tamaño “m”, El cual describe la secuencia de identificación del individuo, usando una relación funcional  $decimal(crm) = Gen_i$  .
- 5 Una vez desarrollado el cromosoma de orden binario, se procede al cálculo del radio, el cual conforma la unidad geométrica del individuo, usando una propiedad que satisface los niveles de precisión y órdenes de magnitud cromosómica, mediante la ecuación (19):

$$r_i = a + decimal(crm) * \left( \frac{b - a}{2^m - 1} \right) \quad (19)$$

Tras lo representado en la sección anterior y la actual, se tiene una propuesta de diseño para la generación poblacional aleatoria de orden genético presentado en la Tabla 8, de la sección 3.1.5.

#### 4.2.4 Esquema funcional de operadores genéticos

A continuación, se describirá el funcionamiento básico de los operadores genéticos, los cuales permiten el proceso completo de optimización del software [Tal09][Mic96]. Cabe mencionar que dichos procedimientos cuentan con la lógica de la sección 3.2.1 y asumiremos que los datos ya fueron descritos.

##### 4.2.4.1 Operador de selección

El proceso de selección contempla un desarrollo estocástico en la captación de individuos (tubos), que sean aptos para los próximos procesos genéticos. Por ello se describe la estrategia de selección por torneo, la cual es una de las más conocidas, además de ser sencilla de implementar.

Dicha estrategia consiste en seleccionar  $k$  individuos; el parámetro  $k$  es llamado el tamaño del grupo de torneo. Un torneo es cuando se aplica para  $k$  miembros del grupo, seleccionar el mejor (Ver Fig. 6). Para seleccionar  $\mu$  individuos, el torneo producirá entonces  $\mu$  torneos.

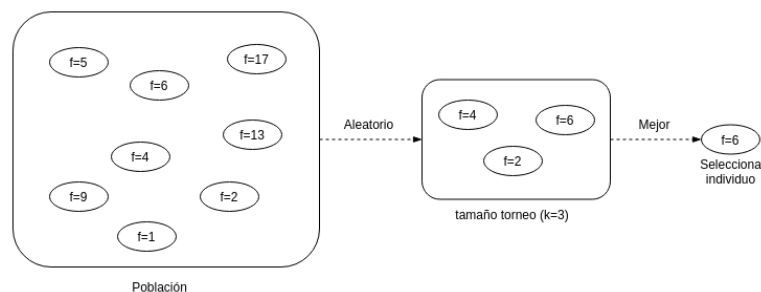


Figura 6 : Estrategia de selección por torneo

##### 4.2.4.2 Operador de cruzamiento

Para el operador de cruzamiento, la estrategia que se usará será la tradicional, la cual consiste en seleccionar a 2 individuos a partir de un listado de pre-selección mediante la probabilidad, para extraer parte de su información genómica, y así recombinarse realizando un intercambio entre el par de individuos. La operación de extracción, consiste en seleccionar una sección aleatoria a lo largo del arreglo binario de los 2 individuos, e intercambiarlas para combinar su composición genética (Ver Fig. 7).

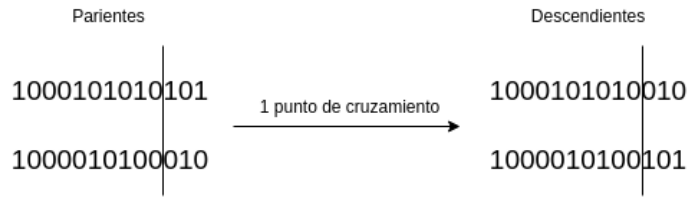


Figura 7 : Estrategia de Cruzamiento usando 1 punto de corte

#### 4.2.4.3 Operador de mutación

Es una estrategia básica, la cual consiste en tomar un bit del de algún cromosoma seleccionado, donde su identificador genómico en relación al individuo de representación binaria, se cambia aplicando operación NOT (Ver Fig. 8), resultando una vez transformado o calculado su notación decimal, un parámetro distinto al inicial. Cabe destacar que el identificador genómico, está estrictamente relacionado con el parámetro de optimización del tubo, el cual es en estos casos el elemento radio.

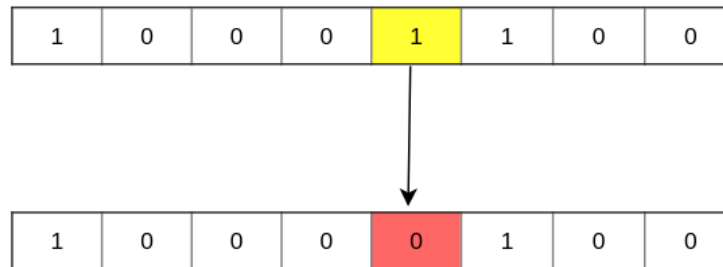


Figura 8 : Esquema de mutación binaria

El proceso de mutación, se recuerda que ayuda a salir de los óptimos locales, saltando a otras posibilidades en la búsqueda del mejor individuo, evitando una convergencia prematura.

### 4.3 Implementación

Esta fase del desarrollo del software, implican muchos desafíos sobre como llevar a cabo la producción del modelo lógico a la codificación. Por ello se describe brevemente cuales fueron las herramientas usadas y sistemas que permitieron lograr con el software diseñado.

### 4.3.1 Recursos usados

Es necesario contemplar, que para los procesos de desarrollo hay que definir una arquitectura donde interactúen las tecnologías a utilizar (Ver Fig. 9).

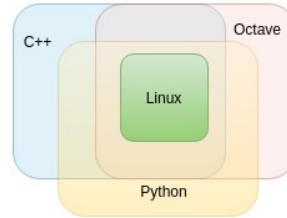


Figura 9 : Arquitectura básica del funcionamiento del SW

A través de esta arquitectura de funcionamiento, otras tecnologías son ocupadas para los procesos de desarrollo, las cuales especificaremos a continuación:

- Github : Control de versiones.
- Visual Studio Code : IDE de codificación para C++, Octave.
- Conda : Entorno de virtualización.
- Jupyter : Hojas IDE de desarrollo y ejecución en python.
- QtOctave : IDE entorno para desarrollo y ejecución en Octave.
- FortiClient : servicio de conexión privada para redes internas.
- FileZilla : servicio de transferencia de archivos tipo cliente-servidor.
- Remmina : servicio de conexión para escritorio remoto.

Se menciona además que para procesos de obtención de datos, con el objetivo de generar información a través de las pruebas, se usó el supercomputador de la Universidad Austral de Chile “Patagon”, además del WorkStation, equipo obtenido desde el proyecto DID S-2018-10, orientado a investigar la optimización de un cajón peruano. Por último se tiene el ordenador personal cual posibilita el trabajo continuo. Especificaciones de hardware para procesos de investigación, Tabla 11.

Tabla 10 : Especificaciones de Hardware

Patagon	Workstation
Procesador:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 2x AMD EPYC 7742 CPU (2.6GHz, 64-cores, 256MB L3 cache)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor (3.8GHz, 12-cores, 64MB L3 Cache)</li></ul>
Memoria Ram:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 TB RAM DDR4-3200MHz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 64GB. RAM DDR4-2400MHz</li></ul>
Almacenamiento:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 TB NVMe SSD PCIe 4.0</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1TB NVMe SSD PCIe M.2</li></ul>



Tabla 11 : Ejemplo representación para salida de datos por el AG

Población	250	Elementos	45	P.Mutacion	0.7	P.Cruzamiento	0.03	Iteraciones	1500	Semilla	1
Generación	Tubo	e1	e2	e3	e4	e5	.....	.....	e(n)	fit	class
1	EGA	0.141967	0.0136222	0.209998	0.124139	0.248463	...	...	0.127302	4788.78	0
1	FDS	0.0224919	0.0275772	0.225313	0.16899	0.134369	..	..	0.0771293	5299.06	0
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
n	BDA	0.112194	0.187675	0.156572	0.01241	0.0739066	..	..	0.0649482	4924.02	5
n	LON	0.23501	0.117368	0.119201	0.149979	0.157903	..	..	0.0531219	4858.33	5

### 4.3.2 Despliegue de información

Para el proceso recopilación de datos, primero se determina el formato de salida para la extracción de información generado por el AG, donde el mismo software se encarga de tabular en archivos \*.csv. El archivo representa los siguientes datos:

- Fila 1: Inputs para el Software ya descritos.
- Fila 2 : Etiquetas que caracterizan el comportamiento a través de las generaciones.
  - Generación: Corresponde a la unidad de generación posicionada por tubo
  - Tubo: Identificador cual posee el tubo en determinada generación.
  - $e_1....e_n$  : Notación cual representa el valor del radio por elemento forma
  - fit : valor de ajuste extraído desde octave por la función de optimización.
  - Class : Cantidad de veces que el algoritmo encuentra un óptimo en alguna generación.
- Fila 3..n : Datos procesados por individuos a través de cada generación en el AG.

Se dirá que la constitución de datos que conforman la estructura del archivo de salida se representan en la Tabla 11.

Para efectos de diferencia por cada experimento realizado, el output de datos es nombrado a través de una serie de tiempo de tipo; “fecha\_hora”.csv, el cual dependiendo de la fase de desarrollo posteriormente, permite agregar el identificador de máquina ejecutada de forma “fecha\_hora\_máquina\_”.csv.

Para el despliegue de los datos tabulados, se recurre al desarrollo en python usando librerías principales de cálculo, tratamiento de datos, representación gráfica, numérica y estadística, logrando flexibilizar en una serie de rutinas para análisis de comportamientos. Para ello, las rutinas que permiten la ejecución de estas tareas, están almacenadas en un archivo .py, las cuales se importan en el Notebook de Jupyter para ser lanzadas posteriormente.

El documento desarrollado en Jupyter comienza con una sección llamada “código base”, que importa rutinas a partir de un archivo “metodos.py”. Para la “Lectura de experimentos” (permitiendo los análisis), se usa función data\_input(), recopilando experimentos terminados, permitiendo informar en formato tablas usando una agrupación de multiparámetros de entrada del AG, para así trabajar en desglose de cuales son los más o menos ejecutados (Ver Fig. 10).

### Código base

```
In [1]: 1 from metodos import lee,data_input,despliega,features,parametros,importa,muestras,minimo,clase,b_fit,best_lo
```

### Lectura de experimentos

```
In [2]: 1 data_in = data_input()
```

```
In [8]: 1 data_in.groupby("Población").size()
```

```
Out[8]: Población
5.0      4
10.0     11
50.0      2
250.0     1
dtype: int64
```

```
In [9]: 1 data_in.groupby("Elementos").size()
```

```
Out[9]: Elementos
12.0      4
25.0      8
35.0      1
45.0      1
50.0      1
65.0      3
dtype: int64
```

```
In [10]: 1 data_in.groupby("P.Cruzamiento").size()
```

```
Out[10]: P.Cruzamiento
0.45      1
0.50      3
0.55      1
0.60      8
0.70      5
dtype: int64
```

Figura 10 : Sección de Código Base y Lectura de Experimentos

Posteriormente, se puede realizar proceso de filtro, buscando aquellos que sean candidatos de análisis al tomar el valor de ajuste final. (Ver Fig. 11)

### Búsqueda de experimentos

```
In [12]: 1 data_in[(data_in["Semilla"]==1)]
```

```
Out[12]:
```

	Fecha.csv	Población	Elementos	P.Mutación	P.Cruzamiento	Iteraciones	Semilla	class	best_fit
3	2022-05-30_20-22-28.csv	10.0	65.0	0.0015	0.5	1000.0	1.0	16	193.261
10	2022-06-19_18-39-46_heart_csv	5.0	12.0	0.0200	0.6	10.0	1.0	0	6315.460
11	2022-06-19_18-40-09_heart_csv	5.0	12.0	0.0200	0.6	10.0	1.0	0	6315.460
12	2022-06-19_18-40-49_heart_csv	5.0	12.0	0.0200	0.6	10.0	1.0	0	6315.460
13	2022-06-19_18-41-45_heart_csv	5.0	12.0	0.0200	0.6	10.0	1.0	0	6315.460
14	2022-06-19_18-56-22_heart_csv	10.0	25.0	0.0200	0.6	50.0	1.0	4	3885.170
15	2022-06-19_19-07-08_heart_csv	10.0	25.0	0.0200	0.6	50.0	1.0	4	3885.170
16	2022-06-19_19-10-18_heart_csv	10.0	25.0	0.0200	0.6	50.0	1.0	4	3885.170
17	2022-06-19_19-16-24_heart_csv	10.0	25.0	0.0200	0.6	50.0	1.0	4	3885.170

Figura 11 : Búsqueda de experimentos por filtros

Encontrado algún experimento candidato, se despliega su información y comportamiento, indicando cómo se ajusta a la minimización por las generaciones. (ver Fig. 12).

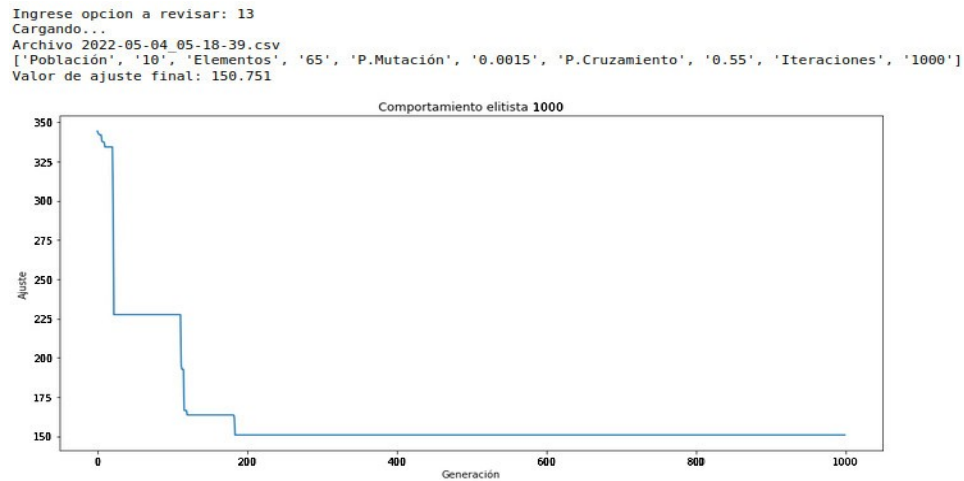


Figura 12 : Revisión de experimento generacional

Luego, se realiza una gráfica, la cual muestra la concentración de radios para diferentes etapas generacionales del mejor individuo (Ver Fig. 13).

### Análisis de radios del mejor individuo

#### Concentración de radios del mejor individuo en diferentes épocas

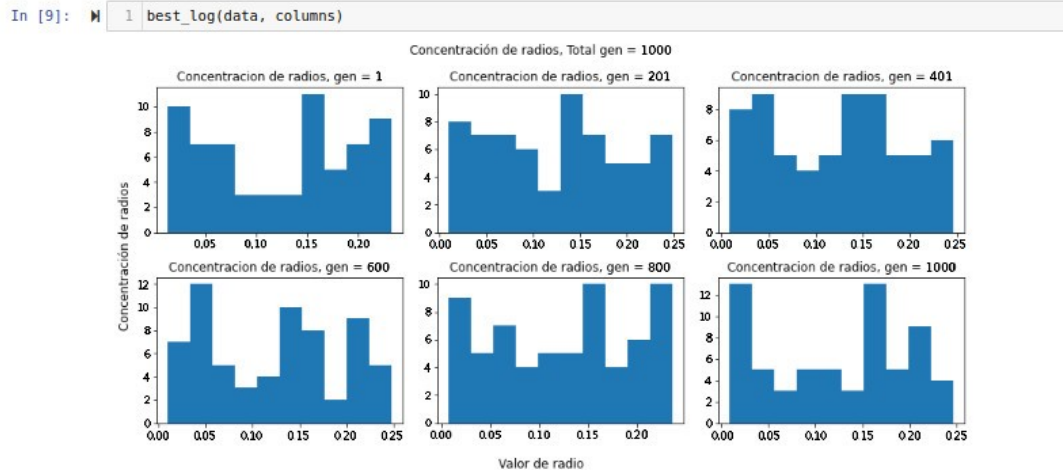


Figura 13 : Gráfica de concentración de radios

Después, generamos algunas estadísticas y gráficas de incerteza con respecto a los mismos datos (Ver Fig. 14).

#### Grado de Incerteza de radios del mejor individuo

```
In [13]: 1 inc = ["Media", "STD", "Asim", "Curt"]
2 ra = ajustes(data, columns)
3 resultados(ra)
4 for i in range(4):
5     incerteza(ra, i, inc[i])
```

Su intervalo de confianza para Media será:

$0.13 \pm 0.01$

Su intervalo de confianza para STD será:

$0.07 \pm 0.00$

Su intervalo de confianza para Asim será:

$-0.11 \pm 0.09$

Su intervalo de confianza para Curt será:

$-1.34 \pm 0.06$

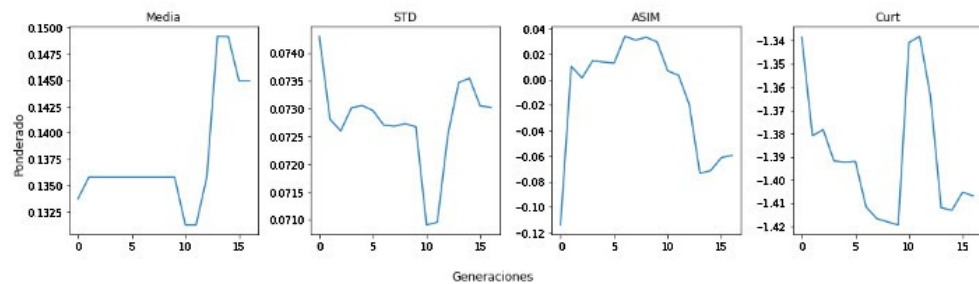


Figura 14 : Gráfica de incerteza con respecto al mejor individuo

Usando, el mismo conjunto de datos relacionadas, podemos graficar la relación de la carga en ejecución, a grupos poblacionales, donde su variación en tiempo está basada en el cambio de elementos de forma (Ver Fig. 15).

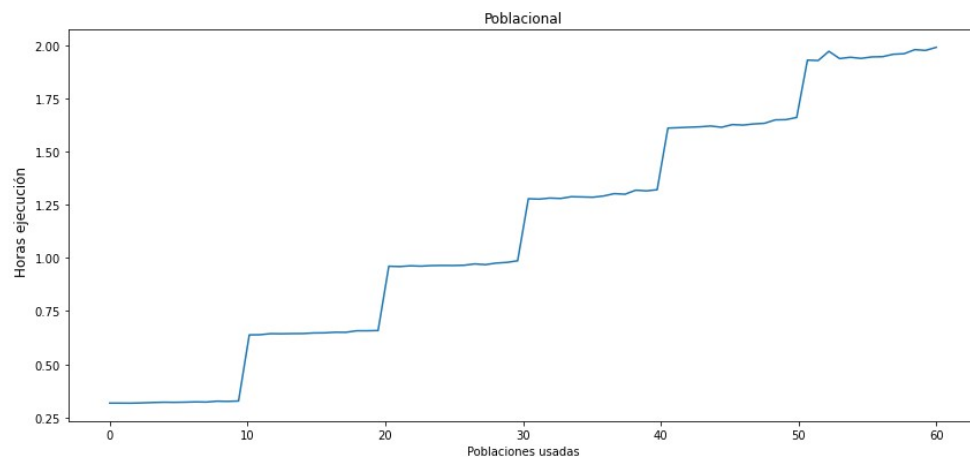


Figura 15 : Relación de tiempo de ejecución por población v/s variación de elementos de forma

Por último, se despliega a través de Octave exportando los resultados, respecto a la distribución de radios, mediante mapas de calor mostrando sus modos acústicos en distintas frecuencias, y una gráfica de resonancias con respecto al fenómeno frecuencial (Ver Fig 16).

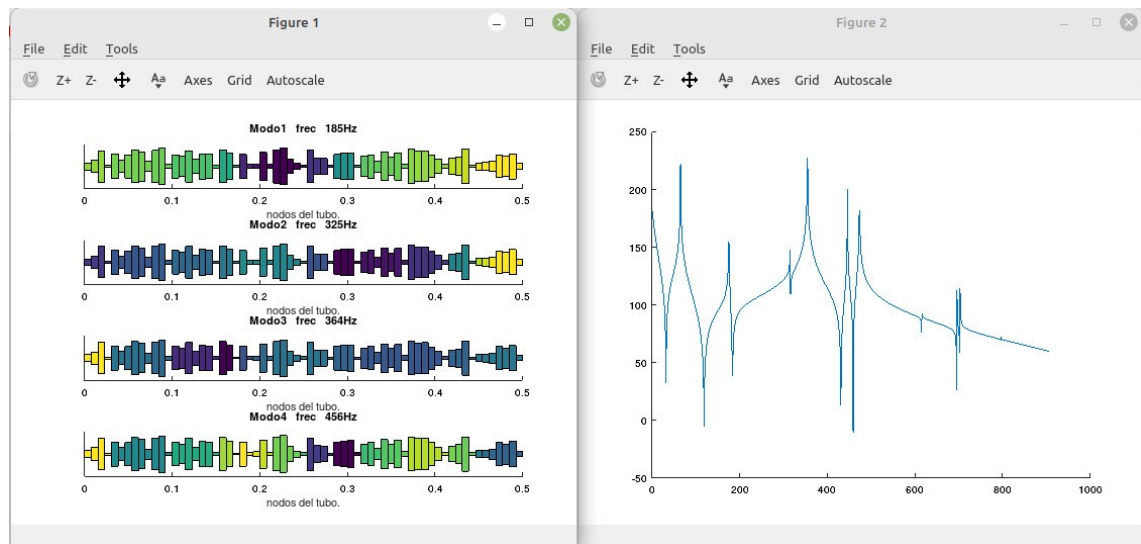


Figura 16 : Gráfica mapa de calor y resonancia con respecto a sus modos acústicos

### 4.3.3 Análisis de datos

Se hizo a través de un documento en Jupyter, el cual permite realizar los análisis usando una rutina de `data_input()`, recopilando experimentos terminados, e informando en tabla por medio de agrupación de multiparámetros de entrada del AG, para así trabajar en desglose cuales son los más o menos ejecutados. Este análisis preliminar, con rutinas de agrupación en la sección “Lectura de experimentos” de la Fig. 10, indica que tanto se ha explorado o explotado algunos multiparámetros para la búsqueda del mejor objetivo.

Considerando que cada experimento se considera finalizado, es interesante saber lo obtenido a partir de sus mejores resultados con los multiparámetros registrados, permitiendo filtrar (Ver Fig. 11), dependiendo de lo que se quiere buscar, donde la mejor respuesta será a través del valor de ajuste obtenido del experimento. Así se puede saber si el experimento además de tener objetivos cercanos a los buscados, permite ser reproducible para futuros análisis.

Una vez escogido el experimento cual se necesita analizar, solamente se escoge directamente su numeración indexada de la tabla, para desplegar su comportamiento generacional del mejor individuo (Ver Fig. 12).

Este gráfico, no solo ayuda a comprender si el AG realmente está optimizando bajo el criterio de minimización, también dice si es lo que se busca dentro de un comportamiento deseado para un software así.

El análisis de convergencia indica como el valor de ajuste cambia en cada etapa de su proceso generacional. Aún así, es conveniente poder saber como los radios se distribuyen a través de las generaciones. Por ello, en la Fig. 13, se puede desplegar la concentración de radios con respecto al mejor individuo, en algunas etapas del proceso generacional. Lo anterior puede ayudar a dimensionar que más se agrupan en la búsqueda del mejor tubo.

Si se aprovecha que el mejor individuo obtiene sus mejores valores en distintas generaciones, entonces se puede calcular su nivel de incerteza a través de estadígrafos, informando, o llegando a validar si el comportamiento que se busca, posee aproximaciones dentro de ciertos rangos como muestra en la Fig. 14, para las generaciones donde el mejor individuo obtuvo mejor valor.

Otra de las informaciones relevantes a analizar, es desplegar la carga en el uso computacional, a través de las variaciones de elementos de formas con respecto a una determinada población, donde se puede ver cuanta es la cantidad de tiempo en ejecución. (Ver Fig. 15).

Por último y no menos importante, saber si encuentra o no el tubo sintonizado, para ello, a través de jupyter, se extraen los radios del mejor tubo a un archivo, para importarlo posteriormente al script de Octave que modela por FEM.

Entregando el resultado, se grafica la temperatura del tubo por elementos de forma y las respuestas de resonancia, donde su relación principal es con respecto a los modos acústicos encontrados (Ver Fig. 16).

## **4.4 Pruebas**

Para esta etapa del desarrollo, la cual contempla un conjunto de criterios para llevar a cabo las pruebas, es necesario haber descrito cuales serán el conjunto de tareas que definan los criterios de aceptación solicitados. Vamos a referenciar las Tablas 8, 9 de la sección 3.1.5, en la generación de instrumentos que especifiquen las funciones necesarias a verificar y validar.

Dicho instrumento (para pruebas técnicas del sistema), será un instructivo además de documentación que especifique el correcto funcionamiento del software, conformando un pequeño catálogo de tareas funcionales (Ver Tabla 12).

Tabla 12 : Catálogo de pruebas funcionales

N°	FUNCIÓN	NF	NT	ESPECIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS
1	Prueba Desarrollo			
		1		<p>Descripción: Ejecución y convergencia</p> <p>Requisitos probados: Compilación exitosa por Make</p> <p>Objetivo: Verificar que el ingreso de parámetros entregue un tubo optimizado</p> <p>Precondiciones: Código en C++ debe haber compilado creando el ejecutable binario, Acceso a terminal desde un equipo con linux</p> <p>Procedimiento de prueba: Se ingresa a Terminal desde Linux, y se ejecuta binario con parámetros de entrada</p> <p>Comando de ejecución de la Prueba: ./exec P E PC PM I SD</p>

Tabla 12 : Catálogo de pruebas funcionales (Continuación)

N°	FUNCIÓN	NF	NT	ESPECIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS
			T1	<p>Prueba a realizar: Ingresando el comando de ejecución en Terminal, el software debe trabajar.</p> <p>Estimulo (acciones a realizar): Ingresar parámetros de entrada</p> <p>Respuesta esperada: Software despliega en pantalla lo ingresado, y comienza a optimizar</p> <p>Comando: ./exec 150 35 0.7 0.02 100 0</p>
		2		<p>Descripción: Inicialización específica</p> <p>Requisitos probados: Compilación exitosa por Make</p> <p>Objetivo: Verificar que el ingreso de parámetros entregue una réplica de un tubo optimizado</p> <p>Precondiciones: Código en C++ debe haber compilado creando el ejecutable binario, Acceso a terminal desde un equipo con linux</p> <p>Procedimiento de prueba: Se ingresa a Terminal desde Linux, y se ejecuta binario con parámetros de entrada con semilla determinada</p> <p>Comando de ejecución de la Prueba: ./exec</p>
			T1	<p>Prueba a realizar: Replicar experimento</p> <p>Estimulo (acciones a realizar): Ingresar parámetros de entrada con semilla determinada</p> <p>Respuesta esperada: Cada misma ejecución, entregue el mismo resultado</p> <p>Comando: ./exec 150 35 0.7 0.02 100 1234</p>

## 4.5 Mantenimiento

En esa etapa del proceso de desarrollo, se contemplan los errores encontrados durante los procesos de experimentación, que derivaron como medidas alternativas para las soluciones que se buscan. Por ello, además no sólo la detección de errores forman parte del proceso de mantenimiento, también propuestas estratégicas para un correcto funcionamiento.



Por último, se define un análisis que determina la metodología ocupada para cumplir los objetivos.

#### **4.5.1 Detección de errores y mantenimiento**

Inicialmente, se contaba con un algoritmo genético, el cual permite optimizar componentes de una función multiobjetivo llamada rastrigin, logrando llegar a resultados de suma exigencia. Las complicaciones surgieron al momento de adaptar dicho algoritmo para un proceso de optimización de mayor orden dimensional usando como condicionante soluciones de aproximación numérica llamado FEM. Tras el proceso de adaptación, es necesario documentar cuales fueron los principales errores además de sus actualizaciones encontrados y qué herramientas se usaron, para su detección y definición de estrategias dirigido a soluciones. Por ello como ejercicio se define una herramienta que permita registrar estas incidencias, generando un histórico así de futuras estrategias a vulnerabilidades, mediante la siguiente Tabla 13.

Tabla 13 : Reporte de incidencias por fallas de código.

N.º Reporte	Fecha Ingreso	Fecha Término	Nombre incidencia	Descripción	Clase Asociada	Función	Herramienta Diagnóstico
001	05-01-2022	28-01-2022	Leak Memory	Fuga de memoria durante ejecución	Aleatorio	Random	- Debug, C++ - Valgrind
002	09-03-2022	18-04-2022	Error Selection	Operador de selección, producía convergencia prematura	Ag	Seleccion	- Debug, C++
003	06-04-2022	06-04-2022	Automatize input	Quita interacción usuaria a ingreso de parámetros	Main	loop	- Debug, C++
004	01-04-2022	07-04-2022	Transform step binary	Salto de valor por acarreo binario	Ag	binario	- Debug, C++
005	22-04-2022	22-04-2022	Error Mutation	Operador de mutación, disminuía los rangos para mutar	Ag	mutacion	- Debug, C++
006	12-06-2022	12-06-2022	Error display increasing generation	Error en despliegue de generaciones	Main	loop	- Debug, C++
007	04-04-2022	08-04-2022	Add Random Uniform distribution	Integra distribución uniforme para números aleatorios	Aleatorio	float_uniform int_uniform	- C++
008	18-05-2022	19-06-2022	Add seed for random	Agrega semilla para reproducción de experimentos	Main Aleatorio Ag Cromosoma	Loop() cromosoma() Ag()	- C++

## 4.5.2 Soluciones y actualizaciones implementadas

A través de la generación de reporte de errores, se ve la necesidad de como documentar las soluciones además de las actualizaciones que se necesitaron por efectos de mantenimiento, especificando las estrategias utilizadas, herramientas o servicios adicionales de diagnóstico y resultados esperados.

Por lo anterior, para efectos de documentación que logren reflejar no solo lo realizado, sino también poder entregar a mayor detalle la incidencia reportada. Se integra la siguiente plantilla en Tablas 14 y 15, las cuales visualizan los procedimientos realizados y conexión con la incidencia registrada en la sección anterior, como ejemplo de algunas operaciones realizadas.

Tabla 14 : Ejemplo de incidencia 001, sección 3.5.1

Reporte de seguimiento	
Nombre Incidencia: Leak Memory	Código: 001
Tipo: Error <input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento <input type="checkbox"/>	
Estado: En Ejecución <input type="checkbox"/> Terminado <input checked="" type="checkbox"/>	
Detalle: Se detalla un uso excesivo de memoria durante la ejecución. Se debió a la declaración constante de una referencia, sin su eliminación antes de finalizar la función que la declara, usando debug y valgrind, se localizó la línea de fuga y se repara agregando instrucción faltante.	

Tabla 15 : Ejemplo de incidencia 007, sección 3.5.1

Reporte de seguimiento	
Nombre Incidencia: Add Random Uniform distribution	Código: 007
Tipo: Error <input type="checkbox"/> Mantenimiento <input checked="" type="checkbox"/>	
Estado: En Ejecución <input type="checkbox"/> Terminado <input checked="" type="checkbox"/>	
Detalle: Se detalla por requerimiento solicitado por Profesor Cristobal, en la necesidad de usar distribución uniforme para generación de números aleatorios. Para solventar además criterios de aceptación de la sección 3.1.5 (Tabla 10), en usar una base generadora de números de tipo estadística.	

### 4.5.3 Análisis y estrategias de convergencia

Para los análisis de convergencia, usamos la metodología de “Análisis de ventana adaptativa” cual propone selección de experimentos [Eib11], mediante un grupo determinado de parámetros que sean consistentes al momento de la obtención de resultados. Por ello, el parámetro inicial a ajustar, estará basado en el valor de ajuste propiamente tal, siendo el resultado final a obtener. Posteriormente como referencia del valor de ajuste que se necesita, sometemos a experimentación un conjunto de poblaciones que nos permitan decir cual es la más idónea a desarrollar comenzando con rangos entre [10~4000] individuos. Al igual que la población, se escoge un conjunto de parámetros relacionados a elementos formas [15,65], a la mutación [0.001~0.01], cruzamiento [0.5~0.8] y cantidad de iteraciones [25~1000].

De los resultados iniciales realizados, se demostró que los comportamientos a nivel radial de las poblaciones, (si bien muestran una cierta estabilidad para el; promedio radial, consistencia, carga y nivel de concentración) no aseguraba una convergencia, debido a que los datos (por su gran volumen de información) tardaban en ajustarse para llegar al valor óptimo.

Posteriormente a estos experimentos, se fueron desarrollando, otras alternativas que no solo aseguran un correcto proceso de optimización, sino también que permiten trabajar lo más sencillo posible. Una de las estrategias fue cambiar el operador de Selección, el cual era de ruleta por uno de torneo, a debido que al realizar un proceso de selección mediante probabilidades condicionadas, no se podía asegurar que el mejor objetivo (por efectos de minimización), salga seleccionado. Mientras que para el operador de mutación se necesitó disminuir la capacidad de búsqueda en desarrollo funcional del mismo, debido que se concentraba en la búsqueda por comportamiento binario a cromosoma, en vez de hacerlo de cromosoma a binario, dejando muy alejada la posibilidad de seleccionar el individuo correcto a mutar.

Una vez ajustados algunos conjuntos operacionales y parámetros de experimentación, se inicia la explotación de rangos más acotados de resultados, logrando llegar al valor optimizado de referencia, donde se espera además junto con librerías de aleatoriedad, que permita replicar los experimentos que sean candidatos a análisis. Así se consigue llegar a un conjunto de parámetros para experimentar con mayor índice de resultados, las siguientes características:

- Población : [10-200]
- Elementos forma: [15 – 65]
- Cruzamiento : [0.5 – 0.8]
- Mutación : [0.01 – 0.03]
- Iteraciones : 1000

## 5 RESULTADOS

En la variedad de posibilidades, el Algoritmo Genético, al presentarse como un proceso de optimización cual con un conjunto de operaciones, realizan combinaciones a determinados parámetros, cumpliendo la restricción de una función que determina un valor de ajuste. Por ello, se realizan reiterados experimentos tras el desarrollo en C++, permitiendo obtener diferentes perspectivas en el comportamiento del mismo algoritmo, para diferentes parámetros.

A partir desde la sección 3.5.3, se elige un conjunto de experimentos basados en parámetros poblacionales, los cuales, permite determinar si se logra llegar al valor buscado, según algunos resultados de referencia por optimizador de Matlab con 64 elementos de forma y 250 generaciones (Ver Fig. 17).

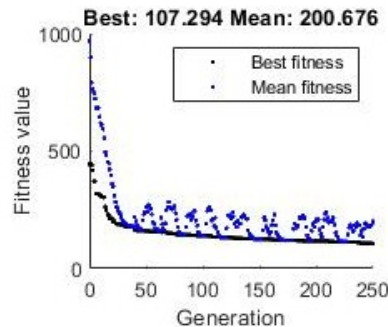


Figura 17 : Valor de ajuste referencia de optimizador realizado por matlab

En la revisión de experimentos, Fig. 12, se logra asimilar gradualmente el comportamiento de un optimizador tradicional, dando valores que tienden al descenso según el resultado que se busca minimizar. Para este conjunto de datos, se usa la estrategia de la sub partición de parámetros, entre los operadores genéticos, población y elementos de formas, con el método del análisis de ventana adaptativa [Eib11], logrando la partición de datos buscados. Por ello, con los resultados a través de la Fig. 18, con los parámetros ajustados se experimenta hacia un comportamiento deseado por un valor de ajuste aproximado por el AG.

Se acuerda además que este proceso de búsqueda, fue tras haber encontrado un valor de ajuste muy prometedor, donde no se hizo uso de semilla y el conjunto de experimentos permitió explorar los parámetros usados, fijando una semilla distinta para así poder reproducir dicho resultado que sea prometedor.

Posterior a los resultados, que permiten verificar un comportamiento deseado del software, se representa la concentración de radios del mejor individuo en algunas generaciones, permitiendo determinar la geometría del tubo que se busca.

Archivo 2022-06-24\_10-17-23\_mirounga\_.csv  
 ['Población', '150', 'Elementos', '60', 'P.Mutación', '0.02', 'P.Cruzamiento', '0.6', 'Iteraciones', '1000', 'Semilla', '15']  
 Valor de ajuste final: 147.638

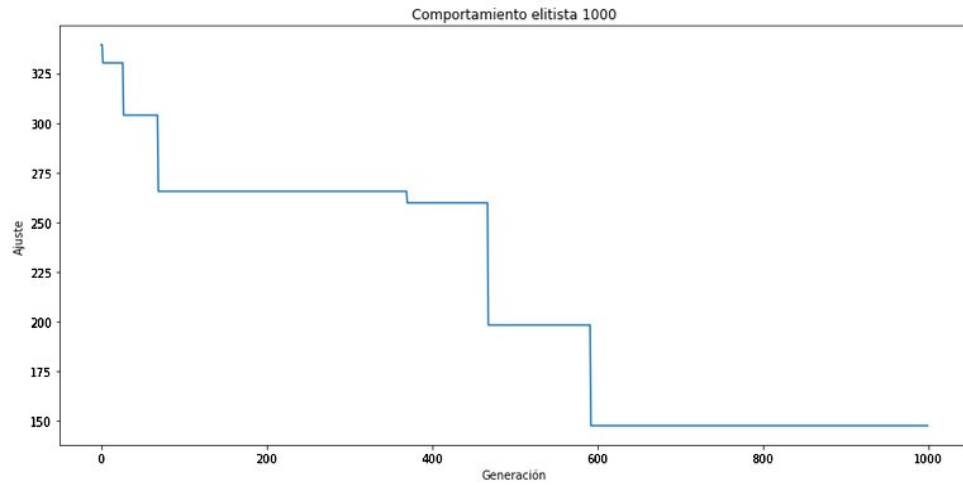


Figura 18 : Comportamiento de convergencia del AG usando FEM

Para éste tipo de búsqueda es necesario, considerar que los mismos datos que corresponden a la gráfica de convergencia, son tomados para la obtención de los radios del tubo (Ver Fig. 19).

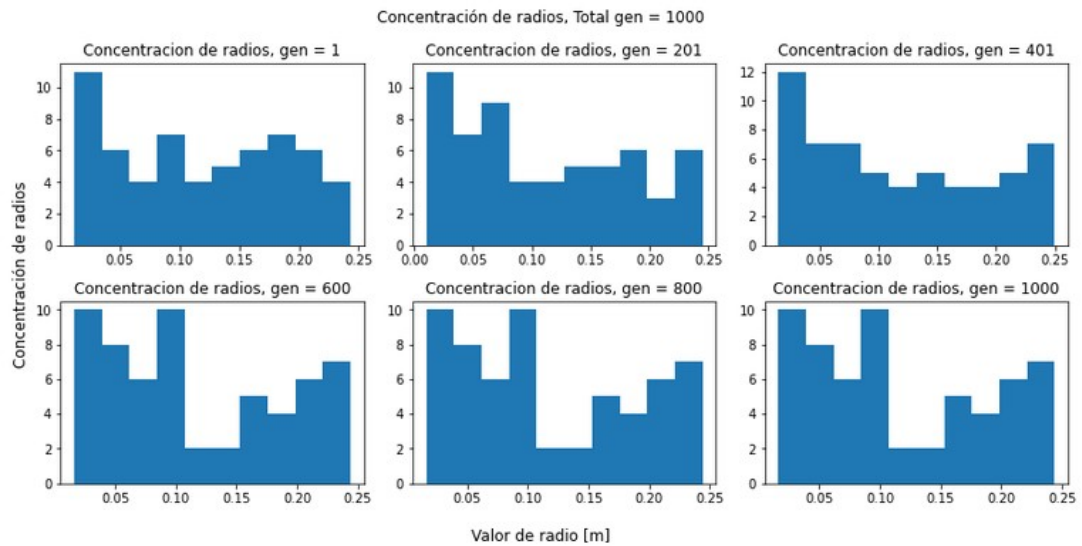


Figura 19 : Concentración de radios respecto al mejor tubo en generaciones.

Basado en la concentración de radios, se puede ver que la experimentación, es casi una distribución de tipo uniforme entre la generación 1 y 401, lo cual se logra ver como opta por poseer una mayor concentración de radios pequeños, separando en otra

concentración para tamaños altos, notando que de cierta forma el tubo se “abre” desde las regiones angostas. Si bien esto puede dar un pequeño indicio de la constitución del tubo, infiriendo en que puede dar una gran probabilidad de existir muchos sectores angostos, también otros pueden ser anchos consecutivamente. Aún así, se puede tener una idea de como éstos albergan una convergencia sobre analizar con más detalle los datos, comprendiendo que tan irregular puede ser este tubo u otro desarrollado.

Debido a la importancia de poder saber que tan precisa pueden ser la obtención de éstos datos, se generan grandes posibilidades en como dar significado a cada cálculo obtenido.

La incerteza conforma uno de los estadísticos que marcan diferencias entre grupos poblacionales a base de distribuciones, por lo que obtener resultados significativos en base a aproximaciones, puede responder algunas preguntas (Ver Fig. 20).

Su intervalo de confianza para Media será:

$0.09 \pm 0.02$

Su intervalo de confianza para STD será:

$0.07 \pm 0.00$

Su intervalo de confianza para Asim será:

$0.31 \pm 0.21$

Su intervalo de confianza para Curt será:

$-1.33 \pm 0.12$

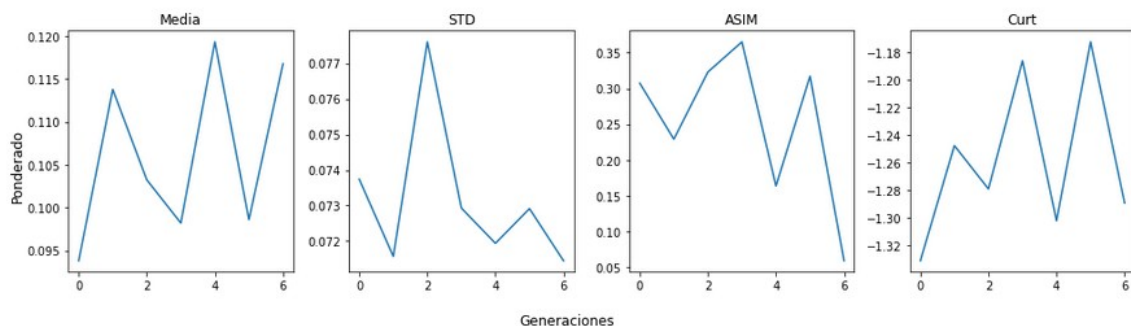


Figura 20 : Gráfico de incerteza con respecto a sus radios.

En los cálculos de incerteza, se desprende que de los radios concretados existe una media a nivel dimensional, lo cual indica que el error es mínimo en diferencias bruscas para su constitución, permitiendo posiblemente ver un tubo irregular con cambios de áreas totalmente suaves a nivel dimensional. Los datos también, muestran una consistencia muy apegada y relacionada al conjunto de experimentación, indicando además que si el nivel de error es nulo, se acierta en pertenencia a alguna distribución que genere esta solución. Su nivel de concentración, demuestra que éstos albergan un punto fijo para valores altos lejanos al eje neutral, por lo que se puede asegurar que los valores son positivos.

En cuanto a que tan concentrados con respecto a su centro, se puede observar que estos se encuentran algo dispersos con respecto a su geometría, lo que no significa que estos no estén relacionados. De hecho es de esperar que estos datos sean así, ya que la idea es que sea un tubo con geometría irregular.

Por último tenemos una gráfica de rendimiento, cual demuestra la carga en tiempo de ejecución (delta ex) que tienen los experimentos y una función de aproximación (aprox ex, Ver Fig. 21). Este resultado muestra cuanta es la dependencia de operaciones en ejecución, de una determinada población (50 individuos para experimentación) en relación a su variación de elementos de forma, donde se escogen experimentaciones a un conjunto ([15,50] U [60,65]) elementos con cambios de 5 unidades, permitiendo decir si efectivamente los cálculos afectan al rendimiento del software. En la obtención de esta gráfica, se observa que los procesos de ejecución por desarrollo y complejidad algorítmica de cálculo son de tipo  $O(n^3)$  [Shm11]. Si se logra saber el nivel de complejidad, podemos proponer una función con ec. (18) que permita aproximar el tiempo estimado de ejecución, según los elementos de forma que se ocupen, siendo “X” en aquella ecuación, la cantidad de elementos de forma ocupados para estimar el tiempo de carga computacional usada aproximadamente.

Usando la relación de tiempo de ejecución de cada experimento, se puede estimar como se comportará el algoritmo en su proceso de optimización.

$$f(x) = 1.55170205 + 2.74730702 * 10^{-3} * x - 4.26911143 * 10^{-5} * x^2 + 3.97190158 * 10^{-7} * x^3 \quad (18)$$

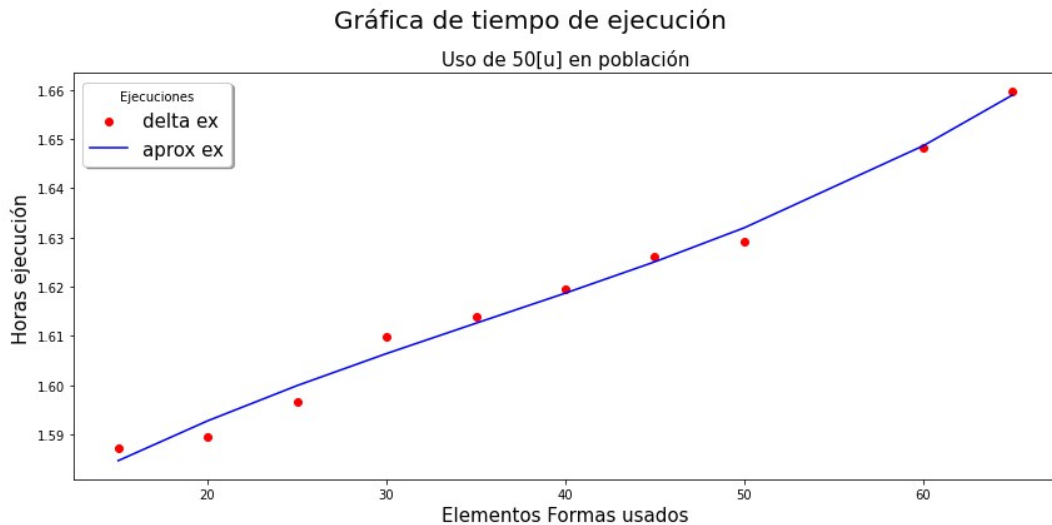


Figura 21 : Cargas de ejecución en horas v/s la cantidad de elementos formas



Con ello, además se puede decir que en la dependencia del proceso de optimización, los cálculos son fundamentales al momento de realizar las operaciones al interior del software, por lo que dada la externalidad de dichas operaciones numéricas, se deja para trabajos futuros el poder optimizar el rendimiento de las mismas.

Para efectos de comparación y relación de resultados, las frecuencias que se esperan obtener a niveles aproximados en la Tabla 16, forman parte del proceso de estudio inicial en [Gon17], cuales permita ir mejorando hasta lograr no sólo con los objetivos si no que determinar otro alcance en frecuencias.

Tabla 16 : Frecuencias objetivo

F <sub>n</sub>	Frecuencia (Hz)
1	350
2	450
3	550
4	650
5	750
6	850
7	950
8	1050
9	1150
10	1250

Por último, se puede hacer una breve demostración de la forma del tubo cual demarca en T° la respuesta de la frecuencia al interior del tubo, junto con otra figura que muestra la respuesta del tubo en su interior (Ver Fig. 22).

El gráfico Fig. 22 de respuesta, indica principalmente las frecuencias de comportamiento del tubo de una senoide con dominio x en largo y con recorrido representado en T°, donde los tamaños de cada sección, corresponden al área del tubo. Luego tendremos la respuesta nivel de resonancia, que contrastan el resultado al interior del tubo que tiene el experimento, siendo peaks altos, los que demuestran lo entregado por el gráfico de distribución radial.

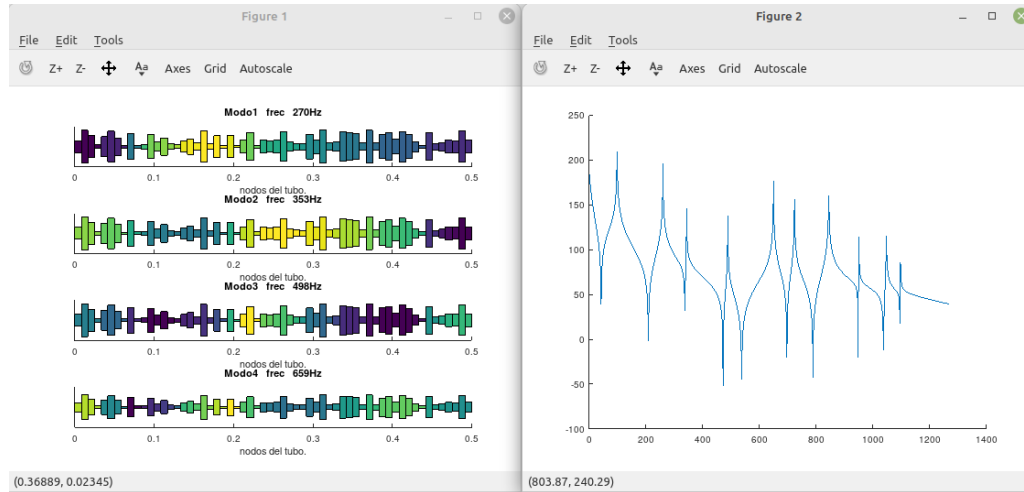


Figura 22 : Gráfica de distribución radial y respuesta del tubo en dominio de frecuencia

La respuesta modal 1, muestra (a través del recorrido en  $T^\circ$ ) el recorrido de un semi-ciclo a través del tubo, sintonizando una respuesta entre  $[0, 0.5]$  a 270Hz. Luego en la segunda respuesta modal 2, representa un ciclo completo a partir del  $[0, 0.45]$  sintonizando dicho resultado en 353Hz. Luego en la respuesta modal 3, resulta una muestra de  $1 \frac{1}{2}$  a lo largo del tubo sintonizando una frecuencia de 496Hz. Por último en el modo 4, se logran representar 2 ciclos siendo entre  $[0, 0.45]$  logrando sintonizar una frecuencia de 659Hz. el efecto de la presión acústica causada por las vibraciones al interior del tubo. En la figura de distribución radial, efectivamente se logra sintonizar 2 frecuencias aproximadas conformando el MODO 2 y el MODO 3, en secciones muy acotadas del mismo tubo (Ver Fig. 22).

## 6 CONCLUSIONES

Para la optimización acústica, existen diversas técnicas operacionales que permiten llegar a resultados aproximados, por lo que para muchos casos son predicciones de diversos sucesos cambiantes. Implementar el Software de Algoritmo Genético que logre el objetivo de minimizar las características de un tubo, permitió determinar en la sección de resultados de la Fig. 21, explicar de manera concisa el comportamiento físico que se desea una vez ejecutado el programa para efectos de experimentación.

Una de las posibilidades entregadas que generaba el desarrollo, es determinar las entradas de datos que comprometen el inicio de procesos del software, además de poder efectuar el acople con otras tecnologías que permitían el cálculo numérico durante el proceso de optimización. Este acople entre C++ y Octave, resultó una de las principales ayudas que permitió el proceso de optimización, logrando llegar a los resultados deseados. Pudimos corroborar, que gracias al acople entre las tecnologías de C++ y Octave se lograron obtener resultados representando a través de histogramas y curvas de incerteza, como estos resultados pueden predecir un posible escenario cual se busca, para posteriormente validar con sus respectivas representaciones de distribución radial y resonancias.

Las posibilidad de generar poblaciones mediante alguna distribución numérica, era uno de los factores relevantes para las distintas operaciones además que comprendían el uso de la aleatoriedad. Por ello, la implementación de generación de números mediante una distribución uniforme, entrega una posibilidad en la obtención base de experimentos. Así determinando además, que consideraciones se tomaron para realizar dichas operaciones. Junto con la implementación de alguna distribución numérica, se implementa el uso de un parámetro fija el proceso aleatorio de dicha distribución, permitiendo además, que los resultados obtenidos puedan ser reproducibles para efecto de análisis.

El factor tiempo si jugó un rol importante al momento de realizar los cálculos, por lo que las gráficas de rendimiento en la sección de resultados, posibilita saber que tanto impacto generan los cálculos, dando así la instancia de desarrollo en optimizar el proceso numérico en rendimiento, dado que el componente tecnológico como el uso y desarrollo de paralelismo en Octave, escapa de los entornos de construcción del software, debido que se necesita profundizar estudio para desarrollos en una plataforma anexa.

## 7 REFERENCIAS

- [Bar13] Barbieri, R., & Barbieri, N. (2013). Acoustic horns optimization using finite elements and genetic algorithm. *Applied acoustics*, 74(3), 356-363.
- [Qux16] Qu, X. J., Liang, H. L., Zhang, B. C., & Cui, X. Y. (2016). Numerical optimization of vehicle noises in multi-peak frequency points based on hybrid genetic algorithm and simulated annealing. *Journal of Vibroengineering*, 18(4), 2613-2625.
- [Yao20] Yao, L., Jiang, G., Wu, F., & Luo, J. (2020). An optimized finite element method for the analysis of 3D acoustic cavities with impedance boundary conditions. *Applied Mathematical Modelling*, 84, 447-465.
- [Bou03] Bouchilloux, P., & Uchino, K. (2003). Combined finite element analysis-genetic algorithm method for the design of ultrasonic motors. *Journal of intelligent material systems and structures*, 14(10), 657-667.
- [Ala07] Alam, M. S., & Tokhi, M. O. (2007). Design of a command shaper for vibration control of flexible systems: a genetic algorithm optimisation approach. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, 26(4), 295-310.
- [Zhu18] Zhu, H., Hu, Y., & Zhu, W. D. (2018). Dynamic response of a front end accessory drive system and parameter optimization for vibration reduction via a genetic algorithm. *Journal of Vibration and Control*, 24(11), 2201-2220.
- [Lin16] Ling, Z., Dongdong, Z., Yinong, L., Shuhong, X., Ye, L., & Guiqian, F. (2016). Topology Optimization of a Constrained Layer Damping Plate Coupled with an Acoustical Cavity. *International Journal of Acoustics & Vibration*, 21(4)
- [Cha18] Chango, J. F., Navarro, C. A., & Gonzalez-Montenegro, M. A. (2018, November). Acoustic Vibration of a Fluid in a Three-Dimensional Cavity: Finite Element Method Simulation using CUDA and MATLAB. In *2018 37th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [Oko14] Okoyeagu, J. A., Torralba, J. P., Chen, Y., & Reuben, R. (2014). Acoustic emissionsource identification in pipes using finite element analysis. In *Proc. of 31 Conf. On European Working Group on Acoustic Emission* (pp. 3-5).
- [Str10] Strek, T. (2010). Finite element modelling of sound transmission loss in reflective pipe. IntechOpen.
- [Moo91] Moore, G. A. (1991). Crossing the chasm: Marketing and selling technology products to mainstream customers. HarperBusiness

[Gon17] González, M.A., Sommerhoff, J.E. & Ramos, C.A (2017). - “Búsqueda de la geometría óptima de un tubo acústico 1D para la obtención de la equipartición modal, a través del método de los elementos finitos y algoritmos genéticos”

[Abd18] Abdullahi, M., & Oyadiji, S. O. (2018). Acoustic wave propagation in air-filled pipes using finite element analysis. *Applied Sciences*, 8(8), 1318.

[IEE08] IEEE, “Standard for Floating-Point Arithmetic”, Accedido el 13 e Julio del 2021, desde: <https://irem.univ-reunion.fr/IMG/pdf/ieee-754-2008.pdf>

[Ram15a] Ramos Romero Carlos A. (2015). “Método de Elementos Finitos un tubo rígido cerrado en sus extremos”

[Ram15b] Ramos Romero Carlos A. (2015). “Método Elementos Finitos para una viga”

[Mic96] Michalewicz, Z. (1996). GAs: Why Do They Work?. In *Genetic Algorithms+ Data Structures= Evolution Programs* (pp. 45-55). Springer, Berlin, Heidelberg.

[Tal09] Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons.

[Shm11] Shmigelskyi, P., Farmaga, I., Spiwak, P., & Ciupinski, L. (2011). Evaluation of computational complexity of finite element analysis using gaussian elimination. *Радиоэлектроника и информатика*, (4), 20-23.

[Eib11] Eiben, Á. E., Hinterding, R., & Michalewicz, Z. (1999). Parameter control in evolutionary algorithms. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 3(2), 124-141.

[Dar59] Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection* (Vol. 247, p. 1859). EA Weeks.

[Fah17] Fahy, F. J., & Gardonio, P. (2007). *Sound and structural vibration: radiation, transmission and response*. Elsevier

## **8 ANEXOS**

### **8.1 Investigación del tema de estudio**

Para iniciar una de las fases más complejas en el proceso de creación de un software, se requiere tener una base teórica que no sólo defina bajo que rutas el trabajo será construido, pues también debe considerar que lo implementado, contempla metodologías iniciales y estándares de funcionamiento, por lo que es importante justificar los procedimientos que se abordan, siendo con objetivos experimentales. La herramienta usada para esta sección fue visitada el 22 de junio desde [www.parsif.al](http://www.parsif.al).

#### **8.1.1 Objetivo y pregunta de revisión**

Una de las etapas que conforma el proceso de estudio base para plantear una solución que define el problema, es una revisión inicial sobre algunas propuestas de trabajo, que demuestran variedad de estrategias que dan sustento al proyecto de título, comenzando por una pregunta de revisión y objetivo, cual plantea la dirección de búsqueda: *“Desarrollar un algoritmo genético para optimizar la geometría de una cavidad acústica tipo tubo para sus mejores modos acústicos”*

#### **8.1.2 Método de revisión**

A continuación, se detalla en diferentes etapas, no sólo la técnica usada hacia este proceso de búsqueda de una refinada revisión que describa la pregunta objetivo, también se desarrolla un conjunto de procedimientos que sistematizan el trabajo realizado.

##### **8.1.2.1 Metodología del proceso de revisión**

En primera instancia, la búsqueda de información que sustente el proyecto mediante una bibliografía, comprenderá el siguiente conjunto de pasos:

- La extracción de palabras clave que dan significado a fuentes de información bajo este nivel de importancia.
- Se ocupa y genera derivación de éstas palabras claves por sus sinónimos cercanas a su significado.
- Se usa operadores lógicos que condicionen los filtros de búsquedas junto a una combinación de relaciones semánticas.
- Definición en criterios de selección para documento candidato tras filtrado.
- Extracción y sistematización de información seleccionada.

Una vez definido el conjunto de pasos, se podrá dejar establecido bajo qué términos se creará este proyecto, permitiendo considerar además posicionar otras visiones y puntos de trabajo que proyecten continuidad en el tiempo.

### **8.1.2.2 Fuentes y estrategias de búsqueda**

Para iniciar el proceso de búsqueda mediante la generación de palabras claves, cual compone uno de los recursos de gran importancia debido que las bibliotecas virtuales, específicamente en documentación académica, recurren a instrumentos de caracterización usando la selección de palabras que resalten los posibles resultados encontrados, con las siguientes sentencias:

"Sounds Properties", "Acoustic Modes", "Acoustic properties", "Frequency properties", "Genetic Algorithm", "Geometric Optimization", "Velocity potencial", "Optimization algorithm", "Sound optimization".

Descritas las palabras claves para los procesos de búsqueda, se define cuales serán las bibliotecas que permitan la extracción de contenidos a través de artículos, usando la biblioteca virtual universitaria como referencia:

[http://www.biblioteca.uach.cl/biblioteca\\_virtual/revistas\\_texto\\_completo.htm](http://www.biblioteca.uach.cl/biblioteca_virtual/revistas_texto_completo.htm)

A partir de esta referencia, se usa algunas de las más conocidas bibliotecas académicas:

- ACM → <https://dl.acm.org>
- Journal Sage → <https://journals.sagepub.com>
- ScIElo → <https://search.scielo.org>
- Web of Science → <https://apps.webofknowledge.com>

### **8.1.2.3 Cadenas de búsqueda**

Usando el conjunto de palabras claves para la extracción de información mediante herramientas de documentación académica virtual, se establecen criterios de contexto organizado y separado entre el “título” y “abstract” además de operadores lógicos, según el nivel de importancia que se necesita para la búsqueda. Dicha separación de contexto, se usó como idea base para las bibliotecas escogidas. Dependiendo de los criterios usados, las variaciones de strings dependerán de la cantidad de iteraciones realizadas en los procesos de búsqueda, además de incorporar otros filtros como medida adicional para refinamiento de resultados en índices. Como recurso adicional tras las distintas iteraciones, se distingue dichos “strings de búsqueda” comprendiendo que la combinación de relaciones semánticas junto con el uso de los operadores lógicos, influye en los resultados esperados.

A continuación mostraremos algunas cadenas de string's por biblioteca con sus resultados en índices de búsqueda y la cantidad de iteraciones realizadas:

- Cadenas para ACM:

[Inicial]

ABS("Geometric Optimization" OR "Acoustic Modes" OR "Acoustic Properties" OR )  
AND TITLE("Sound Optimization" or "Genetic Algorithm" OR "Optimization  
Algorithm") - 1582 índices

[Final]

TITLE("Optimization" or "Genetic Algorithm" OR "Finite Element Analysis") AND  
ABS("Natural Frequency" OR "Acoustic" OR "Modes") – 37 índices  
{Usando filtro de fecha 01/01/2015 TO 01/31/2021}

Cantidad de iteraciones = 11

- Cadenas para WOS:

[Inicial]

TI=(optim\* OR "genetic algorithm" OR "Finite Element Analysis") AND  
AB=((cavity OR shape OR geomet\*) AND frequen\* ) - 3372 índices

[Final]

TI=((optim\* OR "genetic algorithm") NEAR ("Finite Element" OR geomet\* )  
AND AB=("acoustic" OR "modes" OR "Natural Frequency") – 21 índices  
{Usando filtro periodo entre 2015 – 2021}

Cantidad de iteraciones = 16

- Cadenas para SAGE:

[Inicial]

[[Title "genetic algorithm"] OR [Title "geometric optimization"] OR [Title "finite  
elements"]] AND [[Abstract "natural frequency"] OR [Abstract "acoustic"] OR [Abstract  
"modes"]] - 17 índices

[Final]

[[Title "genetic algorithm"] OR [Title "optimization"]] AND [[Abstract "finite  
elements"] OR [Abstract "natural frequency"]] – 17 índices

Cantidad de iteraciones = 5

- Cadenas para ScIElo



(ti:(("Optimization" or "Genetic Algorithm" OR "Finite Element Analysis" OR "GEOMETRY" ) ) ) AND (ab:(("Natural Frequency" OR "acoustic" OR "modes")))) – 19 índices

Cantidad de iteraciones = 1

#### **8.1.2.4 Criterios de selección**

En la selección de documentos, que contengan dentro de sus contenidos las palabras claves buscadas bajo los criterios y filtros de búsqueda, será necesario determinar algunos parámetros que enfoquen el sustento, además de la consistencia de la documentación buscada que ponga en evidencia el proceso de estudio.

Para los criterios, se usará enfoques que incluyan los términos tanto de aceptación, como de exclusión para aquellos que sean o no relevantes como por ejemplo:

- Incluye una implementación de evaluación sistemática.
- Incluye un método o técnica para diseñar un modelo aritmético.
- Incluye una o más palabras claves, tiene un apropiado contenido de investigación.
- No es un Artículo.
- Paper no publicado en los últimos 10 años.
- Paper que incluye palabra clave, pero no redefine el libro de búsqueda.
- Paper que no incluye la palabra clave.

De éstos criterios de selección de documentos, se realizará en la próxima etapa una revisión de sus contenidos, permitiendo extraer algunas referencias relevantes para los procesos de estudios.

#### **8.1.2.5 Extracción de información**

Para la extracción de información, fue necesario hacer uso de una conexión privada (VPN) hacia una red académica, permitiendo acceso de múltiple documentación a las áreas de interés como la biblioteca científica.

Una vez en la red privada mediante credenciales institucionales de tipo educativas, las funcionalidades y prestaciones que tienen cada sitio como proceso de búsqueda, además descarga de documentación, compone un ideal uso en selección de contenidos, filtro de ediciones, cruce de tópicos, autoría, entre otros aspectos dependiendo de la biblioteca escogida. El enfoque a través de la búsqueda de títulos y resúmenes, usando las cadenas de búsqueda y variantes, nos permitirá obtener los resultados deseados.

Es necesario que los sitios escogidos sean lo suficientemente intuitivos, estructurados, entendibles, de rápido acceso, detallados para los índices de búsqueda, descriptivos e informativos, como características principales para poder usar dichas bibliotecas.

Las tecnologías usadas están basadas en las tradicionales, equipo con algún sistema operativo para computador de escritorio/notebook/smartphone, conexión a internet, credenciales institucionales de tipo universitaria u otra particular a la necesidad y prestación de servicio al acceso remoto con conexión virtual de red institucional (VPN).

### 8.1.2.6 Estudios incluidos e excluidos

En los procesos de búsqueda de las bibliotecas virtuales, se obtuvieron 104 resultados, cual se distribuyen en la Fig. 23 con respecto a sus bibliotecas. Se leyeron todos los resúmenes para poder aplicar los criterios de selección, donde se seleccionaron 25 resúmenes leídos. Finalmente se destacaron 7 artículos para resumir y extraer la información relevante como complemento de la investigación, sumando 14 artículos de referencias directas fuera de alguna biblioteca específica, anexas al estudio del objeto y pregunta de revisión.

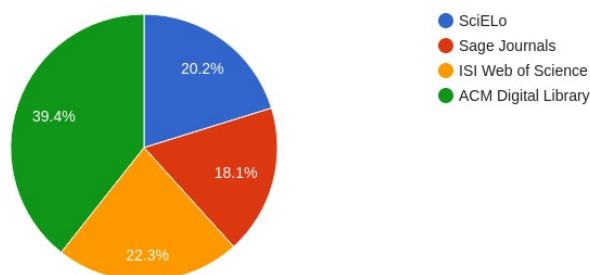


Figura 23 : Distribución de búsqueda según sus bibliotecas

Por otro lado en la Fig. 24, logra demostrar los resultados para procesos de búsqueda según los criterios de selección, donde WOS equipara los resultados de aceptación a los seleccionados, siendo la biblioteca que prioriza selección de búsqueda.

Se puede tomar en relevancia que, para objeto de estudio, a pesar de no ser una metodología muy usada comúnmente por la comunidad científica, las prácticas de optimización con el uso combinado de análisis numérico a base de la búsqueda, comenzaron a ser importantes o demandadas a partir de año 2016 a 2019 donde no se ven actividades según la Fig. 23, donde puede el campo haber sido poco abordado sin tener mayor competencia durante ese periodo, cual no deja de ser una buena posibilidad en la búsqueda de nuevos objetivos de estudio, posterior a estas fechas.

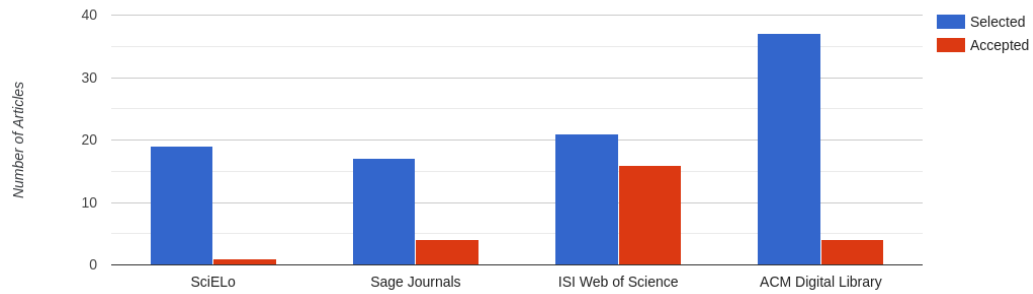


Figura 24 : Concentración de documentación aceptada y rechazada

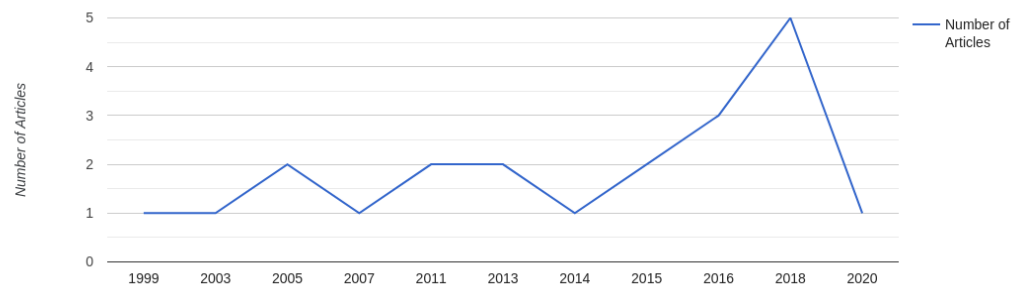


Figura 25 : Gráfica resumen de publicaciones en relación al objetivo de búsqueda

### 8.1.2.7 Caracterización de artículos seleccionados

Para esta sección, las características irán orientado en la descripción de diversos tópicos del artículo seleccionado, detallando algunas descripciones importantes en la búsqueda de información relevante, para el proceso de estudio según la Tabla 16.

### 8.1.3 Principales hallazgos y factores claves

- **Distribución inteligente de los grupos:** Para la constitución del proyecto de forma individual, se contó con el asesoramiento y consejos de profesores patrocinantes e informantes, cuáles usando metodologías de planificación resulta cómodo los desarrollos a nivel sistemático. Los perfiles necesarios para el desarrollo del proyecto son necesariamente, con habilidades de comunicación blandas, gran capacidad de entendimiento-comprensión, pro-actividad y capacidad crítica.
- **Objetivos Comunes y roles definidos:** Uno de los objetivos comunes es la fase de experimentación y validación de avances o resultados, los cuales se integran al estudiante base del proyecto junto con los profesores guías en desarrollo. Para ésto, se definió algunos hitos que permiten tener en cuenta los contenidos que se abordan a través de las etapas planificadas.

Tabla 16: Tópicos relevantes para artículos seleccionados

<b>Código Artículo</b>	<b>Modelo propuesto/Descritos</b>	<b>Herramientas y funcionalidades</b>	<b>Uso y experiencias</b>	<b>Arquitectura y tecnología usada</b>	<b>Hallazgos importantes</b>
[Qux16]	El modelo se basa en la optimización de la propiedad física, en paneles de automóviles a través del cálculo de presión producido por una velocidad acústica causada por vibración	Realizan los cálculos a través de la simulación por modelado analítico con elementos finitos, que define el punto de soldado de la estructura del vehículo en cuestión.	En los usos, permite que las condiciones fronteras, se logren visualizar puntos de presión acoplado con el conjunto de elementos, mostrando además resultados preliminares	Software de simulación para FEM. Uso de AG. Todo bajo uso de licencias privativas.	Se logra los objetivos mediante poblaciones bajas (45).  Los resultados de convergencia son alcanzados a partir de las 240 generaciones.  Taza de Cruce 95%, mutación 5%
[Bar13]	Se basa en el proceso de optimización geométrica mediante la ecuación de amplitud compleja de onda, que logran representar matemáticamente un cilindro simétrico para una bocina acústica.	El desarrollo está en resolver la ecuación de perturbación en relación a la presión de sonora, logrando llegar a la Ecuación Helmholtz para condiciones frontera. Usando la formulación discreta de Galerkin-FEM se obtiene la representación matricial	En las experimentaciones el uso del método FEM-Galerkin, permite caracterizar los errores de la amplitud de onda y fase angular, cuales se relacionan con el periodo y el grado de aproximación del polinomio usado.	No menciona Software y tecnología usada.	Aborda una función objetivo empleada para los análisis con múltiples frecuencias.  Usa parámetros de convergencia referenciados.

<b>Código Artículo</b>	<b>Modelo propuesto/Descritos</b>	<b>Herramientas y funcionalidades</b>	<b>Uso y experiencias</b>	<b>Arquitectura y tecnología usada</b>	<b>Hallazgos importantes</b>
[Yao20]	La modelación se construye a partir de una ecuación de campo variable acústico que resulta una presión, cual objetivo es minimizar el número error de dispersión de onda	Se usará modelo hexaedro para el uso de funciones forma FEM en 3D. Tras esto se usará un algoritmo genético adaptado.	Mediante experimentaciones, usando pequeños parámetros de ángulo, puede entregar mejores resultados en la dispersión de error.	Para el modelado FEM y optimización se usó Matlab R2015b  Se ocupa un equipo Intel Core I7 4GHz para procesamientos	Permitió con variados métodos geométricos optimizar en precisión y convergencia la obtención de mejores soluciones en respuestas frecuenciales.
[Bou03]	A través de la modelación de elementos finitos evalúa la frecuencia de flexión y modos de traslación, relaciona los análisis de armónicos para determinar la amplitud de la vibración, de un actuador multicapa cerámico para un estator	El uso de FEM, permite los cálculos en 2 fases paramétricas, logrando los análisis de combinación de armónicos para el factor de elipse como función objetivo  Para el uso del Algoritmo Genético, describe detalladamente las operaciones realizadas por el mismo software desde la representación de las entradas hasta las pruebas de optimización.	Para los usos, permitió definir estructuras modales de flexión y traslación, generando el análisis de armónicos para el factor de la elipse.  Para ello se necesario usar FEM en cada estructura modal que permita combinar dichos análisis estructurales.	Modelado del conjunto de elementos discretos (FEM) se usó ATILA,  Para el uso del algoritmo genético se desarrolló desde la base teórica citada en texto.	Permitió encontrar las dificultades en diseño y tecnologías no incluidas en las limitadas mejoras de rendimiento.  Establece el equilibrio de los procesos generacionales del AG encontrando un caso de estudio de los procesos de convergencia en basado en su rendimiento.

<b>Código Artículo</b>	<b>Modelo propuesto/Descritos</b>	<b>Herramientas y funcionalidades</b>	<b>Uso y experiencias</b>	<b>Arquitectura y tecnología usada</b>	<b>Hallazgos importantes</b>
[Ala07]	<p>A través de la superposición de un sistema de vibración, determinan los modelados de la frecuencia para los niveles residuales de vibración de rotores.</p> <p>A través de estos modelos de sistemas de vibración se escogen conjuntos que son integrados en un algoritmo genético con estrategia de valores de ajuste compartido</p>	Se ocupan dos modelos de vibración tales son la Zero y la Zero derivada, cuales entregan los tiempos de localización y amplitudes a través de los impulsos, donde estos son los que se buscan optimizar	<p>Su implementación básica, se define un esquema cual modelo se basa a través de los cálculos realizados por las tasas de golpes del sistema, amplitudes y tiempos de localización obtenidos por el método de copartición de valores de ajuste por parte del AG.</p> <p>En los usos se establecen criterios y restricciones que ajustan una buena estrategia de convergencia por parte del AG</p>	<p>Los modelos son basados en un esquema experimental de un sistema motor gemelo multientrada y multisalida.</p> <p>Para el Algoritmo genético se ocupa software experimental referenciado en literatura.</p>	De las pruebas realizadas entrega recomendaciones en la tasa de remplazo generacional, numero de generaciones como base para la convergencia
[Zhu18]	Se usará un modelo cual dentro de un conjunto de poleas y autotensionadores, es resuelto mediante aproximaciones nodales numéricas, para luego optimizarlas mediante un Algoritmo genético	<p>El modelado se hace a través del ajuste a una función polinomial, entregando los resultados de ordenes ajustados polinomialmente.</p> <p>Para el Algoritmo genético establece parámetros determinados que permiten la convergencia deseada para los resultados</p>	Para los ajustes se permite entregar los resultados de optimización en función de la frecuencia comprendiendo los fenómenos vibratorios.	<p>Para la arquitectura, ensambla modelos de aproximación con algoritmos genéticos.</p> <p>Software usados no mencionan tecnologías por lo que se asume desarrollos propios por fuentes referenciadas</p>	<p>Se logran encontrar los principales modos de vibración.</p> <p>Los parámetros de convergencia satisfacen los rendimientos y precisiones deseadas.</p>

<b>Código Artículo</b>	<b>Modelo propuesto/Descritos</b>	<b>Herramientas y funcionalidades</b>	<b>Uso y experiencias</b>	<b>Arquitectura y tecnología usada</b>	<b>Hallazgos importantes</b>
[Lin16]	<p>Modelo matemático cual representa los cálculos nodales de las presiones y vibraciones del sonido, en una cavidad acústica usando elementos finitos.</p> <p>Luego de la representación matemática se busca optimizar la presión sonora sobre una superficie de contorno definido.</p>	<p>Las herramientas usadas para el desarrollo matemático es a través de elementos finitos.</p> <p>Para el proceso de optimización se usa un algoritmo genético, donde describe estrategias para su funcionamiento.</p>	<p>La experimentación permitió validar la respuesta por la presión del sonido dentro de la cavidad acústica.</p> <p>Permitió monitorear la presión sonora en el centro de una cerrada cavidad acústica.</p>	<p>No menciona software usado, por lo que se asume desarrollo propio a través de literatura.</p>	<p>Los modelos analíticos muestran una atenuación considerable de la presión sonora dentro de la cavidad acústica.</p> <p>En términos del algoritmo genético, los parámetros usados, permiten futuros estudios sobre las estrategias optadas para la convergencia.</p>
[Gon17]	<p>Desarrollo se enfatiza en el cálculo discreto de un tubo en 1D para un potencial de velocidad.</p> <p>El proceso de optimización, se basa en la obtención de la mejor geometría que refleje la mayor representación de modos acústicos en frecuencias naturales usando un Algoritmo Genético</p>	<p>Las herramientas usadas son cálculos matemáticos por elementos finitos y elementos de contorno para representar la geometría en función de sus propiedades físicas.</p> <p>Define la función para Algoritmo Genético en la entrega del resultado buscado</p>	<p>Se logra representar valores extremos en la no inclusión de absorciones acústicas.</p> <p>Los radios de la representación geométrica del tubo se dejó variable dentro de un dominio acotado.</p>	<p>El software usado es a través de librerías determinadas por matlab</p>	<p>La geometría se torna más compleja a medida que el numero de frecuencias naturales a buscar aumenta.</p> <p>Se descubre que la cantidad de generaciones y población tienen una relación de convergencia.</p>

- Soporte para la comunicación y riesgo del trabajo: Para el registro del conocimiento explícito y tácito, se tendrá en cuenta el desarrollo de clases, talleres, WorkShop como intercambio de información a través del material generado. Por otro lado, tenemos la documentación académica que formaliza y enmarca la definición problema-solución generando conocimiento.
- Mecanismo de retroalimentación: Algunos de los mecanismos usados para los procesos de retroalimentación, son los comentarios a través de los profesores al momento de realizar reuniones, exposiciones que se realicen, donde el público presente demuestra su interés como parte de la interacción de conocimiento, revisiones periódicas de la documentación generada, monitoreo de los avances en las aristas de su construcción y desarrollo, que por último se deja la comunicación como instrumento básico en los lineamientos del proyecto de título.
- Participación y productos valorados: El resultado de la revisión sistemática, entrega buenos insumos, para el desarrollo y comprensión del estudio cual se realiza, indicando que la herramienta de bibliotecas virtuales académicas, potencian y formalizan extraordinariamente el contenido científico, cual no solo genera interés si no que valida en su proceso de difusión dentro de los campos completamente reconocidos.