



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL DISEÑO GENERATIVO EN LA FABRICACIÓN
DE AUTOPARTES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTORES: BRYAM MATEO AUCAPIÑA LANDY
BORIS MAURICIO TUAPANTE BERNAL

TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSC.

Cuenca - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Bryam Mateo Aucapiña Landy con documento de identificación N° 0105822530 y Boris Mauricio Tuapante Bernal con documento de identificación N° 0105036552; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de junio del 2022

Atentamente,



Bryam Mateo Aucapiña Landy
0105822530



Boris Mauricio Tuapante Bernal
0105036552

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryam Mateo Aucapiña Landy con documento de identificación N° 0105822530 y Boris Mauricio Tuapante Bernal con documento de identificación N° 0105036552, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Evaluación de la capacidad del diseño generativo en la fabricación de autopartes”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de junio del 2022

Atentamente,



Bryam Mateo Aucapiña Landy
0105822530



Boris Mauricio Tuapante Bernal
0105036552

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Patricio Calle Guamantario con documento de identificación N° 0103551057, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL DISEÑO GENERATIVO EN LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES, realizado por Bryam Mateo Aucapiña Landy con documento de identificación N° 0105822530 y por Boris Mauricio Tuapante Bernal con documento de identificación N° 0105036552, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de junio del 2022

Atentamente,



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, Msc.

0103551057

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL DISEÑO GENERATIVO EN LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES

En la siguiente investigación se presenta la aplicación del diseño generativo en autopartes; método que, al tener complejidad al momento de construcción de los elementos diseñados, se ocupan modernas tecnologías de construcción como son la impresión 3D y la manufactura CNC, esto con el fin de dar paso a modernas tecnologías de diseño y construcción de autopartes para no así seguir redundando en la aplicación de técnicas tradicionales. Con la aplicación de dicho método de diseño se reducirá varios factores en la fabricación de autopartes, como son costos de producción, tiempo de proceso, material utilizado y peso del elemento; además, se tendrá una mayor fiabilidad en las autopartes diseñadas y fabricadas con este método.

Para lo cual mediante la metodología científica se ha logrado recopilar información relacionada al diseño generativo, sobre las restricciones y esfuerzos necesarios que se requieren para la aplicación del mismo y además se ha logrado recopilar datos sobre el componente de estudio (pedal de aceleración). Además, mediante la metodología de experimentación se pudo realizar un estudio a detalle sobre el pedal de aceleración, verificando así las fuerzas máximas que soporta dicho elemento y su comportamiento; luego, se logró realizar un diseño a detalle de dicho elemento para su posterior aplicación de cargas y restricciones y generación de su diseño generativo en el programa Fusion 360. Finalmente, mediante la metodología de análisis se pudo determinar cuál de los resultados de diseño generativo era el más conveniente a nuestra aplicación; además, mediante el análisis entre el elemento original y el elemento diseñado, se pudo obtener los resultados del estudio realizado.

Palabras Clave: Fusion-360, Diseño, Generativo, pedal, tecnología.

ABSTRACT

**EVALUATION OF THE CAPACITY OF GENERATIVE DESIGN IN THE
MANUFACTURING OF AUTO PARTS**

In the following investigation, the application of generative design in auto parts is presented; method that, having complexity at the time of construction of the designed elements, modern construction technologies such as 3D printing and CNC manufacturing are used, this in order to give way to modern technologies of design and construction of auto parts for not so to continue redounding in the application of traditional techniques. With the application of the said design method, several factors will be reduced in the manufacture of auto parts, such as production costs, process time, material used and weight of the element; In addition, there will be greater reliability in the auto parts designed and manufactured with this method.

For this study, through scientific methodology, it has been possible to collect information related to generative design, of the restrictions and necessary efforts required for its application, and it has also been possible to collect data on the study component (acceleration pedal). In addition, through the experimentation methodology it was possible to carry out a detailed study on the acceleration pedal, thus verifying the maximum forces that said element supports and its behavior; then, it was possible to carry out a detailed design of the element mentioned for its subsequent application of loads and restrictions and generation of its generative design in Fusion 360 program. Finally, through the analysis methodology it was possible to determine which of the generative design results was the most convenient to our application; in addition, through the analysis between the original element and the designed element, it was possible to obtain the results of the study carried out.

Keywords: Fusion-360, Design, Generative, pedal, technology.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN II	
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
INDICE DE CONTENIDOS	VII
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCIÓN	16
PROBLEMA.....	17
Antecedentes	17
Importancia y alcance.....	17
Delimitación.....	17
OBJETIVOS	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO 1	19
1.1 Introducción	19

1.2	Análisis de lo que implica el diseño generativo en el proceso de fabricación de componentes.....	19
1.2.1	¿Qué es?	19
1.2.2	¿De dónde viene?.....	20
1.2.3	¿Porque se creó?	21
1.2.4	¿Para qué se creó?.....	22
1.2.5	Ventajas.....	23
1.2.6	Desventajas	25
1.2.7	Aplicaciones.....	25
1.3	Análisis de los esfuerzos a determinar necesarios para la aplicación del diseño generativo.....	27
1.3.1	Fuerza.....	27
1.3.2	Cargas estructurales	27
1.3.3	Restricciones estructurales.....	28
1.3.4	Factor de seguridad	29
1.3.5	Curva de Esfuerzo Deformación.....	30
1.4	Pedal de aceleración electrónico	30
1.4.1	¿Qué es el pedal de aceleración electrónico?.....	30
1.4.2	Componentes.....	31
1.4.3	Funcionamiento.....	32

1.4.4	Normativa	32
1.4.5	Pieza a obtener	37
CAPÍTULO 2.....		39
2.1	Introducción	39
2.2	Análisis del comportamiento del pedal de aceleración.....	39
2.2.1	Principio de funcionamiento.....	39
2.2.2	Tipos de palanca	40
2.2.3	Partes de palanca en el pedal de aceleración	42
2.2.4	Comportamiento ante una fuerza en el pedal de aceleración.....	43
2.3	Obtención esfuerzos soportados por el pedal de aceleración.....	43
2.3.1	Proceso de medición de esfuerzos en el pedal ensamblado.....	44
2.3.2	Proceso de medición de esfuerzo únicamente en el muelle.....	46
2.3.3	Resultado de fuerzas soportadas en el pedal de aceleración.....	49
2.4	Determinación de la resistencia del pedal de aceleración original del vehículo.....	50
2.4.1	Propiedades mecánicas de material de fabricación del pedal	50
2.4.2	Diagrama de esfuerzo - deformación del Plástico PA6-GF40.....	51
2.4.3	Evaluación de esfuerzos en el pedal original	52
CAPITULO 3.....		53
3.1	Introducción	53
3.2	Diseñar el pedal de aceleración en el programa Fusion 360.....	53

3.2.1	Diseño del pedal.....	53
3.2.2	Vistas del diseño 3D del pedal original	55
3.2.3	Diseño de piezas obstáculo que requiere el diseño generativo.	56
3.2.4	Ensamblaje de todos los componentes diseñados.....	58
3.3	Aplicación de diseño generativo a la parte diseñada según los esfuerzos que esta soporta.....	59
3.3.1	Selección de material	60
3.3.2	Seccionado de diseño del pedal	60
3.3.3	Diseño generativo del pedal.....	61
3.4	Selección del diseño más apto para su uso.....	66
3.4.1	Visualización y análisis de cada uno de los resultados.....	67
3.4.2	Selección del diseño generativo más apto	73
3.4.3	Vistas de diseño generativo seleccionado del pedal	75
CAPÍTULO 4.....		77
4.1	Introducción	77
4.2	Evaluación de los esfuerzos en la pieza obtenida del diseño generativo.	77
4.2.1	Simulación de tensión estática.....	77
4.2.2	Evaluación de esfuerzos con material plástico ABS (Acrilonitrilo – Butadieno - Estireno).....	80
4.3	Verificación de la eficacia de la nueva pieza obtenida frente a la pieza original.	86

4.3.1	Comparación mediante estudio de tensiones.	86
4.3.2	Comparación mediante el peso de cada componente.	88
4.4	Presentación de posibles soluciones al aplicar diseño generativo en la producción de autopartes.	91
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES.....		94
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXOS		100
Anexo 1:		100
Anexo 2:		101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Códigos de dimensión del pedal utilizado en las normas SAE.....	36
Tabla 2.	Fuerzas aplicadas al pedal.....	50
Tabla 3.	Propiedades Plástico PA6-GF40.....	50
Tabla 4,	Propiedades de resultado 1	67
Tabla 5,	Propiedades de resultado 2	68
Tabla 6,	Propiedades de Resultado 3	69
Tabla 7,	Propiedades de resultado 4	70
Tabla 8,	Propiedades de resultado 5	71
Tabla 9,	Propiedades de resultado 6	72

Tabla 10, Tabla comparativa de resultados 1 y 2.....	73
Tabla 11, Propiedades del plástico ABS.....	80
Tabla 12, Propiedades plástico ABS comercial.....	80
Tabla 13, Estimación de eficiencia de peso con PA6-GF40.....	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso del diseño generativo	20
Figura 2. Caliper Bugatti aplicado diseño generativo.....	21
Figura 3. Diseño generativo con herramientas informáticas	22
Figura 4. Aplicación de diseño generativo	23
Figura 5. Ventajas del diseño Generativo	24
Figura 6. Aprendizaje autónomo para el diseño	25
Figura 7. Aplicaciones de Diseño Generativo	26
Figura 8. Cargas estructurales.....	28
Figura 9. Restricciones estructurales	29
Figura 10. Diagrama esfuerzo deformación de materiales	30
Figura 11. Partes de pedal de acelerador electrónico.....	31
Figura 12. Altura y holguras de los pedales.....	33
Figura 13. Holguras de los pedales.....	34
Figura 14. Dimensiones de la superficie del pedal	34
Figura 15. Separación de pedales y relación con el conductor	35
Figura 16. Separación de pedales.....	35
Figura 17. Suzuki Grand Vitara.....	37

Figura 18. Pedal de aceleración electrónico Grand Vitara SZ.....	38
Figura 19. Pedal de aceleración electrónico	40
Figura 20. Palancas de primer grado.....	41
Figura 21. Palancas segundo grado.....	41
Figura 22. Palancas de tercer grado	42
Figura 23. Partes de palanca en el pedal de aceleración	42
Figura 24. Comportamiento del pedal de aceleración obtenido en laboratorio	43
Figura 25. Prensa Manual	44
Figura 26. Pedal Fijado en banco de medición	44
Figura 27. Interfaz software de medición de fuerza del pedal en máquina de pruebas	45
Figura 28. Fuerza máxima aplicada al pedal de aceleración	45
Figura 29. Pedal electrónico del estudio desarmado.....	46
Figura 30. Muelle fijado al banco de medición	47
Figura 31. Banco de Medición ajustado a la altura del muelle.....	47
Figura 32. Interfaz software de medición de fuerza del muelle en máquina de pruebas	48
Figura 33. Grafica de fuerza máxima aplicada al resorte	48
Figura 34. Presión del banco de pruebas	49
Figura 35. Diagrama de esfuerzo - deformación de PA6-GF40.....	51
Figura 36. Simulación de esfuerzos del diseño original del pedal.....	52
Figura 37. Configuración de imagen del pedal en Canvas en el programa Fusion 360	54
Figura 38. Obtención de medidas con calibrador	54
Figura 39. Vista en perspectiva del diseño del pedal.....	55
Figura 40. Vistas del pedal.....	56

Figura 41. Diseño 3D de soporte del pedal.....	57
Figura 42. Diseño 3D de Anillos guía	57
Figura 43. Diseño 3D de soporte del resorte.....	58
Figura 44. Diseño 3D de guía de recorrido de pedal	58
Figura 45. Ensamble de componentes con restricciones de posición y movimiento.....	59
Figura 46. Selección de material ABS en el programa.....	60
Figura 47. Seccionado de diseño del pedal.....	61
Figura 48. Partes y piezas del pedal con Conservación de geometría, Geometrías obstáculo y Forma inicial.....	62
Figura 49. Restricción estructural en punto de apoyo del pedal.....	63
Figura 50. Cargas estructurales aplicadas en el pedal.....	64
Figura 51. Configuración de objetivos de diseño	64
Figura 52. Configuración de método de fabricación del pedal.....	65
Figura 53. Pre visualización de diseño generativo del pedal	66
Figura 54. Resultado 1	67
Figura 55. Resultado 2	68
Figura 56. Resultado 3	69
Figura 57. Resultado 4.....	70
Figura 58. Resultado 5	71
Figura 59. Resultado 6.....	72
Figura 60. Comparación de resultados 1 y 2.....	73
Figura 61. Nuevo diseño.....	74
Figura 62. Vista en perspectiva del nuevo diseño.....	75

Figura 63. Vistas del nuevo diseño	76
Figura 64. Colocación de restricción tipo pasador.....	77
Figura 65. Colocación de restricción tipo restricción sin fricción	78
Figura 66. Colocación de carga tipo fuerza en punto de fuerza del pedal	78
Figura 67. Colocación de carga tipo fuerza en punto de resistencia del pedal	79
Figura 68. Resolución de la simulación de tensiones	79
Figura 69. Estudio de Factor de seguridad del pedal con diseño generativo	81
Figura 70. Punto donde el factor de seguridad es de 1.323	82
Figura 71. Acercamiento al punto en el que el factor de seguridad es 1.323	82
Figura 72. Estudio de esfuerzos del pedal con diseño generativo	83
Figura 73. Estudio de Deformación del pedal con diseño generativo	84
Figura 74. Curva de esfuerzo - Deformación del ABS	84
Figura 75. Evaluación de Factor de seguridad en diseño original del pedal.....	86
Figura 76. Evaluación de deformación en diseño original del pedal	87
Figura 77. Peso pedal original	88
Figura 78. Peso pedal con diseño generativo.....	89

INTRODUCCIÓN

El diseño de autopartes en general ha ido cambiando a lo largo del tiempo, por lo que se va adaptando a nuevas tecnologías de fabricación. Dado esto, en la actualidad con el estudio previo a la aplicación del método generativo en conjunto con el uso de inteligencia artificial, se puede perfeccionar el diseño de autopartes logrando que un programa de diseño por medio de procesos matemáticos adapte las necesidades de uso y funcionamiento dadas por el diseñador para así crear un elemento adecuado para su aplicación. A este tipo de diseño se le conoce como “diseño generativo”; donde el diseñador realiza un estudio en el que se obtiene todos los parámetros del elemento a fabricar, que al ser aplicados en un software de diseño y por medio de inteligencia artificial, este genere distintos resultados; mismos que el diseñador tendrá que seleccionar según sea la necesidad y aplicación del elemento. Con este método de diseño se genera mejoras en el rendimiento del elemento y grandes beneficios tanto para el diseñador como para el consumidor final del mismo.

PROBLEMA

Antecedentes

Considerando que en el diseño tradicional se creaba diferentes alternativas, se estudiaban y optimizaban elementos mecánicos basados en su funcionalidad (Fransoy, 2020). Sin embargo, esto afecta directamente al tiempo de producción y por ende a la eficacia de los procesos que se realizan para obtener autopartes. Dado la necesidad de ahorro de recursos, mejora y eficiencia de los automóviles se han creado nuevas herramientas para el diseño y construcción de las autopartes para ello existe el método llamado diseño generativo.

Importancia y alcance

Se plantea que, si se sigue empleando métodos tradicionales de diseño, darán resultados muy por debajo de los que se podría obtener en la actualidad aplicando diseño generativo. Por lo que, empleando este método dentro de la producción de autopartes presentaría las ventajas de disminución de tiempo, esfuerzo, material, costo y peso. De igual forma, esta investigación pretende demostrar que el uso de diseño generativo tiene todo lo necesario para la aplicación en vehículos del medio comercial y también en vehículos de competencia.

Delimitación

Con la realización del presente proyecto investigativo se pretende que con los resultados obtenidos se pueda beneficiar al sector automotriz, tanto a empresas que produzcan autopartes, empresas de preparación de vehículos para competencia como a la ciudadanía que son usuarios de vehículos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la capacidad que tiene el diseño generativo en la fabricación de autopartes.

Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte del presente proyecto investigativo con la finalidad de determinar las metodologías necesarias para su desarrollo.
- Analizar las restricciones de apoyo, cargas y normativas relacionadas con el diseño y uso de un pedal de aceleración.
- Diseñar un elemento del pedal de aceleración para su posterior análisis.
- Evaluar los resultados obtenidos para establecer la eficiencia de aplicar el diseño generativo en autopartes.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE DISEÑO GENERATIVO Y SU RELACIÓN CON EL PROYECTO

1.1 Introducción

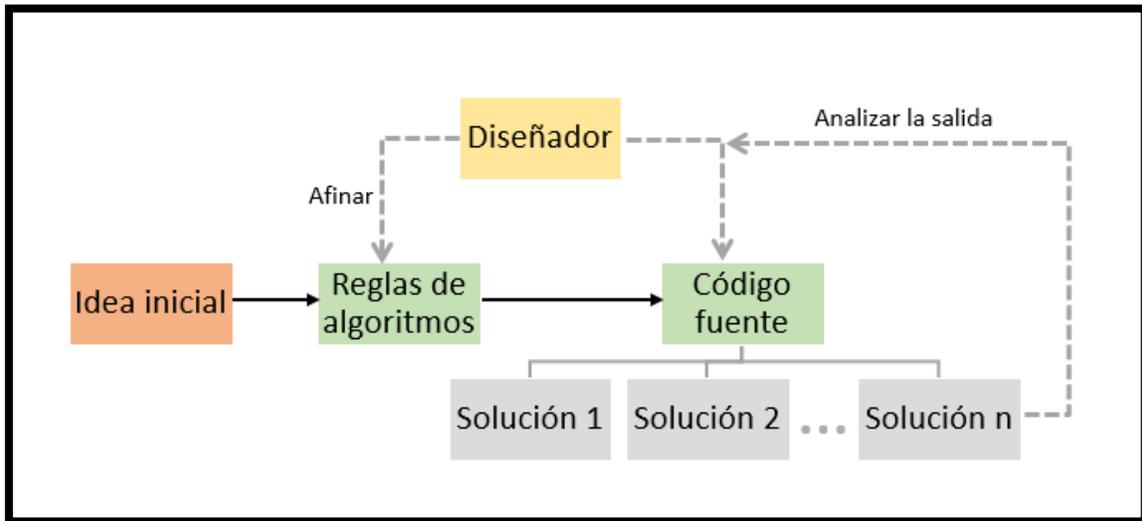
En el presente capítulo se analiza a detalle todo lo que implica el diseño generativo en la fabricación de elementos, partiendo desde su origen, lo necesario para su aplicación y determinando la finalidad que tiene la aplicación del mismo. También, se da a conocer la información necesaria sobre el pedal de aceleración que es el elemento de aplicación del método de diseño.

1.2 Análisis de lo que implica el diseño generativo en el proceso de fabricación de componentes

1.2.1 ¿Qué es?

Según el Umberto Rocorini Osio , el diseño generativo no es más que, el diseño del proceso debido a que el producto final es un resultado autónomo, interactivo y paramétrico del proceso mismo, además es un método de diseño abierto basado en el proceso generativo natural o en su simulación artificial, analógica o digital. (Osio, 2017)

El diseño generativo es un proceso de exploración de diseño iterativo que utiliza un programa de software impulsado por Inteligencia Artificial (IA) para generar una gama de soluciones de diseño que cumplen con un conjunto de restricciones. A diferencia del diseño tradicional, en el que el proceso comienza con un modelo basado en los conocimientos del ingeniero, el diseño generativo comienza con unos parámetros de diseño y utiliza la IA para crear el modelo. (Formlabs, 2021)

Figura 1.*Proceso del diseño generativo**Fuente: (Bohnacker, Laub, Groß, & Lazzeroni, 2019)*

1.2.2 ¿De dónde viene?

A partir de que el diseño generativo es relativamente moderno, este fue creado a partir de un campo donde se conjuga la definición lingüística de Chomsky y ciertos principios de las ciencias de la computación y de la complejidad.

Según la teoría de Chomsky explica que existe una estructura mental innata que permite comprender y producir cualquier enunciado en cualquier idioma natural que conozcamos. Además, esto posibilita que el proceso de adquirir y dominar el lenguaje requiera muy poco procesamiento en el cerebro para ponerse en marcha y se desarrolle casi automáticamente. (Villasante, 2019)

Dado que los ingenieros conceptualizaban y probaban las iteraciones utilizando modelos, bocetos prácticos y teniendo en cuenta lo que anuncia Chomsky prácticamente el diseño generativo viene de emplear técnicas donde el objetivo principal es optimizar tiempo en el diseño y construcción de los modelos a obtener en conjunto con la IA.

Figura 2.

Caliper Bugatti aplicado diseño generativo



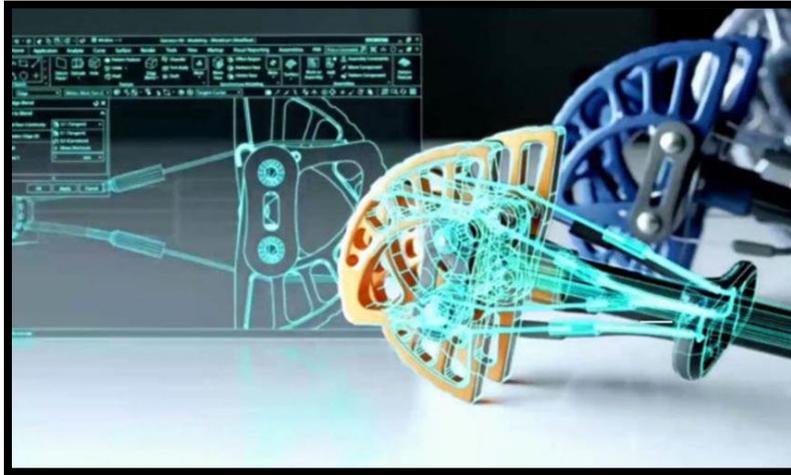
Fuente: (Bureau, 2018)

1.2.3 ¿Porque se creó?

La función del ingeniero ha evolucionado de la mano de la tecnología. A medida que el diseño ha empezado a depender cada vez más de los programas informáticos, entender cómo manipular las herramientas digitales para solucionar los desafíos del diseño se ha convertido en un requisito fundamental para los ingenieros que trabajan en todas las industrias. (Formlabs, 2021)

Figura 3.

Diseño generativo con herramientas informáticas



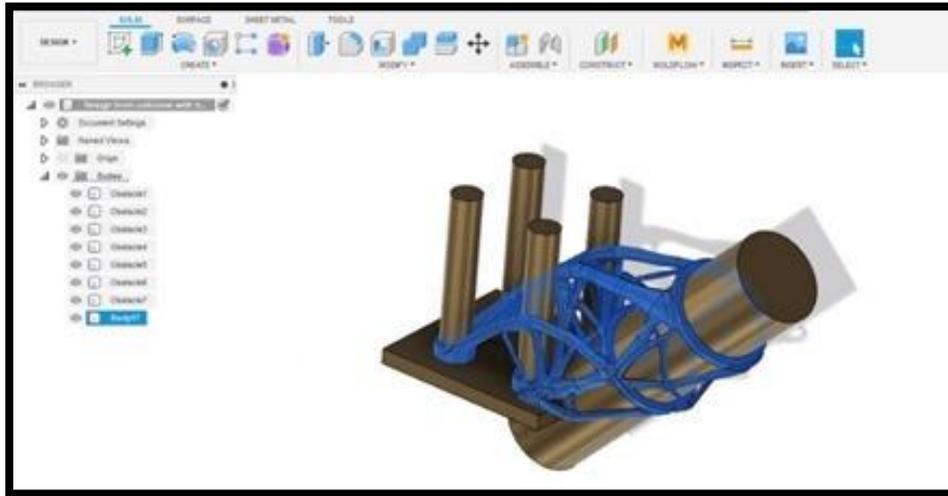
Fuente: (M., 2020)

1.2.4 ¿Para qué se creó?

Se creó para dar un cambio fundamental de los procesos de diseño tradicionales, los ingenieros ya no tendrán que crear soluciones de diseño por sí mismos. En cambio, gracias al diseño generativo, articulan y refinan el entorno en el que las soluciones de diseño pueden tener éxito. Al dejar que los ordenadores "piensen" por ellos, el diseño generativo permite que los ingenieros se puedan centrar en la innovación y en la resolución de problemas de alto nivel. (Formlabs, 2021)

Figura 4.

Aplicación de diseño generativo



Fuente: (Autodesk Support, 2020)

1.2.5 Ventajas

El diseño generativo requiere de aparatos y soportes científicos y tecnológicos; además de un alto grado de experimentación y tiempo de desarrollo. Sin embargo, es mejor que el diseño tradicional debido a que:

- Un proceso generativo se presta para trabajos grupales e interdisciplinarios que sirven a su vez para procesos de formación y aprendizaje.
- El diseño generativo tiene respeto y empatía con y por el entorno.
- Cuando el proceso generativo es realizado tecnológicamente la complejidad del contexto puede ser modelada y parametrizada e insertada en un proceso, lo cual es más difícil con el diseño tradicional.

- Permite la exploración de alternativas creativas que no están al alcance del diseño tradicional, además de explorar nuevos procesos y combinarlos entre sí; impulsando así la originalidad, el uso creativo de las herramientas y el desarrollo de tecnología propia.
- A pesar de que se requiere tiempo para su desarrollo e implementación, luego permite obtener rápidamente variantes de diseño con gran facilidad y rapidez.
- Permite realizar diseños en varios contextos, combinar varios diseños y otras varias técnicas que no se pueden realizar con diseño tradicional.
- Está preparado para la nueva generación tecnológica tales como: equipos de prototipado rápido, la robótica, la creación de nuevos materiales y técnicas constructivas, diseños para realidad virtual e internet. (Osio, 2017)

Figura 5.

Ventajas del diseño Generativo

	Cabezal de herramienta	Soporte	Pistón
1 Pieza original			
2 Diseño generado			
3 Producto de ingeniería			
Descripción	Componente de acero forjado de gran tamaño para herramienta manual. Material de alto costo y difícil de manipular por su peso	Soporte de aluminio fundido. Deseo de reducir costo y peso preservando el perfil original	Pistón de fundición para bomba. Objetivo de disminuir peso y compensar peso y carga en el motor
Tiempo y esfuerzo	1 ingeniero de diseño durante 3 días	1 ingeniero de diseño durante 2 días	1 ingeniero de diseño durante 1,5 días
Impacto	Peso: ahorro de 38% Costo: Disminución de 15%	Peso: ahorro de 26% Costo: Disminución de 8%	Peso: ahorro de 23% Costo: Disminución de 12%

Fuente: (Brossard, Gatto, Gentile, Merle, & Wlezien, 2020)

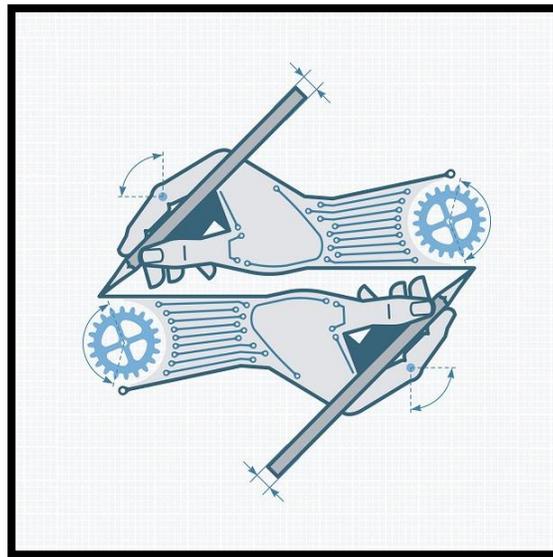
1.2.6 Desventajas

A pesar de que el diseño generativo tiene grandes ventajas respecto al diseño tradicional, una de las desventajas de desarrollar procesos de diseño generativo es que implica invertir tiempo y trabajo de parte de la empresa o del usuario. (Díaz, Herrera, Muñoz, & Atencio, 2020)

Otra desventaja es que hace que los seres humanos sean redundantes ya que su dependencia de la inteligencia artificial ha generado preocupaciones en una sección de la industria. Esto debido a que la función de software para el aprendizaje automático podría reemplazar la necesidad de diseñadores en el futuro. (Mpena, 2020)

Figura 6.

Aprendizaje autónomo para el diseño



Fuente: (Beliz, 2018)

1.2.7 Aplicaciones

El diseño generativo al ser usado para resolver complejos desafíos de ingeniería reduciendo el peso de los componentes y los costes de fabricación, mejorando la personalización de los

componentes y optimizando el rendimiento de los mismos. Este es utilizado en distintas áreas tales como:

- Sector automotriz
- Sector aeroespacial
- Arquitectura
- Equipamiento deportivo
- Realidad virtual
- Robótica
- Medicina
- Otros varios

Figura 7.

Aplicaciones de Diseño Generativo



Fuente: (Autodesk, 2022)

1.3 Análisis de los esfuerzos a determinar necesarios para la aplicación del diseño generativo.

Se deben determinar todas las fuerzas y momentos al cual va estar sometido el elemento a obtener; por ende, para la determinación de dichos datos se parte desde la aplicación de las leyes de Newton.

1.3.1 Fuerza

Definimos una fuerza como toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, o de producir una deformación en él. Una fuerza es la interacción de un cuerpo con algo externo a él y es una magnitud vectorial caracterizada por poseer módulo, dirección, sentido y punto de aplicación o punto origen. La unidad en el Sistema Internacional es el Newton (N). Un Newton es la fuerza que, al aplicarse sobre una masa de un kilogramo (Kg), le provoca una aceleración de un metro por segundo al cuadrado (m/s^2). (Fernandez, FisicaLab, 2013)

1.3.2 Cargas estructurales

Las cargas estructurales son fuerzas aplicadas a una pieza o un ensamblaje durante la operación. Estas cargas provocan tensiones, deformaciones y desplazamientos de los componentes. Existen los siguientes tipos de cargas:

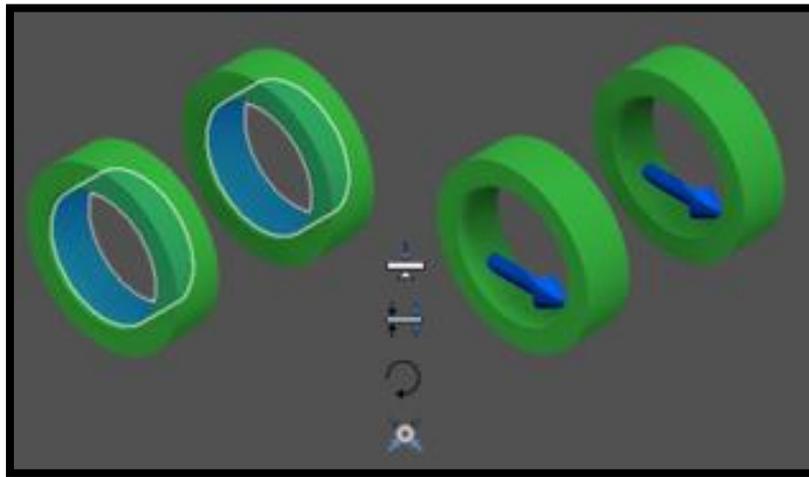
(Autodesk, 2020)

- Fuerza
- Presión
- Momento
- Carga de rodamientos

- Gravedad
- Fuerza remota
- Cuerpo

Figura 8.

Cargas estructurales



Fuente: Fusion 360

1.3.3 Restricciones estructurales

Las restricciones estructurales restringen o limitan el desplazamiento del modelo. Es posible añadir restricciones para imitar las condiciones del entorno. Existen los siguientes tipos de restricciones:

- Fijas:

Se aplica a una cara, arista o vértice. Permite eliminar todos los grados de libertad y evitar que la cara, la arista o el vértice se desplace o deforme.

- Pasador:

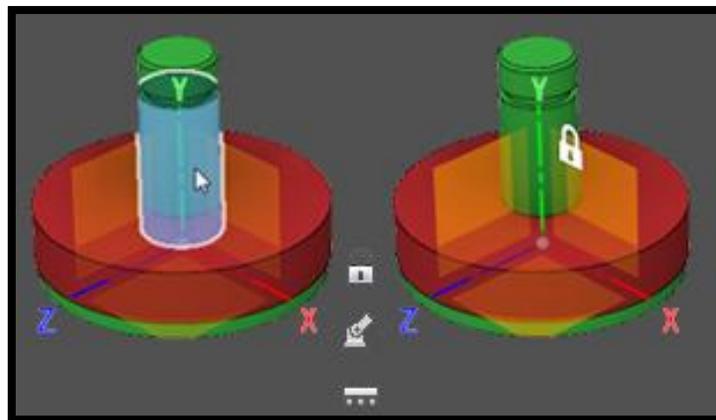
Se aplica a caras cilíndricas. Permite impedir que las caras se desplacen o se deformen en combinaciones de direcciones radiales, axiales o tangenciales.

- Restricción sin fricción:

Se aplica a una superficie plana o cilíndrica. Permite impedir que la superficie se desplace o deforme en la dirección normal con respecto a la superficie. (Autodesk, 2020)

Figura 9.

Restricciones estructurales



Fuente: Fusion 360

1.3.4 Factor de seguridad

El factor de seguridad FS ha sido definido como la relación entre la resistencia y la fuerza sobre un elemento. Este factor debe ser siempre mayor que la unidad para garantizar una razonable protección ante las fuerzas actuantes; además, el valor que se especifica depende, entre otras, del tipo de material, de la carga, de la frecuencia de excedencia de las cargas de naturaleza estocástica y de incertidumbres asociadas a la estimación de todos los parámetros involucrados.

(V., 2020)

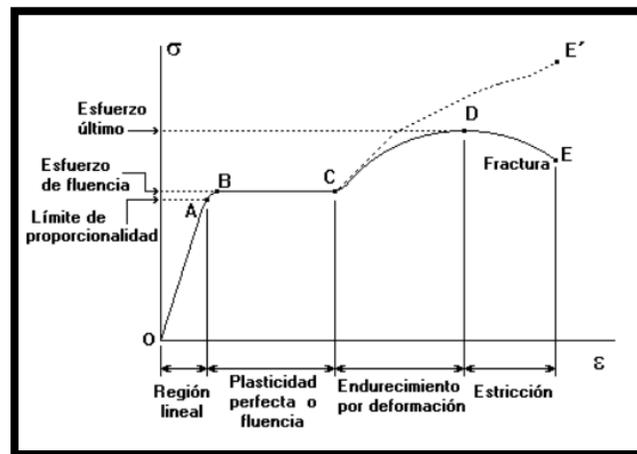
1.3.5 Curva de Esfuerzo Deformación.

El diagrama esfuerzo deformación es una representación gráfica, que resulta de representar los esfuerzos que sufre un material en función de la deformación que experimenta al mismo tiempo. Este diagrama comprende varios puntos clave con sus respectivos valores que servirán para tomar decisiones de ingeniería.

Existen varios tipos de esfuerzos a las que pueden ser sometidos los materiales; los más conocidos son: esfuerzo de tensión, compresión, cortantes. (Deingenierias, 2019)

Figura 10.

Diagrama esfuerzo deformación de materiales



Fuente: (Acevedo Monterrosa, 2019)

1.4 Pedal de aceleración electrónico

1.4.1 ¿Qué es el pedal de aceleración electrónico?

El pedal del acelerador es el mecanismo que tienen los vehículos para poder regular la cantidad de potencia que el conductor desea enviar a las ruedas motrices. Gracias a este mecanismo de los motores de combustión interna, se puede controlar la circulación de la mezcla entre el aire y el combustible cuando el conductor lo acciona. (Helloauto, 2021)

1.4.2 Componentes

El pedal de acelerador electrónico consta de:

- Pedal o palanca.
- Base
- Muelle
- Piezas de sujeción
- Transmisor 1 para posición de acelerador.
- Transmisor 2 para posición de acelerador.

Figura 11.

Partes de pedal de acelerador electrónico



Fuente: (Volkswagen AG., 2012)

1.4.3 Funcionamiento

Al accionar el pedal de acelerador el módulo del pedal detecta la posición momentánea del acelerador a través de sus transmisores y emiten una señal correspondiente a la unidad de control del motor, para que así esta manipule el ángulo de la mariposa de aceleración.

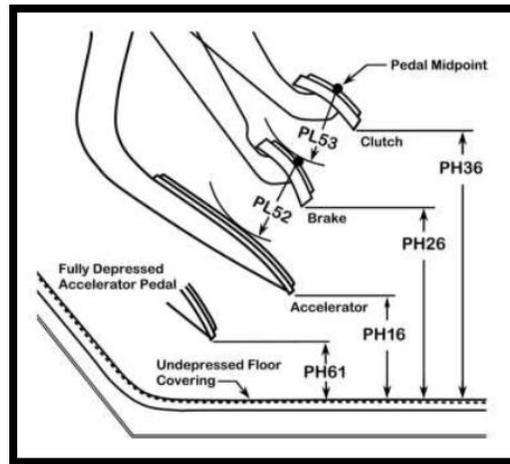
1.4.4 Normativa

En 1958, la Comisión Económica para Europa y las Naciones Unidas desarrolló un marco, conocido como el “Acuerdo de 1958”, para normalizar los automóviles en todo lo relacionado con seguridad, medio ambiente, energía y antirrobo.

Según el reglamento No. 35 (Disposiciones uniformes acerca de la aprobación de vehículos con respecto a la disposición de los controles de pie), el pedal de freno y el pedal del acelerador en un automóvil con transmisión automática debe estar separado por 50 a 100 mm (2 a 3,9 in.). La distancia desde la pared izquierda del espacio para los pies hasta el borde izquierdo del pedal del freno debe estar a un mínimo de 120 mm (4,7 in.). La distancia desde la derecha borde del pedal del freno a la pared derecha del espacio para los pies debe tener un mínimo de 130 mm (5,1 in.). (Xi, 2015)

Figura 12.

Altura y holguras de los pedales



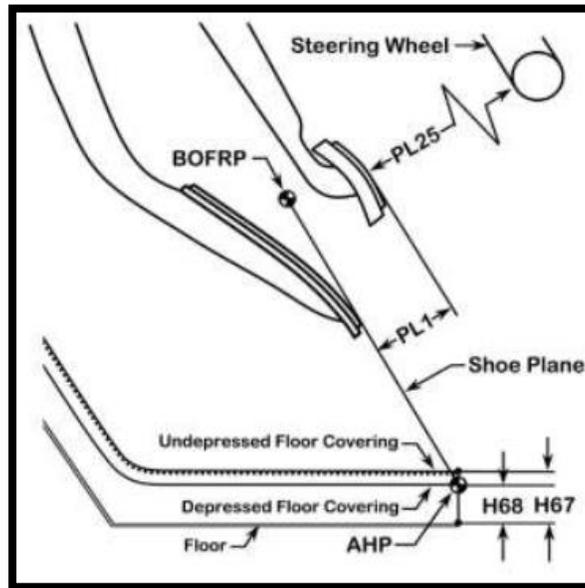
Fuente: (SAE International, 2009)

Entre todas las instituciones que normalizan las dimensiones vehiculares se encuentra la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) que es una organización profesional mundial y ha desarrollado numerosos estándares en el campo de la ingeniería automotriz. Sin embargo, los estándares son prácticas recomendadas y no tienen fuerza legal.

Se tiene la SAE J1100 (Dimensiones del vehículo de motor), se desarrolló por primera vez en 1973 y define un conjunto de medidas y procedimientos estándar para las dimensiones de los vehículos de motor. Todas las medidas relacionadas con los pedales, las dimensiones del espacio entre pedales se basan en la Norma 3409 de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Sin embargo, esta norma no presenta de manera técnica las especificaciones para el diseño de los pedales, es decir, no entrega dimensiones numéricas. (Xi, 2015)

Figura 13.

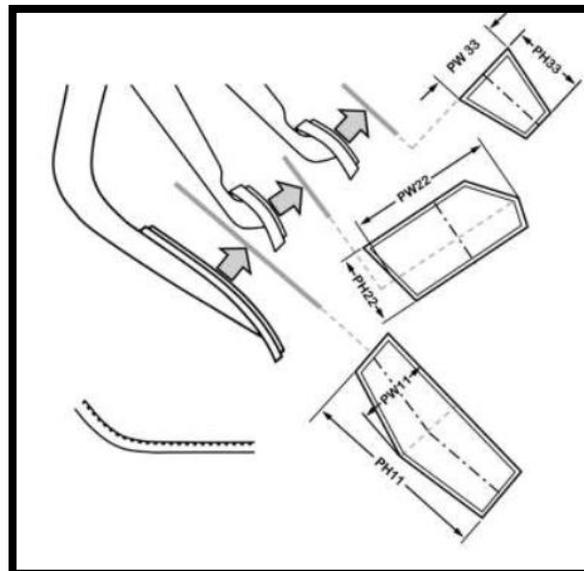
Holguras de los pedales



Fuente: (SAE International, 2009)

Figura 14.

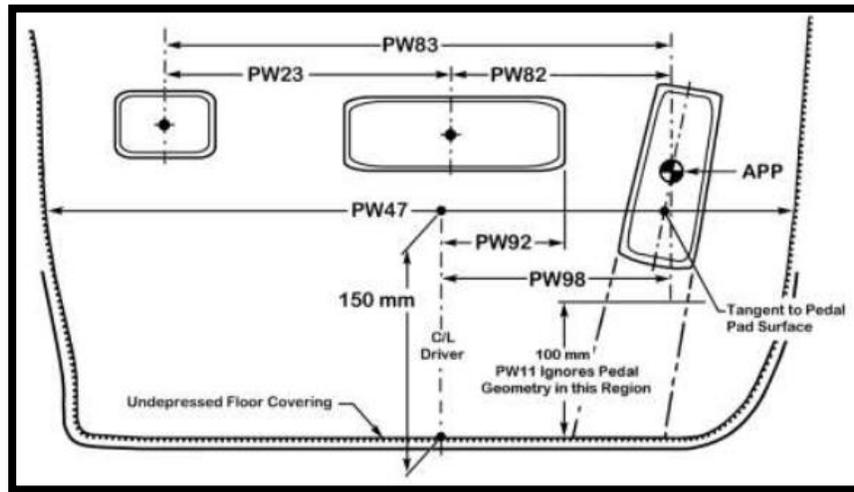
Dimensiones de la superficie del pedal



Fuente: (SAE International, 2009)

Figura 15.

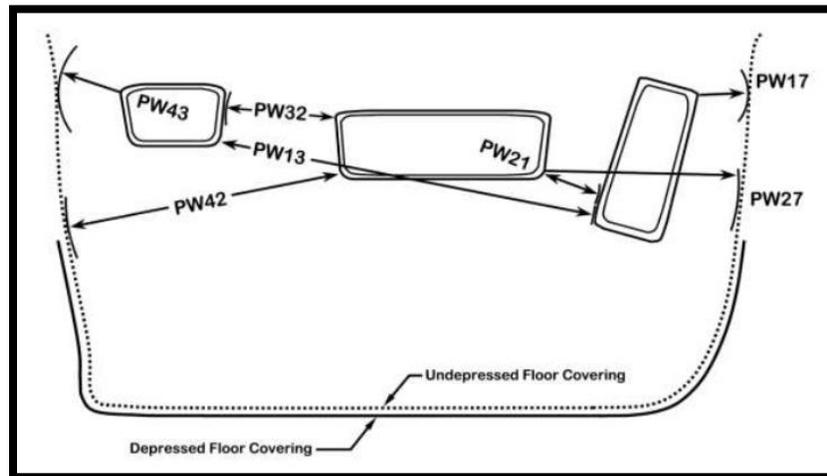
Separación de pedales y relación con el conductor



Fuente: (SAE International, 2009)

Figura 16.

Separación de pedales



Fuente: (SAE International, 2009)

Tabla 1.*Códigos de dimensión del pedal utilizado en las normas SAE*

CODIGO	DIMENSIÓN	CODIGO	DIMENSIÓN
PL1	Acelerador para levantar el freno	PW43	Embrague al lado izquierdo
PL52	Desplazamiento de freno a acelerador	PW47	Ancho del espacio para los pies del conductor
PL53	Desplazamiento de embrague a freno	PW82	Punto de referencia de la bola del
PW11	Ancho del pedal del acelerador	PW83	Distancia embrague al acelerador
PW13	Espacio de freno	PW92	Distancia centro de freno al borde del freno
PW17	Acelerador al lado derecho	PW98	Distancia entre centro de freno y acelerador
PW21	Separación de freno a acelerador	PH11	Altura del pedal del acelerador
PW22	Ancho del pedal de freno	PH16	Espacio del acelerador al suelo
PW23	Desplazamiento lateral de freno a embrague	PH22	Altura del pedal de freno
PW27	Espacio acelerador	PH26	Distancia del freno al suelo
PW32	Separación de embrague a freno	PH33	Altura del pedal de embrague
PW33	Ancho del pedal de embrague	PH36	Holgura del embrague al suelo
PW42	Freno al lado izquierdo	PH61	Recorrido del acelerador

Fuente: (SAE International, 2009)

1.4.5 Pieza a obtener

Pedal de aceleración electrónico del vehículo:

- Marca: Suzuki
- Modelo: Grand Vitara SZ
- Año: 2009

Figura 17.

Suzuki Grand Vitara



Fuente: (Hoyo, 2009)

Figura 18.

Pedal de aceleración electrónico Grand Vitara SZ



Fuente: Autores

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS SOPORTADOS POR EL PEDAL DE ACELERACIÓN

2.1 Introducción

En el presente capítulo se obtiene mediante el análisis, el comportamiento del pedal tanto su principio de funcionamiento y sus partes como también el comportamiento que tiene ante fuerzas aplicadas al mismo. También, mediante la experimentación se logró obtener las fuerzas que soporta el pedal y con ello los esfuerzos a los que dicho componente se ve sometido.

2.2 Análisis del comportamiento del pedal de aceleración.

2.2.1 Principio de funcionamiento

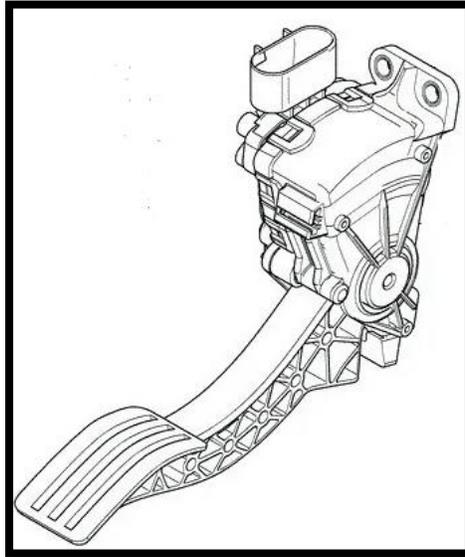
Partimos de que el comportamiento del pedal viene directamente relacionado con el principio de palanca el cual se define como:

“Una fuerza aplicada que empuja o tira sobre un punto de la palanca, ésta oscila sobre el punto de apoyo ejerciendo una acción útil sobre otro punto. La fuerza que se aplica, permite levantar un peso, o vencer una resistencia.” (VILLAMIZAR, 2016)

Por ende, al ser el pedal de aceleración un elemento que tiene un apoyo y una fuerza que se opone a la fuerza aplicada en el mismo, se define como una palanca al movimiento que produce dicha fuerza en el elemento de resistencia.

Figura 19.

Pedal de aceleración electrónico



Fuente: (Org.Sur, 2022)

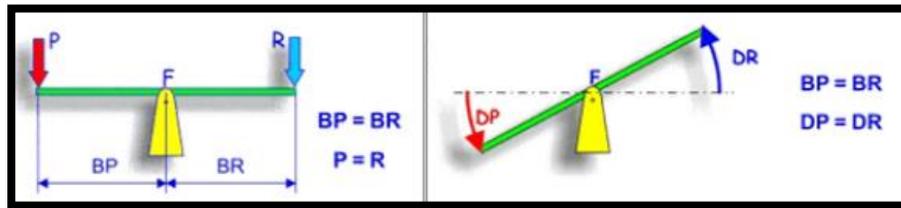
Al hablar del pedal de aceleración para el motor de un vehículo este comprende de un alojamiento de soporte en el que está montado una palanca de control giratoria alrededor de un primer eje, desde una primera posición hasta una segunda posición, contra la acción de medios elásticos de oposición dispuestos entre la palanca y la base de alojamiento. (EMANUELE, 2016)

2.2.2 Tipos de palanca

Al ser parte del principio de palanca el elemento en estudio hay que considerar que existen tres tipos de palancas:

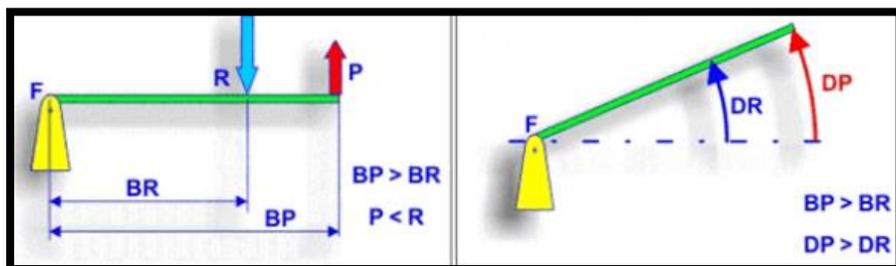
- Palancas de primer grado:

Tienen el punto de apoyo situado siempre entre la carga y la fuerza que se le imprime desde el extremo opuesto

Figura 20.*Palancas de primer grado***Fuente:** (Concurso, 2022)

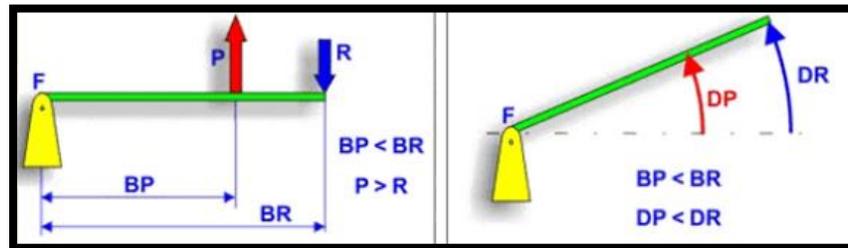
- Palancas de segundo grado

En la palanca de segundo género, donde la resistencia se encuentra entre el punto de apoyo y la potencia.

Figura 21.*Palancas segundo grado***Fuente:** (Concurso, 2022)

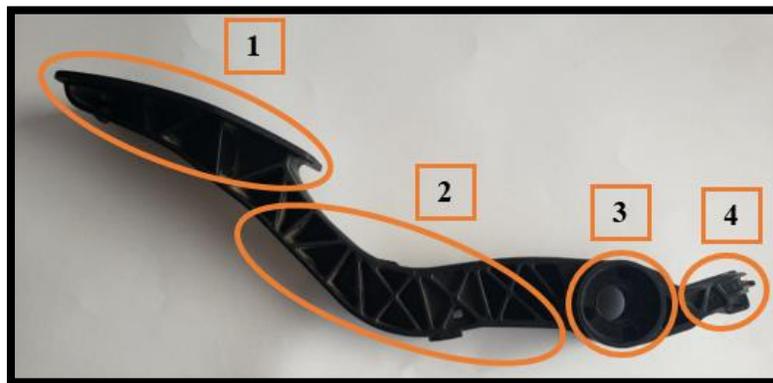
- Palancas de tercer grado

Una palanca es de tercer tipo cuando la potencia se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia.

Figura 22.*Palancas de tercer grado**Fuente: (Concurso, 2022)*

Por consiguiente, vemos que el pedal de aceleración en estudio se trata de una palanca de primer grado, ya que la fuerza aplicada y la carga se dan del lado opuesto del punto de apoyo.

2.2.3 Partes de palanca en el pedal de aceleración

Figura 23.*Partes de palanca en el pedal de aceleración**Fuente: Autores*

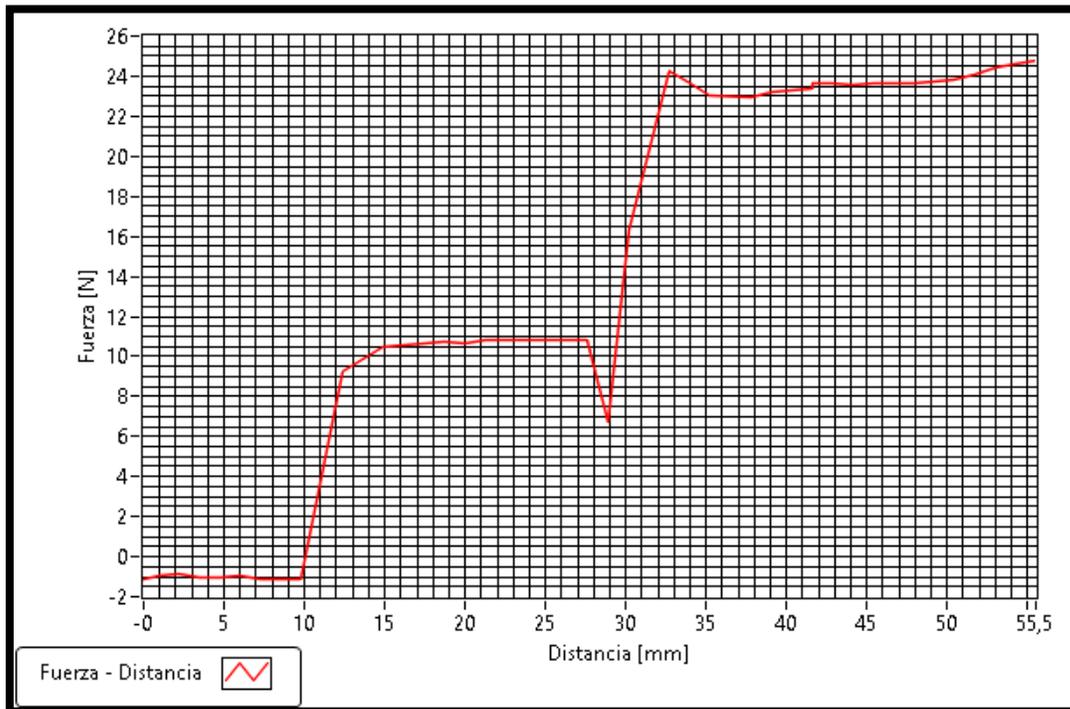
1. Punto de fuerza
2. Brazo de fuerza
3. Punto de apoyo
4. Punto de resistencia

2.2.4 Comportamiento ante una fuerza en el pedal de aceleración

En el siguiente gráfico observamos el comportamiento del pedal de aceleración del vehículo Suzuki Grand Vitara Sz, en este se hace una comparación de fuerza y distancia:

Figura 24.

Comportamiento del pedal de aceleración obtenido en laboratorio



Fuente: Autores

2.3 Obtención esfuerzos soportados por el pedal de aceleración

Para la obtención de los esfuerzos a los que está sometido el pedal de aceleración se realizó una prueba de esfuerzo en el banco de medición de compresión de resorte, mismo que está disponible en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.3.1 Proceso de medición de esfuerzos en el pedal ensamblado.

1. Se sujetó el pedal a la base del banco de medición, para lo cual se utilizó una prensa manual.

Figura 25.

Prensa Manual



Fuente: Autores

2. Se colocó el vástago, que realiza la presión del banco de medición, en el perfil del punto de fuerza del pedal.

Figura 26.

Pedal Fijado en banco de medición

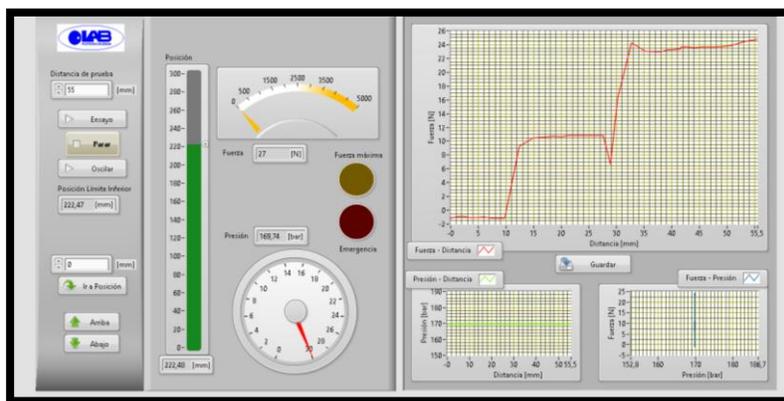


Fuente: Autores

Se aplicó con el banco de pruebas una presión directamente en la zona de fuerza, es decir, donde el usuario produce el mayor esfuerzo en el pedal de aceleración, por lo cual se obtiene los siguientes resultados.

Figura 27.

Interfaz software de medición de fuerza del pedal en máquina de pruebas

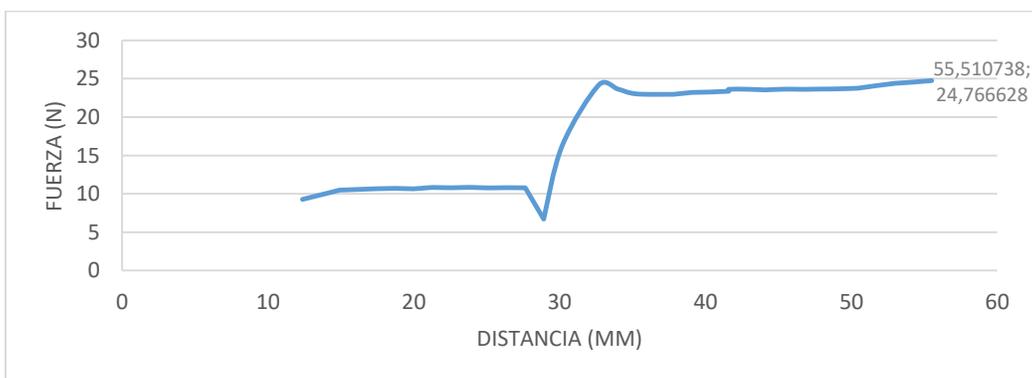


Fuente: Autores

- Se obtuvo la gráfica del comportamiento del pedal al ser sometido a dicha presión en el banco.

Figura 28.

Fuerza máxima aplicada al pedal de aceleración



Fuente: Autores

Como se observa en el gráfico, el esfuerzo máximo que está soportando el pedal al completar su distancia máxima es de 24,76 N. También, se puede observar que la distancia máxima de desplazamiento del pedal es de 55,51 mm.

2.3.2 Proceso de medición de esfuerzo únicamente en el muelle.

1. Se desarmó el pedal electrónico para obtener únicamente el muelle.

Figura 29.

Pedal electrónico del estudio desarmado



Fuente: Autores

2. Se ubicó al muelle de manera vertical en el banco de medición.

Figura 30.

Muelle fijado al banco de medición



Fuente: Autores

3. Se ajustó el vástago, que produce el esfuerzo en el banco de pruebas, justo en la parte superior del muelle.

Figura 31.

Banco de Medición ajustado a la altura del muelle

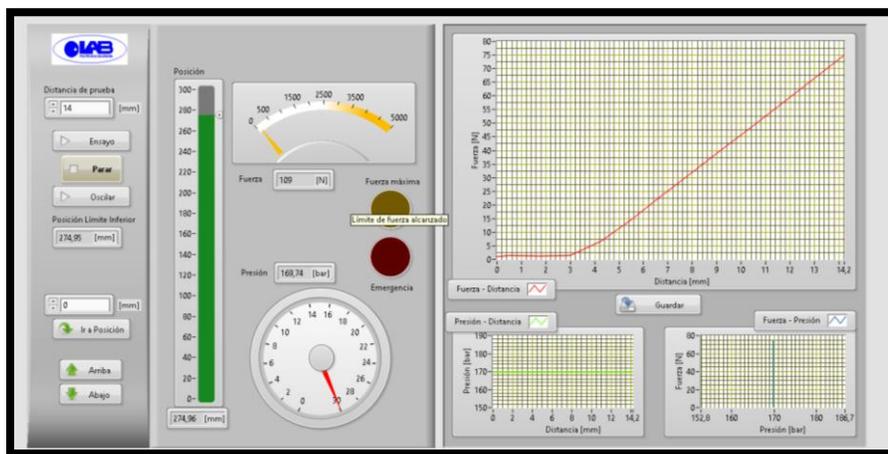


Fuente: Autores

4. Se realizó la prueba del muelle en el banco y se obtuvo los siguientes datos en el software del equipo utilizado.

Figura 32.

Interfaz software de medición de fuerza del muelle en máquina de pruebas

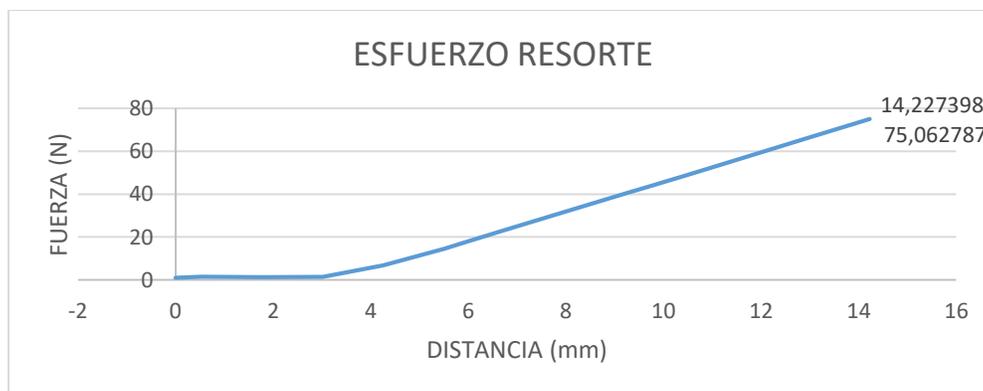


Fuente: Autores

5. Se obtuvo los datos donde se puede observar que la distancia es directamente proporcional a la fuerza ejercida en el muelle.

Figura 33.

Grafica de fuerza máxima aplicada al resorte



Fuente: Autores

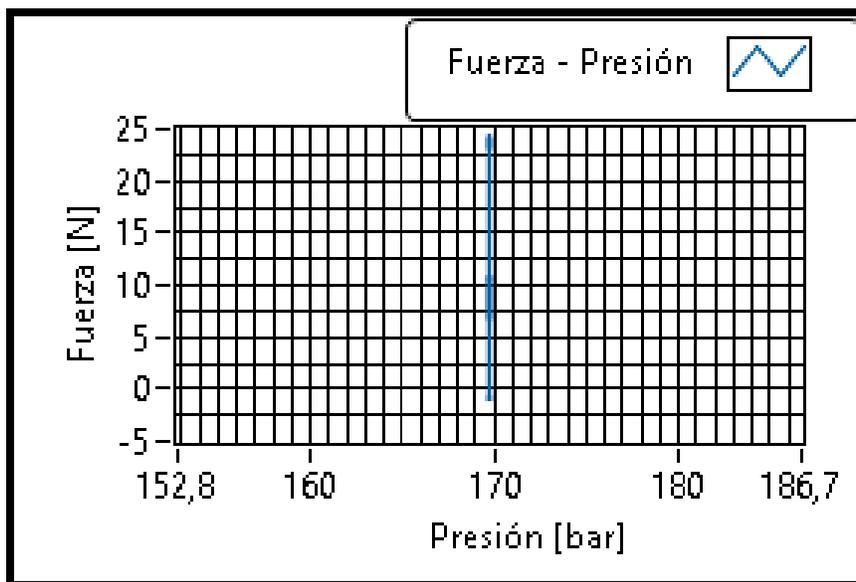
2.3.3 Resultado de fuerzas soportadas en el pedal de aceleración

Con los resultados podemos obtener la distancia máxima de compresión del resorte que este dispone, que es de 14,22 mm. Del mismo modo, el resorte para llegar a su distancia máxima de compresión necesitará de una fuerza aplicada de 75,062 N; dicha fuerza aplicada en el resorte será la misma que se aplique al punto de resistencia del pedal.

Se obtiene también la presión que ejerce el banco de pruebas al aplicar la fuerza en el pedal de aceleración y en el muelle. Se puede observar que la presión ejercida por este se mantiene uniforme en todo momento de las dos pruebas siendo su valor de 170 bares.

Figura 34.

Presión del banco de pruebas



Fuente: Autores

Tabla 2.*Fuerzas aplicadas al pedal*

Tabla de fuerzas aplicadas al pedal	
Ítem	Valor
Punto de fuerza del pedal	24,76 N.
Punto de resistencia del pedal	75,062 N.

Fuente: Autores

2.4 Determinación de la resistencia del pedal de aceleración original del vehículo.

2.4.1 Propiedades mecánicas de material de fabricación del pedal

Tabla 3.*Propiedades Plástico PA6-GF40*

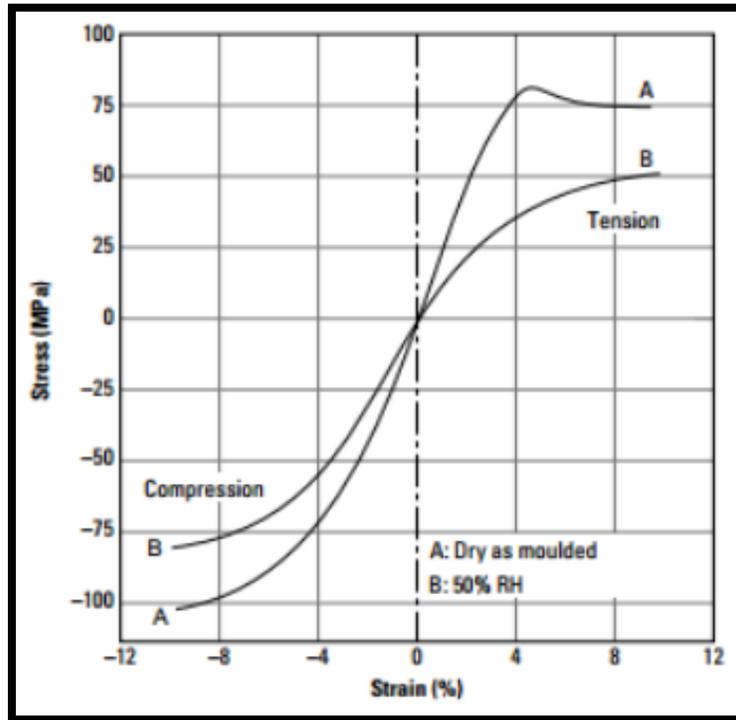
Propiedades Plástico PA6-GF40	
Propiedad	Valor
Densidad	1.45 g/cm ³
Módulo de Young	11.32 GPa
Límite de elasticidad	288 MPa
Resistencia a tracción	198 MPa

Fuente: (Mathmach, 2022)

2.4.2 Diagrama de esfuerzo - deformación del Plástico PA6-GF40

Figura 35.

Diagrama de esfuerzo - deformación de PA6-GF40

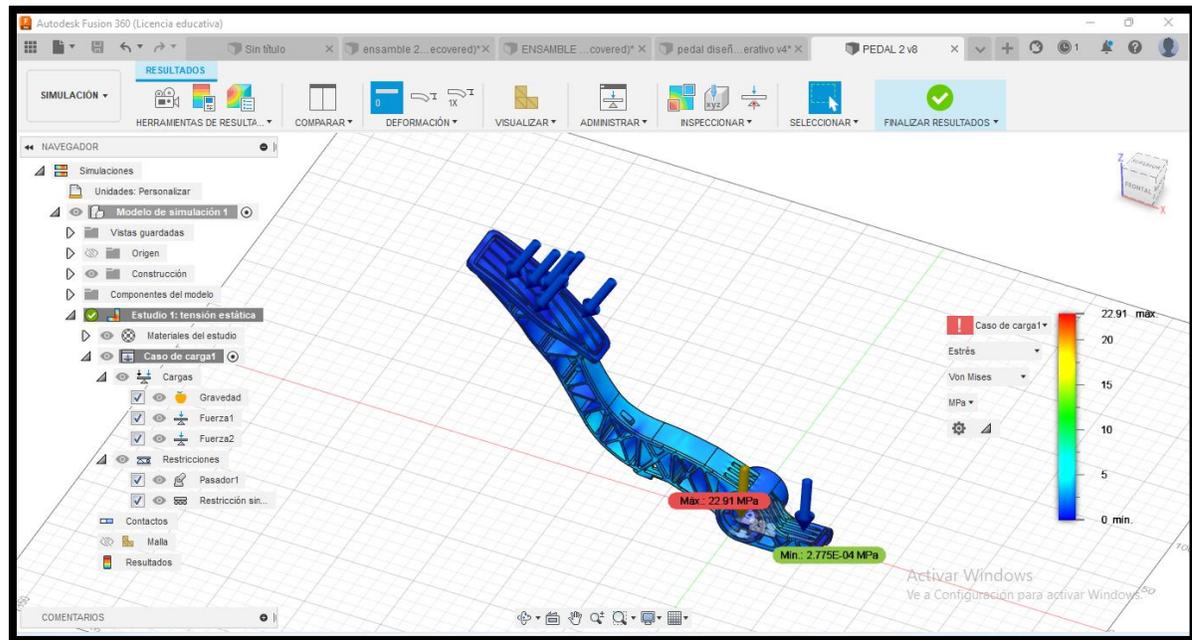


Fuente: (PORTILLO, 2014)

2.4.3 Evaluación de esfuerzos en el pedal original

Figura 36.

Simulación de esfuerzos del diseño original del pedal



Fuente: Autores

Se puede observar que el esfuerzo generado en la pieza original es en su mayoría menor a 10 MPa; se puede observar que en ciertos puntos del elemento en los cuales hay uniones existen fuerzas de entre 10 MPa y 20 MPa; sin embargo, en cierto punto de unión entre el brazo de fuerza del pedal y el punto de apoyo del mismo se encuentra una fuerza aplicada de 22,91N.

CAPITULO 3

DISEÑAR UN ELEMENTO DEL PEDAL DE ACELERACIÓN PARA SU POSTERIOR ANÁLISIS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza el diseño del pedal de aceleración mediante el software de diseño Fusion 360. Para luego, mediante los procesos detallados en este, con las restricciones y cargas soportadas por el mismo, se aplica diseño generativo; analizando así el resultado más favorable para su aplicación.

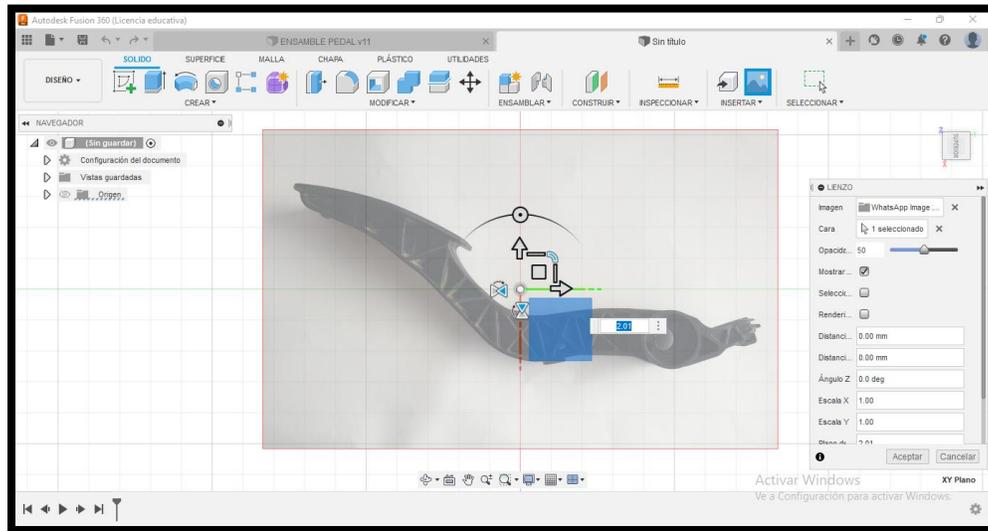
3.2 Diseñar el pedal de aceleración en el programa Fusion 360

3.2.1 Diseño del pedal

El diseño del pedal de aceleración propuesto se tuvo que realizar con “Canvas” o proceso de diseño con imágenes de referencia, también mediante el uso de un calibrador se obtuvo las medidas del elemento original. Para el diseño de las curvaturas se tuvo que tomar en consideración varios puntos de referencia en el elemento original, para luego así generar el boceto con las medidas originales. (Fotografía del pedal para Canvas, Anexo 1)

Figura 37.

Configuración de imagen del pedal en Canvas en el programa Fusion 360



Fuente: Autores

Figura 38.

Obtención de medidas con calibrador



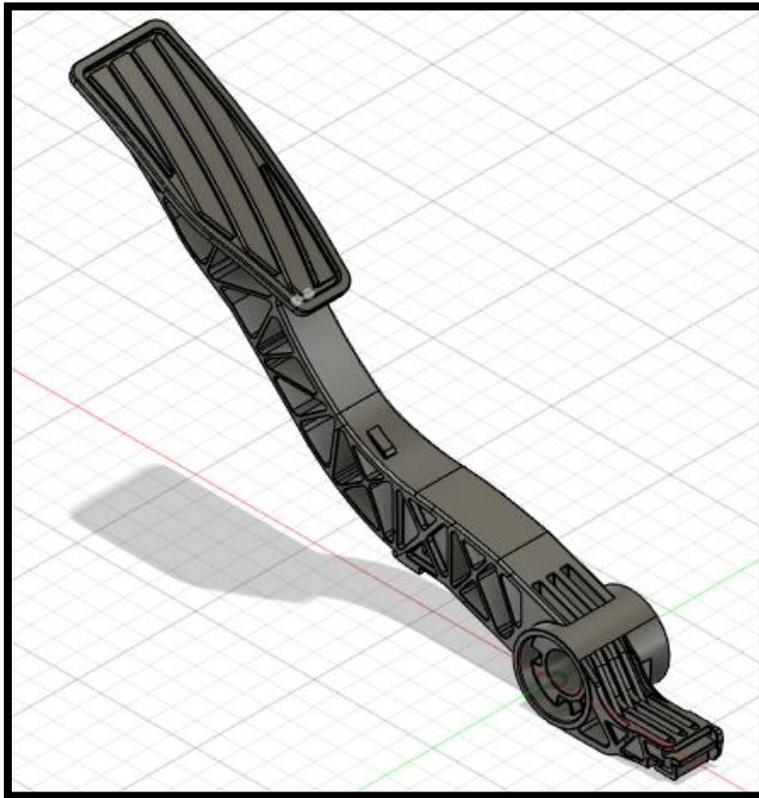
Fuente: Autores

3.2.2 Vistas del diseño 3D del pedal original

- **Vista en perspectiva:**

Figura 39.

Vista en perspectiva del diseño del pedal

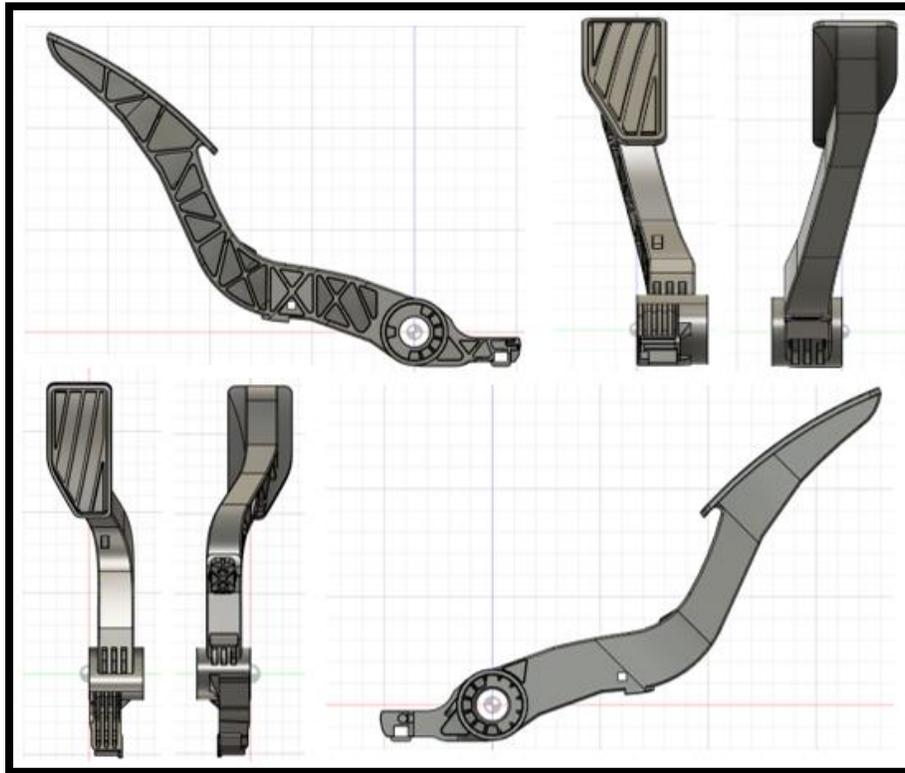


Fuente: Autores

- **Vistas de diseño del pedal original:**

Figura 40.

Vistas del pedal



Fuente: Autores

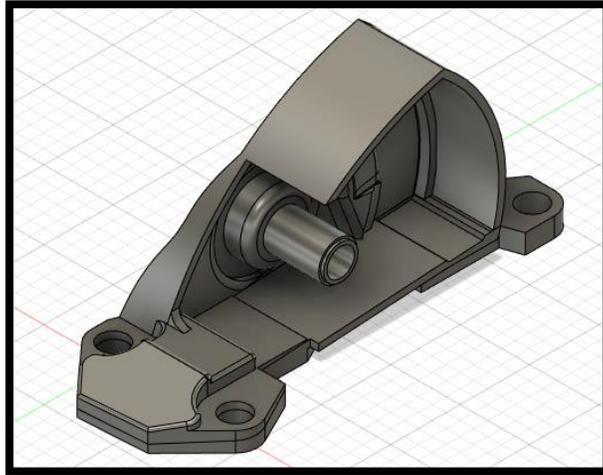
3.2.3 Diseño de piezas obstáculo que requiere el diseño generativo.

Para el diseño generativo en el programa Fusion 360, además del pedal de aceleración al que se va a aplicar el proceso, se requieren de piezas o partes adyacentes a la misma denominadas obstáculos. Las mismas que son las piezas del conjunto de pedal de aceleración electrónico; debido a que la complejidad de dichas piezas a diseñar era mucho menor que la pieza principal, ya no era necesario utilizar imágenes para el diseño de las mismas por lo que simplemente se tomaron medidas con calibrador y se generaron los diseños 3D respectivos en el programa Fusion 360, mismos que son:

- **Soporte del pedal:**

Figura 41.

Diseño 3D de soporte del pedal

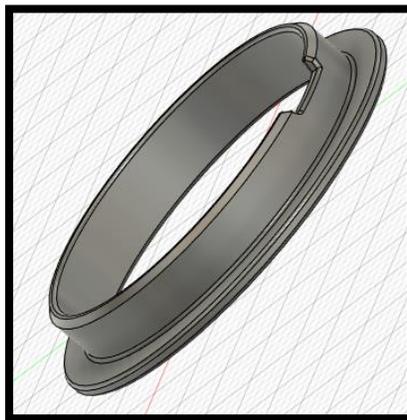


Fuente: Autores

- **Dos anillos guía:**

Figura 42.

Diseño 3D de Anillos guía

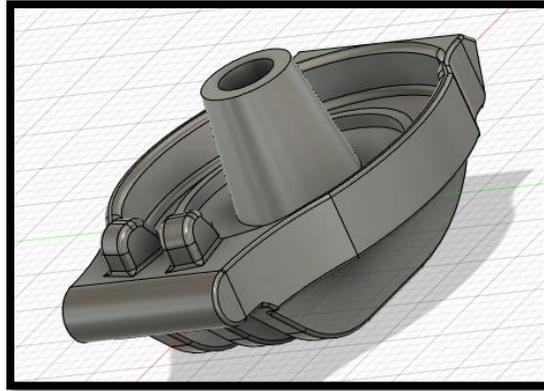


Fuente: Autores

- **Soporte del resorte:**

Figura 43.

Diseño 3D de soporte del resorte

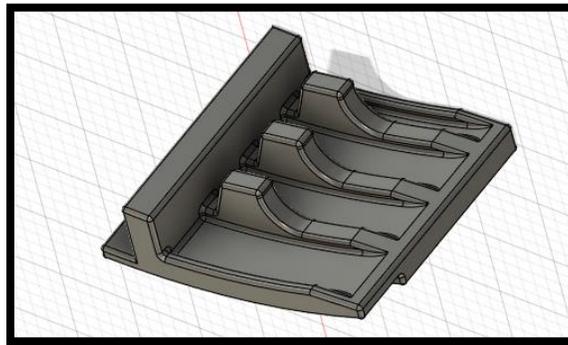


Fuente: Autores

- **Guía de recorrido del pedal:**

Figura 44.

Diseño 3D de guía de recorrido de pedal



Fuente: Autores

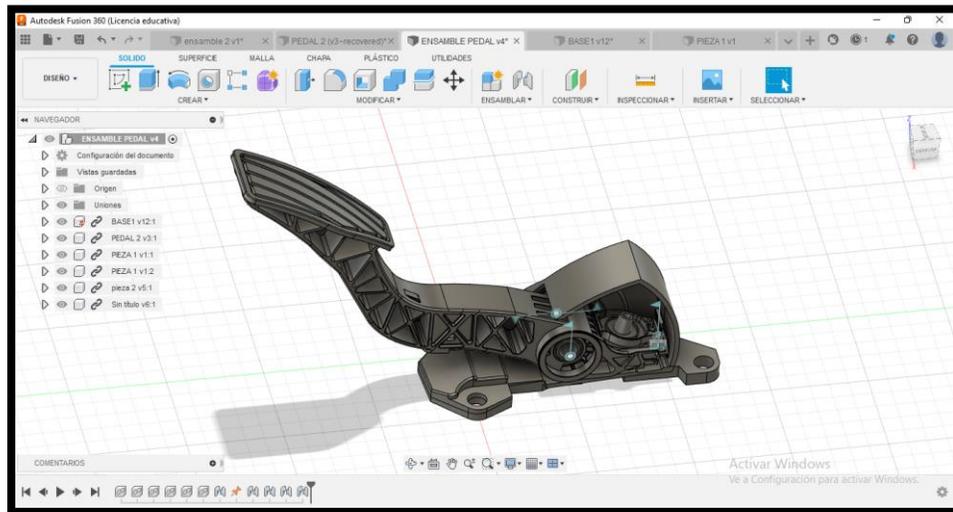
3.2.4 Ensamblaje de todos los componentes diseñados

Para la creación del diseño generativo en el programa Fusion 360 se requiere de la utilización del ensamblaje del pedal a aplicar el método de diseño y de los elementos obstáculo

antes diseñados. Por lo que, el ensamble es igual que el pedal de aceleración electrónico original; esto se lo realiza tomando en cuenta las restricciones de movimiento y posición que tiene cada pieza para su correcto funcionamiento.

Figura 45.

Ensamble de componentes con restricciones de posición y movimiento



Fuente: Autores

3.3 Aplicación de diseño generativo a la parte diseñada según los esfuerzos que esta soporta.

Al ya tener el ensamble de todos los componentes con todas sus restricciones necesarias, se puede realizar el diseño generativo, tomando en cuenta ciertos parámetros como:

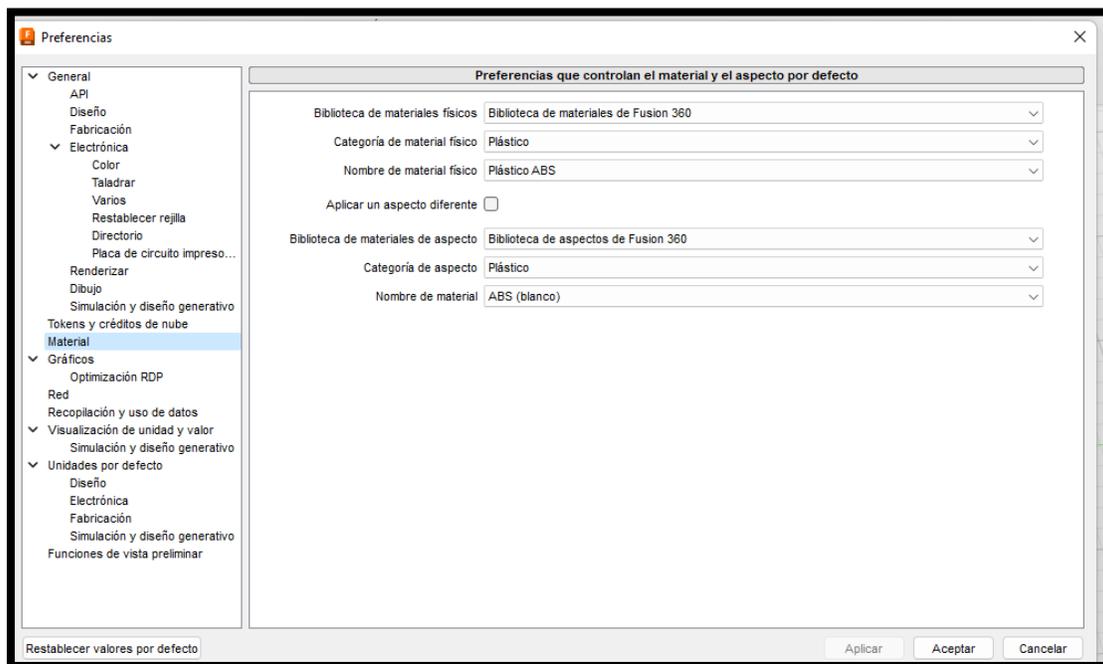
- Material en el cual se planea fabricar la pieza.
- Partes de la pieza que no cambiaran de forma al aplicar diseño generativo.
- Restricciones de la pieza.
- Fuerzas aplicadas al componente.
- Proceso de fabricación de la pieza.

3.3.1 Selección de material

Para la aplicación de diseño generativo en el pedal se estableció como material de fabricación el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

Figura 46.

Selección de material ABS en el programa



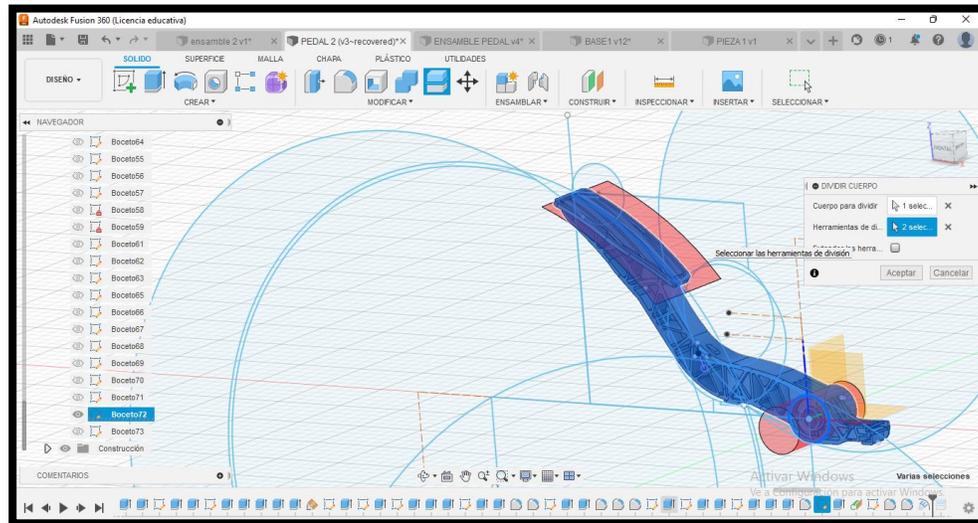
Fuente: Autores

3.3.2 Seccionado de diseño del pedal

Para mantener la forma original de ciertas áreas del pedal al aplicar diseño generativo, es necesario realizar un seccionado del mismo; para lo cual en el diseño de este se secciona las áreas entre el brazo de fuerza y el punto de fuerza; y entre el brazo de fuerza, el punto de apoyo y el punto de resistencia.

Figura 47.

Seccionado de diseño del pedal



Fuente: Autores

3.3.3 Diseño generativo del pedal.

Para la aplicación de diseño generativo al elemento de estudio, se realizó varias configuraciones en el espacio de diseño generativo del programa Fusion 360; mismas que son:

- **Selección de partes con conservación de geometría:**

Se selecciona las partes de la pieza que deseamos conservar, es decir las partes seleccionadas no cambian durante la generación de resultados conservando así las dimensiones y la forma de las mismas. En este caso se seleccionó el punto de fuerza del pedal, el punto de apoyo del pedal y la zona de resistencia del pedal; las piezas a conservar se marcan de color verde.

- **Selección de geometrías obstáculo:**

Se selecciona las partes o elementos que se consideren obstáculo, es decir las partes o los elementos que representan espacios donde no se colocará material durante la generación de

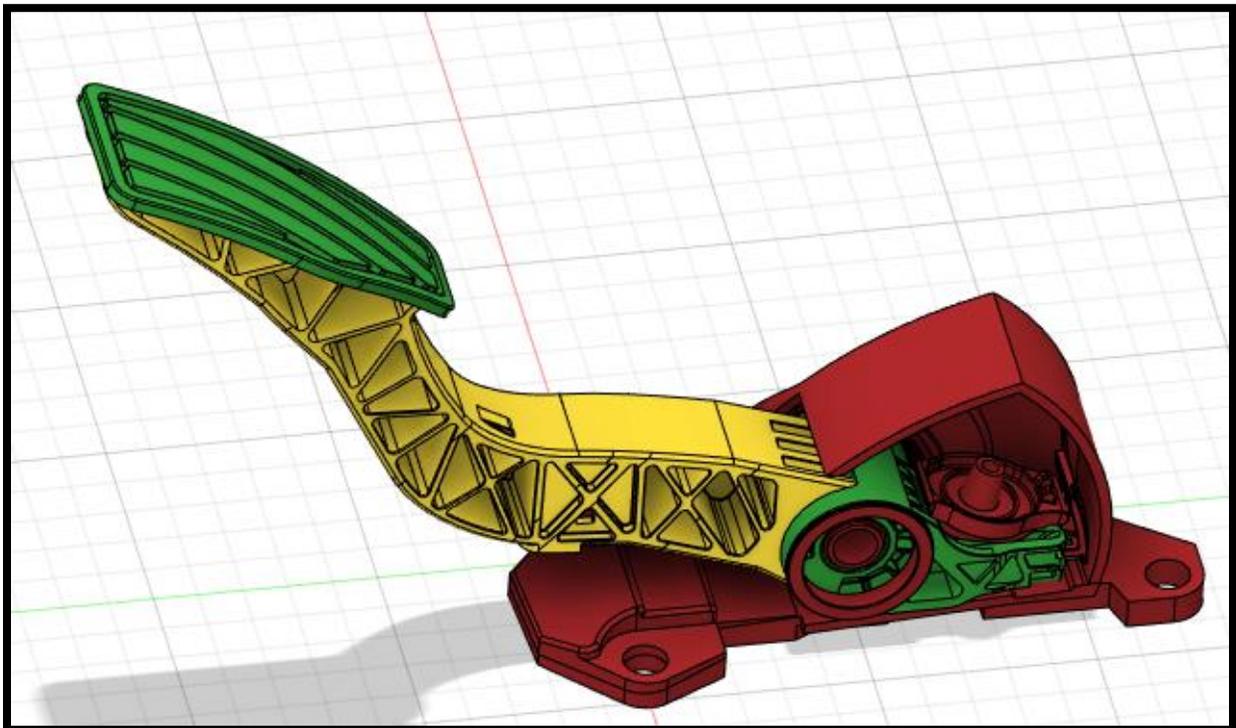
resultados dando a conocer al programa hasta que puntos puede generarse el diseño generativo del elemento. En este caso se seleccionó la base, la base del resorte, los dos anillos guía del punto de apoyo y la guía del recorrido del pedal; las piezas obstáculo se marcan de color rojo.

- **Selección de formas iniciales:**

Se selecciona las partes que se consideren de forma inicial, es decir las partes del elemento las cuales el programa considera como forma de referencia a partir del cual genera resultados manteniendo así la forma del elemento o parte, pero ya aplicando el método de diseño. En este caso se seleccionó el brazo de potencia del pedal; las partes con forma inicial se marcan de color amarillo.

Figura 48.

Partes y piezas del pedal con Conservación de geometría, Geometrías obstáculo y Forma inicial



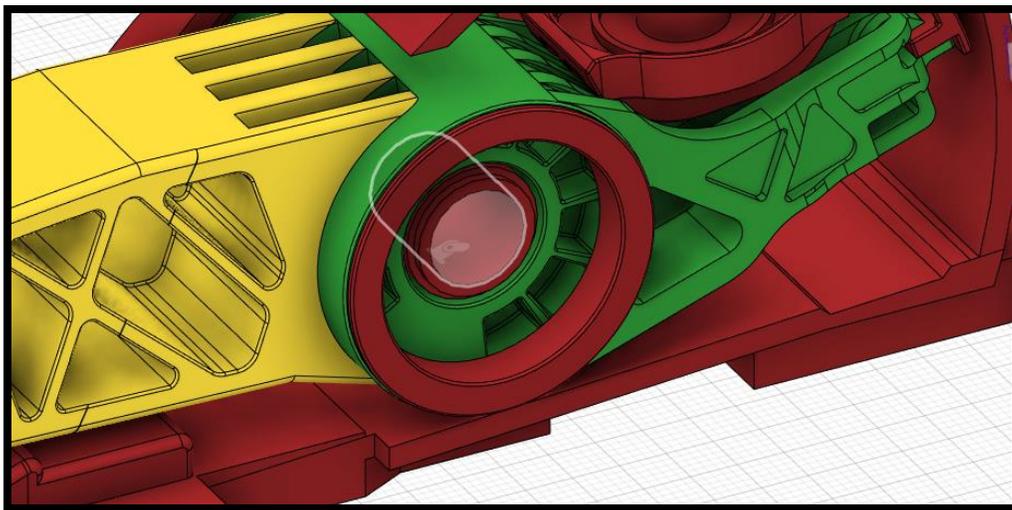
Fuente: Autores

- **Selección de restricciones estructurales:**

Se selecciona las restricciones estructurales aplicadas a ciertos puntos del elemento de estudio, para condicionar el movimiento realizado por este. En este caso en el punto de apoyo del pedal cuyo tipo de restricción es de pasador y las cargas a las que va estar sometido son radial, axial y tangencial; las partes con restricción estructural se marcan con un símbolo del tipo de restricción de color blanco.

Figura 49.

Restricción estructural en punto de apoyo del pedal



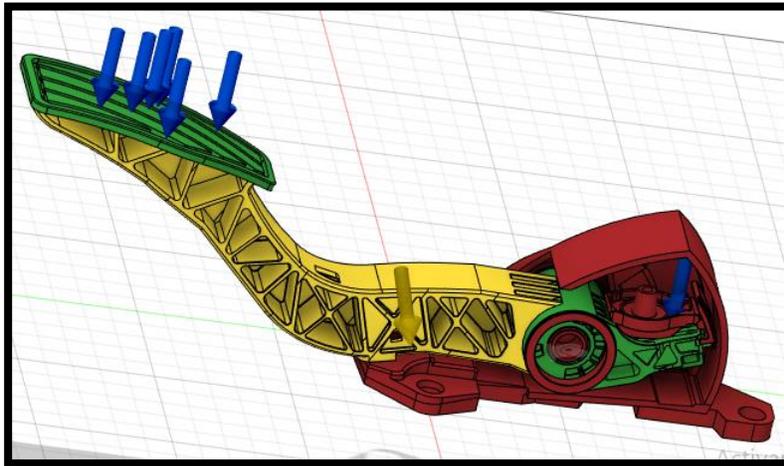
Fuente: Autores

- **Selección de cargas estructurales:**

Se selecciona las cargas estructurales aplicadas a ciertos puntos del elemento de estudio; en este caso se colocó una carga tipo fuerza de 24,77 N en el punto de potencia del pedal, también se colocó otra carga tipo fuerza de 75,06 N en el punto de resistencia del pedal. Las partes con cargas estructurales se marcan acorde al tipo de carga con la forma de la carga aplicada de color azul.

Figura 50.

Cargas estructurales aplicadas en el pedal



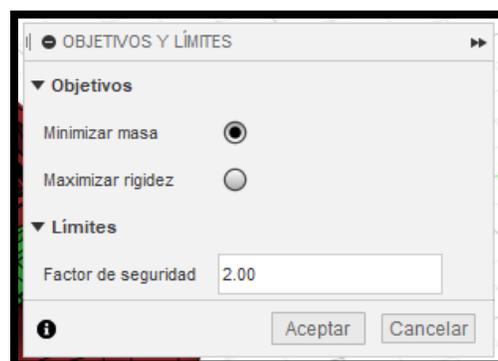
Fuente: Autores

- **Configuración de objetivos de diseño:**

Se configura los objetivos de diseño con el fin de modificar los objetivos de optimización y los límites que deben cumplir los resultados de diseño generativo; En este caso se seleccionó el objetivo de minimizar masa y el límite de factor de seguridad mínimo de 2.

Figura 51.

Configuración de objetivos de diseño



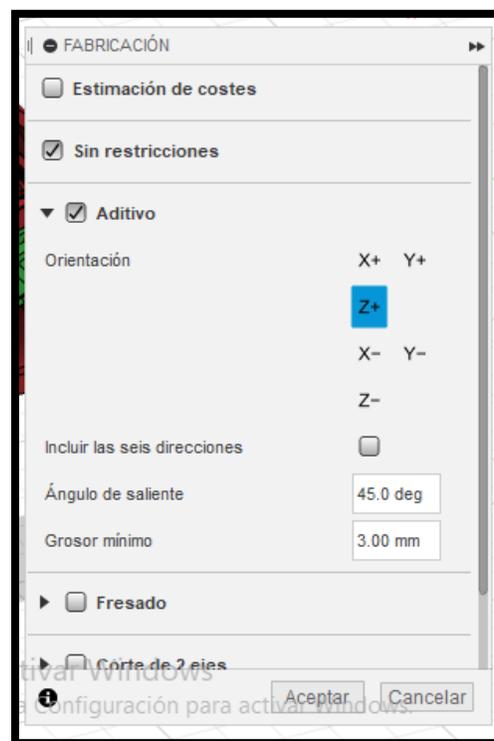
Fuente: Autores

- **Configuración de tipo de fabricación:**

Se configura el tipo de fabricación con el fin de especificar las restricciones de fabricación para el proceso de diseño; en este caso se seleccionó fabricación aditiva y fabricación sin restricciones, con el fin de imprimir en 3D la pieza con diseño generativo obtenida.

Figura 52.

Configuración de método de fabricación del pedal



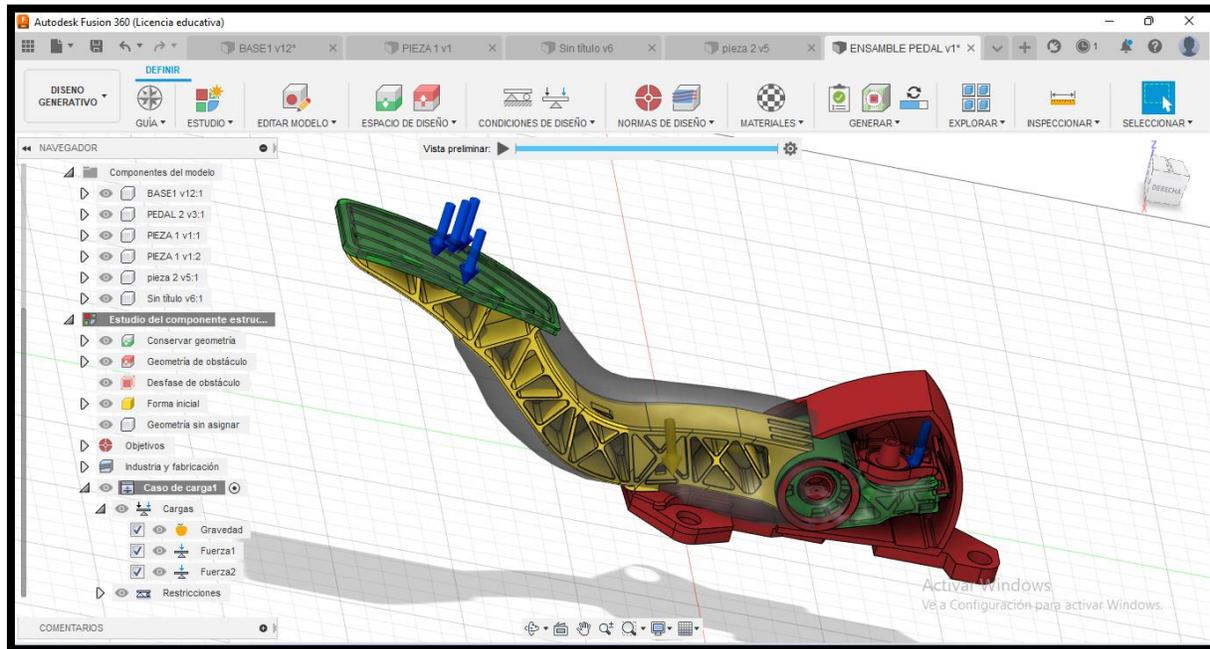
Fuente: Autores

- **Selección de pre visualización:**

Se selecciona pre visualización con el fin de realizar una vista rápida de cómo quedará el diseño generativo de la pieza, pudiendo así detectar algún error generado en la aplicación de cargas y restricciones.

Figura 53.

Pre visualización de diseño generativo del pedal



Fuente: Autores

3.4 Selección del diseño más apto para su uso

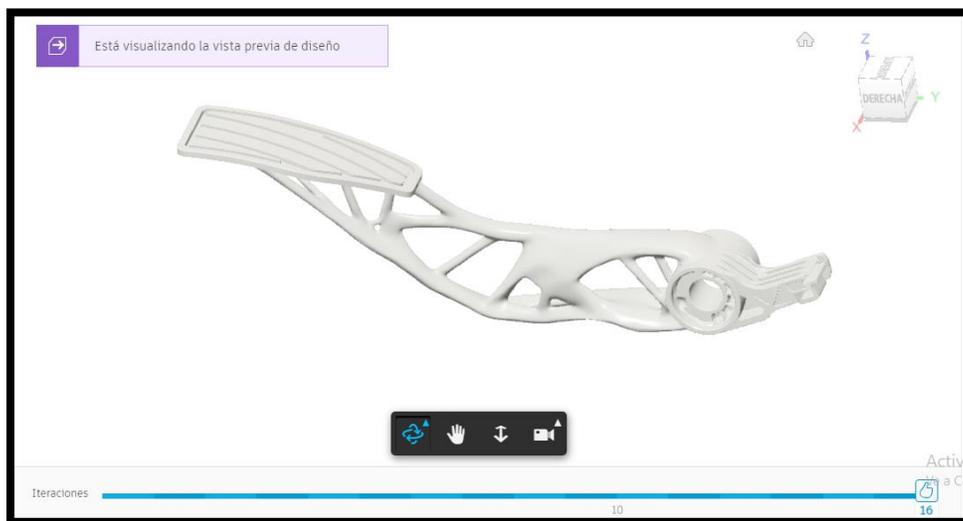
Luego de generar el estudio en el programa Fusion 360, se puede visualizar que para el elemento de estudio se han creado 6 posibles diseños, los cuales podemos analizarlos tanto sus propiedades como la forma visual de los mismos. (Resultados de diseño generativo del pedal dados por Fusion 360, Anexo 2)

3.4.1 Visualización y análisis de cada uno de los resultados.

- **Resultado 1:**

Figura 54.

Resultado 1



Fuente: Autores

Tabla 4.

Propiedades de resultado 1

Propiedades de Resultado 1	
Volumen (mm³)	64709.276
Masa (Kg)	0.069
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	9.999
Coefficiente min. De seguridad	2
Deformación máxima	0.006115
Material	Plástico ABS

Fuente: Autores

- **Resultado 2:**

Figura 55.

Resultado 2



Fuente: Autores

Tabla 5.

Propiedades de resultado 2

Propiedades de Resultado 2	
Volumen (mm³)	88487.217
Masa (Kg)	0.094
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	10
Coefficiente min. De seguridad	2
Deformación máxima	0.004579
Material	Plástico ABS

Fuente: Autores

- **Resultado 3:**

Figura 56.

Resultado 3



Fuente: Autores

Tabla 6.

Propiedades de Resultado 3

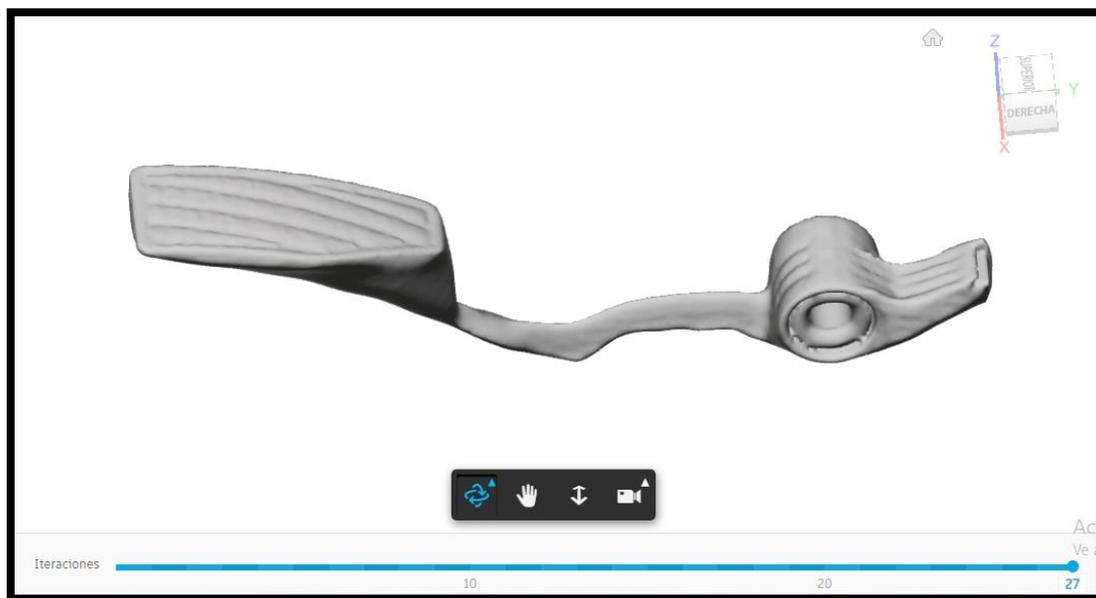
Propiedades de Resultado 3	
Volumen (mm³)	156357.453
Masa (Kg)	0.166
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	10
Coefficiente min. De seguridad	2
Deformación máxima	0.006743
Material	Plástico ABS

Fuente: Autores

- **Resultado 4:**

Figura 57.

Resultado 4



Fuente: Autores

Tabla 7.

Propiedades de resultado 4

Propiedades de Resultado 4	
Volumen (mm³)	114543.542
Masa (Kg)	0.309
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	137.495
Coefficiente min. De seguridad	2
Deformación máxima	0.007918
Material	Aluminio 6061

Fuente: Autores

- **Resultado 5:**

Figura 58.

Resultado 5



Fuente: Autores

Tabla 8.

Propiedades de resultado 5

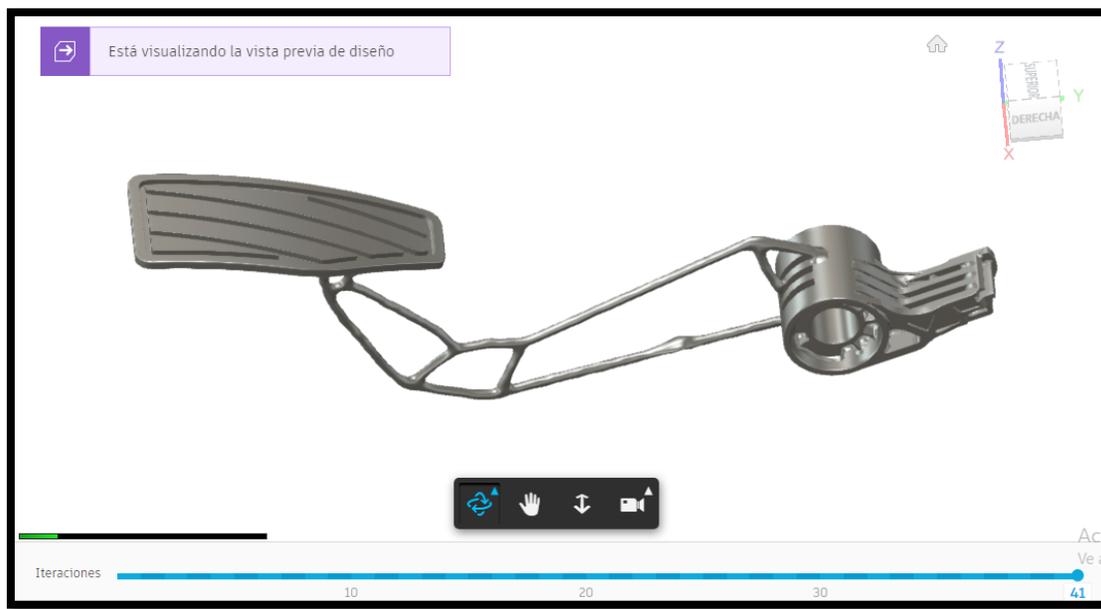
Propiedades de Resultado 5	
Volumen (mm³)	49850.003
Masa (Kg)	0.133
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	119.993
Coefficiente min. De seguridad	2
Deformación máxima	0.002872
Material	Aluminio AlSi10Mg

Fuente: Autores

- **Resultado 6:**

Figura 59.

Resultado 6



Fuente: Autores

Tabla 9.

Propiedades de resultado 6

Propiedades de Resultado 6	
Volumen (mm³)	66210.389
Masa (Kg)	0.177
Máx. esfuerzo de von Mises (MPa)	119.933
Coefficiente min. De seguridad	2.001
Deformación máxima	0.00276
Material	Aluminio AlSi10Mg

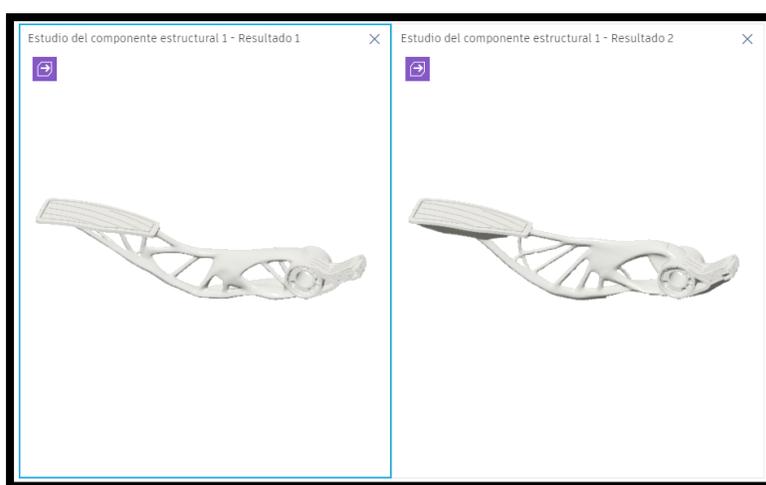
Fuente: Autores

3.4.2 Selección del diseño generativo más apto

Se comparó entre los dos resultados con menor peso, con el material de estudio deseado (ABS) y con la forma más apta para el ensamblaje y funcionamiento en la praxis. En este caso se seleccionó el resultado 1 y el resultado 2 para la comparación.

Figura 60.

Comparación de resultados 1 y 2



Fuente: Autores

Tabla 10.

Tabla comparativa de resultados 1 y 2

Propiedades Resultado 1 y Resultado 2		
	Resultado 1	Resultado 2
Volumen (mm³)	64709.276	88487.217
Masa (Kg)	0.069	0.094
Máx. esfuerzo de von Mises	9.999	10
(MPa)		

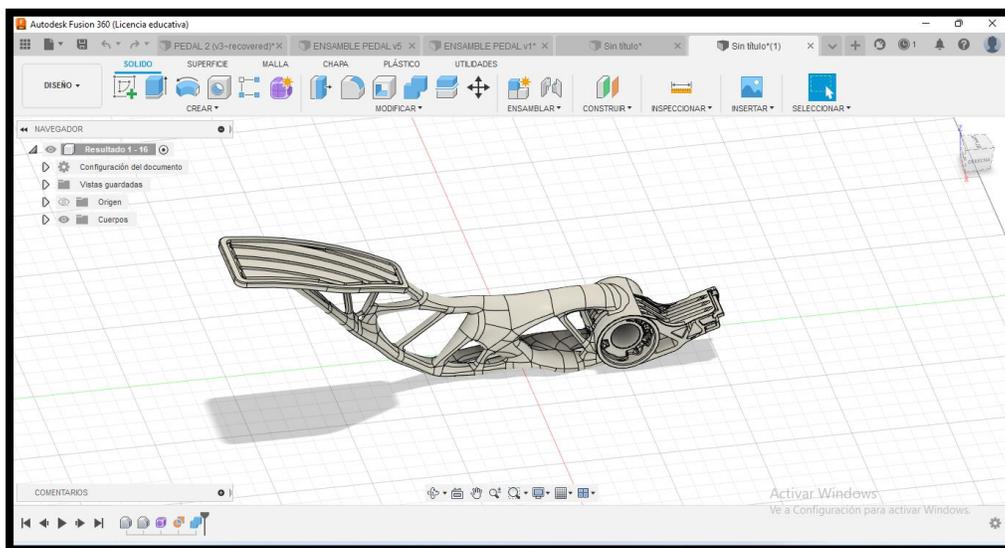
Coefficiente min. De seguridad	2	2.
Deformación máxima	0.006115	0.004579
Material	Plástico ABS	Plástico ABS

Fuente: Autores

En este caso se puede observar que la mejor opción es el resultado 1, debido a que el volumen es menor, por ende, la masa es menor. También se puede observar que el coeficiente mínimo de seguridad aplicado para este resultado es de 2 que es el indicado para la aplicación del diseño. Se puede observar que el material es el mismo en los dos resultados y el deseado para su aplicación. Además, dicho resultado presenta mejor forma para el correcto funcionamiento del mismo en el ensamblaje. Una vez escogido el resultado más apto se creó un diseño a partir del resultado 1.

Figura 61.

Nuevo diseño



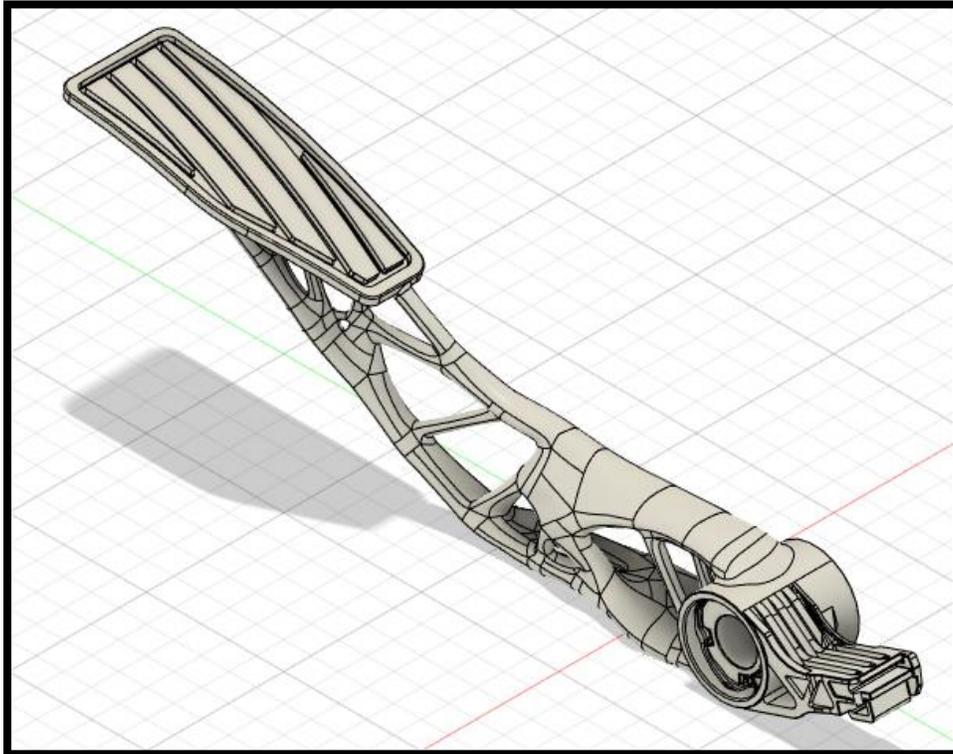
Fuente: Autores

3.4.3 Vistas de diseño generativo seleccionado del pedal

- Vista en perspectiva del diseño generativo:

Figura 62.

Vista en perspectiva del nuevo diseño

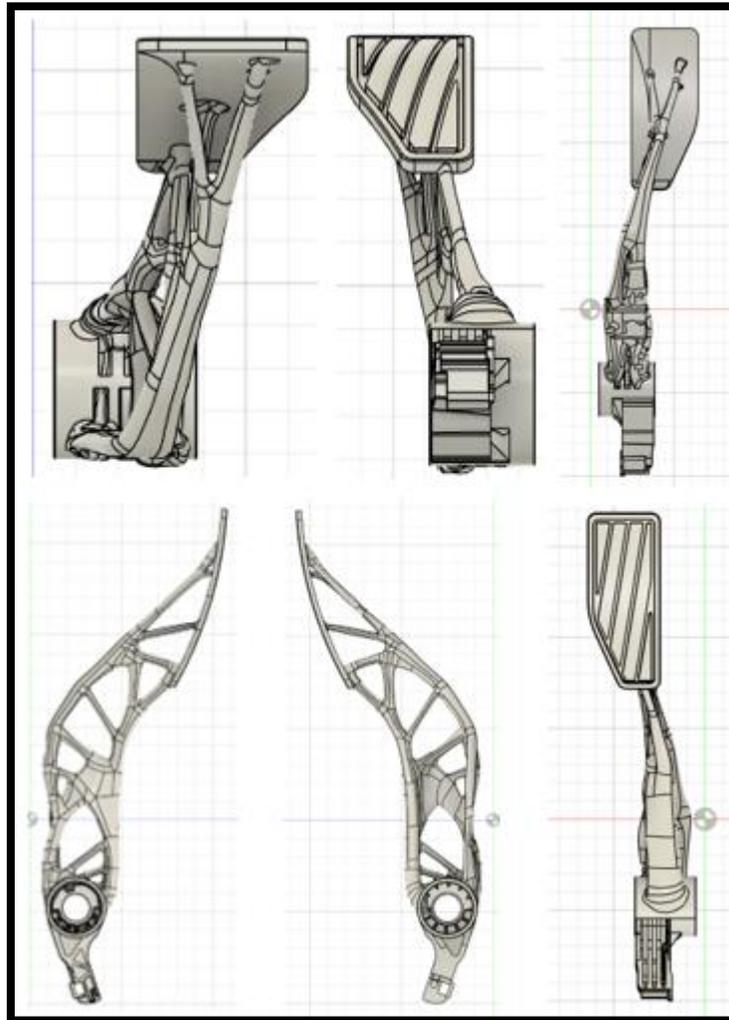


Fuente: Autores

- **Vistas del nuevo diseño:**

Figura 63.

Vistas del nuevo diseño



Fuente: Autores

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA ESTABLECER LA EFICIENCIA DE APLICAR EL DISEÑO GENERATIVO EN AUTOPARTES

4.1 Introducción

En el presente capítulo mediante el análisis se evalúa el resultado obtenido en el capítulo anterior donde se observa mediante el estudio de tensiones y la evaluación de peso, la eficacia que tiene el elemento con diseño generativo frente al elemento original elegido para el presente estudio.

4.2 Evaluación de los esfuerzos en la pieza obtenida del diseño generativo.

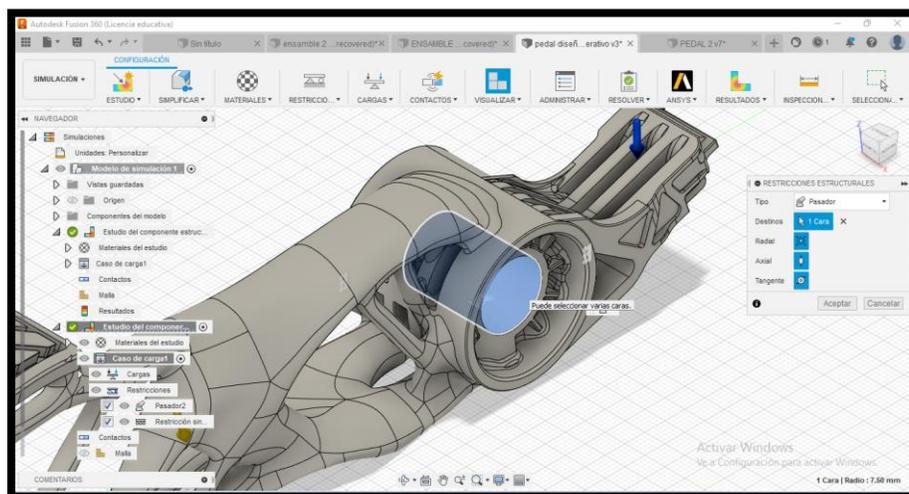
4.2.1 Simulación de tensión estática.

- **Restricciones estructurales:**

Se colocó restricciones estructurales, una en el punto de apoyo del pedal de tipo pasador y otra en los laterales del punto de apoyo de tipo restricción sin fricción.

Figura 64.

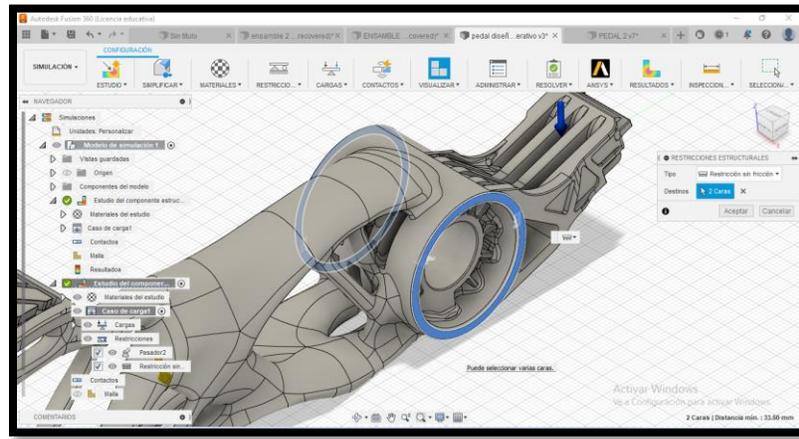
Colocación de restricción tipo pasador



Fuente: Autores

Figura 65.

Colocación de restricción tipo restricción sin fricción



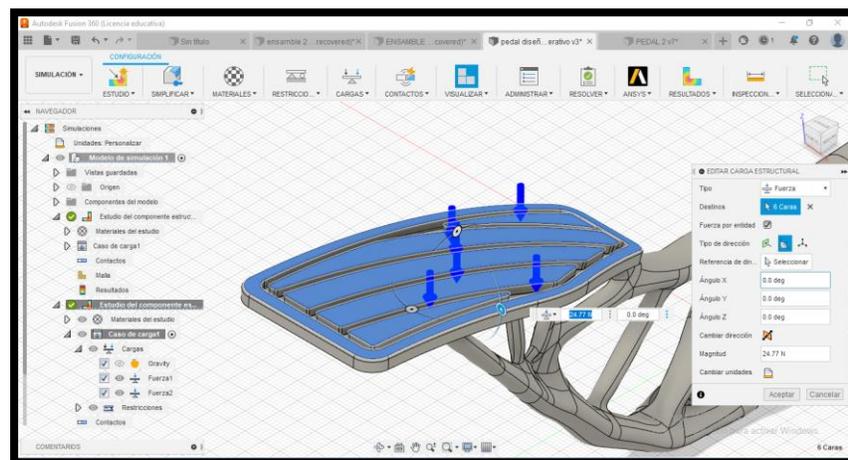
Fuente: Autores

- **Cargas estructurales**

Se colocó cargas estructurales, una de tipo fuerza de 24,77 N. en el punto de fuerza del pedal, y otra de tipo fuerza de 75 N. en el punto de resistencia del pedal.

Figura 66.

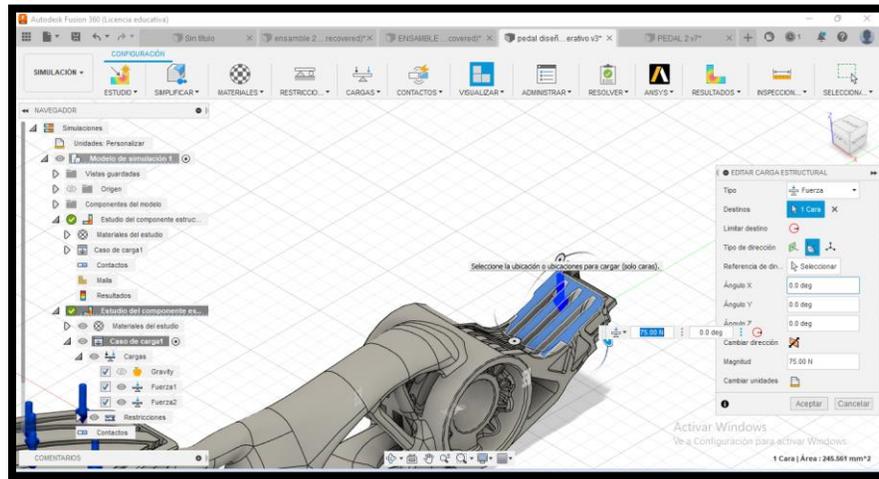
Colocación de carga tipo fuerza en punto de fuerza del pedal



Fuente: Autores

Figura 67.

Colocación de carga tipo fuerza en punto de resistencia del pedal

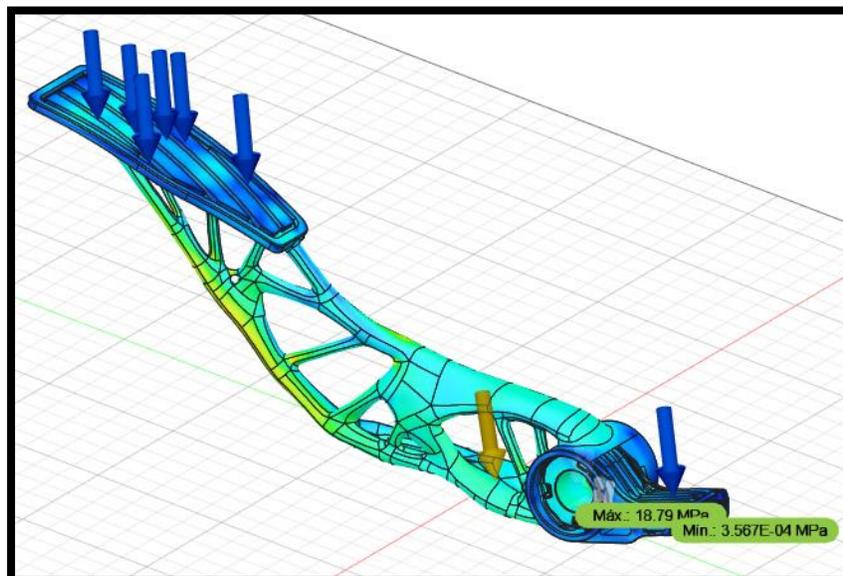


Fuente: Autores

- **Resolución de simulación**

Figura 68.

Resolución de la simulación de tensiones



Fuente: Autores

4.2.2 Evaluación de esfuerzos con material plástico ABS (Acrilonitrilo – Butadieno - Estireno)

- **Propiedades del plástico ABS según Fusión 360:**

Tabla 11.

Propiedades del plástico ABS

Propiedades Plástico ABS Según Fusión 360	
Propiedad	Valor
Densidad	1.06E-06 Kg/mm ³
Módulo de Young	2.24 GPa
Coefficiente de Poisson	0.38
Límite de elasticidad	20 MPa
Resistencia a tracción	29.6 MPa

Fuente: Autores

- **Propiedades del ABS Comercial:**

Tabla 12.

Propiedades plástico ABS comercial

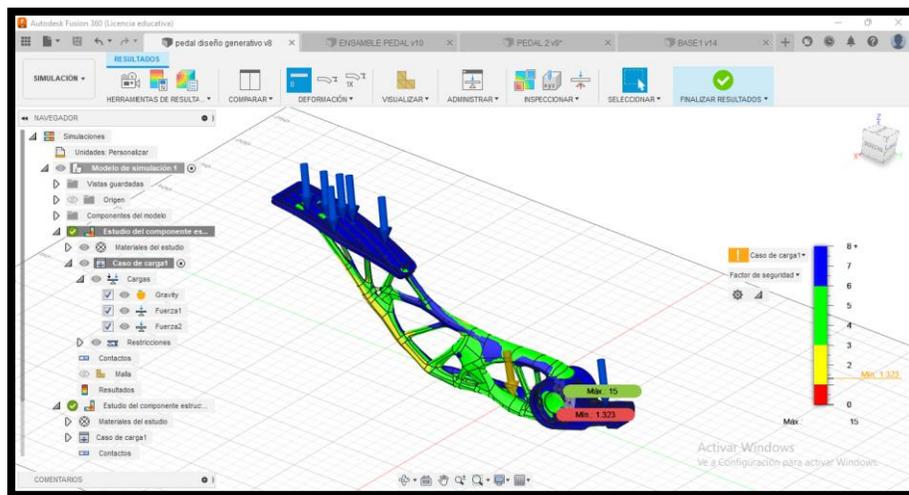
Propiedades Plástico ABS Comercial	
Propiedad	Valor
Densidad	1.21 g/cm ³
Módulo de Young	2.9 GPa
Coefficiente de Poisson	0.422
Límite de elasticidad	76 MPa

Resistencia a tracción

55.2 MPa

Fuente: (Barcelona, 2022)

- **Evaluación de Factor de seguridad:**

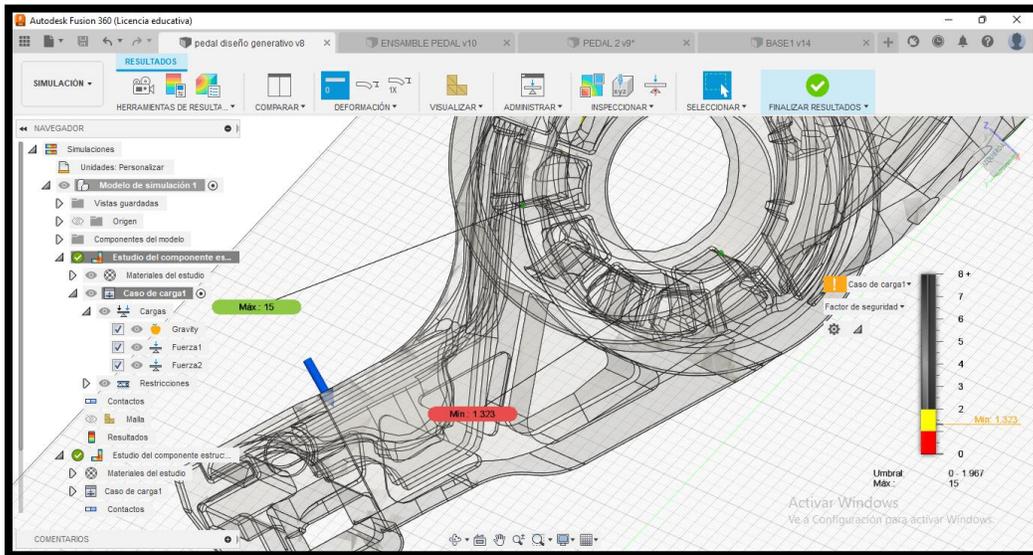
Figura 69.*Estudio de Factor de seguridad del pedal con diseño generativo**Fuente: Autores*

Se puede observar que el factor de seguridad en el punto de potencia, en el punto de resistencia, en el punto de apoyo y en ciertos puntos del brazo de fuerza del pedal es mayor a 6. En ciertos puntos del brazo de fuerza del pedal, en el que el diseño generativo está presente, el factor de seguridad es mayormente superior a 3 y en ciertos puntos donde se soporta mayores esfuerzos es mayor a 2.

Existe un punto en específico en el componente tiene un factor de seguridad de 1,323; sin embargo, se puede obviar para el proceso de construcción de la pieza, debido a que su factor de seguridad es mayor a 1 y este punto es insignificante ya que solamente se encuentra en una cara del componente y no en toda la sección.

Figura 70.

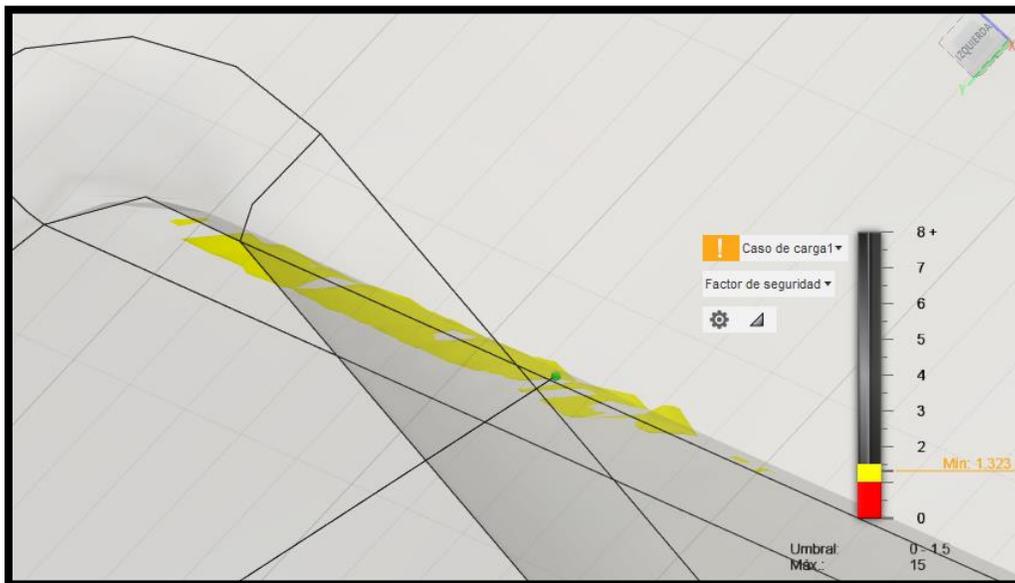
Punto donde el factor de seguridad es de 1.323



Fuente: Autores

Figura 71.

Acercamiento al punto en el que el factor de seguridad es 1.323

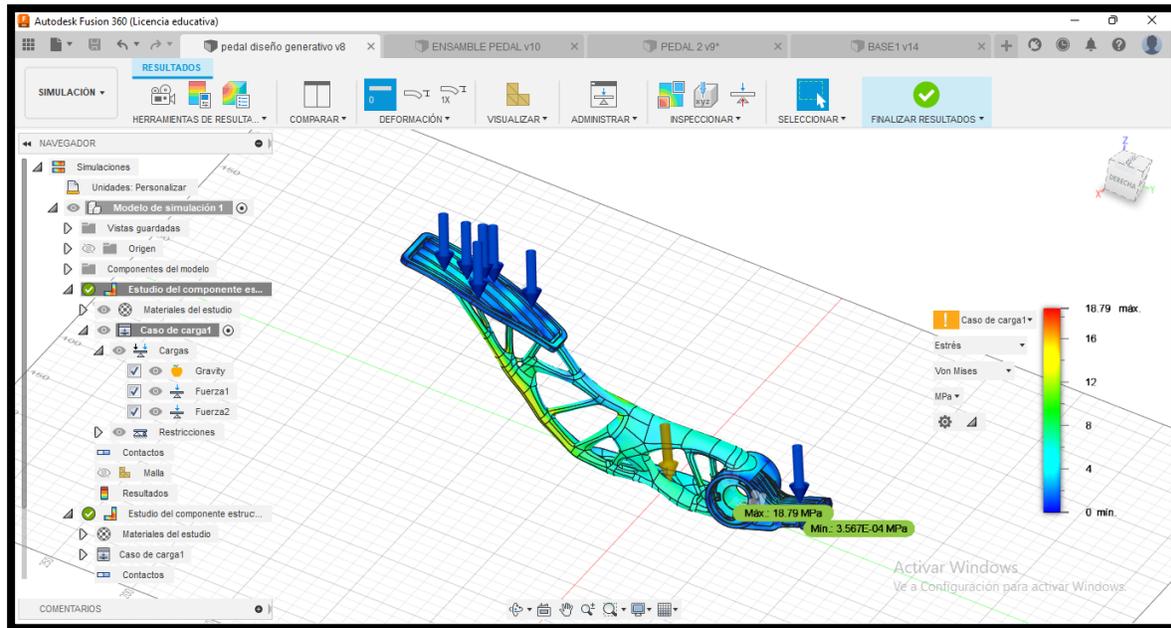


Fuente: Autores

- Evaluación de Esfuerzos:

Figura 72.

Estudio de esfuerzos del pedal con diseño generativo



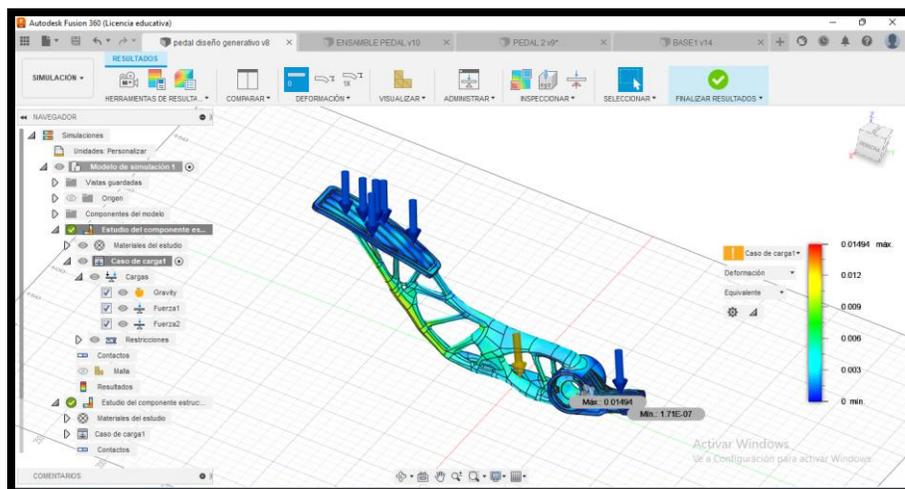
Fuente: Autores

Se puede observar que el estrés generado en la mayoría del pedal es menor a 8 MPa. En ciertos lugares del brazo de fuerza del pedal hay cargas que van desde los 8 MPa. hasta los 16 MPa. En el mismo punto donde el factor de seguridad es el menor, existe una carga de 18.79 MPa; de la misma manera, como el punto es muy pequeño e insignificante se lo puede obviar.

- Evaluación de Deformación:

Figura 73.

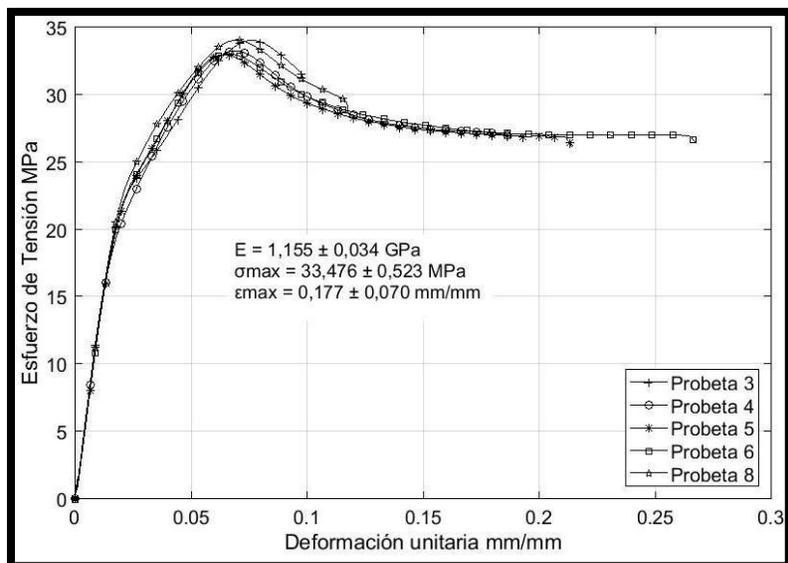
Estudio de Deformación del pedal con diseño generativo



Fuente: Autores

Figura 74.

Curva de esfuerzo - Deformación del ABS



Fuente: (Agudelo, 2019)

Se puede observar que en la mayoría del pedal existen deformaciones unitarias menores a 0.006, mismos que se encuentran, según la curva de esfuerzo – deformación, al inicio del tramo de deformación elástica del material.

En ciertos puntos pequeños del pedal se pueden encontrar deformaciones que van desde 0.009 a 0.012, que igualmente, según la curva de esfuerzo – deformación, se encontraría al inicio del tramo de deformación elástica del material, sin afectar el rendimiento de la pieza.

En un punto en específico, mismo que en las evaluaciones anteriores, la deformación es la máxima de 0,01494; misma que en la curva de esfuerzo – deformación sigue estando al inicio del tramo de deformación elástica. Por lo que de igual manera y al ser un punto tan pequeño sigue siendo algo que no se debe de tomar en consideración.

- **Evaluación general:**

El diseño Generativo del pedal fue realizado para que la pieza sea hecha con material ABS, por lo que el estudio de tensiones fue realizado con el mismo material, dando así resultados favorables en toda la pieza; sin embargo, en un punto presente en todas las evaluaciones realizadas existe mayor riesgo de fallo del componente, que se lo puede obviar debido a que en la práctica si el material llegase a fallar en ese punto en específico no existiría ninguna afección a la pieza física.

También, se puede notar que se aplicó los datos de resistencia del material ABS de Fusión 360; sin embargo, el material comercial ABS tiene datos de resistencia mayores por lo que los esfuerzos soportados por el pedal utilizando diseño generativo y el material comercial serían mucho menores y por lo tanto el elemento más resistente.

4.3 Verificación de la eficacia de la nueva pieza obtenida frente a la pieza original.

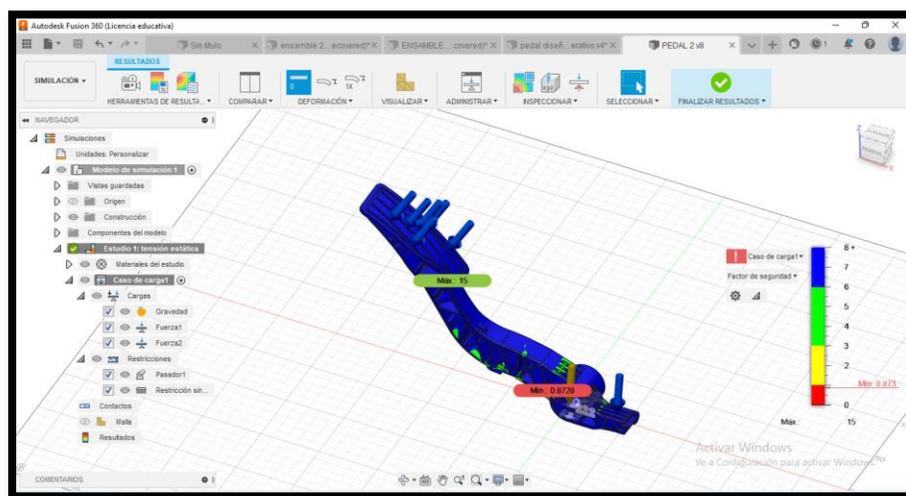
4.3.1 Comparación mediante estudio de tensiones.

Debido a que el material original del pedal no se encuentra disponible en la biblioteca de materiales de Fusion 360, no se pudo realizar con dicho material; en cambio, se lo realizó con ABS para tener una estimación más exacta entre el modelo con diseño generativo y el modelo original.

- **Evaluación del factor de seguridad de pieza original:**

Figura 75.

Evaluación de Factor de seguridad en diseño original del pedal



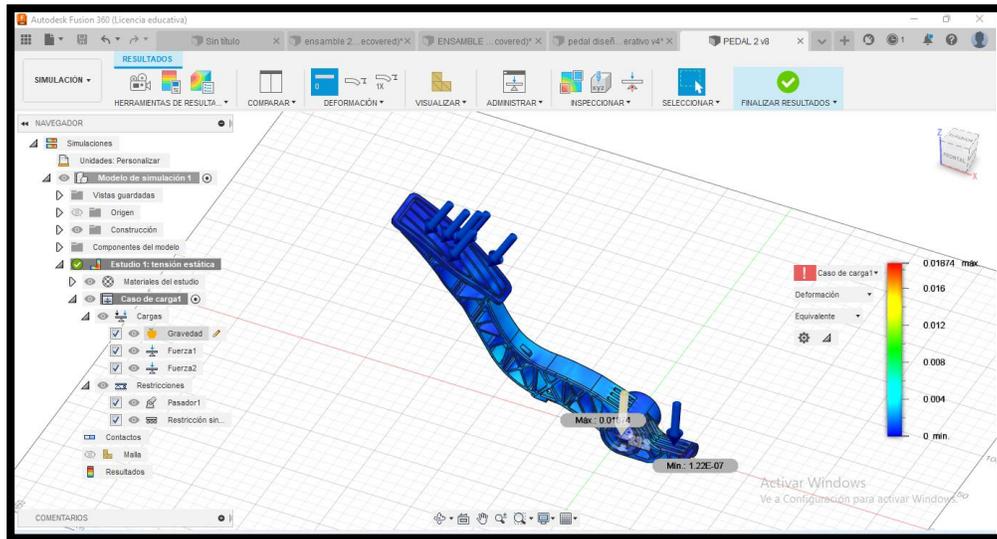
Fuente: Autores

Se puede observar que el factor de seguridad en la pieza original es en su mayoría superior a 6; y que en ciertas partes del componente el factor de seguridad es de entre 2 y 6; además existe un punto en el que el factor de seguridad es menor a 1, exactamente de 0,8728, mismo que como ya fue explicado anteriormente y en este caso la pieza ya está construida, no afecta en nada al funcionamiento debido a que es un punto casi insignificante y solo se encuentra ubicado en una cara de una parte del elemento y no en una sección del mismo.

- **Evaluación de la deformación:**

Figura 76.

Evaluación de deformación en diseño original del pedal



Fuente: Autores

Se puede observar que en la mayoría del pedal original existen deformaciones unitarias menores a 0.008, mismos que se encuentran, según la curva de esfuerzo – deformación, al inicio del tramo de deformación elástica del material.

En ciertos puntos pequeños del pedal se pueden encontrar deformaciones que van desde 0.012 a 0.016, que igualmente, según la curva de esfuerzo – deformación, se encontraría al inicio del tramo de deformación elástica del material, sin afectar el rendimiento de la pieza.

En un punto en específico, mismo que en las evaluaciones anteriores, la deformación es de 0,01874; misma que en la curva de esfuerzo – deformación sigue estando al inicio del tramo de deformación elástica. Por lo que de igual manera no se debe de tomar en consideración.

- **Comparación entre el diseño original y el diseño generativo del pedal:**

Se puede notar que el diseño original de la pieza tiene un mayor factor de seguridad en la mayoría del elemento, teniendo menor estrés en el mismo y menores resultados de deformación, dando así una mayor resistencia a este. Sin embargo, esta ocupa mayor cantidad de material que la pieza con diseño generativo; dado aquello se puede ver que dicho exceso de material no tiene una función significativa al momento de aplicar las cargas a las cuales se va a someter el elemento en estudio.

4.3.2 Comparación mediante el peso de cada componente.

La pieza original fue pesada en una balanza la cual nos dio como resultado 107 g.; sin embargo, la pieza tiene dos agujeros en el punto de fuerza del pedal, mismos que haciendo una aproximación harían que la pieza pese un gramo más, por lo que la pieza original pesaría 108 g.

Figura 77.

Peso pedal original

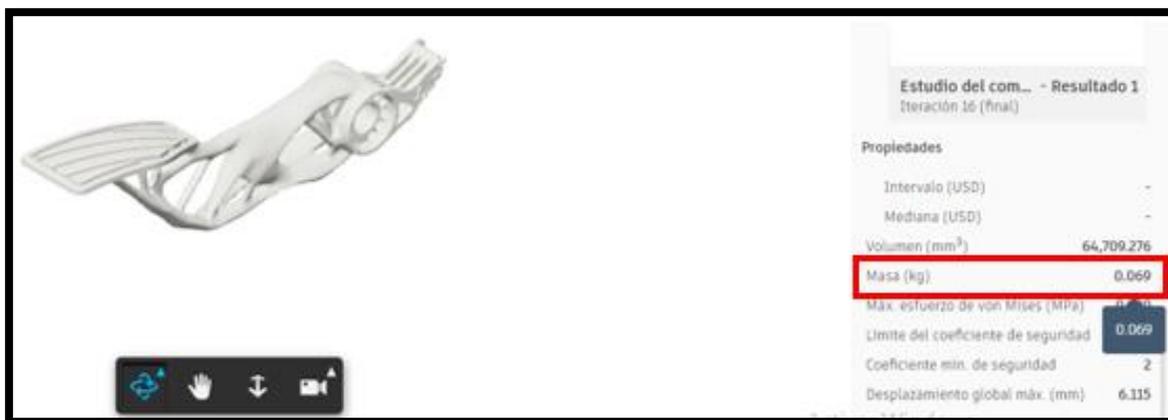


Fuente: Autores

La pieza con diseño generativo, según lo que indica el programa, es de 0,069 Kg.; mismo que es igual a 69g.

Figura 78.

Peso pedal con diseño generativo



Fuente: Autores

Podemos notar que hubo una gran reducción del peso del elemento debido a que se redujo el 36,11% del peso total del componente, esto con la utilización del plástico ABS.

Tomando en cuenta que el material utilizado en la pieza original es el PA6-GF40 (Polyamida con 40% de fibra de vidrio) con una densidad de $1,45 \text{ g/cm}^3$, con este dato se puede realizar una comparación con la densidad del ABS, misma que es de $1,1 \text{ g/cm}^3$, y a partir de esto realizamos una interpolación en la cual podríamos estimar su peso y el porcentaje de reducción del mismo frente al diseño generativo.

Tabla 13.*Estimación de eficiencia de peso con PA6-GF40*

Estimación de eficiencia de peso con PA6-GF40		
Ítem	Pieza original	Diseño generativo
Peso con ABS	81.93g.	69g.
Peso con PA6-Gf40	108g.	90.95g
Porcentaje de reducción de peso con ABS		31,11%
Porcentaje de reducción de peso con PA6-GF40		15.78%

Fuente: Autores

Según se presenta en la tabla la reducción de peso si se aplicara el mismo material que la pieza original en la pieza con diseño generativo es de un 15.78%. Por ende, se puede decir que la aplicación de diseño generativo es eficaz para la producción del elemento de estudio.

4.4 Presentación de posibles soluciones al aplicar diseño generativo en la producción de autopartes.

Luego de la realización del estudio con diseño generativo en el elemento seleccionado se puede tener una referencia de cuáles son las soluciones que se pueden obtener mediante el uso del diseño generativo como herramienta para la fabricación de autopartes, mismas soluciones que se presentan a continuación:

- **Tiempo:**

Con el diseño generativo se puede reducir el tiempo de producción de las autopartes, debido a que al ocupar menos material se puede aumentar el rendimiento de la línea de producción.

- **Costos:**

Al ocupar menor material para producir una autoparte, el costo tanto de producción como de distribución, debido al peso, disminuyen. Además, dicha disminución en el coste de la pieza a producir influirá también de manera directa en el P.V.P.

- **Mejoras visuales:**

Al tener formas más ergonómicas, se puede ver una clara mejora en su aspecto visual.

- **Innovación:**

Da paso a la utilización de nuevas herramientas de diseño y nuevos métodos de producción.

- **Fiabilidad:**

Ocupando las herramientas de diseño se puede estudiar a fondo el comportamiento de una pieza, lo cual da una proyección mucho más acertada de que tan fiable es la aplicación de la misma en la práctica.

CONCLUSIONES

- Podemos ver que el “diseño generativo” es un método de diseño que utiliza un programa de software impulsado por IA (inteligencia artificial), donde el diseñador tiene un papel fundamental ya que realiza un estudio exhaustivo del elemento a diseñar, donde obtiene todos los parámetros que inciden en el funcionamiento de dicho elemento. Con esto se genera una gama de soluciones o productos finales autónomos, interactivos y paramétricos, que además cumplen con el conjunto de restricciones dadas por el diseñador.
- La determinación de esfuerzos y restricciones del elemento a aplicar diseño generativo es parte del éxito del mismo. Dado aquello, vemos que el pedal de aceleración está sometido a diferentes cargas las cuales determinarán su comportamiento entorno a las restricciones en las cuales se desenvuelve su funcionamiento. Por ello, el estudio a detalle del elemento nos dará el punto de partida para emplear el método generativo correctamente.
- En el proceso de aplicación de diseño generativo a un elemento es de considerable atención el material a aplicar, las restricciones, las cargas, las geometrías obstáculo, el proceso de manufactura y el objetivo de diseño; esto debido a que si uno de ellos no se encuentra de la manera correcta el diseño generativo del elemento resultante no cumplirá con todos los requerimientos necesarios para su funcionamiento en la práctica.
- El diseño generativo asegura que el pedal de aceleración aplicando dicho método reducirá costos y tiempo de fabricación, debido a que la selección realizada en el capítulo cuatro ahorra un 31,11% de material si se lo fabrica con ABS y un 15,78% con PA6-GF40. Cubriendo así los requerimientos mecánicos necesarios para su aplicación de las funciones requeridas del pedal en la praxis, brindando una alternativa práctica de diseño y del mismo modo una apariencia visual mucho más agradable para el consumidor.

RECOMENDACIONES

- Se debe de tomar en cuenta todas las restricciones y cargas aplicadas al elemento al que se requiere aplicar diseño generativo, con el fin de generar soluciones aptas para su posterior fabricación.
- Al aplicar diseño generativo se debe tener en consideración el método de fabricación de la autoparte diseñada, mismo que está definido por el sector automotriz al cual vaya enfocada la aplicación de este elemento.
- Se debe contemplar las propiedades mecánicas del material a utilizar para la fabricación del elemento con diseño generativo, esto debido a que afecta en los resultados generados por el programa, directamente al diseño, funcionalidad y fiabilidad de dicho elemento.
- Partiendo del presente estudio se considera necesario que se debería generar una investigación, en donde se evalué el comportamiento mecánico del elemento de la presente investigación para determinar si es posible aplicarlo en la praxis directamente luego de la impresión 3D.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo Monterrosa, M. J. (Febrero de 2019). *ResearchGate*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/figure/Curva-de-esfuerzo-deformacion-idealizada-para-materiales-ductiles_fig1_331310495

Agudelo, D. (Agosto de 2019). *ResearchGate*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Curvas-esfuerzo-deformacion-en-direccion-axial-ABS-0-0_fig2_335973217

Autodesk. (04 de Febrero de 2020). *Autodesk*. Obtenido de

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/InventorLT-Help/files/GUID-2E36EC5A-8C83-43F0-A58E-41744C5325A0-htm.html>

Autodesk. (04 de Febrero de 2020). *Autodesk*. Obtenido de

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/InventorLT-Help/files/GUID-E59D4D86-F62E-423C-B6F5-F0E239FDE745-htm.html>

Autodesk. (2022). *Autodesk*. Obtenido de [https://latinoamerica.autodesk.com/customer-](https://latinoamerica.autodesk.com/customer-stories/volkswagen-generative-design)

[stories/volkswagen-generative-design](https://latinoamerica.autodesk.com/customer-stories/volkswagen-generative-design)

Autodesk Support. (16 de Marzo de 2020). *Autodesk*. Obtenido de

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/fusion-360/troubleshooting/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/Loads-transferred-to-a-simulation-study-from-Generative-Design-are-not-applied-correctly-to-the-face-in-Fusion-360.html>

Autodesk Support. (18 de febrero de 2021). *Autodesk*. Obtenido de

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/fusion-360/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/Multiple-load-cases-with-reversing-loads-in-a-Fusion-360-Generative-Design-simulation.html>

Barcelona, U. d. (2022). *Materials*. Obtenido de

<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs>

Beliz, G. (31 de Agosto de 2018). *BID*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/conocimiento-abierto/es/riesgos-eticos-de-la-inteligencia-artificial/>

Bohnacker, H., Laub, J., Groß, B., & Lazzeroni, C. (2019). *Generative Design*. Princeton.

Brossard, M., Gatto, G., Gentile, A., Merle, T., & Wlezien, C. (5 de Febrero de 2020). *McKinsey y Company*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-generative-design-could-reshape-the-future-of-product-development/es-ES>

Búa, M. T. (Mayo de 2014). *Xunta de Galicia*. Obtenido de

<https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/index.html>

Bureau, M. (22 de Diciembre de 2018). *motorpasión*. Obtenido de

<https://www.motorpasion.com.mx/industria/asi-prueban-caliper-impreso-3d-bugatti-a-375-km-h>

Concurso. (2022). *Concurso*. Obtenido de

http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_pal_primergrado.htm

- Deingenierias. (24 de Junio de 2019). *Deingenierias.com*. Obtenido de <https://deingenierias.com/el-acero/diagrama-esfuerzo-deformacion/>
- Diaz, G., Herrera, R., Muñoz, F., & Atencio, E. (13 de Noviembre de 2020). Aplicaciones del diseño generativo en la ingeniería estructural. Valparaiso, Chile.
- DS. (2021). *DS*. Obtenido de <https://www.ds.ind.br/es/produtos/sensor-de-posicion-del-pedal-del-acelerador/2202>
- E-auto. (2022). *e-auto.com.mx*. Obtenido de <https://e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/6571-acelerador-electronico-modulo-de-pedal-de-acelerador>
- EMANUELE, C. (20 de enero de 2016). *Patentados.com*. Obtenido de <https://patentados.com/2016/pedal-de-acelerador-en-particular>
- Fernandez, J. L. (abril de 2013). *FisicaLab*. Obtenido de <https://www.fisicalab.com/apartado/concepto-fuerza>
- Física Práctica. (2022). *Física Práctica*. Obtenido de <https://www.fisicapractica.com/momento.php#:~:text=El%20momento%20de%20una%20fuerza,recibe%20el%20nombre%20de%20torque.>
- Formlabs. (2021). *Formlabs*. Obtenido de <https://formlabs.com/latam/blog/disenio-generativo/>
- Fransoy, P. (03 de Junio de 2020). *Bloquetech*. Obtenido de <https://www.bloquetech.com/el-disenio-generativo/>
- Helloauto. (2021). *Helloauto*. Obtenido de <https://helloauto.com/glosario/acelerador>

- Hoyo, R. (05 de Marzo de 2009). *Autocosmos*. Obtenido de <https://noticias.autocosmos.com.mx/2009/03/05/suzuki-grand-vitara-l4-gls-2009-a-prueba>
- M., A. (17 de Agosto de 2020). *3D Natives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/disenogenerativo-fabricacion-aditiva-17082020/>
- Mathmach. (2022). *Mathmach*. Obtenido de <https://matmatch.com/es/materials/lftg013-pa6-gf40-lft-g->
- Mpena. (16 de Diciembre de 2020). *Inovación y Tecnología*. Obtenido de <https://www.innovacion-tecnologia.com/fabricacion-aditiva/disenogenerativo/>
- Org.Sur. (2022). Obtenido de https://orgsurauto.mercadoshops.com.ar/MLA-776024871-pedal-acelerador-electronico-ecosport-12-ford-fiesta-0214-_JM
- Osio, U. R. (2017). *Manual de Diseño Generativo*. Lima: Universidad de Lima.
- PORTILLO, R. A. (Julio de 2014). Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/16250/u686316.pdf?sequence=1>
- SAE International. (2009). *Motor Vehicle Dimensions*.
- V., L. F. (17 de junio de 2020). *Integral ingenieros consultores*. Obtenido de <https://www.integral.com.co/factor-de-seguridad-vs-probabilidad-de-falla/>
- VILLAMIZAR, A. (2016). *Sliderplayer*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/6059430/>
- Villasante, P. (07 de Mayo de 2019). *La Mente es Maravillosa*. Obtenido de <https://lamenteesmaravillosa.com/la-teoria-linguistica-de-noam-chomsky/>

Volkswagen AG. (20 de Noviembre de 2012). *slideshare*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/ToniGim/210-acelerador-electronico>

Xi, Y. (Diciembre de 2015). *Clemson University*. Obtenido de

[https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2804&context=all_dissertatio](https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2804&context=all_dissertations)

ns

ANEXOS

Anexo 1:

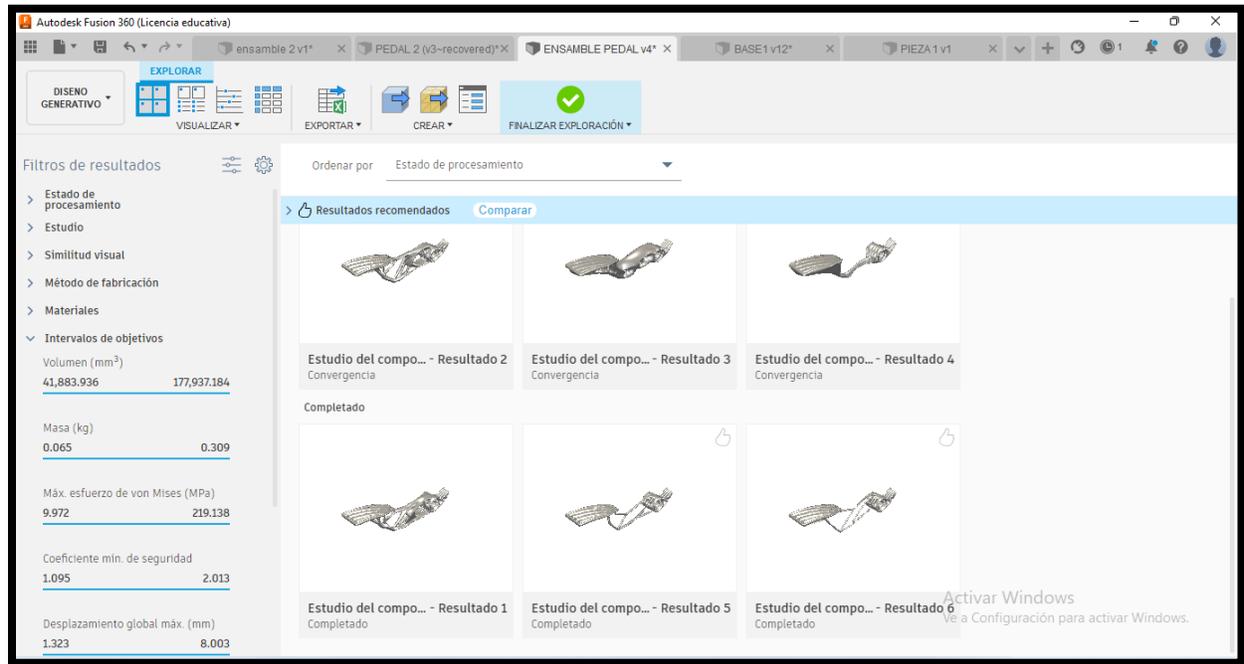
Fotografía de vista lateral del pedal ocupado en Canvas



Fuente: Autores

Anexo 2:

Resultados de diseño generativo del pedal dados por Fusion 360



Fuente: Autores