

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE PARA
UN MOTOR 2T”**

Autor:

D. Marco Antonio Ferrer Cuquerella

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Ing. Sandra Paola Rojas Lema

Septiembre, 2020

RESUMEN

“Diseño y validación del sistema de escape para un motor 2T”

El siguiente Trabajo Final de Grado se va a centrar en el diseño del sistema de escape de un motor de combustión interna alternativo de dos tiempos, siguiendo en todo momento las indicaciones de la normativa vigente. En él se va a estudiar un motor dos tiempos monocilíndrico de aspiración natural y de una cilindrada baja, para una motocicleta.

El proceso de renovación de la carga de estos motores es debido a las diferencias de presiones entre admisión y escape, es decir, durante el barrido, y es muy frecuente que se produzca cortocircuito durante este proceso. Una de las problemáticas de estos motores, es la pérdida de combustible durante la etapa de barrido del ciclo de trabajo, lo que provoca un peor rendimiento, un motor menos eficiente y con mayor producción de gases contaminantes.

Este estudio pretende realizar un correcto diagrama de distribución en el que se buscarán los ángulos óptimos de avance y retraso de apertura y cierre de las válvulas, o en este caso de las lumbreras tanto de admisión o transferencia como de escape, por lo que se va a centrar en el rediseño del sistema de escape donde se analizará el fenómeno de la resonancia de las ondas a través de este, para maximizar el rendimiento del motor, y con ello, se permitirá una fácil evacuación de los gases de escape mediante la entrada de mezcla fresca y, por el contrario, se dificultará la salida de esta mezcla fresca hacia el escape durante el proceso de expulsión de los gases quemados. Se buscará un tipo de material y proceso de fabricación que cumpla las características técnicas exigidas, así como con las sollicitaciones a las que se va a ver sometido, teniendo presente en todo momento un fin económico que permita reducir costes.

En este estudio se va a utilizar un software de simulación de sistemas de escape, en el que se va a evaluar la influencia de distintos parámetros geométricos en la eficiencia del proceso de renovación de la carga y sus repercusiones sobre las prestaciones del motor.

Así pues, el presente TFG se plantea de tal manera que incluya diversas competencias del Grado en Ingeniería Mecánica, tales como el estudio de la normativa vigente, la utilización de herramientas CAD para diseño y obtención de planos, el empleo de herramientas CAE (por ejemplo, herramientas FEM derivadas del método de los elementos finitos), estudio de los métodos de fabricación, análisis de costes, y selección de materiales, entre otras.

SUMMARY

“Exhaust system design and validation for a 2T engine”

The following Final Grade Project will focus on the design of the exhaust system of a two-stroke alternative internal combustion engine, following at all times the indications of the current regulations. It will study a naturally aspirated single-cylinder two-stroke engine with a low cylinder capacity for a motorcycle.

The process of renewing the load of these engines is due to the differences in pressure between the intake and exhaust, i.e. during the sweeping process, and it is very common for a short circuit to occur during this process. One of the problems of these engines is the loss of fuel during the sweep stage of the working cycle, which causes a worse performance, a less efficient engine and a higher production of polluting gases.

This study aims to carry out a correct distribution diagram in which the optimum angles of advance and delay of opening and closing of the valves, or in this case of the intake or transfer lights as well as the exhaust, will be sought. Therefore, it will focus on the redesign of the exhaust system where the phenomenon of the resonance of the waves through it will be analysed, to maximise engine performance, thus allowing easy evacuation of exhaust gases through the fresh mixture inlet and, conversely, making it more difficult for this fresh mixture to escape to the exhaust during the process of expelling burnt gases. A type of material and manufacturing process must be sought which meets the required technical characteristics and the stresses to which it will be subjected, always bearing in mind an economic purpose which will allow costs to be reduced.

In this study, exhaust system simulation software will be used, in which the influence of different geometric parameters on the efficiency of the load renewal process and its repercussions on engine performance will be evaluated.

Therefore, this TFG is designed to include various skills of the Degree in Mechanical Engineering, such as the study of current regulations, the use of CAD tools

for design and obtaining plans, the use of CAE tools (eg, FEM tools derived from the finite element method), study of manufacturing methods, cost analysis, and selection of materials, among others

RESUM

“Disseny i validació del sistema de fuga per a un motor 2T”

El següent Treball Final de Grau es va centrar en el disseny del sistema de fuga d'un motor de combustió interna alternatiu de dos temps, seguint en tot moment les indicacions de la normativa vigent. En ell es va estudiar un motor dos temps monocilíndric d'aspiració natural i d'una cilindrada baixa, per a una motocicleta.

El procés de renovació de la càrrega d'estos motors és degut a les diferències de pressions entre admissió i fuga, és a dir, durant l'agranat, i és molt freqüent que es produïska curtcircuit durant este procés. Una de les problemàtiques d'estos motors, és la pèrdua de combustible durant l'etapa d'agranat del cicle de treball, la qual cosa provoca un pitjor rendiment, un motor menys eficient i amb major producció de gasos contaminants.

Este estudi pretén realitzar un correcte diagrama de distribució en què es buscaran els angles òptims d'avanç i retard d'obertura i tancament de les vàlvules, o en este cas de les llumeneres tant d'admissió o transferència com de fuga, per la qual cosa es va centrar en el redisseny del sistema de fuga on s'analitzarà el fenomen de la ressonància de les ones a través d'este, per a maximitzar el rendiment del motor, i amb això, es permetrà una fàcil evacuació dels gasos de fuga per mitjà de l'entrada de mescla fresca i, al contrari, es dificultarà l'eixida d'esta mescla fresca cap a la fuga durant el procés d'expulsió dels gasos cremats. Es buscarà un tipus de material i procés de fabricació que complisca les característiques tècniques exigides, així com amb les sollicitaciones a les que es va a veure sotmés, tenint present en tot moment un fi econòmic que permeta reduir costos.

En este estudi es va a utilitzar un programari de simulació de sistemes de fuga, en el que es va a avaluar la influència de distints paràmetres geomètrics en l'eficiència del procés de renovació de la càrrega i les seues repercussions sobre les prestacions del motor.

Així, doncs, el present TFG es planteja de tal manera que incloga diverses competències del Grau en Enginyeria Mecànica, com ara l'estudi de la normativa vigent, la utilització de ferramentes CAD per a disseny i obtenció de plans, l'ocupació de ferramentes CAU (per exemple, ferramentes FEM derivades del mètode dels elements finits), estudi dels mètodes de fabricació, anàlisi de costos, i selecció de materials, entre altres.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	13
LISTADO DE FIGURAS	15
LISTADO DE TABLAS.....	21
I. INTRODUCCIÓN	23
I.1. HISTORIA DE LA MOTOCICLETA.....	25
I.2. COMPETICIONES EN EL CAMPO DEL MOTOCICLISMO.....	30
I.2.1. Competiciones de Velocidad.	31
I.2.2. Competiciones de Trial.....	34
I.2.3. Competiciones de Enduro.....	38
I.2.4. Competiciones de Motocross.....	42
I.3. MOTORES 4T VS MOTORES 2T.....	46
I.3.1. Motor de cuatro tiempos (4T).....	47
I.3.1.1. Funcionamiento del motor de cuatro tiempos (4T).....	47
I.3.1.2. Proceso de renovación de la carga del motor de cuatro tiempos (4T).....	49
I.3.2. Motores de dos tiempos (2T).....	51
I.3.2.1. Funcionamiento del motor de dos tiempos (2T).....	52
I.3.2.2. Proceso de renovación de la carga del motor de dos tiempos (2T).....	54
I.4. SISTEMA DE ESCAPE DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T).	57
I.4.1. Partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T).	57

I.4.2. Funcionamiento del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T).....	61
--	----

I.5. MATERIALES EMPLEADOS EN LOS SISTEMAS DE ESCAPE DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T)..... 65

I.5.1. Materiales metálicos.	65
<i>I.5.1.1. Sistemas de escape de acero inoxidable.....</i>	<i>65</i>
<i>I.5.1.2. Sistemas de escape de aluminio.....</i>	<i>66</i>
<i>I.5.1.3. Sistemas de escape de titanio.....</i>	<i>66</i>
I.5.2. Materiales compuestos.	66
<i>I.5.2.1. Sistemas de escape de fibra de carbono.....</i>	<i>67</i>
<i>I.5.2.2. Sistemas de escape de kevlar.....</i>	<i>67</i>

II. OBJETIVOS.....69

II.1. OBJETIVO GENERAL.....	71
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	71

III. DESARROLLO PROYECTO.....73

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPO.	75
III.1.1. Prediseño del sistema de escape.....	76
III.1.2. Análisis del efecto de ondas en el sistema de escape.	84
<i>III.1.2.1. Variación de la longitud total del conducto de escape.....</i>	<i>90</i>
<i>III.1.2.2. Variación del régimen de giro del motor.</i>	<i>95</i>
III.1.3. Optimización del diseño del sistema de escape.....	103
<i>III.1.3.1. Simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP12 y LP34.</i>	<i>107</i>
<i>III.1.3.2. Simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP23 y LP45.</i>	<i>108</i>
<i>III.1.3.3. Simulaciones con cambio de diámetro de las secciones DEP2 y DEP34.....</i>	<i>110</i>
III.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	114

III.3. DISEÑO CAD DEL TUBO DE ESCAPE FINAL DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T).	116
III.4. ESTUDIO DE IMPACTO.	120
III.4.1. Asignación del material.	120
III.4.2. Estudio y definición de condiciones de contorno.	122
III.4.3. Generación de mallado.	124
III.4.4. Estudio del impacto de piedras sobre el escape.	124
III.4.4.1. Hipótesis de carga.	125
III.4.4.2. Análisis del estado tensional y deformación producida en la cámara del sistema de escape.	130
III.4.4.3. Análisis del estado tensional y deformación producida en el contracono del sistema de escape.	132
III.4.4.4. Análisis del estado tensional y deformación producida en el cono del sistema de escape.	135
III.4.5. Estudio estático de caída.	138
III.4.5.1. Hipótesis de carga.	138
III.4.5.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones para el estudio de caída.	140
III.4.6. Trazado de Factor de Seguridad.	141
III.5. ESTUDIO DE FRECUENCIA.	146
III.5.1. Análisis de estados tensionales y deformaciones.	148
III.6. PROCESO DE FABRICACIÓN.	153
III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.	157
IV. APÉNDICES	159
IV.1. PLANOS ACOTADOS.	161
IV.2. INFORMES SOLIDWORKS.	162

ABREVIATURAS

EO	Apertura de la lumbrera de escape
EC	Cierre de la lumbrera de escape
TO	Apertura de la lumbrera de transferencia
TC	Cierre de la lumbrera de transferencia
IO	Apertura de la lumbrera de admisión (cárter)
IC	Cierre de la lumbrera de admisión (cárter)
BDC	Punto Muerto Inferior (P.M.I.)
TDC	Punto Muerto Superior (P.M.S.)
BSFC	Consumo específico de carburante (gef)
BMEP	Presión media efectiva (p.m.e.)
IMEP	Presión media indicada (p.m.i.)
PMEP	Presión media de bombeo (p.m.b.)
FMEP	Presión media de pérdidas mecánicas (p.m.p.m.)
SEFF	Rendimiento del barrido
TEFF	Rendimiento de la retención
CEFF	Coefficiente de admisión
CYLINDER	Presión dentro del cilindro
EXHAUST	Presión en el escape
CRANKCASE	Presión en el cárter
INLET	Presión en la admisión

LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Imagen de la patente de la máquina de vapor de Nicolas-Joseph Cugnot de 1769	25
Figura I.2. Imagen de la patente del motor de ciclo Otto del ingeniero alemán Nicolaus Otto de 1876	26
Figura I.3. Imágenes y esquemas de la patente de la motocicleta de los ingenieros alemanes Daimler y Maybach de 1885	26
Figura I.4. Imagen de la motocicleta fabricada por los hermanos Hildebrand & Wolfmüller de 1894	27
Figura I.5. Cartel publicitario de la motocicleta fabricada por los hermanos Werner de 1894	27
Figura I.6. Fotografía de la denominada scooter Auto-Fauteuil de Georges Gauthier de 1902	28
Figura I.7. Imagen de un sidecar resultado del acoplamiento entre una motocicleta y un carro lateral	28
Figura I.8. Principales modalidades del mundo del motociclismo y sus características principales	30
Figura I.9. Evolución de la motocicleta en las competiciones de velocidad desde sus inicios hasta la actualidad	33
Figura I.10. Imagen de los orígenes de una competición de Trial	34
Figura I.11. Imagen de una competición de Trial de los últimos años	36
Figura I.12. Imagen de una competición de Trial a) en un circuito abierto , b) en un circuito cerrado	37
Figura I.13. a) Imagen de una competición de motocicletas de Enduro, b) Imagen de un sidecar durante una competición de Enduro	38
Figura I.14. a) Imagen de una motocicleta clásica de Enduro, b) Imagen de pilotos atravesando un río en una competición de Enduro	39
Figura I.15. Imagen de una competición de Enduro de los últimos años	40

Figura I.16. Imagen de la salida de una competición de Enduro .	41
Figura I.17. Imagen de un piloto realizando un salto en una competición de Motocross .	43
Figura I.18. Imagen de los orígenes de una competición de Motocross .	44
Figura I.19. Imagen de una competición de Motocross de los últimos años .	45
Figura I.20. Clasificación de los motores .	46
Figura I.21. Fases del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) .	47
Figura I.22. Diagrama indicador del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) .	49
Figura I.23. Diagrama de distribución del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) .	50
Figura I.24. Efectos del proceso de renovación de la carga durante el cruce de válvulas en función de la presión .	50
Figura I.25. Fases del ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos (2T) .	51
Figura I.26. a) Proceso de admisión y escape del movimiento de subida del pistón, b) Proceso de explosión y escape del proceso de bajada del pistón .	53
Figura I.27. Diagrama presión-volumen del ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos (2T) .	54
Figura I.28. Diagrama indicador de un motor de dos tiempos (2T) a) con barrido simétrico, b) con barrido asimétrico .	55
Figura I.29. Imagen de las partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T) .	57
Figura I.30. Diagrama potencia-régimen de vueltas en función de la conicidad del cono del escape .	58
Figura I.31. Dimensiones de cada una de las partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T) .	59
Figura I.32. Partes del interior del silenciador de un tubo de escape .	60
Figura I.33. Imagen de la salida de los gases de escape a través del codo del sistema de escape .	61

Figura I.34. Imagen de la llegada de los gases de escape al cono del sistema de escape	62
Figura I.35. Imagen de la llegada de los gases de escape al contracono del sistema de escape	63
Figura I.36. Imagen de la diferencia entre el sistema de escape de una moto de dos tiempos (2T) y una de cuatro tiempos (4T)	64
Figura I.37. Silencioso de a) titanio , b) acero inoxidable , c) aluminio, d) aluminio en color negro, e) fibra de carbono, f) kevlar	68
Figura III.1. Motocicleta Gas Gas de dos tiempos (2T) y 250cc para la competición MX1 de Motocross	76
Figura III.2. Parámetros geométricos y de funcionamiento del motor base para el prediseño del sistema de escape de Motocross.....	76
Figura III.3. Esquema de los parámetros geométricos del interior de un motor	77
Figura III.4. a) Resultado de la simulación del prediseño del sistema de escape, b) Dimensiones geométricas del cono y contracono del sistema de escape.	82
Figura III.5. Condiciones de trabajo del motor para analizar la propagación de la onda a través del escape inicial.	84
Figura III.6. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape del prediseño a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.	88
Figura III.7. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape de 500 milímetros a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.	91
Figura III.8. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape de 1.500 milímetros a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.	92
Figura III.9. Resultado de la simulación de la propagación del efecto de ondas del sistema de escape inicial para un régimen de giro de a) 4.000 rpm, b) 5.000 rpm, c) 6.000 rpm.	96
Figura III.10. Resultado de la simulación de la propagación del efecto de ondas del sistema de escape inicial para un régimen de giro de a) 7.000 rpm, b) 8.000 rpm.	97

Figura III.11. Ejemplo gráfica del consumo específico de combustible de un motor según las condiciones de trabajo .	99
Figura III.12. Condiciones geométricas base del motor y del sistema de escape para analizar la propagación de la onda a través del escape.	103
Figura III.13. Dimensiones del prediseño del sistema de escape de la motocicleta.....	105
Figura III.14. Resultado de la simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm. .	108
Figura III.15. Resultado de la simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm. .	109
Figura III.16. Resultado de la simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm. .	111
Figura III.17. Geometría del sistema de escape de una motocicleta de Motocross	116
Figura III.18. Evolución del dibujo del conducto de escape para el a) tramo LP12, b) tramo LP23, c) tramo LP34, d) tramo LP45, e) tramo LP56, f) trazado total del conducto de escape.....	117
Figura III.19. Evolución de la función de recubrir para el a) tramo LP12, b) tramo LP23, c) tramo LP34, d) tramo LP45, e) tramo LP56 donde se muestra la geometría final del conducto de escape.	118
Figura III.20. Imagen de la salida de piedras producida por el giro de la rueda de la motocicleta.	120
Figura III.21. Gráfica de tensión-deformación del ensayo de tracción típico de los materiales	122
Figura III.22. Puntos de anclaje del sistema de escape con el chasis de la motocicleta.	123
Figura III.23. Puntos de anclaje fijos del sistema de escape con el chasis de la motocicleta	123
Figura III.24. Imagen del mallado del sistema de escape para el estudio.	124
Figura III.25. Imagen de la salida de piedras producida por el giro de la rueda de la motocicleta	124
Figura III.26. Imagen de la hipótesis del grado de carga de un impacto en función de la distancia de penetración	126

Figura III.27. Imagen de partículas de grava según la granulometría de la Tierra	127
Figura III.28. Puntos de impacto de la piedra sobre a) la cámara, b) el contracono y c) el cono del sistema de escape.	129
Figura III.29. Resultados del análisis tensional y de deformación producida por el impacto de una piedra en la cámara del sistema de escape.....	130
Figura III.30. Resultados del análisis tensional y de deformación producida por el impacto de una piedra en el contracono del sistema de escape.	132
Figura III.31. Resultados del análisis de la nueva hipótesis de carga en la zona del contracono.	134
Figura III.32. Resultados del análisis tensional y de deformación producida por el impacto de una piedra en el cono del sistema de escape.	135
Figura III.33. Resultados del análisis de la nueva hipótesis de carga en la zona del cono.	137
Figura III.34. Punto de impacto del lateral del cono contra el suelo ante la caída de la motocicleta.	139
Figura III.35. Resultados del análisis tensional y de deformación del sistema de escape producida por la caída de la motocicleta contra el suelo.	140
Figura III.36. Resultados del trazado del factor de seguridad de los estudios de impacto realizados, a) impacto piedra en la cámara, b) impacto piedra en el contracono, c) impacto piedra en el cono, d) impacto de caída.....	143
Figura III.37. Escala de frecuencias naturales de distintos elementos de la naturaleza .	144
Figura III.38. Escala de frecuencias naturales de distintos elementos de la naturaleza .	146
Figura III.39. Oscilación del puente de Tacoma producido por el fenómeno de resonancia	147
Figura III.40. Colapso del puente de Tacoma producido por el fenómeno de resonancia .	147
Figura III.41. Resultados del análisis de frecuencia del sistema de escape.....	149

Figura III.42. Proceso de curvatura de tubos para la parte del codo y de la caña del sistema de escape .	153
Figura III.43. Plantilla de la geometría de las diferentes piezas que conforman el escape .	154
Figura III.44. Las piezas que conforman el escape una vez han sido cortadas de la plantilla .	154
Figura III.45. Proceso de doblado de las chapas de acero para formar los diferentes conos	155
Figura III.46. Proceso de soldadura por puntos para unir en un primer momento los diferentes conos	155
Figura III.47. Proceso TIG de soldadura por hilo para ensamblar las diferentes partes que conforman el sistema de escape	156

LISTADO DE TABLAS

Tabla I.1. Categorías del Campeonato Mundial de Motociclismo de Velocidad.	32
Tabla I.2. Categorías del Campeonato Mundial de Trial.	37
Tabla I.3. Categorías del Campeonato Mundial de Enduro.	42
Tabla I.4. Categorías de la clase Élite del Campeonato Mundial de Motocross.	45
Tabla I.5. Tabla comparativa de las tensiones del límite elástico y de rotura de cada material.	67
Tabla III.1. Tabla de resultados de las dimensiones de cada una de las partes que conforman el sistema de escape.	82
Tabla III.2. Tabla de resultados de las simulaciones sobre la propagación de la onda al modificar la longitud del sistema de escape.	93
Tabla III.3. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada régimen de trabajo del motor.	98
Tabla III.4. Tabla resumen de simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP12 y LP34.	105
Tabla III.5. Tabla resumen de simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP23 y LP45.	106
Tabla III.6. Tabla resumen de simulaciones con cambio de diámetro de las secciones DEP2 y DEP34.	106
Tabla III.7. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las longitudes de la cámara y el codo comparado con el prediseño inicial.	108
Tabla III.8. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las longitudes del conducto cono y del contrcono comparado con el prediseño inicial.	110
Tabla III.9. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las secciones del conducto de escape comparado con el prediseño inicial.	111

Tabla III.10. Tabla de resultado de las prestaciones finales del motor para el diseño final de sistema de escape optimizado comparado con el prediseño inicial.	113
Tabla III.11. Clasificación de la granulometría de las distintas partículas que existen en la Tierra en función del tamaño.	126
Tabla III.12 . Tabla de resultados de los modos de amplitud del estudio de frecuencia del sistema de escape.	150

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. HISTORIA DE LA MOTOCICLETA.

El primer vehículo autopropulsado conocido, llegó con la aparición de la máquina de vapor a finales del siglo XVIII, de la mano del ingeniero francés Nicolas-Joseph Cugnot.

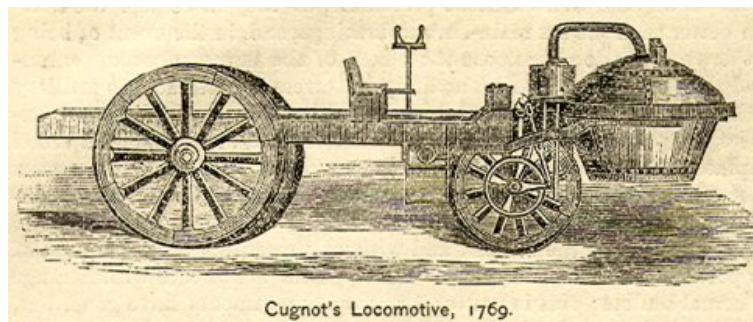


Figura I.1. Imagen de la patente de la máquina de vapor de Nicolas-Joseph Cugnot de 1769 ¹.

A raíz de ahí, muchos ingenieros empezaron a investigar y desarrollar nuevos sistemas de propulsión, capaces de producir energía mecánica procedente de fuentes alternativas.

Sin embargo, no fue hasta un siglo después, en 1876, cuando un ingeniero alemán llamado Nicolaus Otto, patentó el primer motor de combustión interna alternativo que funcionaba a base de combustible procedente del petróleo, y que establecía el ciclo de trabajo termodinámico de cuatro tiempos (4T) que debía realizar el motor. Esta invención, estableció el camino para el desarrollo de los motores de combustión interna alternativos, que montan las motocicletas de la actualidad.

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Nicolas-Joseph_Cugnot

I. Introducción

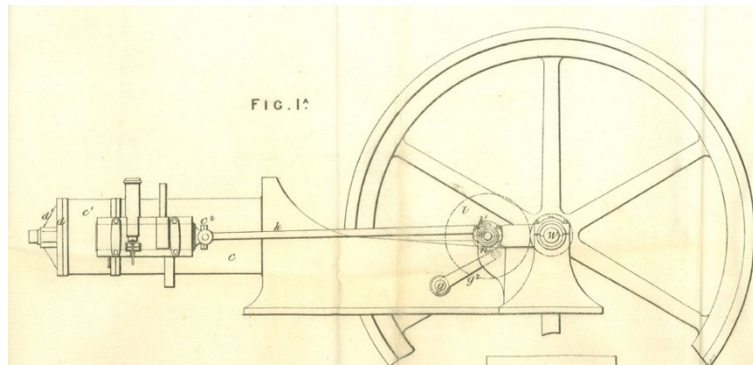


Figura I.2. Imagen de la patente del motor de ciclo Otto del ingeniero alemán Nicolaus Otto de 1876 ².

Para realizar estas investigaciones, montaron el motor que Otto había desarrollado sobre una bicicleta común de madera, creando como efecto secundario la primera motocicleta, conocida como la Daimler Reitwagen. Esta invención, dio lugar al desarrollo e innovación de este tipo de vehículos, propiciando así, la aparición de las primeras competiciones de motociclismo conocidas hasta la actualidad.

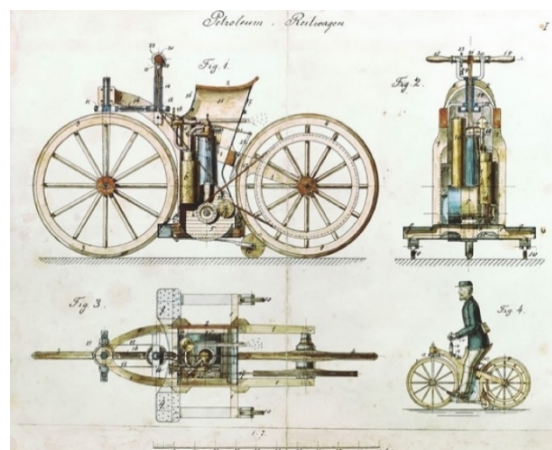


Figura I.3. Imágenes y esquemas de la patente de la motocicleta de los ingenieros alemanes Daimler y Maybach de 1885 ³.

²

http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Otto,%20Nikolaus%20August.xml

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Daimler_Reitwagen

I. Introducción

Años más tarde, los hermanos Heinrich y Wilhelm Hildebrand junto con el ingeniero alemán Alois Wolfmüller presentaron el año 1894 en Múnich, la primera motocicleta de fabricación en serie con fines comerciales. Surgió así, la primera empresa de fabricación de motocicletas.



Figura I.4. Imagen de la motocicleta fabricada por los hermanos Hildebrand & Wolfmüller de 1894 ⁴.

No obstante, no fueron los únicos; los hermanos rusos Eugene y Michel Werner de nacionalidad francesa empezaron a fabricar el año 1897 en París, su propio modelo al que llamaron “motocyclette”. Este término pasaría a utilizarse finalmente, para denominar estos tipos de vehículos.



Figura I.5. Cartel publicitario de la motocicleta fabricada por los hermanos Werner de 1894 ⁵.

⁴https://revistamoto.com/wp_rm/hildebrand-y-wolfmuller-pioneros-de-la-fabricacion-de-motocicletas-en-serie/

⁵ <http://www.autopasion18.com/HISTORIA-WERNER.htm>

I. Introducción

Los inicios del siglo XX trajeron consigo, una época de muchas innovaciones y desarrollos tecnológicos en las motocicletas. Apareció entonces, el termino “Scooter” que le dio el inventor francés Georges Gauthier en 1902 a su modelo “Auto-Fauteuil”, el cual albergaba un pequeño sillón como asiento, que permitía viajar sentado más cómodamente y protegido.



Figura I.6. Fotografía de la denominada scooter Auto-Fauteuil de Georges Gauthier de 1902 ⁶.

Unos años más tarde, en 1910, apareció el primer “sidecar”. Se trataba de una motocicleta con un carro incrustado en su lateral, el cual permitía albergar a un ocupante más. Fue una invención de gran relevancia para el combate, durante las guerras posteriores.



Figura I.7. Imagen de un sidecar resultado del acoplamiento entre una motocicleta y un carro lateral ⁷.

⁶ <https://cocheclasico.net/scooter-clasico/>

⁷ <http://juanchoferia.blogspot.com>

I. Introducción

Pero con la llegada de la Primera Guerra Mundial, tanto la fabricación como la comercialización de las motocicletas para el uso particular, se vio paralizada. Este acontecimiento propició el cierre de muchas fábricas.

No fue hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, en 1945, cuando volvieron a resurgir grandes marcas mundiales de fabricación de motocicletas para uso comercial. Fue entonces también, cuando empezaron a oficializarse las primeras competiciones de motociclismo, las cuales propiciaron el desarrollo e innovación de muchas nuevas tecnologías y estudios aerodinámicos, que han ido evolucionando y marcando épocas en la historia de la motocicleta y del motociclismo, hasta la actualidad.

I. Introducción

I.2. COMPETICIONES EN EL CAMPO DEL MOTOCICLISMO.

Las competiciones del motociclismo, puede decirse, que empezaron al mismo tiempo que la invención y desarrollo de la primera motocicleta, la Daimler Reitwagen. Ya en el año 1896, se llevó a cabo la primera carrera de motos, en la que ocho pilotos recorrieron la distancia comprendida entre París y Nantes, en Francia.

Siempre ha existido rivalidad, tanto entre fabricantes como entre pilotos, a la hora de demostrar ser el más rápido o fabricar el mejor modelo de motocicleta. Las distintas innovaciones y desarrollos que iba sufriendo la motocicleta a lo largo de los años, así como los distintos usos que les daba la sociedad, propiciaron la aparición de distintas modalidades de las competiciones del motociclismo, en función del terreno en la que se disputaban, o el objetivo que se buscaba.

A continuación, se van a detallar las características y motorizaciones, de cada una de las principales modalidades en las que se divide el motociclismo.

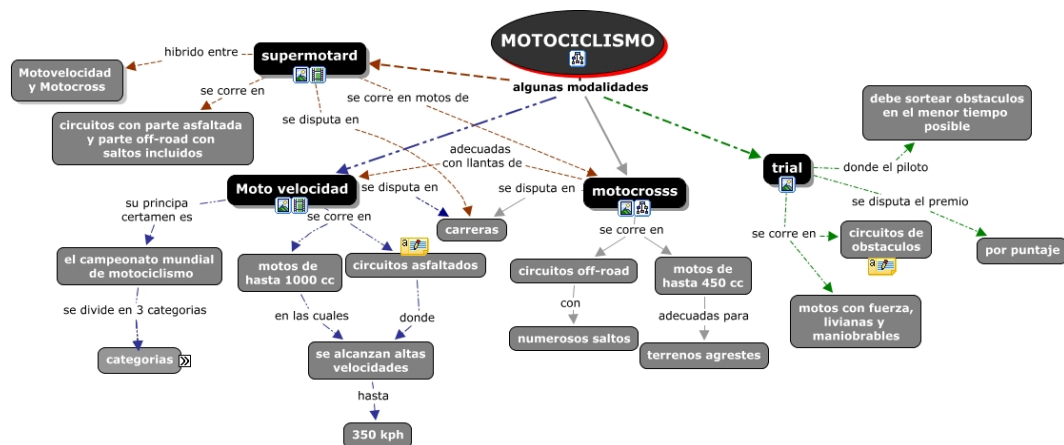


Figura I.8. Principales modalidades del mundo del motociclismo y sus características principales 8.

⁸http://cmap.upb.edu.co/rid=1LHFCLPQC-MF4MD0-1XS/motociclismo_david_alvarez.cmap.cmap

I. Introducción

I.2.1. Competiciones de Velocidad.

Aunque ya en los inicios de la motocicleta habían tenido lugar distintas competiciones, no fue hasta 1949, cuando se fundó oficialmente la Federación Internacional de Motociclismo (FIM), la cual estableció el campeonato mundial de motociclismo de velocidad. En los inicios de la competición se establecieron distintas categorías, clasificadas según la cilindrada de la motocicleta en 125cc, 250cc, 350cc y 500cc. En ellas, los pilotos competían entre ellos en un circuito cerrado de asfalto, donde el objetivo era llegar a la meta en primer lugar, tras dar un número determinado de vueltas.

Los motores utilizados en los inicios de este campeonato eran los desarrollados a partir del ciclo Otto, correspondientes con el ciclo de trabajo termodinámico de cuatro tiempos (4T). Durante esta época, los fabricantes italianos estaban desarrollando gran cantidad de motores y motocicletas de grandes prestaciones, para uso comercial a nivel mundial. Este hecho se vio reflejado en los circuitos, ya que consiguieron dominar la mayoría de las categorías con sus motocicletas (**Figura I.12a**).

Sin embargo, a mediados de los años 50, una empresa alemana dedicada a la fabricación de motocicletas, llamada Oriental MZ, desarrollaría el que sería, el primer motor de dos tiempos (2T). Este motor conseguía desarrollar mayor potencia con un menor tamaño y peso, que los motores de cuatro tiempos (4T) con la misma cilindrada. (**Figura I.12b**). Este invento permitió al equipo alemán, combatir contra los imbatibles equipos italianos en aquellos momentos (**Figura I.12c**).

La llegada de los años 80 supuso la época dorada de las carreras de Motociclismo de Velocidad, debido al aumento de la audiencia mundial generada por las batallas que se producían en la pista, con la llegada de nuevos pilotos americanos sobre motos japonesas (**Figura I.12d**).

I. Introducción

El nuevo siglo fue testigo de grandes cambios y nuevos reglamentos técnicos en la competición. La principal novedad era la redistribución de las categorías; la categoría reina de 500cc se rebautizó como MotoGP, donde la cilindrada de estas motocicletas se aumentó hasta los 990cc. Además, como consecuencia de las nuevas emergencias climáticas sobre las emisiones producidas por los automóviles, se eliminaron los motores de dos tiempos (2T) de todas las categorías de la competición (**Figura I.12e**).

En 2007, los reglamentos fueron modificados de nuevo, reduciendo la cilindrada de la categoría de Moto GP hasta los 800cc. Tan solo dos años más tarde, la categoría de 250cc pasaría a llamarse Moto2, con motores de cuatro tiempos (4T) y cuatro cilindros de 600cc.

En 2012, se volverían a cambiar los reglamentos de nuevo. La categoría de 125cc pasaría a llamarse Moto3, con motores de cuatro tiempos (4T) y un único cilindro de 250cc. Además, en este mismo año la categoría reina de MotoGP aumentaría su cilindrada hasta los 1.000cc (**Figura I.12f**).

A continuación, se muestra una tabla resumen de las categorías actuales del Campeonato Mundial de Velocidad, en función del motor utilizado y la cilindrada de este.

Tabla I.1. Categorías del Campeonato Mundial de Motociclismo de Velocidad.

CATEGORÍAS	4T
MOTO GP	1.000cc
MOTO 2	600cc
MOTO 3	250cc

I. Introducción

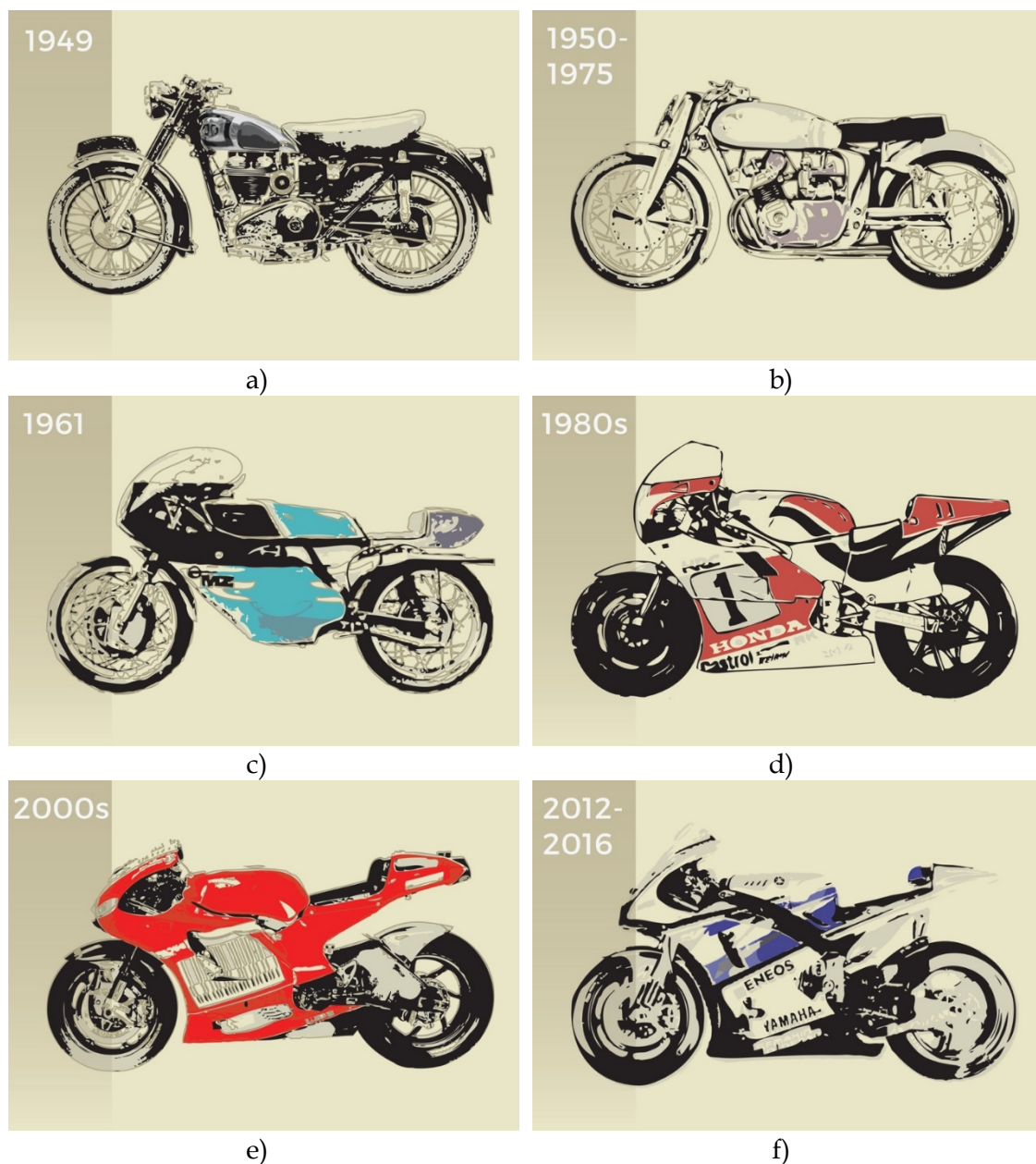


Figura I.9. Evolución de la motocicleta en las competiciones de velocidad desde sus inicios hasta la actualidad ⁹.

⁹ <https://www.redbull.com/es-es/motogp-historia-70-anos-mundial-motociclismo>

I. Introducción

I.2.2. Competiciones de Trial.

Las primeras competiciones de Trial, antes de considerarse como deporte de motociclismo, tuvieron lugar en Europa; más concretamente en el Reino Unido. Surgieron a principios del siglo XX, como consecuencia del mal estado de las carreteras en las montañas británicas. La mayoría de las personas que disponían de una motocicleta en aquel tiempo, tenían que sortear grandes obstáculos por el camino, como rocas, árboles o incluso desniveles bruscos del terreno, antes de llegar a sus destinos. Finalmente, terminó convirtiéndose en una competición por ver quien demostraba mayor destreza sobre la moto, al sortear los obstáculos en el menor tiempo posible.



Figura I.10. Imagen de los orígenes de una competición de Trial ¹⁰.

Con la llegada de las primeras contiendas bélicas, esta práctica sirvió para evaluar la robustez que presentaban dichas motocicletas, al sortear grandes obstáculos mientras avanzaban por territorio enemigo. Pronto se condujo a grandes modificaciones.

Se observó que la estructura de la motocicleta era bastante débil y sufría roturas fácilmente, por lo que se sustituyeron por materiales más resistentes y ligeros como el

¹⁰ <https://www.trialworld.es/historia-de-la-moto-de-trial/>

I. Introducción

acero o el aluminio; los neumáticos de entonces se pinchaban constantemente, así que se sustituyeron por neumáticos más grandes y resistentes frente a pinchazos. Además, se aumentó el recorrido de las amortiguaciones, para poder absorber mayores impactos.

No fue hasta 1909, cuando un grupo de aficionados de Edimburgo crearon la primera competición oficial de Trial, conocida como “Scottish”. Dicha competición, tenía una duración de 5 días y constaba de un exigente recorrido de 1.500 kilómetros. Años más tarde, en 1911, la competición se amplió a seis días. De ahí, la conocida competición “Scottish Six Days Trial”.

La mayoría de los fabricantes de motos para uso comercial, acudieron en masa a esta competición a modo de banco de prueba para sus motos. Además, les servía de soporte publicitario, para garantizar a sus clientes la fiabilidad de sus motocicletas.

Poco a poco, el Trial empezaba a ganar importancia dentro del mundo de la competición del motociclismo, y muchos equipos que participaban en el mundial de velocidad, pronto empezarían a fabricar sus propios modelos, para probar más suerte con esta disciplina. Poco a poco empezaba a profesionalizarse la competición, con la aparición de nuevos reglamentos y la atracción de grandes pilotos, sobre todo del mundo del Motocross.

Aparecieron entonces a mitad de siglo, grandes marcas del mundo del Trial con auténticas máquinas y grandes pilotos, que más tarde pasarían a la historia como leyendas. Sin embargo, debido a la baja rentabilidad que ofrecía esta competición y las pocas victorias que algunos equipos conseguían, muchos tuvieron que abandonar la competición, e incluso cerrar sus fábricas.

Durante todo este tiempo, la competición se había regido por el estilo de conducción británico, con motocicletas de cuerpo rígido y manteniendo en todo momento la tracción de las ruedas sobre el terreno. Se había establecido como el estilo de conducción más eficaz para sortear los caminos, sin necesidad de usar el embrague.

I. Introducción



Figura I.11. Imagen de una competición de Trial de los últimos años ¹¹.

Sin embargo, el verdadero cambio en la competición vino acompañado del estilo de conducción del piloto español Jordi Tarrés, quien era capaz de manejar la motocicleta como si fuese una bicicleta, cambiando de posición en una misma zona y haciendo parecer lo difícil mucho más fácil. Desde entonces, la evolución y el diseño de las motocicletas de Trial he estado regida por este estilo de conducción, buscando en todo momento motocicletas mucho más livianas y maniobrables, con motores capaces de entregar una gran fuerza y par. Siempre adecuándose a las normativas de la competición, que cada vez eran mucho más estrictas.

Se trata de un deporte de equilibrio y habilidad donde las motos deben facilitar las maniobras al piloto, es por ello por lo que se modificó toda la geometría de la motocicleta, eliminando el asiento, fabricando el chasis con materiales más ligeros como el aluminio, reposicionando las estribas para mayor comodidad del piloto, reduciendo el recorrido de la suspensión o incluso reduciendo la presión de los neumáticos para una mayor adherencia. Aunque esta última, no sería una modificación en sí de la motocicleta, sino una ventaja en consecuencia.

¹¹ <https://www.trialworld.es/historia-de-la-moto-de-trial/>

I. Introducción

En la actualidad existen diferentes variantes dentro de la modalidad del Trial, ya sea en recintos cerrados o en caminos al aire libre. La configuración de la motocicleta utilizada en ambas variantes es la misma, y el piloto no puede apoyar los pies en el suelo ni tocar ningún obstáculo con su cuerpo, si esto sucede, se le penaliza.



Figura I.12. Imagen de una competición de Trial a) en un circuito abierto ¹², b) en un circuito cerrado ¹³.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las categorías actuales del Campeonato Mundial de Trial, en función del motor utilizado y la cilindrada del mismo.

Tabla I.2. Categorías del Campeonato Mundial de Trial.

CATEGORÍAS	2T	4T
E1	Hasta 125cc	Hasta 250cc
E2	Hasta 250cc	Hasta 450cc
E3	Mas 250cc	Mas 450cc

¹² <https://www.boxrepsol.com/es/trial/cuarta-victoria-toni-bou/>

¹³ <https://noticias.amv.es/noticias-motor/modalidades-de-motociclismo/>

I. Introducción

I.2.3. Competiciones de Enduro.

La modalidad de Enduro como práctica deportiva aparece de la mano del Trial. Ambas surgen de la misma esencia, atravesar la montaña sorteando rocas y árboles. En sus inicios podían competir todo tipo de vehículos, ya fuesen de dos, tres e incluso cuatro ruedas.



a)

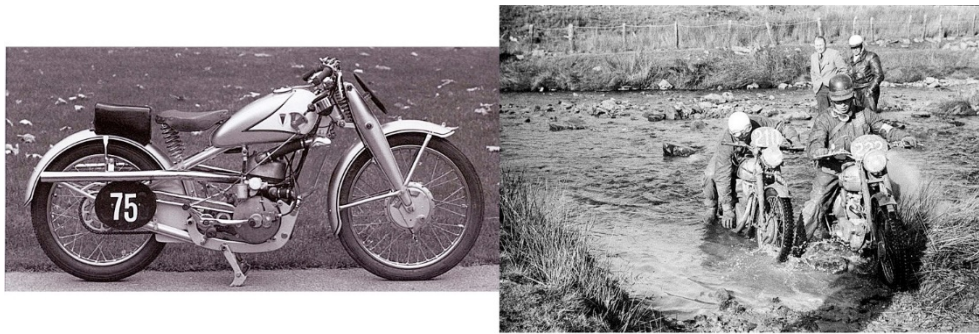
b)

Figura I.13. a) Imagen de una competición de motocicletas de Enduro, b) Imagen de un sidecar durante una competición de Enduro ¹⁴.

Sin embargo, dicha modalidad tomó un camino muy distinto al anterior, ya que en este caso el objetivo era atravesar la montaña lo más rápido posible, por lo que ahora se requerían motores de gran potencia, llegando incluso a los 1.000cc.

¹⁴ <https://www.moto1pro.com/enduropro/reportajes/evolucion-de-las-motos-de-enduro>

I. Introducción



a)

b)

Figura I.14. a) Imagen de una motocicleta clásica de Enduro, b) Imagen de pilotos atravesando un río en una competición de Enduro ¹⁵.

A mediados de siglo encontrábamos todo tipo de motorizaciones, aunque la balanza se había decantado más sobre los motores de dos tiempos (2T). Estos motores permitían generar mucha más potencia, a la vez que conseguían reducir su tamaño y peso, en comparación con un motor de cuatro tiempos (4T) de la misma cilindrada.

La llegada de los años 70 trajo consigo una era de esplendor para los fabricantes españoles de motos Enduro, tanto para uso comercial como para las competiciones. Sin embargo, no fueron los únicos; una empresa alemana de fabricación de motocicletas llamada Hércules, presentaron un nuevo y revolucionario motor en algunos de sus modelos. Se trataba de un motor de combustión interna rotativo llamado “Wankel”, refrigerado por aire y con un cambio de seis velocidades, el cual ofrecía un par muy elevado, a la vez que suavidad y elasticidad entre regímenes de giro. Sin embargo, las continuas evoluciones de los motores de combustión interna alternativos provocaron la desaparición de estos motores en la competición.

¹⁵ <https://www.moto1pro.com/enduropro/reportajes/evolucion-de-las-motos-de-enduro>

I. Introducción



Figura I.15. Imagen de una competición de Enduro de los últimos años ¹⁶.

La década de los 80 no se quedó atrás en cuanto a innovaciones. Los motores de cuatro tiempos (4T) continuaban siendo minoría respecto a los dos tiempos (2T). Más aún con la aparición de la admisión por láminas, que desarrollaron los equipos japoneses, la cual mejoraba la respuesta del motor en bajos. Los ingenieros europeos en cambio desarrollaron un sistema similar al anterior de admisión por válvulas rotativas, la cual ofrecía una respuesta mucho más agresiva, que más tarde la combinarían con un sistema resonador, similar al funcionamiento de la admisión por láminas.

Con la llegada de los años 90, se estableció oficialmente el Campeonato Mundial de Enduro, con la incorporación de una única categoría inferior de 80cc. En esta última categoría, la mayoría de los equipos optaron por reacondicionar los bastidores de las motocicletas de 125cc de Motocross para los modelos de Enduro.

Aparecieron los primeros chasis fabricados con materiales ligeros como el aluminio. Algunas veces combinados junto con fibras de carbono, kevlar o con refuerzos en titanio, aunque estos últimos encarecían mucho el precio.

¹⁶ <https://www.enduromagazine.com/hixpania-2018-mario-roman-conquistador-del-hard-enduro-ante-25-000-personas/>

I. Introducción



Figura I.16. Imagen de la salida de una competición de Enduro ¹⁷.

El nuevo siglo quedó marcado por la reorganización de las categorías Mundiales. Las nuevas normativas que estaban apareciendo en la sociedad sobre la contaminación, obligaron a reducir el uso de los motores de dos tiempos (2T) y apostar de nuevo por los cuatro tiempos (4T). Las categorías debían modificarse para ajustar e igualar las prestaciones de ambos motores.

Los motores de dos tiempos (2T) se veían cada vez más condenados a la extinción, debido a las cada vez más severas normativas medioambientales. Y es que este tipo de motores resultaban poco eficientes y muy contaminantes frente a los motores de cuatro tiempos (4T). Muchos equipos que seguían apostando por los motores de dos tiempos (2T), desarrollaron nuevos sistemas capaces de adaptarlos a las nuevas normativas medioambientales. Surgió así la inyección directa, la cual permitía controlar la cantidad de mezcla mucho mejor que con el uso del carburador, reduciendo así los valores de contaminación. Sin embargo, estos sistemas afectaban a la eficacia que caracterizaba los motores de dos tiempos (2T) y como no al elevado coste que supone instalar estos sistemas.

¹⁷ <https://www.enduromagazine.com/hixpania-2018-mario-roman-conquistador-del-hard-enduro-ante-25-000-personas/>

I. Introducción

A continuación, se muestra una tabla resumen de las categorías actuales del Campeonato Mundial de Enduro, en función del motor utilizado y la cilindrada de este.

Tabla I.3. Categorías del Campeonato Mundial de Enduro.

CATEGORIA	2T	4T
ENDURO 1	Hasta 125cc	Hasta 250cc
ENDURO 2	Hasta 250cc	Hasta 450cc
ENDURO 3	Mas 250cc	Mas 450cc

I.2.4. Competiciones de Motocross.

Se trata de una competición de velocidad disputada sobre circuitos de tierra al aire libre, con grandes saltos y terrenos inestables con pendientes de subida y descensos de infarto. En esta modalidad los pilotos deben demostrar sus habilidades y resistencia encima de la moto.

La competición de Cross tiene sus orígenes en una antigua carrera de obstáculos que se disputaba en Reino Unido en 1906, bien fuese a pie como a caballo, llamada "Cros Country". Sobre los años treinta, esta práctica deportiva se fusionó con las competiciones de motociclismo de la época, creando así las primeras carreras oficiales off-road y marcando el inicio de las competiciones de Motocross.

I. Introducción



Figura I.17. Imagen de un piloto realizando un salto en una competición de Motocross ¹⁸.

En sus inicios se expandió rápidamente por toda Europa, hasta que, en el año 1952, la Federación Internacional de Motociclismo (FIM) organizó la primera carrera oficial del Campeonato Europeo de Motocross para motocicletas de 500cc.

Sin embargo, no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial, cuando al fin la competición se extendió por todo el mundo, creándose en el año 1962, el Campeonato Mundial de Motocross, el cual introducía una nueva categoría para motocicletas de 250cc.

Las primeras motocicletas montaban únicamente motores de cuatro tiempos (4T). Sin embargo, tras la aparición de los motores de dos tiempos (2T), estos últimos se asentaron rápidamente en la competición, dominando las motorizaciones de las motocicletas. Estos motores se caracterizaban por la elevada potencia y rendimiento que ofrecían, además de una importante reducción de peso y tamaño, en comparación con un motor de cuatro tiempos (4T) de la misma cilindrada. Esto permitía a las motocicletas alcanzar elevadas velocidades en poco tiempo, que las catapultaba en cada salto.

¹⁸ <https://motocross10.com>

I. Introducción

Empezaron entonces las grandes rivalidades entre equipos europeos, americanos y asiáticos, propiciando el desarrollo de nuevos sistemas para las motocicletas hasta niveles exorbitantes, como la refrigeración líquida, o el mono amortiguador trasero.



Figura I.18. Imagen de los orígenes de una competición de Motocross ¹⁹.

No obstante, a finales de siglo empezaron a aparecer las primeras preocupaciones medioambientales que ponían en riesgo a los motores de dos tiempos (2T), ya que comparados con los motores de cuatro tiempos (4T), estos últimos eran mucho menos contaminantes. Sin embargo, los motores de cuatro tiempos (4T) no eran capaces de alcanzar las necesidades que requería la competición, y que los motores de dos tiempos (2T) si que eran capaces de satisfacer, por lo que era impensable su desaparición.

Poco a poco se conseguía resolver la problemática medioambiental que presentaban los motores de dos tiempos (2T), gracias a las continuas evoluciones y desarrollos tecnológicos de la mayoría de los equipos.

¹⁹ <http://velocidad140.blogspot.com/2016/02/moto-cross-una-pasion-ilimitada-moto.html>

I. Introducción



Figura I.19. Imagen de una competición de Motocross de los últimos años ²⁰.

En la actualidad ambas motorizaciones coexisten en todas las categorías, aunque con diferentes cilindradas para permitir equilibrar la balanza de prestaciones del motor. Las motocicletas de cuatro tiempos (4T) ofrecen una sensación de conducción más progresiva y pesada. En cambio, las motocicletas de dos tiempos (2T) de inyección electrónica, la conducción es mucho más ágil y el motor es mucho más elástico, permitiendo grandes aceleraciones.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las categorías actuales del Campeonato Mundial de Motocross, en función del motor utilizado y la cilindrada de este.

Tabla I.4. Categorías de la clase Élite del Campeonato Mundial de Motocross.

CATEGORIA	2T	4T
MX1	100cc – 500cc	175cc – 650cc
MX2	100cc – 250cc	175cc – 250cc

²⁰ <https://motocross10.com>

I. Introducción

I.3. MOTORES 4T VS MOTORES 2T.

Los MCIA, como su nombre indica hacen referencia a los Motores de Combustión Interna Alternativa, los cuales transforman la energía térmica en energía mecánica, gracias al poder calorífico del combustible liberado durante el proceso de combustión, en un recipiente cerrado a través de un movimiento alternativo.

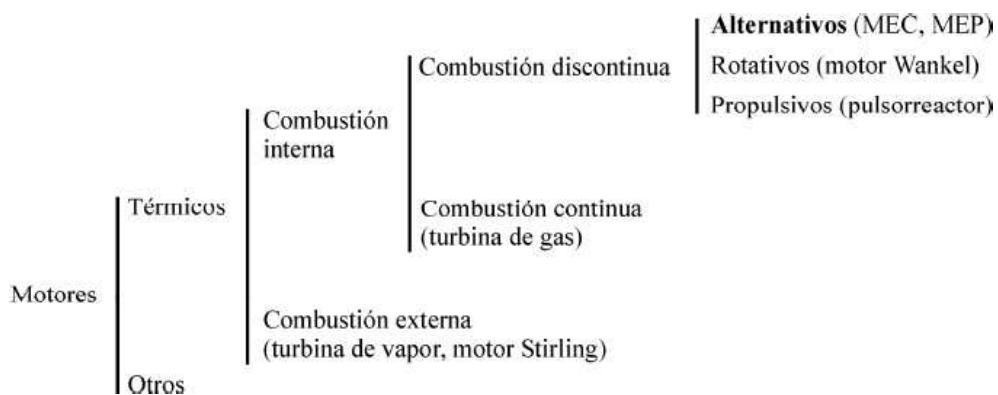


Figura I.20. Clasificación de los motores ²¹.

Según el proceso de renovación de la carga, estos motores se pueden clasificar en motores de cuatro tiempos (4T) y motores de dos tiempos (2T). Ambos siguen el mismo principio de funcionamiento termodinámico, tan solo lo llevan a cabo de un modo distinto.

²¹

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true

I. Introducción

Desde su aparición, ambos motores han evolucionado de un modo significativo, gracias al mundo del motociclismo. En ellos se ha investigado y desarrollado casi hasta el límite.

I.3.1. Motor de cuatro tiempos (4T).

El motor de cuatro tiempos (4T) fue descubierto por el ingeniero alemán Nicolaus Otto en 1876, el cual sigue el ciclo de trabajo original que Otto describió.

I.3.1.1. Funcionamiento del motor de cuatro tiempos (4T).

Como su nombre indica, el motor de cuatro tiempos (4T) realiza los cuatro procesos termodinámicos en 4 movimientos, es decir, el motor debe dar dos vueltas completas de cigüeñal. O lo que es lo mismo, el pistón debe subir y bajar dos veces respectivamente, para completar el ciclo de trabajo termodinámico.

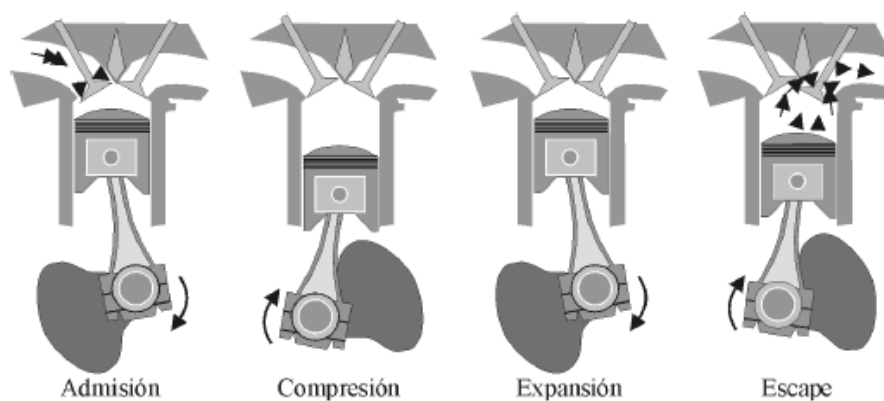


Figura I.21. Fases del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) ²².

²²

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true

I. Introducción

Los cuatro procesos del ciclo termodinámico son los siguientes:

I.3.1.1.1. Proceso de admisión.

El proceso de admisión se lleva a cabo durante el recorrido descendente del pistón, desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI), en el cual la válvula de admisión está abierta. Durante este proceso, el movimiento descrito por el pistón genera una depresión en el interior del cilindro, la cual permite el llenado del mismo con la mezcla fresca.

I.3.1.1.2. Proceso de compresión.

Una vez el pistón ha llegado al punto muerto inferior (PMI) y se han cerrado todas las válvulas cerradas, empieza el proceso de compresión. Gracias a la inercia que lleva el cigüeñal, ahora el pistón describe un movimiento de subida hasta el punto muerto superior (PMS), comprimiendo la mezcla fresca de aire-combustible que hay encerrada en el interior del cilindro.

I.3.1.1.3. Proceso de expansión.

Una vez el pistón llega a las cercanías del punto muerto superior (PMS) con la mezcla comprimida, la bujía hace saltar una chispa que enciende el combustible, generando un frente de llama, el cual empuja el pistón hacia abajo, a medida que va quemando todo el combustible. El poder calorífico liberado durante la combustión de la mezcla aire-combustible, es el responsable de la entrega de potencia del motor, y por lo tanto, de la entrega del trabajo efectivo del mismo.

I.3.1.1.4. Proceso de escape.

Una vez se ha quemado todo el combustible y la presión en el interior del cilindro ha ido disminuyendo progresivamente, da comienzo el proceso de escape. Gracias de nuevo a la inercia del cigüeñal, el pistón sube ahora empujando los gases producto de la combustión que permanecen en el interior del cilindro, a través de la apertura de la válvula de escape hacia el exterior.

I. Introducción

Y de nuevo se vuelven a iniciar todos los procesos de forma cíclica.

I.3.1.2. Proceso de renovación de la carga del motor de cuatro tiempos (4T).

Debido a algunos efectos, como la compresibilidad del fluido, o el hecho de que la combustión de la mezcla no puede producirse exactamente a volumen constante, todos los momentos de las aperturas y cierres de válvulas, así como el punto de encendido de la mezcla, no suceden exactamente en el punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI), sino que es necesario adelantarlos o retrasarlos.

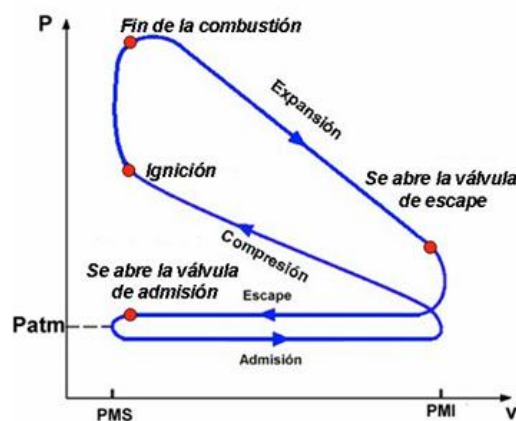


Figura I.22. Diagrama indicador del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) ²³.

Todos estos momentos vienen determinados en los diagramas de distribución del motor, el cual controla todos los puntos de apertura y cierre de válvulas según el giro del cigüeñal.

I. Introducción

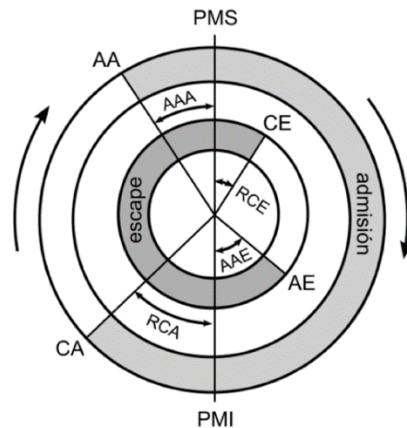


Figura I.23. Diagrama de distribución del ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos (4T) ²⁴.

El momento más crítico de este motor se encuentra en el cruce de válvulas del proceso de renovación de la carga, donde la válvula de escape y de admisión se encuentran abiertas a la vez. Para evitar la salida de la mezcla fresca por la válvula de escape durante el cruce de válvulas, producido tras el fin del proceso de escape y el inicio del proceso de admisión, es necesario controlar y determinar con exactitud estos momentos, de este modo se conseguirá controlar la presión en el interior del cilindro, favoreciendo el llenado del mismo, si problemas perdida de mezcla fresca.

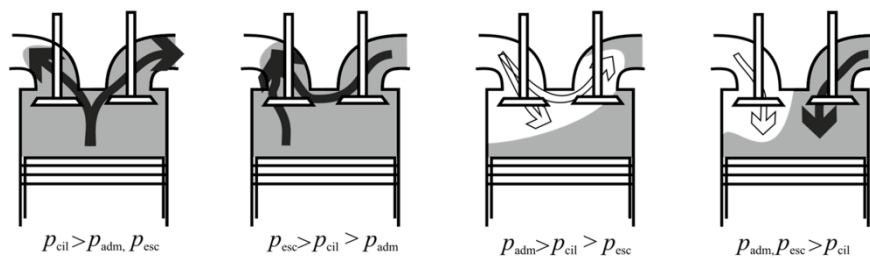


Figura I.24. Efectos del proceso de renovación de la carga durante el cruce de válvulas en función de la presión ²⁵.

²⁴

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true

²⁵

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/01.%20PROGRAMA%20

I. Introducción

I.3.2. Motores de dos tiempos (2T).

El motor de dos tiempos (2T) fue desarrollado a partir del conocido motor de cuatro tiempos (4T) de ciclo Otto, por el fabricante alemán Oriental MZ en la década de los 50. En él, las cuatro fases del ciclo termodinámico se realizan mediante una vuelta completa de cigüeñal.

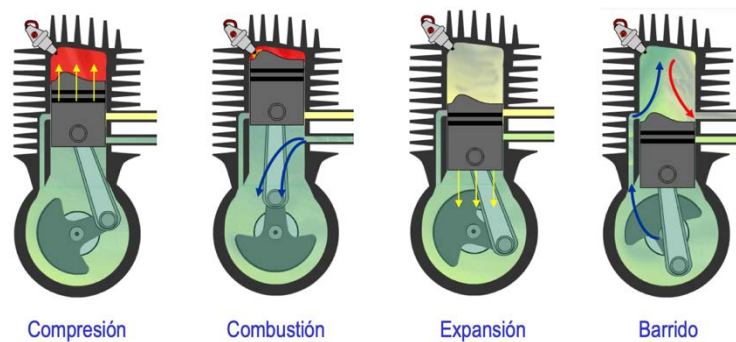


Figura I.25. Fases del ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos (2T) ²⁶.

El hecho de que la combustión de la mezcla se produzca con cada vuelta de cigüeñal, quiere decir que el motor produce trabajo con cada vuelta de cigüeñal, a diferencia de los motores de cuatro tiempos (4T), que producen trabajo cada dos vueltas de cigüeñal.

Es por este motivo, entre otros factores que, para una misma cilindrada los motores de dos tiempos (2T) producen una mayor potencia. Además, este motor realiza el proceso de admisión, escape y renovación de la carga, mediante lumbreras, a diferencia de los motores de cuatro tiempos que lo hacen mediante válvulas. El hecho

DE%20TEORÍA/TEMA3_RENOVACIÓN_DE_LA_CARGA_DISTRIBUCIÓN_Y%20SINTONIZADO_EJERCICIOS.pdf

²⁶

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/02.%20PROGRAMA%20DE%20PRÁCTICAS/2.%20DISEÑO%20DE%20ESCAPES%20MOTORES%202T/Transp_Diseño_Escapes_2T.pdf

I. Introducción

de no disponer de válvulas sobre la parte superior del motor permite reducir las dimensiones y componentes de este motor, reduciendo así el peso y el coste del motor.

1.3.2.1. Funcionamiento del motor de dos tiempos (2T).

El motor de dos tiempos (2T) agrupa los cuatro procesos termodinámicos en tan solo dos movimientos.

1.3.2.1.1. Proceso de admisión - compresión.

Durante el movimiento de subida del pistón, se lleva a cabo de forma simultánea el proceso de admisión y compresión de la mezcla fresca. Al principio del proceso, todas las lumbreras permanecen abiertas y a medida que el pistón se desplaza de abajo hacia arriba, es decir, desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS), este genera una depresión detrás de él, el cual produce una succión de la mezcla fresca hacia el interior del cárter o cámara de pre-compresión, a través de la lumbrera de admisión.

Mientras el cárter se va llenando de mezcla fresca, esta es empujada a la vez hacia la cámara de combustión, a través de la lumbrera de transferencia. A medida que el pistón va subiendo, este va cerrando todas las lumbreras, primero la de transferencia y después la de escape. Desde ese momento empieza el proceso de compresión de la mezcla, hasta que el pistón llega al punto muerto superior (PMS). Simultáneamente, el proceso de admisión continúa por la inercia que tiene el fluido, rellenando el cárter con nueva mezcla fresca.

1.3.2.1.2. Proceso de explosión - escape.

Una vez terminado el proceso de compresión con la llegada del pistón al punto muerto superior (PMS), se produce la combustión de la mezcla tras el salto de la chispa producida por la bujía. Tras el encendido de la mezcla, se produce un frente de llama que va avanzando y quemando toda la mezcla en el interior del cilindro, a la vez que

I. Introducción

empuja el pistón hacia abajo, alcanzándose los valores máximos de presión y temperatura en el interior de la cámara de combustión. Durante la carrera de expansión, el pistón se desplaza hacia abajo descubriendo en primero lugar la lumbrera de escape, por donde empiezan a salir los gases producto de la combustión hacia el exterior, gracias a la succión producida por los efectos de onda que se producen a través del conducto de escape.

A medida que van saliendo los gases de escape y el desciende el pistón, la presión en el interior del cilindro disminuye, a diferencia que, en el cárter, donde en este caso la presión aumenta, pre-comprimiendo la mezcla. Tras descubrirse la lumbrera de escape, a continuación, se descubre la lumbrera de transferencia, por donde la mezcla fresca es empujada desde el cárter hacia el interior del cilindro, empujando además los gases quemados en el interior del cilindro hacia el escape. El proceso de escape teóricamente termina cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI), sin embargo, este continua hasta que el pistón cierra de nueva la lumbrera de escape durante el proceso de admisión. Y de nuevo se vuelven a inicia todos los procesos de forma cíclica.

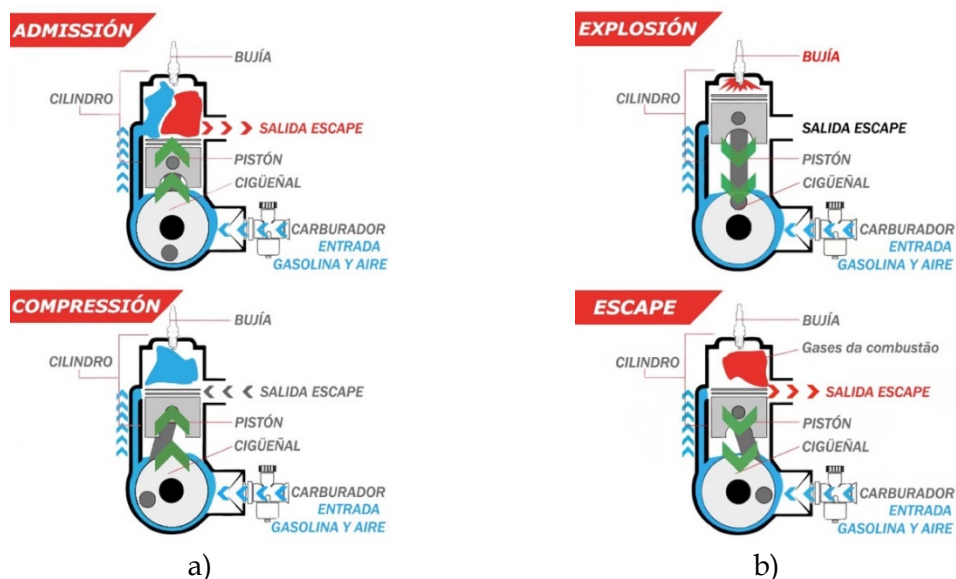


Figura I.26. a) Proceso de admisión y escape del movimiento de subida del pistón, b) Proceso de explosión y escape del proceso de bajada del pistón ²⁷.

²⁷ <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción

I.3.2.2. Proceso de renovación de la carga del motor de dos tiempos (2T).

Se puede observar como muchos de los procesos termodinámicos se superponen unos con otros. Como consecuencia de esto es posible que se produzcan problemas durante el proceso de renovación de la carga, donde la mezcla fresca entra en el interior del cilindro y empuja a los gases quemados hacia el escape. Este fenómeno es conocido como "Barrido".

Durante este proceso es posible que la mezcla fresca se salga junto con los gases producto de la combustión, antes de que el pistón cierre la lumbrera de escape. Este fenómeno es conocido como "cortocircuito", y es el responsable de que el rendimiento del motor disminuya por las pérdidas de mezcla fresca por el escape, además de generar una gran contaminación por la salida de hidrocarburos sin quemar.

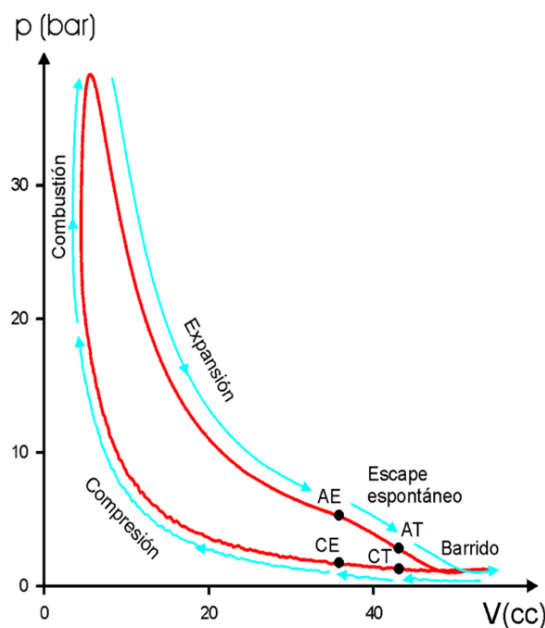


Figura I.27. Diagrama presión-volumen del ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos (2T) ²⁸.

28

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/02.%20PROGRAMA%20DE%20PRÁCTICAS/2.%20DISEÑO%20DE%20ESCAPES%20MOTORES%202T/Transp_Diseño_Escapes_2T.pdf

I. Introducción

El ciclo de trabajo del motor se suele representar mediante un diagrama de presión-volumen, en el cual se observan los valores de presión producidos durante cada proceso termodinámico, en función del volumen de la cámara de combustión producido por el movimiento del pistón.

De igual modo que en los motores de cuatro tiempos (4T), los momentos de las aperturas y cierres de las lumbreras vienen determinados por el diagrama indicador del motor. Sin embargo, en estos motores el control de barrido, así como las prestaciones del motor, no pueden ser modificadas con avances y retrocesos como en el caso anterior. El momento de las aperturas y cierre de las lumbreras viene determinado por el movimiento del pistón.

Según la posición de las lumbreras en el interior del cilindro, el diagrama indicador puede ser simétrico o asimétrico. Sin embargo, en ningún caso pueden modificarse estos puntos.

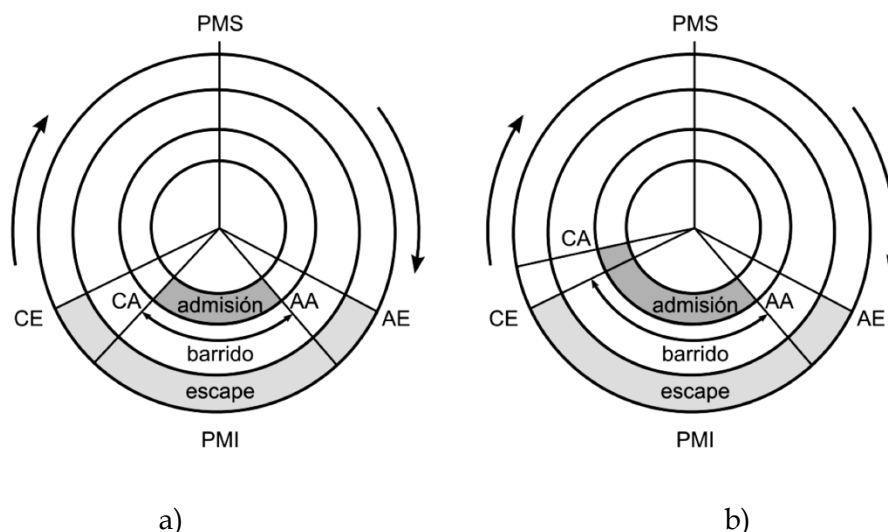


Figura I.28. Diagrama indicador de un motor de dos tiempos (2T) a) con barrido simétrico, b) con barrido asimétrico ²⁹.

²⁹

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true

I. Introducción

El único modo de evitar el cortocircuito, y además favorecer el proceso de renovación de la carga, viene por modificar las dimensiones del sistema de escape. De esta manera, se pueden modificar las prestaciones del motor de un modo rápido y sencillo.

I. Introducción

I.4. SISTEMA DE ESCAPE DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T).

Cuando se descubrió la influencia de los sistemas de escape en los motores de dos tiempos (2T), estos dieron un giro radical. A diferencia de los motores de cuatro tiempos (4T), donde el sistema de escape tan solo servía para canalizar y evacuar los gases de escape hacia el exterior, en el caso de los motores de dos tiempos (2T), el sistema de escape era además el responsable de llevar a cabo el correcto proceso de renovación de la carga.

I.4.1. Partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T).

El sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T) generalmente esta dividido en tres partes.

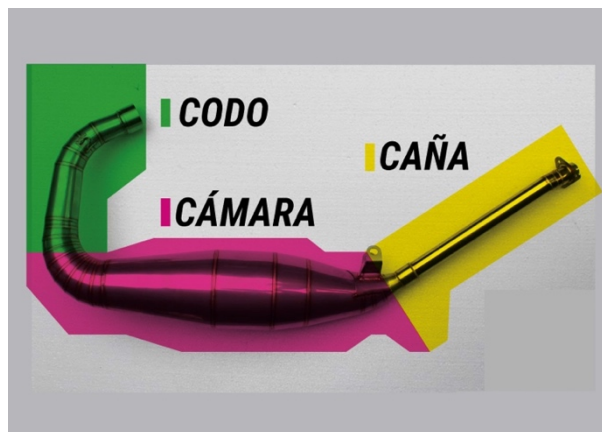


Figura I.29. Imagen de las partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T) ³⁰.

³⁰ <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción

El codo es la parte inicial del sistema de escape, que se conecta a la salida del motor, a través de la lumbrera de escape. La dimensión que esta tiene está condicionada por la dimensión de la lumbrera de escape del motor, así como por la distancia que hay hasta el exterior del chasis.

La cámara está dividida por tres partes, el cono, la cámara y el contracono.

El cono representa la parte inicial del tubo de escape en sí, donde empiezan a generarse los efectos de onda que permiten realizar el proceso de renovación de la carga. Esta zona es la encargada de favorecer el vaciado del cilindro y permitir la entrada de la mezcla fresca en el interior del cilindro. La conicidad del cono es un parámetro de gran influencia, valores elevados ofrecen grandes potencias, aunque menores gamas de vueltas utilizables del motor.

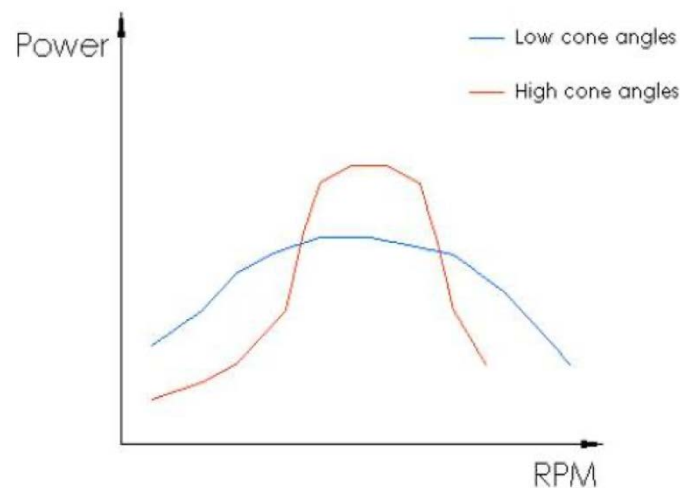


Figura I.30. Diagrama potencia-régimen de vueltas en función de la conicidad del cono del escape ³¹.

31

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/02.%20PROGRAMA%20DE%20PRÁCTICAS/2.%20DISEÑO%20DE%20ESCAPES%20MOTORES%20T/Transp_Diseño_Escapes_2T.pdf

I. Introducción

La cámara de expansión es de sección uniforme y su longitud influye en los altos y bajos del motor. Estos términos hacen referencia al rango de revoluciones donde se alcanza la máxima potencia del motor. Una longitud de cámara mayor ofrecerá una mayor potencia a un régimen de revoluciones altos, a la vez que una menor longitud ofrecerá una mayor potencia a un régimen de giro bajo.

El contracono, por el contrario, es la parte final del sistema de escape, donde se hace retroceder la onda de presión generada por los gases de escape de vuelta al cilindro, evitando así la salida de la mezcla fresca y favoreciendo un óptimo rendimiento del motor. La conicidad del contracono es generalmente del doble que la del cono.

La caña es la parte final del escape propiamente dicho. La longitud que tenga esta influirá nuevamente sobre los altos y bajos del motor. Una longitud muy larga favorecerá que el motor entregue una mayor potencia a un número de revoluciones bajo, ya que, en este caso, los gases tendrán que recorrer un mayor camino. Por el contrario, si esta longitud es muy pequeña, el motor entregará una mayor potencia a un número de revoluciones más alto.

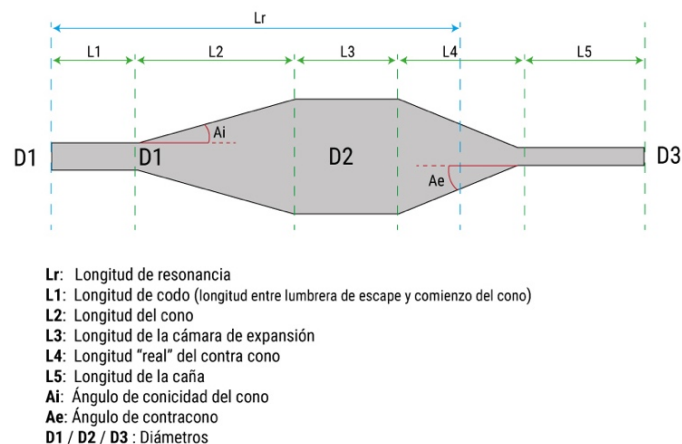


Figura I.31. Dimensiones de cada una de las partes del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T) ³².

³² <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción

Y, por último, aunque va separado del sistema de escape, es el silenciador. Este elemento generalmente está formado por un cilindro interior mallado, y envuelto por una malla de fibra de vidrio, la cual actúa a modo de atenuador sonoro y térmico de los gases de escape. Todo ello encerrado mediante una carcasa exterior.



Figura I.32. Partes del interior del silenciador de un tubo de escape ³³.

Existen principalmente dos tipos de silenciadores atendiendo al modo de ensamblaje con el resto del tubo de escape.

Los Sleep-on, que se unen con la caña del escape a través de una pequeña pieza de enlace.

Los Bolt-on, que se unen directamente con la caña a través de tuercas y tornillos.

Dicha diferencia no tiene influencia sobre las prestaciones del motor. Sin embargo, atendiendo a las dimensiones del silenciador, estas influyen de dos maneras distintas sobre las prestaciones del motor.

Si el diámetro es muy grande el motor tendrá más altos, y si por el contrario el diámetro es menor, entonces tendrá más bajos. La longitud en este caso actuará de forma

³³ <https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/articulo/sustitucion-fibra-silenciador>

I. Introducción

inversa; cuanto mayor sea esta, más bajos ofrecerá el motor y por el contrario, cuanto menor sea, mayores altos generará.

I.4.2. Funcionamiento del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T).

Analizando el proceso termodinámico de los motores de dos tiempos (2T), este se inicia tras el proceso de combustión de la mezcla, con el pistón en el punto muerto superior (PMS). Durante el proceso de expansión, los gases producto de la combustión salen a través de la lumbrera de escape que el pistón a descubierto, por la parte del codo del sistema de escape.

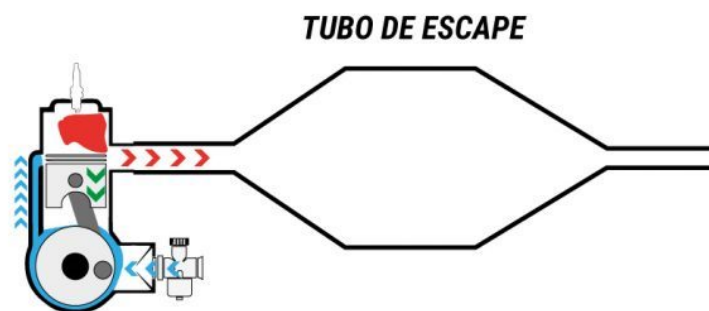


Figura I.33. Imagen de la salida de los gases de escape a través del codo del sistema de escape ³⁴.

Los gases quemados continúan avanzando por el sistema de escape, a medida que el pistón continúa bajando y descubre la lumbrera de transferencia. Debido a la disminución de la presión en el interior del cilindro y la pre-compresión de la mezcla en la zona del cárter por contrapartida, la mezcla fresca es empujada hacia el interior del cilindro a través de la lumbrera de transferencia, empujando a la vez los gases quemados que continúan en el interior del cilindro hacia el escape.

³⁴ <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción

Es en este momento cuando la onda debe llegar a la parte del cono, ya que en esta zona se crea una onda de presión positiva, la cual provoca una succión a través del conducto del escape, facilitando la salida de los gases de escape.

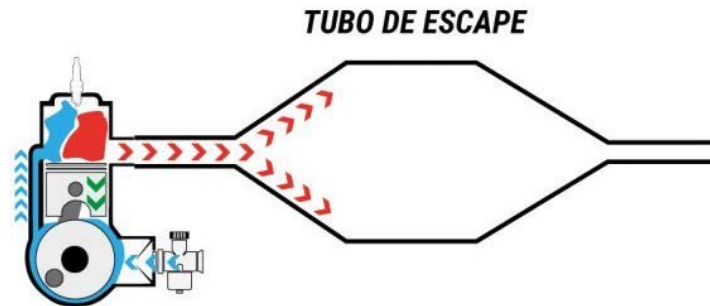


Figura I.34. Imagen de la llegada de los gases de escape al cono del sistema de escape ³⁵.

Una vez el pistón ha llegado al punto muerto inferior (PMI) y empieza a subir de nuevo, da comienzo el proceso de compresión de la mezcla. Durante este proceso, el pistón cierra primero la lumbrera de transferencia, cortando la entrada de más mezcla fresca. Mientras tanto, la lumbrera de escape continúa abierta, y es en este instante cuando podría producirse el fenómeno de cortocircuito, al fugarse la mezcla fresca por la lumbrera de escape, junto con los gases de escape residuales que quedan en el interior del cilindro.

Entra en acción ahora el parte del contracono del sistema de escape, ya que cuando la onda llega a esta zona, se crea una onda de reflexión negativa que hace que vuelva de nuevo hacia el motor, generando una sobrepresión que empuja los gases hacia el interior del cilindro, evitando así la salida de la mezcla fresca.

³⁵ <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción

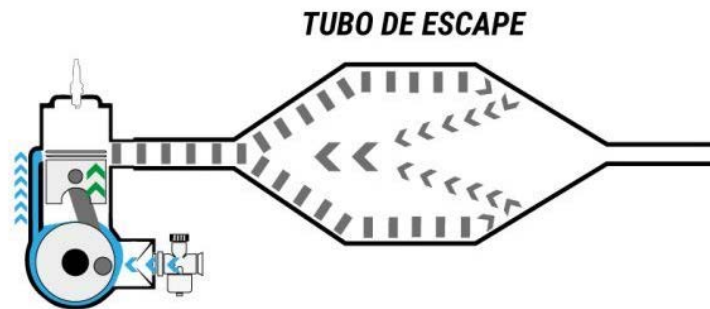


Figura I.35. Imagen de la llegada de los gases de escape al contracono del sistema de escape ³⁶.

Para evitar que se produzca el cortocircuito, la onda de reflexión negativa debe llegar en el momento previo al cierre de la lumbrera de escape. Si bien llega demasiado tarde, la mezcla fresca ya se habrá escapado, y si en cambio llega demasiado pronto, se reintroducirán los gases quemados en el interior del cilindro, limitando la capacidad de mezcla fresca en el cilindro, y perdiendo potencia durante la combustión.

Como bien se ha comentado anteriormente, la función del sistema de escape es muy distinta para los motores de dos tiempos (2T) que para los cuatro tiempos (4T). Esta diferencia se puede ver perfectamente en la geometría de los mismos, donde la parte de la cámara es mucho más voluminosa en los motores de dos tiempos (2T), debido a los cambios de sección del cono y contracono para expandir los gases de escape, y aprovechar los efectos de ondas en su interior. Efecto que no es necesario controlar en los motores de cuatro tiempos (4T), ya que estos siguen otro sistema de renovación de la carga a través de avances y retrocesos de las aperturas y cierres de las válvulas.

³⁶ <https://www.motoscoot.net/blog/funcionamiento-tubo-de-escape-en-motores-2-tiempos/>

I. Introducción



Figura I.36. Imagen de la diferencia entre el sistema de escape de una moto de dos tiempos (2T) y una de cuatro tiempos (4T) ³⁷.

³⁷ <https://www.moto1pro.com/enduropro/reportajes/2t-o-4t-la-eterna-duda>

I.5. MATERIALES EMPLEADOS EN LOS SISTEMAS DE ESCAPE DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T).

Gracias a la experiencia y las bases de datos de los fabricantes, se conoce que comúnmente los materiales utilizados para la fabricación de los sistemas de escape han sido los materiales metálicos.

Sin embargo, tras la aparición y desarrollo de nuevos materiales compuestos, algunos han conseguido adaptarse y satisfacer las necesidades estructurales que precisan los sistemas de escape.

A continuación, se van a mostrar las características más relevantes que ofrecen cada uno de ellos y sus prestaciones.

I.5.1. Materiales metálicos.

Dentro de la gran familia de los materiales metálicos, tan solo algunos son capaces de adaptarse y resistir las condiciones de funcionamiento del escape y permitir expandir los gases de escape.

Los principales materiales utilizados comúnmente por los fabricantes son los siguientes:

I.5.1.1. Sistemas de escape de acero inoxidable.

La principal ventaja de este material es que es el más económico del mercado, además de ofrecer una gran resistencia frente a golpes. Por el contrario, se trata de un material un tanto pesado, con una capacidad de disipación del calor muy baja.

I. Introducción

I.5.1.2. Sistemas de escape de aluminio.

Los sistemas de escape de aluminio son un poco más caros que los anteriores. Sin embargo, estos destacan sobre el resto ya que presentan una estética mucho más brillante y limpia. Además, son mucho más ligeros y permiten disipar el calor mucho mejor, favoreciendo así el rendimiento a nivel de potencia y velocidad.

Sin embargo, presentan una resistencia frente a golpes mucho menor. Aunque es difícil que estos se rompan, se pueden rallar y abollar con mucha facilidad, afectando a la correcta propagación de las ondas en su interior.

I.5.1.3. Sistemas de escape de titanio.

El titanio es uno de los materiales más demandados a nivel comercial, debido a la estética más elegante que ofrece, con acabados en mate.

Se trata de un material que ofrece numerosas ventajas, entre las cuales destaca su ligereza, que contrasta con la elevada resistencia frente a golpes y rozaduras que presenta. Sin embargo, debido a las múltiples ventajas que ofrece, se trata de un material mucho más caro que los anteriores.

I.5.2. Materiales compuestos.

Existen ciertos materiales compuestos reforzados con fibras, que a pesar de no tener las mismas propiedades que los materiales metálicos, estos pueden utilizarse para ciertos componentes del sistema de escape, que no requieran condiciones de funcionamiento tan exigentes, o para elementos que tan solo actúan de un modo estético, como las carcasas de los silenciadores o los soportes del motor.

La orientación en que se enlazan las fibras juega un papel fundamental a la hora de determinar la resistencia y capacidad de disipación del calor, así como de absorción de las vibraciones producidas por el motor y la firmeza del terreno.

I. Introducción

I.5.2.1. Sistemas de escape de fibra de carbono.

La fibra de carbono es el material comúnmente utilizado para la mayoría de los componentes del escape, así como de la carcasa exterior del silencioso.

La fibra de carbono ofrece una mayor ligereza y disipación de calor que cualquier otro material. Sin embargo, se trata de un material bastante caro, en relación con la poca resistencia que presenta frente a golpes y roturas.

I.5.2.2. Sistemas de escape de kevlar.

El kevlar, como el titanio, presenta numerosas ventajas, como son la ligereza, la elevada capacidad de disipación del calor y la elevada resistencia, (se utiliza en armamentística para los chalecos antibalas gracias a su elevada resistencia). Además, ofrece un acabado totalmente diferente, con una apariencia característica de las competiciones. Sin embargo, de igual modo que el titanio, se trata de un material muy caro. A continuación, se muestra una tabla resumen de las propiedades más características sobre la resistencia que presentan los materiales comentados, como son el límite elástico y de rotura del material. Mas adelante se comentará la importancia de estos dos parámetros sobre la resistencia del material de fabricación del sistema de escape.

Tabla I.5. Tabla comparativa de las tensiones del límite elástico y de rotura de cada material.

PROPIEDADES	Fibra de carbono	Kevlar	Acero inoxidable	Aluminio	Titanio
Límite elástico [MPa]	550-1050	2750	260	110	701-1090
Tensión de rotura [MPa]	550-150	3400	517	207	763-1193

I. Introducción

A continuación, se muestran varios ejemplos de silenciadores fabricados con todos los materiales comentados anteriormente.



Figura I.37. Silencioso de a) titanio ³⁸, b) acero inoxidable ³⁹, c) aluminio, d) aluminio en color negro, e) fibra de carbono, f) kevlar ⁴⁰.

³⁸ <https://www.akrapovic.com/es/moto/product/279/Gas-Gas/EC-200-250-300/2011/Slip-On-Line-Titanium?brandId=47&modelId=427&yearId=2268&archived=true&programId=true>

³⁹ <https://www.recambiomotos.com/escape-yasuni-yamaha-homologado-p-3539.html>

⁴⁰ <https://www.motorecambiosvferrer.es/blog/tipos-de-tubos-de-escape-para-motos-y-diferencias-n19>

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

Con la realización del siguiente TFG, se pretende diseñar el sistema de escape de una motocicleta de dos tiempos (2T), para la competición de Motocross MX1. Este sistema es el responsable de llevar a cabo el proceso de renovación de la carga, por lo tanto su diseño y geometría deben garantizar un óptimo barrido del motor, con el que se obtenga el máximo rendimiento y potencia. Se trata de un sistema capaz de adaptarse a todo tipo de motores y customizarse según un régimen de giro determinado.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Para alcanzar dichos objetivos, se llevarán a cabo distintos estudios y análisis que permitirán evaluar la influencia y viabilidad del sistema de escape con respecto a las prestaciones finales que ofrecerá motor durante el Campeonato Mundial MX1.

Dichos objetivos parciales son los siguientes:

O.1.- El diseño geométrico del sistema de escape. En este apartado se contempla el prediseño del tubo de escape de una motocicleta de Motocross.

O.2.- El análisis de ondas del sistema de escape diseñado. En este apartado se pretende analizar el proceso fluidodinámico de la onda de presión, que tiene lugar en el interior del sistema de escape de los motores de dos tiempos (2T), y evaluar la influencia de los distintos parámetros geométricos y de funcionamiento, sobre la eficiencia del proceso de renovación de la carga y la repercusión que tienen sobre las prestaciones que desarrolla el motor.

O.3.- La selección de distintos materiales y su influencia. En este apartado se va a llevar a cabo un análisis, sobre los distintos materiales factibles para la fabricación del sistema de escape de una motocicleta de Motocross, evaluando las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos.

II. Objetivos

O.4.- El estudio modal de frecuencia del sistema de escape. En este apartado se contempla el análisis de resonancia que puede ocurrir en el sistema de escape.

O.5.- El estudio modal de impacto del sistema de escape. En este apartado se contempla el análisis estático del sistema de escape, a causa del impacto de una piedra o la caída de la motocicleta.

O.6.- El estudio económico de los costes fabricación. En este apartado se contempla el estudio económico de los costes de fabricación del sistema de escape finalmente diseñado.

III. DESARROLLO PROYECTO

**DESARROLLO
PROYECTO**

III. Desarrollo proyecto

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPO.

El siguiente apartado, se pretende llevar a cabo el desarrollo y optimización de un sistema de escape, para una motocicleta de Motocross de dos tiempos (2T) monocilíndrica; capaz de generar la máxima potencia posible, para el régimen de giro medio al que trabaja el motor, durante una competición de la clase élite MX1 de Motocross.

Como bien se ha comentado en la introducción, este sistema es el responsable de que se realice correctamente el proceso de renovación de la carga. Según las dimensiones que este tenga, el motor ofrecerá unas prestaciones u otras. El objetivo es obtener un diseño mejorado de la geometría del sistema de escape, que permita desarrollar las máximas prestaciones del motor, para pelear por el liderato del campeonato MX1 de Motocross.

En el primer apartado, mediante el empleo de un programa de simulación se obtendrá un primer prediseño, de las dimensiones iniciales que deberá tener el sistema de escape de la motocicleta seleccionada, para la competición de Motocross.

En el siguiente apartado, con las correspondientes dimensiones del sistema de escape obtenidas, se realizará un análisis fluidodinámico de la onda de presión que viaja en el interior del sistema de escape; analizando aquellos parámetros que repercuten de un modo significativo, sobre el rendimiento del motor y el efecto de onda.

Finalmente, en el último apartado se llevarán a cabo distintas simulaciones, modificando las dimensiones del sistema de escape, y comparando las prestaciones obtenidas en cada caso, hasta alcanzar unos valores finales óptimos de funcionamiento del motor.

III. Desarrollo proyecto

III.1.1. Prediseño del sistema de escape.

Se ha escogido como base para el diseño del sistema de escape, una motocicleta Gas Gas de 250cc, diseñada para la competición MX1 de Motocross.



Figura III.1. Motocicleta Gas Gas de dos tiempos (2T) y 250cc para la competición MX1 de Motocross ⁴¹.

A continuación, se muestran los parámetros más relevantes del motor, así como las condiciones de funcionamiento a las que va a estar sometido, durante la simulación del prediseño inicial del sistema de escape, donde se obtendrán todas y cada una de las dimensiones que conforman el conducto total del escape.

Diámetro	[mm]	69,5
Carrera	[mm]	64,5
Longitud de biela	[mm]	120
Retraso del escape	[°]	90
Número de lumbreras	[-]	1
Anchura de la lumbrera	[mm]	42
Radio arista superior	[mm]	8
Radio arista inferior	[mm]	8
Diámetro conducto de escape	[mm]	49
Diámetro cámara de expansión	[mm]	110
Régimen de giro	[rpm]	6000
Temperatura de escape	[°C]	550
Tipo de escape (ENDURO, GRAND PRIX, MOTOCROS)	[-]	MOTOCROS PIPE
Tipo de escape (E, G, M)	[-]	M

Figura III.2. Parámetros geométricos y de funcionamiento del motor base para el prediseño del sistema de escape de Motocross.

⁴¹ <https://www.akrapovic.com/es/moto/product/279/Gas-Gas/EC-200-250-300/2011/Slip-On-Line-Titanium?brandId=47&modelId=427&yearId=2268&archived=true&programId=true>

III. Desarrollo proyecto

Algunos de estos valores hacen referencia a los parámetros geométricos del motor. A continuación, se explicarán todos y cada uno de ellos.

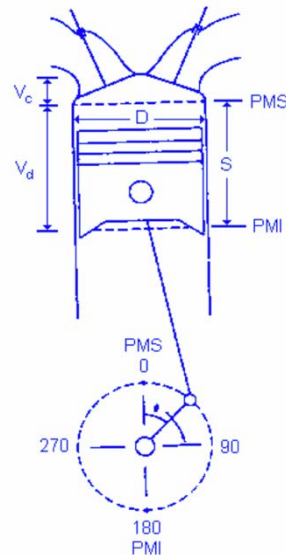


Figura III.3. Esquema de los parámetros geométricos del interior de un motor ⁴².

- Diámetro (D).

El diámetro hace referencia al diámetro interior del cilindro (**Figura III.3**). Según la configuración del motor, este tiene un valor de 69,5 milímetros.

- Carrera (S).

La carrera hace referencia a la distancia que recorre el pistón desde el punto muerto superior (PMS), hasta el punto muerto inferior (PMI) (**Figura III.3**).

Según la configuración del motor, esta tiene un valor de 49,5 milímetros.

⁴²

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/01.%20PROGRAMA%20DE%20TEORÍA/TEMA1_INTRODUCCIÓN_A_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTIÓN.pdf

III. Desarrollo proyecto

Mediante las dimensiones del diámetro y la carrera, se puede obtener la cilindrada unitaria (V_d) del motor.

$$V_d = V_t = \frac{\pi * D^2}{4} * S = \frac{\pi * 6,95^2}{4} * 6,45 = 244,7 \text{ cm}^3 \sim 250 \text{ cm}^3$$

La cilindrada unitaria (V_d) hace referencia al volumen que barre el pistón, durante la carrera que realiza el mismo, es decir, el volumen comprendido entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI).

Si, por ejemplo, el motor tuviera más de un cilindro, la cilindrada total (V_t) del motor sería la suma de la cilindrada unitaria (V_d) de cada uno de los cilindros que conforman el motor. Sin embargo, al tratarse de un motor monocilíndrico, es decir, de un único cilindro, la cilindrada total (V_t) del motor será la misma que la cilindrada unitaria (V_d) del cilindro.

- Longitud de biela.

Dicha dimensión hace referencia a la longitud de la biela (**Figura III.3**). Se trata de un elemento de unión entre el cigüeñal y el pistón. Es el encargado de transmitir el movimiento giratorio del cigüeñal, en un movimiento alternativo de subida y bajada del pistón; de ahí el nombre característico de estos motores: motor de combustión interna alternativo (MCIA).

La dimensión de este elemento está relacionada también con la dimensión del pistón, y tiene, además, una gran influencia con los tiempos de aperturas y cierres de las lumbreras.

III. Desarrollo proyecto

Según la configuración del motor, esta tiene un valor de 120 milímetros.

- Retraso de escape.

Este parámetro hace referencia al momento de apertura de la lumbrera de escape, expresado en grados de giro del cigüeñal (**Figura III.3**). Contando desde el punto muerto superior (PMS), una vez producida la combustión, a medida que el pistón descienda, este descubrirá la lumbrera a un determinado grado de giro del cigüeñal.

Según la configuración del motor, este tiene un valor de 90°; correspondiente a un cuarto de giro de cigüeñal, o dicho de otro modo, a mitad de recorrido de la carrera.

- Número de lumbreras.

Este parámetro hace referencia al número de lumbreras de escape que tiene el motor.

Según la configuración del motor, este tan solo dispone de una única lumbrera de escape. Para motores con más cilindros, existen más lumbreras de escape, que se canalizan con el sistema de escape a través de colectores.

- Anchura de la lumbrera.

Existen una gran cantidad de geometrías para las lumbreras de admisión y escape del motor. La geometría de la lumbrera de escape del motor seleccionado tiene forma rectangular. El siguiente valor, indica la anchura que tiene el rectángulo de la lumbrera por la cual salen los gases de escape.

Según la configuración del motor, esta tiene un valor de 42 milímetros.

- Radio arista superior.

Con relación a la geometría anterior, el rectángulo que conforma la lumbrera de escape tiene los bordes redondeados. Este valor indica el radio de redondeo de las aristas superiores del rectángulo.

III. Desarrollo proyecto

Según la configuración del motor, este tiene un valor de 8 milímetros.

- Radio arista inferior.

Del mismo modo que en el caso anterior, ahora es para el radio de redondeo de las aristas inferiores del rectángulo.

Según la configuración del motor, también tiene un valor de 8 milímetros.

- Diámetro conducto de escape.

Dicha dimensión viene determinada a criterio del fabricante para el diseño del sistema de escape. Hace referencia al diámetro inicial del conducto de escape, que se une con la salida del motor a través de la lumbrera de escape.

Para el prediseño inicial se ha estimado un valor de 49 milímetros.

- Diámetro cámara de expansión.

Dicha dimensión viene también determinada a criterio del fabricante para el diseño del sistema de escape. Hace referencia al diámetro correspondiente de la cámara de expansión del conducto de escape, comprendida entre el cono y el contracono.

Para el prediseño inicial se ha estimado un valor de 110 milímetros.

- Régimen de giro.

En este apartado, se indica el régimen de giro del motor para el cual va a ser diseñado el sistema de escape. Como bien se comentará en los siguientes apartados, el diseño del escape de un motor de dos tiempos (2T), tan solo puede ser diseñado para que trabaje correctamente a un régimen de giro determinado.

Durante una competición de Motocross las motocicletas deben hacer frente a varios obstáculos y rampas, jugando con las marchas cortas del motor y con el embrague. El motor trabaja normalmente a un régimen de giro medio, de entorno a las 6.000 rpm.

III. Desarrollo proyecto

- Temperatura de escape.

Este apartado indica la temperatura a la que salen los gases producto de la combustión del motor y entran en el conducto de escape.

Este valor ha sido obtenido de la base de datos del fabricante, y tiene un valor de 550°C.

- Tipo de escape.

Este apartado determina la aplicación para la que va a ser diseñado el sistema de escape.

De entre las múltiples opciones, se va a diseñar un sistema de escape para una motocicleta que compite en el mundial de Motocross, por lo tanto, el sistema de escape debe ser diseñado también para la competición de Motocross, indicado con el código M.

Mediante la ayuda de un programa de simulación, una vez determinados los datos geométricos del motor, así como las condiciones de trabajo a las que va a estar sometido el sistema de escape, se obtienen todas y cada una de las dimensiones iniciales que este debe tener.

En la **Figura III.4a** se puede observar el resultado obtenido con la simulación, donde aparecen las dimensiones de cada uno de los tramos y secciones que conforman el sistema de escape de la motocicleta. Desde la salida del motor hasta el final de la caña, donde se ensamblaría con el silenciador.

III. Desarrollo proyecto

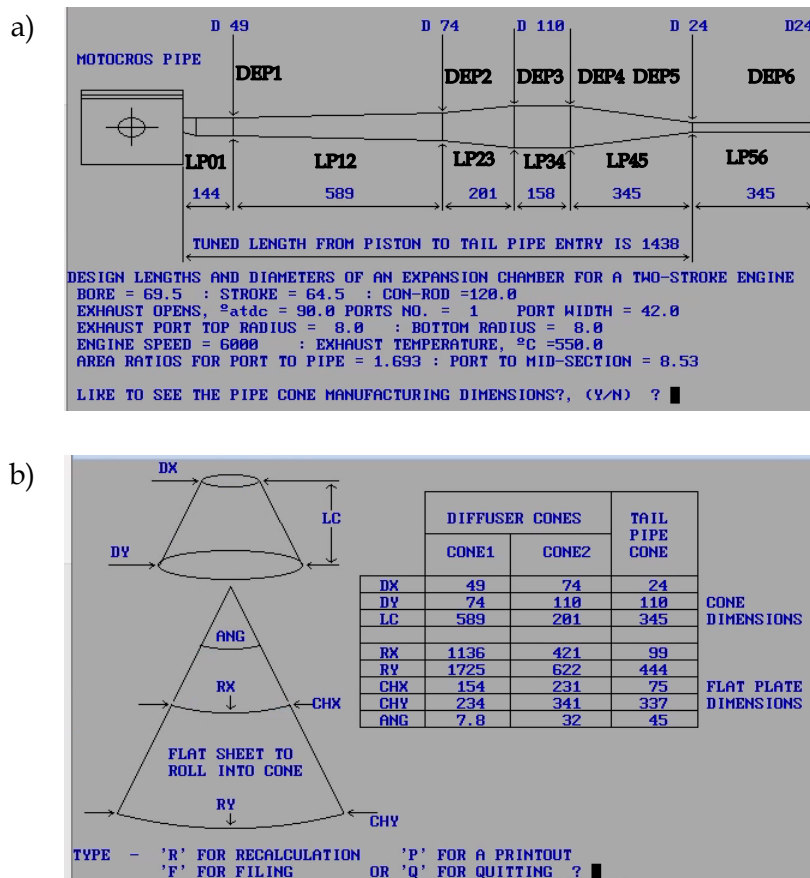


Figura III.4. a) Resultado de la simulación del prediseño del sistema de escape, b) Dimensiones geométricas del cono y contracono del sistema de escape.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de las dimensiones y secciones de cada tramo del escape obtenido.

Tabla III.1. Tabla de resultados de las dimensiones de cada una de las partes que conforman el sistema de escape.

	LP01	LP12	LP23	LP34	LP45	LP56
MOTOCROSS	144	589	201	158	345	345
	DEP1	DEP2	DEP3	DEP4	DEP5	DEP6
	49	74	110	110	24	24

III. Desarrollo proyecto

Atendiendo a la tabla de resultados de la **Figura III.4b**, las dos primeras columnas hacen referencia a los dos conos difusores, mientras que la última columna representa el contracono del sistema de escape.

La primera parte de la tabla hace referencia a las dimensiones y geometrías de los conos y el contracono, representados con las siguientes iniciales:

- **DX**. Este valor indica el diámetro menor del cono.
- **DY**. Este valor indica el diámetro mayor del cono.
- **LC**. Este valor indica la longitud del cono.

La tabla inferior en cambio hace referencia a las dimensiones de los conos y el contracono sobre el plano; en ella se representan con las siguientes iniciales:

- **RX**. Este valor indica el radio de curvatura de la circunferencia que describe el diámetro menor del cono sobre el plano.
- **RY**. Este valor indica el radio de curvatura de la circunferencia que describe el diámetro mayor del cono sobre el plano.
- **CHX**. Este valor indica la anchura del perímetro del diámetro menor del cono sobre el plano.
- **CHY**. Este valor indica la anchura del perímetro del diámetro mayor del cono sobre el plano.
- **ANG**. Este valor indica la conicidad del cono. Representa la relación entre la diferencia del diámetro mayor del cono menos el menor, y su altura.

III. Desarrollo proyecto

Estos últimos parámetros sirven de referencia para el proceso de fabricación del cono y contracono del sistema de escape. Más adelante se comentará más detalladamente el proceso de fabricación del sistema de escape, y qué significado tiene esta tabla.

III.1.2. Análisis del efecto de ondas en el sistema de escape.

En el siguiente apartado, se va a realizar un análisis de los efectos de ondas producidos en el interior del sistema de escape.

A continuación, se muestran de nuevo aquellos parámetros geométricos y de funcionamiento del motor a los que va a estar sometido el diseño, durante el estudio de ondas producido en el interior del sistema de escape, previamente obtenido.

Volumen del cilindro	[cm ³]	250
Presión en el cilindro	[bar]	1.7
Temperatura del cilindro	[°C]	550
Régimen de giro	[rpm]	6000
Diámetro del conducto de escape	[mm]	49
Diámetro lumbrera de escape	[mm]	42
Período apertura de escape	[°]	90
Longitud del conducto de escape	[mm]	1438
Ángulo de inspección	[°]	0
Ciclo de inspección	[s]	2

Presión inicial:
1,7 bar
Temperatura:
550°C

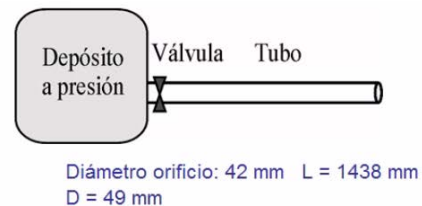


Figura III.5. Condiciones de trabajo del motor para analizar la propagación de la onda a través del escape inicial.

Dichos parámetros hacen referencia de nuevo a las condiciones de funcionamiento del motor. A continuación, se van a detallar todos ellos como en el apartado anterior.

III. Desarrollo proyecto

- Volumen del cilindro.

Este valor hace referencia a la cilindrada del motor, es decir, al volumen comprendido en el interior del cilindro, que como bien se ha explicado anteriormente, viene definida por el diámetro interior del cilindro y la carrera que realiza el pistón.

Este valor define la cilindrada del motor, y se utiliza para clasificar las motocicletas en las distintas categorías de motorizaciones que comprenden las competiciones.

La motocicleta seleccionada para el estudio lleva un motor de dos tiempos (2T) y 250cc, apto para participar en la competición MX1 del Mundial de Motocross.

- Presión en el cilindro.

Este valor indica la presión que se alcanza en el interior del cilindro, tras el proceso de combustión, es decir, indica la presión a la que salen los gases quemados, a través de la lumbrera de escape.

Este valor ha sido obtenido previamente de las bases de datos del fabricante, y tiene un valor de 1,7 bar.

- Temperatura del cilindro.

Como bien se ha comentado en el apartado anterior, este valor indica la temperatura a la que salen los gases producto de la combustión del motor, a través del conducto de escape.

Este valor ha sido obtenido previamente de las bases de datos del fabricante, y tiene un valor de 550°C.

III. Desarrollo proyecto

- Régimen de giro.

Como bien se ha comentado en el apartado anterior, este valor indica el régimen de giro al cual va a estar trabajando el motor durante el estudio, y para el cual se está diseñando el sistema de escape.

Se ha escogido un régimen de giro medio de 6.000 rpm, ya que se trata de un régimen de trabajo medio al que se ve sometido el motor, durante una competición de Motocross.

- Diámetro del conducto de escape.

Como bien se ha comentado en el apartado anterior, dicha dimensión viene determinada a criterio del fabricante para la fabricación del sistema de escape. Hace referencia al diámetro inicial del conducto de escape, que se une con la salida del motor a través de la lumbrera de escape.

Según la configuración del motor, este tiene un valor de 49 milímetros.

- Diámetro lumbrera de escape.

Como bien se ha comentado en el apartado anterior, este valor hace referencia a la anchura que tiene el orificio de salida de la lumbrera de escape.

Según la configuración del motor, este tiene un valor de 42 milímetros.

- Período apertura del escape.

Este parámetro hace referencia al valor del retraso del escape, comentado en el apartado anterior. Indica el momento de la apertura de la lumbrera de escape en grados de giro del cigüeñal

Según la configuración del motor, este tiene un valor de 90°.

III. Desarrollo proyecto

- Longitud del conducto de escape.

Este parámetro indica la longitud de resonancia que tiene el sistema de escape, medida en horizontal desde la salida del motor hasta el final del contracono.

Según la simulación realizada en el apartado anterior, se ha obtenido una longitud de resonancia del conducto de escape de 1.438 milímetros.

- Angulo de inspección.

Este parámetro indica el momento en el que se va a realizar la medición final de los efectos producidos en el interior del cilindro, es decir, indica el momento final del ciclo de trabajo termodinámico del motor en el que se va a obtener los resultados del estudio.

Se ha decidido escoger el momento de inspección, cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior (PMS), correspondiente con el grado de giro del cigüeñal 0° ; momento en el que el pistón acaba de cerrar la lumbrera de escape, comprimiendo la mezcla fresca para llevar a cabo el encendido de la chispa, y que se produzca la combustión.

- Ciclo de inspección.

Este parámetro indica el ciclo de trabajo, en el cual se va a realizar la medición final del estudio de análisis de ondas, producido en el interior del conducto de escape.

Nunca se van a alcanzar las mismas condiciones de funcionamiento en el interior del cilindro, es decir, cada ciclo de trabajo que realice el motor será ligeramente distinto al anterior y al posterior.

Se ha decidido escoger el segundo ciclo de trabajo del motor, ya que en este caso el motor dará unos resultados más exactos que para el primer ciclo de trabajo, donde el motor se ha iniciado desde el reposo.

III. Desarrollo proyecto

Una vez determinados todos y cada uno de estos valores; mediante la ayuda de un programa de simulación de ondas, se obtienen las gráficas de resultados correspondientes al avance de la onda de presión, a través del prediseño del sistema de escape, obtenido en el apartado anterior.

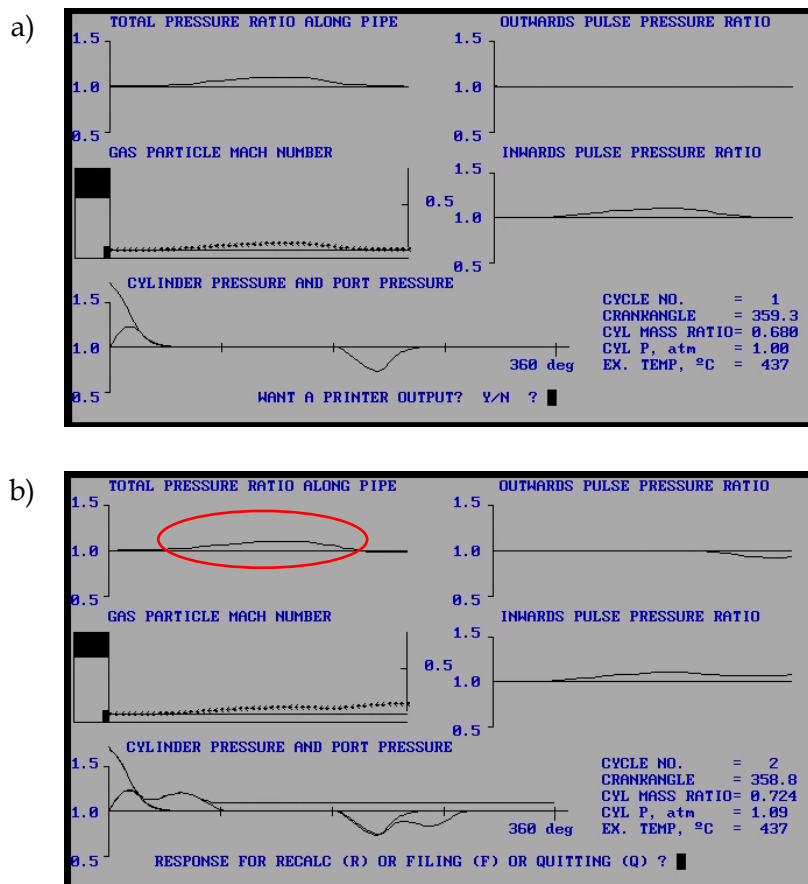


Figura III.6. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape del prediseño a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.

Se va a prestar atención a la **Figura III.6b**, correspondiente al segundo ciclo de trabajo del motor, donde se puede observar la evolución de avance de la onda, en función de la presión que esta lleva y la longitud total del conducto de escape, tomando como punto inicial el momento de la combustión de la mezcla.

III. Desarrollo proyecto

En la gráfica superior de la **Figura III.6b**, correspondiente a la presión total producida a lo largo del conducto de escape (“TOTAL PRESSURE RATIO ALONG PIPE”); en ella se puede observar como la onda de presión negativa reflejada en el contracono, no ha sido capaz de llegar a tiempo al inicio del conducto, correspondiente con la lumbrera de escape del motor. Lo que significa que, la onda no ha sido capaz de reintroducir la mezcla fresca que ha escapado, de nuevo en el interior del cilindro. Como se observa en el círculo rojo.

Si se observa la gráfica inferior de la **Figura III.6b**, correspondiente a la evolución de la presión producida en el cilindro y el conducto de salida del escape, en función del grado de giro del cigüeñal (“CYLINDER PRESSURE AND PORT PRESSURE”); en este caso se puede observar cómo tras producirse la combustión y descubrirse la lumbrera de escape, la presión en el cilindro disminuye a la vez que aumenta en el conducto de escape, hasta que ambas alcanzan la misma presión y se estabilizan. Se puede observar cómo después de llegar el pistón al punto muerto inferior (P.M.I), se produce una depresión en el escape, la cual es responsable de la salida de los gases de escape y la succión de la mezcla fresca hacia la cámara de combustión. Este efecto debería producirse, cuando se descubre la lumbrera de transferencia, y como se puede observar, se produce demasiado tarde.

Sin embargo, para poder analizar estos resultados y obtener una conclusión razonable, es necesario estudiar el efecto que tienen algunos parámetros sobre el rendimiento del motor y la onda de presión. Entre estos parámetros, merece la pena destacar los siguientes:

- **Longitud del conducto de escape.** La longitud total del conducto de escape es un parámetro crítico en el efecto de onda; a medida que la longitud aumente, las ondas tendrán que recorrer un mayor camino.

- **Régimen de giro del motor.** El régimen de trabajo del motor es otro de los parámetros críticos sobre los efectos de onda; a medida que el motor gire más deprisa, las ondas viajarán a una velocidad mayor a través del conducto de escape.

III. Desarrollo proyecto

III.1.2.1. Variación de la longitud total del conducto de escape.

En este apartado, se va a analizar la influencia de la superposición de ondas y el efecto en la masa atrapada, modificando ligeramente la longitud total del conducto de escape, para 1.200 milímetros y para 1.500 milímetros. Se han tomado estas dimensiones como referencia sin un criterio establecido, tan solo para observar y analizar la evolución de la onda de presión con un conducto de escape un poco menor y mayor.

Según el principio de funcionamiento de la velocidad, este relaciona el espacio recorrido, y el tiempo que se tarda en recorrer ese mismo espacio.

$$v = \frac{e}{t}$$

Si se reduce el espacio correspondiente a la longitud del conducto de escape, manteniendo la velocidad de propagación de la onda de presión, esta onda viajará a través del conducto en un menor tiempo. Si por el contrario se aumenta el espacio, entonces la onda tardará más tiempo en atravesar el conducto.

III.1.2.1.2. Conducto de escape de 1.200 milímetros.

A continuación, se va a realizar una simulación sobre los efectos de ondas producidos en un conducto de escape reducido de 1.200 milímetros.

Según el principio comentado en el apartado anterior respecto a la velocidad de propagación de la onda, se puede observar para el siguiente estudio (**Figura III.7b**), en comparación con el resultado obtenido con el prediseño del escape obtenido anteriormente (**Figura III.6b**); como la onda de presión negativa de reflexión ha sido capaz de llegar a tiempo a la lumbrera de escape y reintroducir si no toda, casi toda la mezcla fresca que ha escapado, de nuevo en el interior del cilindro. Como se observa en el círculo rojo de la imagen.

III. Desarrollo proyecto

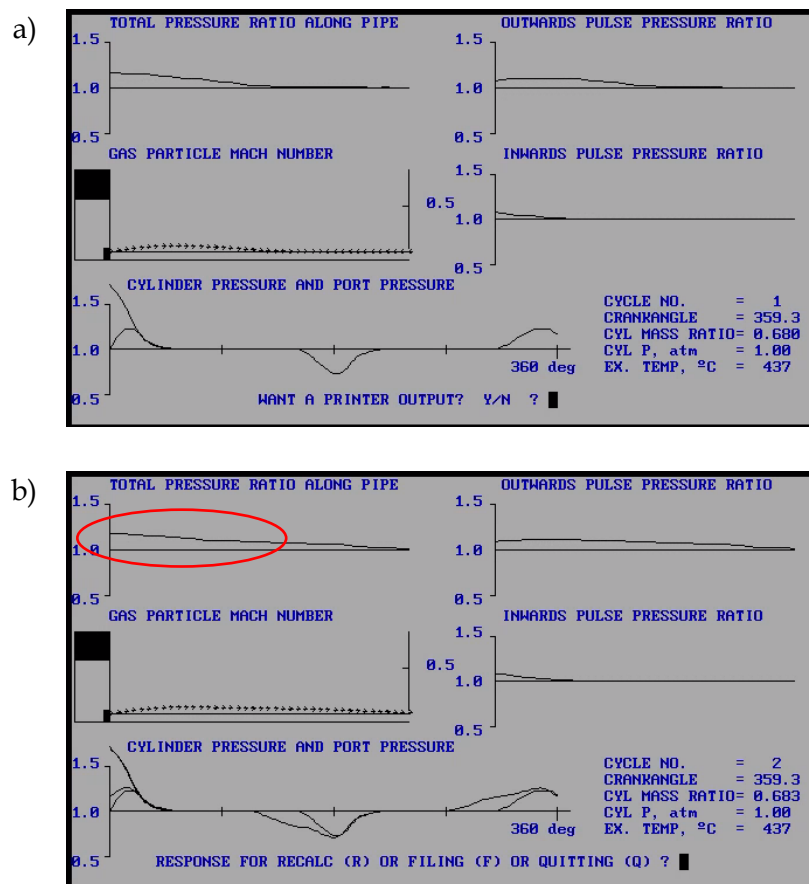


Figura III.7. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape de 500 milímetros a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.

Si se observa la gráfica inferior de la **Figura III.7b**, en este caso se observa como la depresión producida en el escape, ocurre mucho antes que en el caso anterior; la depresión ahora ocurre aproximadamente cuando el pistón descubre la lumbrera de transferencia, permitiendo realizar el proceso de renovación de la carga de un modo mucho más correcto.

III. Desarrollo proyecto

III.1.2.1.2. Conducto de escape de 1.500 milímetros.

A continuación, se va a realizar la misma simulación, pero para un conducto de escape aumentado de 1.500 milímetros.

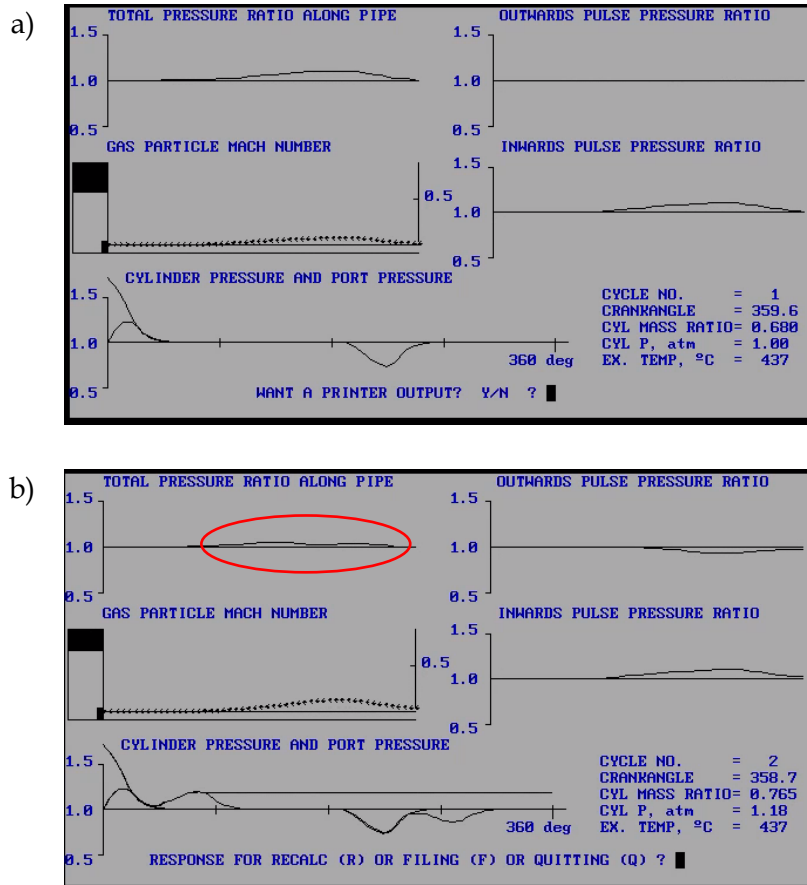


Figura III.8. Resultado de la simulación del efecto de la propagación del efecto de ondas a través del sistema de escape de 1.500 milímetros a) durante el primer ciclo de trabajo del motor, b) durante el segundo ciclo de trabajo del motor.

Según el principio comentado en el apartado anterior respecto a la velocidad de propagación de la onda, al aumentar la longitud del conducto, ahora tardará más tiempo en recorrerlo. Este efecto se ve reflejado en la gráfica superior de la **Figura III.8b**, donde se observa como la onda de presión negativa reflejada, todavía no ha sido capaz de llegar a la salida del motor.

III. Desarrollo proyecto

Con esta longitud de conducto de escape, ocurre un efecto similar al producido con la longitud del prediseño del conducto de escape, pero con resultados todavía peores.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los efectos producidos en el interior del cilindro, para cada longitud de conducto de escape analizado.

Tabla III.2. Tabla de resultados de las simulaciones sobre la propagación de la onda al modificar la longitud del sistema de escape.

Longitud [mm]	500	1.438	1.500
Presión final en el depósito [bar]	1,00	1,09	1,18
Fracción de masa atrapada	0,683	0,724	0,765

Analizando la **Tabla III.2** de los resultados obtenidos en las simulaciones, se muestran dos parámetros importantes correspondientes con la:

- Presión final en el depósito.

Este parámetro hace referencia a la presión final que queda dentro del cilindro del motor, cuando las lumbreras se cierran.

- Fracción de masa atrapada.

Este parámetro hace referencia a la cantidad de aire que queda dentro del cilindro del motor, cuando las lumbreras se cierran.

Hablando del fenómeno de admisión, este parámetro hace referencia a la cantidad de mezcla que se consigue introducir en el interior del cilindro. Cuanto mayor sea este parámetro, mejor.

III. Desarrollo proyecto

Hablando del fenómeno de escape, este parámetro hace referencia a la cantidad de mezcla que no se consigue que salga del cilindro, durante el proceso de evacuación de los gases. A diferencia del parámetro anterior, en este caso cuanto menor sea, mejor para el rendimiento del motor.

Analizando los valores de la fracción de masa atrapada, estos indican la relación entre la masa que se ha quedado dentro del cilindro al cerrar la lumbrera de escape y la masa total que había antes de abrir esta. Un valor de fracción de masa atrapada menor significa que el sistema de escape ha conseguido hacer salir más cantidad de gases de escape mientras la lumbrera de escape ha estado abierta. Además, cuantos más gases hayan salido, menor será la presión que queda dentro del depósito también, como se observa en la **Tabla III.2**.

La longitud del conducto de escape y la cantidad de gases que abandonan el cilindro, están relacionadas porque la lumbrera de escape tan sólo está abierta durante un periodo de tiempo determinado. Por lo tanto, aquella longitud del conducto de escape que favorezca que la reflexión de la onda genere una depresión a la salida del cilindro durante más tiempo, (mientras la lumbrera de escape esté abierta) será la que propicie un mejor vaciado del cilindro.

Analizando los resultados obtenidos en la **Tabla III.2**, se puede concluir que el sistema mejora al reducir la longitud total del conducto de escape, ya que en este caso se obtienen valores menores de fracción de masa atrapada y presión final en el cilindro, permitiendo vaciar mejor el cilindro.

Sin embargo, en el siguiente estudio tan solo se ha considerado la longitud de resonancia del conducto de escape, y no la variación de las diferentes dimensiones que conforman cada tramo del sistema de escape, y que son las responsables de variar los efectos de onda en su interior.

III. Desarrollo proyecto

III.1.2.2. Variación del régimen de giro del motor.

En este apartado en cambio, se va a analizar la influencia de la superposición de ondas y las prestaciones del motor, modificando el régimen de trabajo del motor entre 4.000-8.000 rpm. Se han tomado estos valores como referencia, para analizar el efecto que tiene sobre el motor a bajas, medias y altas revoluciones.

Para entender mejor la influencia del régimen de giro en el funcionamiento del motor y la eficacia del conducto de escape, siguiendo el principio de la velocidad de propagación de la onda comentado anteriormente, a medida que el régimen de giro del motor aumente, los gases de escape saldrán de este y viajarán a través del escape a una mayor velocidad.

Dicho de otro modo, manteniendo una la longitud del conducto de escape de 1.438 milímetros, si se aumenta el régimen de giro del motor, la onda de reflexión llegará antes al motor, y si se reduce el régimen de giro del motor, entonces la onda tardará más tiempo en recorrer el conducto de escape.

Con el siguiente análisis, se puede determinar cual es el régimen de giro del motor, con el que se obtienen las mejores prestaciones del motor, según el diseño del conducto de escape determinado.

III.1.2.2.1. Régimen de giro bajo-medio entre 4.000-6.000 rpm.

A continuación, se muestran las simulaciones realizadas sobre el prediseño del sistema de escape, para unos regímenes de giro del motor de entre 4.000-6.000 rpm.

III. Desarrollo proyecto

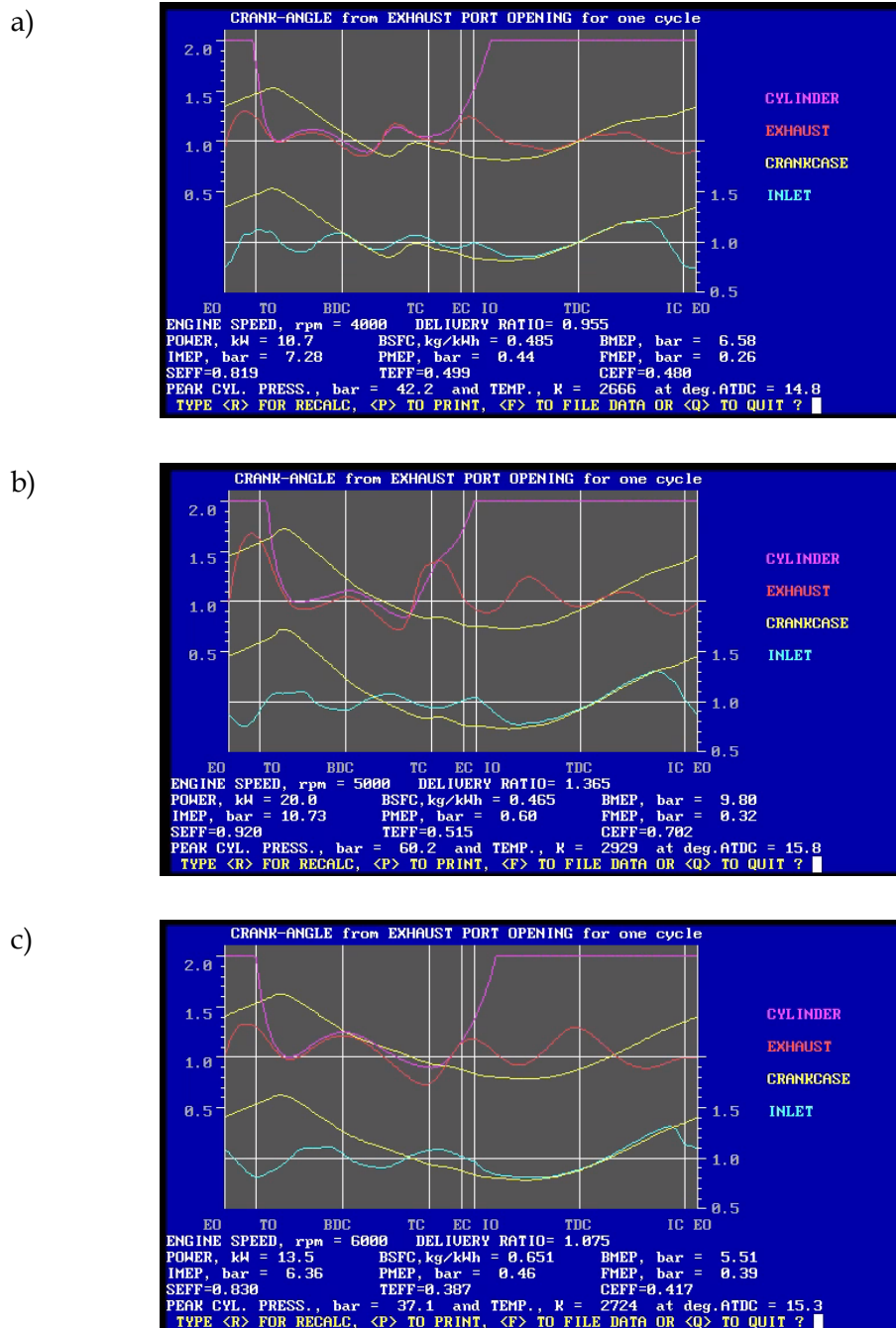


Figura III.9. Resultado de la simulación de la propagación del efecto de ondas del sistema de escape inicial para un régimen de giro de a) 4.000 rpm, b) 5.000 rpm, c) 6.000 rpm.

III. Desarrollo proyecto

III.1.2.2.2. Régimen de giro alto entre 7.000-8.000 rpm.

También se ha llevado a cabo el mismo estudio para unos regímenes de giro del motor más elevados de entre 7.000 y 8.000 rpm.

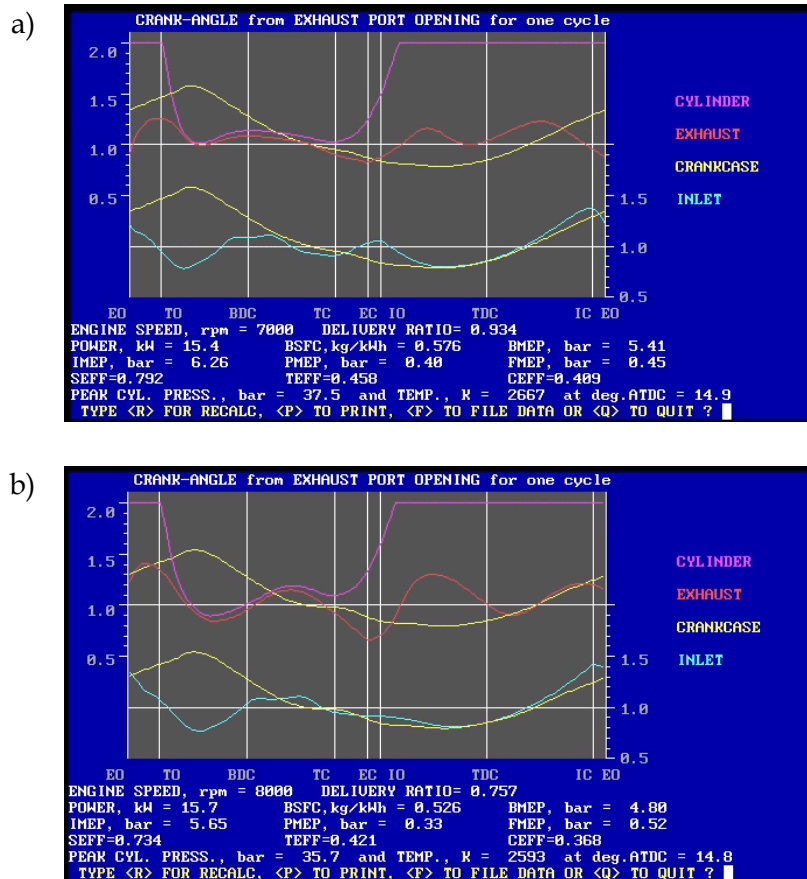


Figura III.10. Resultado de la simulación de la propagación del efecto de ondas del sistema de escape inicial para un régimen de giro de a) 7.000 rpm, b) 8.000 rpm.

En las imágenes obtenidas de las simulaciones, se observa la evolución de las presiones producida en cada una de las partes del motor. En color morado se indica la presión en el cilindro, en color rojo la presión en el escape, en color amarillo la presión en el cárter y por último en color azul la presión en la admisión.

Como bien se ha comentado anteriormente, es conveniente que llegue un pulso de depresión en el escape, durante la apertura de la lumbrera de transferencia,

III. Desarrollo proyecto

correspondiente con los puntos TO-TC para facilitar el vaciado del cilindro y la entrada de la mezcla fresca.

Y, por el contrario, es conveniente que llegue un pulso de presión positiva en el escape, antes del cierre de la lumbrera de escape, entre los puntos TC-EC para reintroducir la mezcla de nuevo en el cilindro.

Tabla III.3. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada régimen de trabajo del motor.

Régimen [rpm]	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000
Potencia (P_{Power})	10,7	20	13,5	15,4	15,7
g_{ef} (BSFC)	0,485	0,465	0,651	0,576	0,526
p.m.e. (BMEP)	6,58	9,8	5,51	5,41	4,8
p.m.i. (IMEP)	7,28	10,73	6,36	6,62	5,65
R_s (CEFF)	0,480	0,702	0,417	0,409	0,368
η_{ret} (TEFF)	0,499	0,515	0,387	0,458	0,421
η_b (SEFF)	0,819	0,920	0,830	0,792	0,734

Como resumen de los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones, la **Tabla III.3** muestra los parámetros más relevantes del motor, los cuales son:

- Potencia.

La potencia del motor indica el trabajo realizado por unidad de tiempo, expresado en kW, la cual se obtiene multiplicando el par motor por el régimen de giro del motor.

Este valor hace referencia la velocidad con la que sucede el trabajo, es decir, la velocidad con la que se hace desplazar el pistón en el interior del cilindro.

III. Desarrollo proyecto

- Consumo específico de combustible (g_{ef}).

Este valor indica la eficiencia del motor para transformar el combustible en energía mecánica. Expresa la cantidad de combustible que hay que consumir para obtener una determinada potencia, normalmente expresada durante una hora (g/kWh).

Es un parámetro relacionado con el rendimiento, a través del poder calorífico del combustible, el cual relaciona el consumo con las prestaciones. Cuanto menor sea el consumo mayor será su rendimiento.

Comúnmente, los fabricantes de motores expresan este consumo en relación con el régimen de giro del motor y la presión media efectiva del motor, la cual indica el grado de carga del acelerador; como se puede ver en el gráfico de abajo.

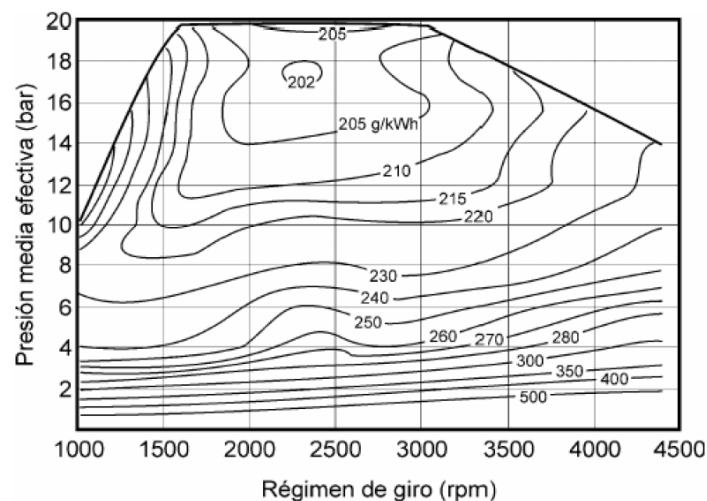


Figura III.11. Ejemplo gráfico del consumo específico de combustible de un motor según las condiciones de trabajo ⁴³.

La curva que envuelve el consumo específico de combustible de la **Figura III.11**, se corresponde con la curva de par del motor.

⁴³

https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12671_2019/01.%20PROGRAMA%20DE%20TEORÍA/TEMA1_INTRODUCCIÓN_A_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTIÓN.pdf

III. Desarrollo proyecto

- Presión media efectiva (p.m.e.).

Este valor resume la media de todas las presiones instantáneas de los gases en el interior del cilindro, producidos durante el segundo ciclo de trabajo del motor, correspondientes al proceso de combustión–expansión.

La presión media efectiva y el par del motor están relacionados con la cilindrada del motor. Este valor se obtiene en función del llenado del cilindro y el aprovechamiento del combustible.

Es un valor real que indica la presión constante durante el proceso de expansión, que produce un trabajo igual al trabajo efectivo del motor.

$$pme = \frac{W_e}{V_d}$$

También se puede calcular restando la presión media indicada menos la presión media de las pérdidas mecánicas.

$$pme = pmi - pmpm$$

- Presión media indicada (p.m.i.).

Este valor resume la media teórica de todas las presiones instantáneas, que se producirían en el interior del cilindro durante el proceso de expansión, según el ciclo teórico del funcionamiento del motor, es decir, sin considerar las pérdidas mecánicas.

Es un valor teórico que indica la presión constante durante la expansión que produce un trabajo igual al trabajo indicado del motor.

$$pmi = \frac{W_i}{V_d}$$

III. Desarrollo proyecto

- Coeficiente de admisión (R_s).

Este valor determina el coeficiente de llenado del cilindro, el cual relaciona la masa de la mezcla efectiva suministrada en cada ciclo y la masa teórica de referencia que podría llenar un volumen igual a la cilindrada del motor, en condiciones ambientales.

$$R_s = \frac{\dot{m}_{sum}}{\dot{m}_{ref}}$$

El coeficiente de admisión tiene una gran influencia en las prestaciones del motor. Cuanto mayor sea la masa de la mezcla suministrada, mayor cantidad de combustible se quemará, y por tanto mayor potencia se obtendrá.

Este valor evalúa el funcionamiento de la bomba de barrido.

- Rendimiento de la retención (η_{ret}).

Este valor determina el rendimiento del motor, para llevar a cabo el proceso de barrido de los gases de escape.

El coeficiente de retención del motor relaciona la masa de la mezcla retenida en el cilindro, y la masa de la mezcla efectiva suministrada en cada ciclo.

$$\eta_{ret} = \frac{\dot{m}_{ret}}{\dot{m}_{sum}}$$

Este valor evalúa el proceso de cortocircuito.

- Rendimiento de barrido (η_b).

Este valor determina el rendimiento del motor para llevar a cabo el proceso de barrido de los gases de escape.

El coeficiente de barrido del motor relaciona la masa de la mezcla retenida en el cilindro, entre la suma de la masa de la mezcla retenida más la masa de los gases de escape que salen del motor.

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_{ret}}{\dot{m}_{ret} + \dot{m}_{res}}$$

III. Desarrollo proyecto

Este valor evalúa la eficiencia de evacuación de los gases de escape.

La diferencia de resultados obtenidos en la **Tabla III.3** entre los diferentes regímenes de giro, se debe principalmente a la velocidad de propagación de las ondas a través del conducto de escape. Como bien se ha comentado anteriormente acerca del funcionamiento del sistema de escape, la velocidad de propagación de las ondas que transcurren en el interior del escape están muy relacionadas con la dimensión de este, y con el régimen de giro del motor. Para un determinado conducto de escape, a mayor régimen de giro, la velocidad en la que la onda recorre el sistema de escape, llega al contracono y vuelve para reintroducir de nuevo la mezcla fresca, se produce mucho más deprisa que con un número de revoluciones más bajo.

Por lo tanto, se puede determinar que existe un régimen de giro óptimo, en el cual la onda de rarefacción llega en el momento justo para evitar el cortocircuito. Para un número de revoluciones más bajo, la onda de rarefacción no llega a tiempo al cilindro y la mezcla fresca se escapa por el escape, perdiendo así combustible y reduciendo el rendimiento del motor. Por el contrario, para un número de revoluciones mayor, la onda de rarefacción producida en el contracono llega demasiado pronto, reintroduciendo los gases del escape en el interior del cilindro y limitando la entrada de mezcla fresca, reduciendo el rendimiento volumétrico del motor, y por lo tanto la potencia que desarrollará.

Observando las gráficas obtenidas en la **Figura III.9** y la **Figura III.10**, los pulsos de depresión y de presión positiva producidos en el escape y que mejor se adaptan a lo comentado anteriormente, se corresponden con el régimen de giro del motor de 5.000 rpm. Además, se puede ver claramente en los resultados obtenidos en la **Tabla III.3**, como los mayores valores de las prestaciones del motor con el diseño del sistema de escape inicial, se corresponden también con este régimen de giro.

Sin embargo, el régimen de trabajo para el cual se está diseñando el sistema de escape, es de 6.000 rpm. Como se puede observar en la **Tabla III.3**, las prestaciones obtenidas para el régimen de giro son muy pobres.

III. Desarrollo proyecto

Finalmente se puede concluir tras los análisis realizados, que la longitud del conducto de escape no ofrece un correcto funcionamiento del motor para el régimen de giro del motor, en el cual está trabajando. Al no poder reducir ni aumentar la longitud total el conducto de escape, se va a realizar una modificación de las longitudes y secciones que comprenden el conducto de escape, manteniendo en todo momento la longitud total de este, hasta que se alcancen unos valores de funcionamiento del motor que se consideren óptimos.

III.1.3. Optimización del diseño del sistema de escape.

Para optimizar el funcionamiento del motor, se analizará el efecto de propagación de las ondas modificando el diseño del sistema de escape; siempre respetando la dimensión total del conducto de escape.

A continuación, se muestra de un modo más completo, todos los valores geométricos y de funcionamiento correspondientes al motor, necesarios para obtener una correcta optimización del sistema de escape.

GEOMETRÍA DEL MOTOR			SISTEMA DE ESCAPE		
Diámetro	[mm]	69,5	LP01	[mm]	144
Carrera	[mm]	64,5	LP12	[mm]	589
Longitud de la biela	[mm]	120	LP23	[mm]	201
Relación de compresión del motor	[-]	7	LP34	[mm]	158
Relación de compresión del cárter	[-]	1,5	LP45	[mm]	345
			LP56	[mm]	345
Lumbrera de escape			SISTEMA DE ADMISIÓN		
Angulo de apertura	[°]	90	DEP1	[mm]	49
Angulo de apertura máxima	[°]	180	DEP2	[mm]	74
Número	[-]	1	DEP3	[mm]	110
Anchura	[mm]	42	DEP4	[mm]	110
Radio superior	[mm]	8	DEP5	[mm]	24
Radio inferior	[mm]	8	DEP6	[mm]	24
Lumbreras de transferencia			CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO		
Angulo de apertura	[°]	114	Régimen de giro	[rpm]	6000
Angulo de apertura máxima	[°]	180	Relación aire-combustible	[-]	13
Número	[-]	5	Eficiencia de la combustión	[0-1]	0,8
Anchura	[mm]	15	Duración de la combustión	[°]	55
Radio superior	[mm]	3			
Radio inferior	[mm]	3			
Longitud	[mm]	90			
			PROPIEDADES DEL GAS		
Lumbrera de admisión			Exponente politrópico en la compresión	[-]	1,25
Angulo de apertura	[°]	80	Exponente politrópico en la expansión	[-]	1,35
Angulo de apertura máxima	[°]	0	Temperatura en el sistema de escape	[°C]	550
Número	[-]	2			
Anchura	[mm]	21			
Radio superior	[mm]	3			
Radio inferior	[mm]	3			

Figura III.12. Condiciones geométricas base del motor y del sistema de escape para analizar la propagación de la onda a través del escape.

III. Desarrollo proyecto

Muchos de estos parámetros ya han sido comentados en los apartados anteriores. Hacen referencia a la geometría del motor obtenida de la base de datos del fabricante, los cuales no van a ser modificados, así como las propiedades del gas y las condiciones de funcionamiento ya determinadas; por lo tanto, no es necesario prestar más atención a estos parámetros. En el siguiente estudio, tan solo van a ser modificadas las dimensiones del sistema de escape.

Según la **Tabla III.3** de resultados, se puede observar como las prestaciones del motor para las dimensiones del prediseño del escape y el régimen de giro de trabajo del motor, son muy pobres en comparación con las obtenidas a un número de revoluciones más bajo. Esto significa que se deben conseguir más altos del motor, es decir, obtener mayor potencia para un régimen de giro un poco más alto.

Como se ha visto en el funcionamiento del sistema de escape de un motor de dos tiempos (2T), en función de las dimensiones que se modifiquen, se pueden obtener más altos o bajos del motor.

Un primer modo de conseguir más altos es aumentar la longitud de la cámara. Con este aumento, los gases recorren un mayor camino desde que la onda sale del cono hasta que llega al contracono. Por lo tanto, existe un mayor tiempo desde que se facilita el vaciado del cilindro, hasta que la onda reflejada negativamente vuelve al cilindro para reintroducir de nuevo los gases que han escapado.

Como se observa en la gráfica inferior de la **Figura III.6**, la depresión generada en el escape sucede demasiado tarde; como bien se ha comentado anteriormente, esta debe suceder lo más próxima a la apertura de la lumbrera de transferencia y durar el mayor tiempo posible, hasta que esta se cierre. Esto se puede corregir también, reduciendo la longitud del cono, o modificando los grados de conicidad del mismo.

Como ya se ha descrito inicialmente, las dimensiones base del tubo de escape son las siguientes:

III. Desarrollo proyecto

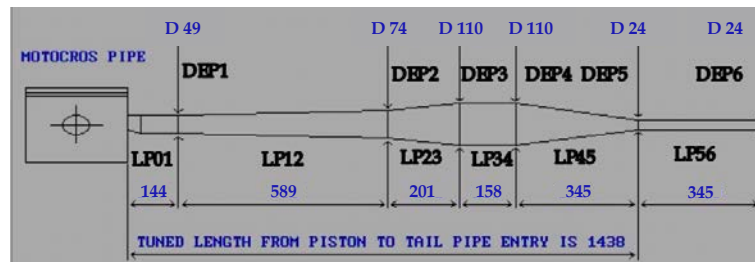


Figura III.13. Dimensiones del prediseño del sistema de escape de la motocicleta.

A continuación, se van a realizar varios estudios, modificando progresivamente la dimensión y analizando las prestaciones que va proporcionando el motor.

Tabla III.4. Tabla resumen de simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP12 y LP34.

Nº simulación	Esquema gráfico	Definición de parámetros
1		LP34 +50 LP12 -50
2		LP34 +100 LP12 -100
3		LP34 +150 LP12 -150

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.5. Tabla resumen de simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP23 y LP45.

Nº simulación	Esquema gráfico	Definición de parámetros
1		LP45 +50 LP23 -50
2		LP45 +100 LP23 -100
3		LP45 +150 LP23 -150

Tabla III.6. Tabla resumen de simulaciones con cambio de diámetro de las secciones DEP2 y DEP34.

Nº simulación	Esquema gráfico	Definición de parámetros
1		DEP2 +8 DEP34 +20
2		DEP2 +21 DEP34 +30

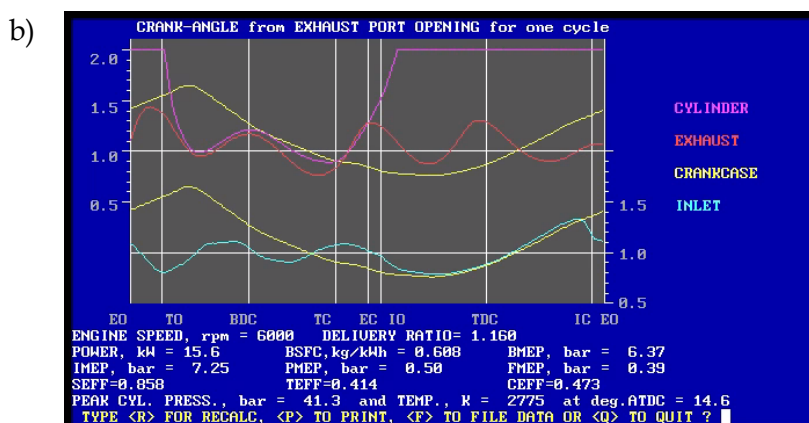
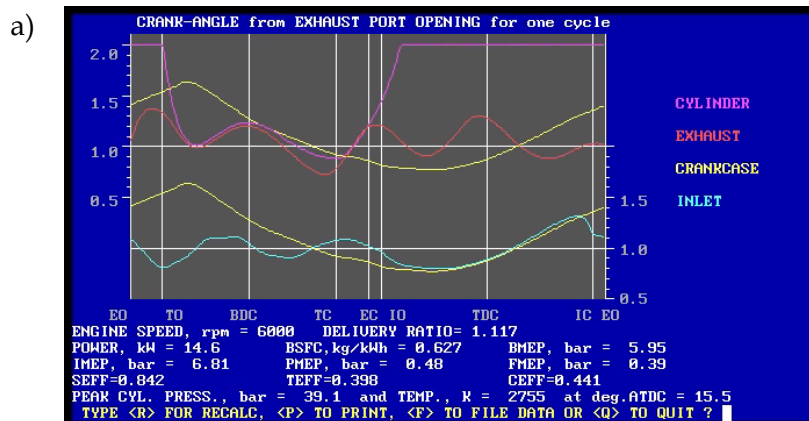
III. Desarrollo proyecto

Se ha escogido realizar las siguientes simulaciones, con las variaciones de las dimensiones determinadas, sin ningún criterio establecido, es decir, de un modo aleatorio con el que analizar la influencia de la variación de estos parámetros.

III.1.3.1. Simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP12 y LP34.

En las primeras simulaciones se van a modificar las longitudes de los tramos LP12 y LP34, correspondientes a la cámara y el primer tramo del cono respectivamente.

Se van a realizar 3 simulaciones, modificando la longitud de 50 milímetros en 50, tan solo para analizar el efecto de la propagación de onda



III. Desarrollo proyecto

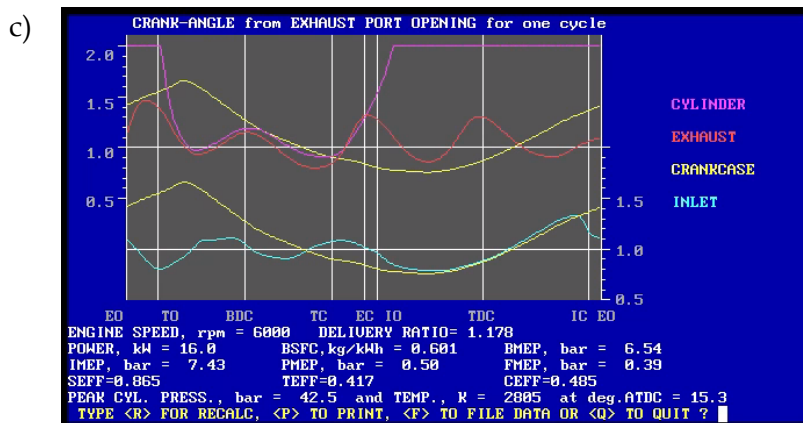


Figura III.14. Resultado de la simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm.

Tabla III.7. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las longitudes de la cámara y el codo comparado con el prediseño inicial.

LP12	LP34	Potencia (Power)	g_{ef} (BSFC)	p.m.e. (BMEP)	p.m.i. (IMEP)	R_s (CEFF)	η_{ret} (TEFF)	η_b (SEFF)
INICIAL		13,5	0,651	5,51	6,36	0,417	0,387	0,830
-50	+50	14,6	0,627	5,95	6,81	0,441	0,398	0,842
-100	+100	15,6	0,608	6,37	7,25	0,473	0,414	0,858
-150	+150	16	0,601	6,54	7,43	0,485	0,417	0,865

Tras varias modificaciones, se observa como a medida que se varían las dimensiones de las diferentes partes del sistema de escape, se consiguen obtener mejores prestaciones del motor que con el prediseño del sistema de escape inicial. Con mejores valores del rendimiento de barrido (η_b), del rendimiento de la retención (η_{ret}), así como un mayor coeficiente de admisión (R_s).

III.1.3.2. Simulaciones con cambio de longitud de los tramos LP23 y LP45.

Sin embargo, todavía se puede seguir optimizando el sistema de escape reduciendo aún más la conicidad del cono; en este caso se van a modificar las longitudes

III. Desarrollo proyecto

de los tramos LP23 y LP45, correspondientes al segundo tramo del cono y el contracono respectivamente.

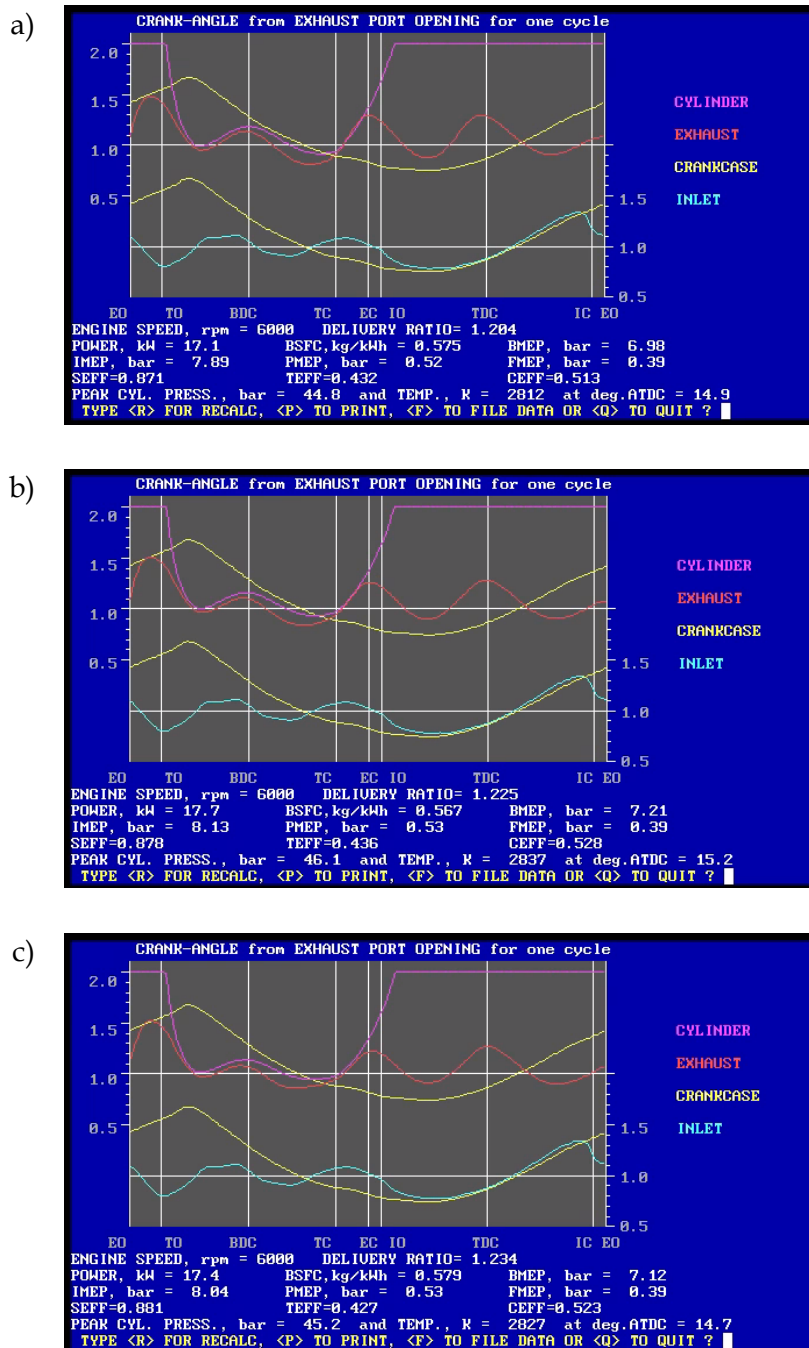


Figura III.15. Resultado de la simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm.

III. Desarrollo proyecto

Se van a realizar 3 simulaciones más, modificando la longitud de 50 milímetros en 50 de nuevo y manteniendo la configuración de la última simulación del estudio anterior, con la que se había obtenido el mejor funcionamiento.

Tabla III.8. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las longitudes del conducto cono y del contracono comparado con el prediseño inicial.

LP23	LP45	Potencia (Power)	g_{ef} (BSFC)	p.m.e. (BMEP)	p.m.i. (IMEP)	R_s (CEFF)	η_{ret} (TEFF)	η_b (SEFF)
INICIAL		13,5	0,651	5,51	6,36	0,417	0,387	0,830
-50	+50	17,1	0,575	6,98	7,89	0,513	0,432	0,871
-100	+100	17,7	0,567	7,21	8,13	0,528	0,436	0,878
-150	+150	17,4	0,579	7,12	8,04	0,523	0,427	0,881

Con las siguientes simulaciones, se observa como las prestaciones continúan mejorando. Sin embargo, si se modifican demasiado las dimensiones tanto del cono como del contracono, los valores empiezan a empeorar. Según los resultados obtenidos, es mejor quedarse con la configuración de la segunda simulación.

III.1.3.3. Simulaciones con cambio de diámetro de las secciones DEP2 y DEP34.

Otro modo de seguir optimizando el sistema de escape, reduciendo la conicidad del cono y el contracono, es modificando las secciones DEP2 y DEP34, correspondientes con el diámetro de estos.

A continuación, se van a realizar 2 simulaciones aumentando ambos diámetros y manteniendo la configuración de la segunda simulación del estudio anterior, con la que se había obtenido el mejor funcionamiento.

III. Desarrollo proyecto

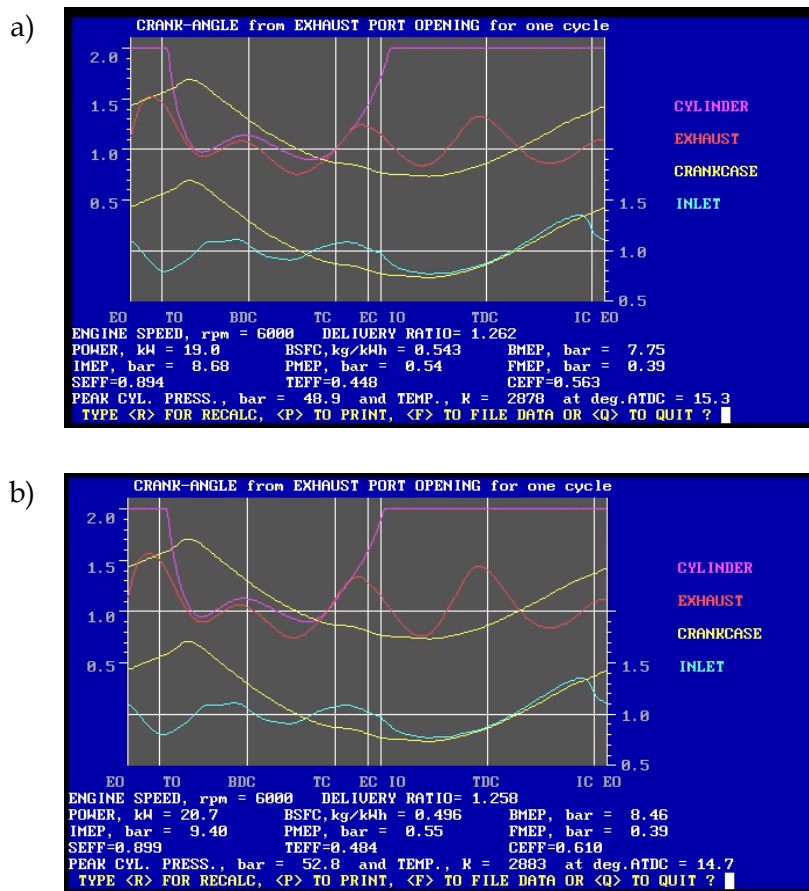


Figura III.16. Resultado de las simulaciones con cambio de longitudes de tramos y su efecto en la propagación del efecto de ondas para el régimen de giro de 6.000 rpm.

Tabla III.9. Tabla de resultados de las prestaciones finales del motor para cada modificación de las secciones del conducto de escape comparado con el prediseño inicial.

DEP2	DEP34	Potencia (Power)	g_{ef} (BSFC)	p.m.e. (BMEP)	p.m.i. (IMEP)	R_s (CEFF)	η_{ret} (TEFF)	η_b (SEFF)
INICIAL		13,5	0,651	5,51	6,36	0,417	0,387	0,830
+8	+20	19,0	0,543	7,75	8,68	0,563	0,448	0,894
+21	+30	19,9	0,527	8,14	9,08	0,588	0,457	0,905

III. Desarrollo proyecto

Se puede observar como la variación de algunas de las dimensiones finalmente conduce a una mejora significativa de las prestaciones finales que ofrecerá el motor para el régimen de trabajo preestablecido.

Se puede observar también, como el gasto efectivo de combustible (g_{ef}) ha ido disminuyendo, ya que cada vez se obtienen mejores valores del rendimiento del motor, aprovechando de un modo más eficiente el combustible.

Los valores del del rendimiento de barrido (η_b), del rendimiento de retención (η_{ret}), y del coeficiente de admisión (R_s), han aumentado también, gracias a los cambios producidos en la geometría del sistema de escape, los cuales han favorecido el vaciado del cilindro y la entrada de la mezcla fresca, reteniéndola en su interior una vez se ha cerrado la lumbrera de escape.

Analizando la curva de presión del escape de la **Figura III.16b**, correspondiente con la última configuración del sistema de escape, se observa cómo se produce una gran depresión durante la apertura de la lumbrera de transferencia, y por el contrario, un gran pulso de presión positiva previo al cierre de la lumbrera de escape (EC).

Esto se traduce con un valor del rendimiento de barrido (η_b) muy próximo a la unidad, lo que significa que, para este régimen de giro del motor, el sistema de escape es capaz de llevar a cabo el proceso de renovación de la carga, sin apenas producirse cortocircuito, es decir, sin apenas escaparse mezcla fresca por el escape.

Finalmente, todo esto lleva a obtener un elevado valor de la presión media efectiva (p.m.e.) en el interior del cilindro, correspondiente con un elevado valor de la potencia del motor, en comparación con los valores que ofrecía el prediseño inicial del sistema de escape.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entra las prestaciones que ofrecía el motor con el prediseño del sistema de escape, y las que ofrece ahora con la nueva configuración optimizada del diseño del conducto.

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.10. Tabla de resultado de las prestaciones finales del motor para el diseño final de sistema de escape optimizado comparado con el prediseño inicial.

PRESTACIONES	Escape inicial	Escape final
Potencia (Power)	13,5	20,7
g_{ef} (BSFC)	0,651	0,496
p.m.e. (BMEP)	5,51	8,46
p.m.i. (IMEP)	6,36	9,40
R_s (CEFF)	0,417	0,610
η_{ret} (TEFF)	0,387	0,484
η_b (SEFF)	0,830	0,899

Como se observa en la **Tabla III.10**, el funcionamiento del motor ha mejorado muchísimo gracias a la optimización realizada.

III. Desarrollo proyecto

III.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL.

El sistema de escape es uno de los elementos estéticos más llamativos de las motocicletas. Sin embargo, a parte del carácter estético, el sistema de escape debe ser capaz de enfriar los gases producto de la combustión del motor, durante el proceso de evacuación de estos hacia el exterior. En ambos casos, el material de fabricación juega un papel muy importante.

Considerando que se trata del sistema de escape de una motocicleta para una competición de Motocross, el comportamiento que este debe tener es muy diferentes en comparación con el sistema de escape de una motocicleta de calle. Durante una competición es inevitable que la motocicleta sufra alguna caída, o incluso que el sistema de escape reciba un fuerte impacto, quedando gravemente dañado.

Entre las propiedades del material seleccionado para la fabricación del sistema de escape, este debe ser capaz de resistir las tensiones producidas por impactos o caídas, que sea fácil de procesar y conformar y además, como bien se verá más adelante en el apartado del proceso de fabricación del sistema de escape, este debe tener un buen comportamiento frente a la soldadura, sin encarecer más de lo necesario el precio del mismo, y buscando a la vez reducir el peso del conjunto.

Según lo comentado en la introducción sobre los diferentes materiales utilizados comúnmente en el motociclismo, para el siguiente estudio de trabajo se ha escogido el acero inoxidable para la fabricación del sistema de escape. Dentro de este grupo, el que se utiliza comúnmente en automoción y motociclismo para la fabricación de los sistemas de escape es el AISI 304, perteneciente a la familia de los aceros inoxidables austeníticos, los cuales presentan unas buenas propiedades de resistencia, conformabilidad y soldabilidad.

La estética en este caso es irrelevante. Lo que realmente importa es la resistencia frente a impactos que ofrece este material, en relación con el peso que presenta, y si por algún motivo se rompe o es dañado, la reparación o sustitución resulta mucho más

III. Desarrollo proyecto

económica y fácil de llevar a cabo utilizando un sistema de escape de acero inoxidable AISI 304.

III. Desarrollo proyecto

III.3. DISEÑO CAD DEL TUBO DE ESCAPE FINAL DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS (2T).

En el siguiente apartado, se va a realizar el diseño CAD del modelo obtenido finalmente con la optimización del sistema de escape. Para realizar dicho diseño, se ha utilizado el programa de dibujo SolidWorks.

La geometría del sistema de escape de una motocicleta de Motocross, no es completamente horizontal como se obtiene en el programa de simulación, sino que al montarse por el interior de la motocicleta, esta debe modificarse geoméricamente para adaptarse y orientarse en la posición correcta. Las dimensiones obtenidas tan solo permiten mostrar una idea, de las dimensiones que deben tener cada uno de los tramos que conforman el sistema de escape.



Figura III.17. Geometría del sistema de escape de una motocicleta de Motocross ⁴⁴.

⁴⁴

https://www.greenlandmx.es/es/escape_pro_circuit_works_husqvarna_wr_250_300_09-13/0761230.html

III. Desarrollo proyecto

Para facilitar el proceso de diseño, se ha dividido el sistema de escape en cinco partes, correspondientes con cada uno de los diferentes tramos que conforman el conducto de escape.

Para dibujar el trazado del escape, se ha utilizado la herramienta de dibujo "Spline" a través de un croquis 3D, con la que se ha dibujado cada tramo, con su correspondiente orientación y geometría en el espacio.

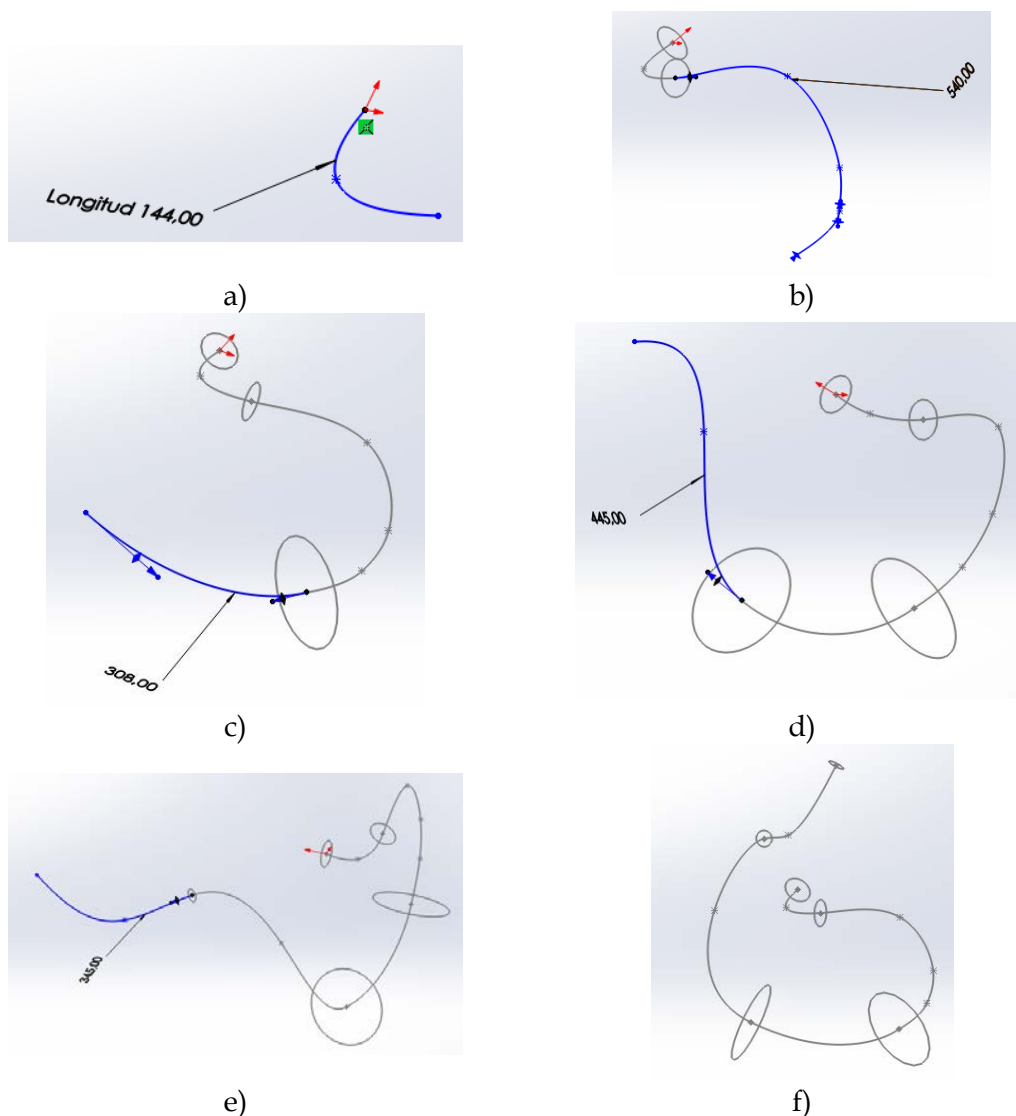


Figura III.18. Evolución del dibujo del conducto de escape para el a) tramo LP12, b) tramo LP23, c) tramo LP34, d) tramo LP45, e) tramo LP56, f) trazado total del conducto de escape.

III. Desarrollo proyecto

En cada tramo se ha creado un plano perpendicular a la dirección de la “Spline”, donde se han dibujado los círculos correspondientes a los diámetros de cada tramo de sección del conducto de escape. Una vez definido el recorrido del conducto de escape con las diferentes secciones marcadas en cada tramo del escape, tal y como se refleja en la **Figura III.18**, mediante la herramienta de “Barrido de la superficie” se ha ido recubriendo cada tramo, hasta obtener finalmente la estructura final del sistema de escape; asemejándose lo más aproximadamente posible a la realidad.

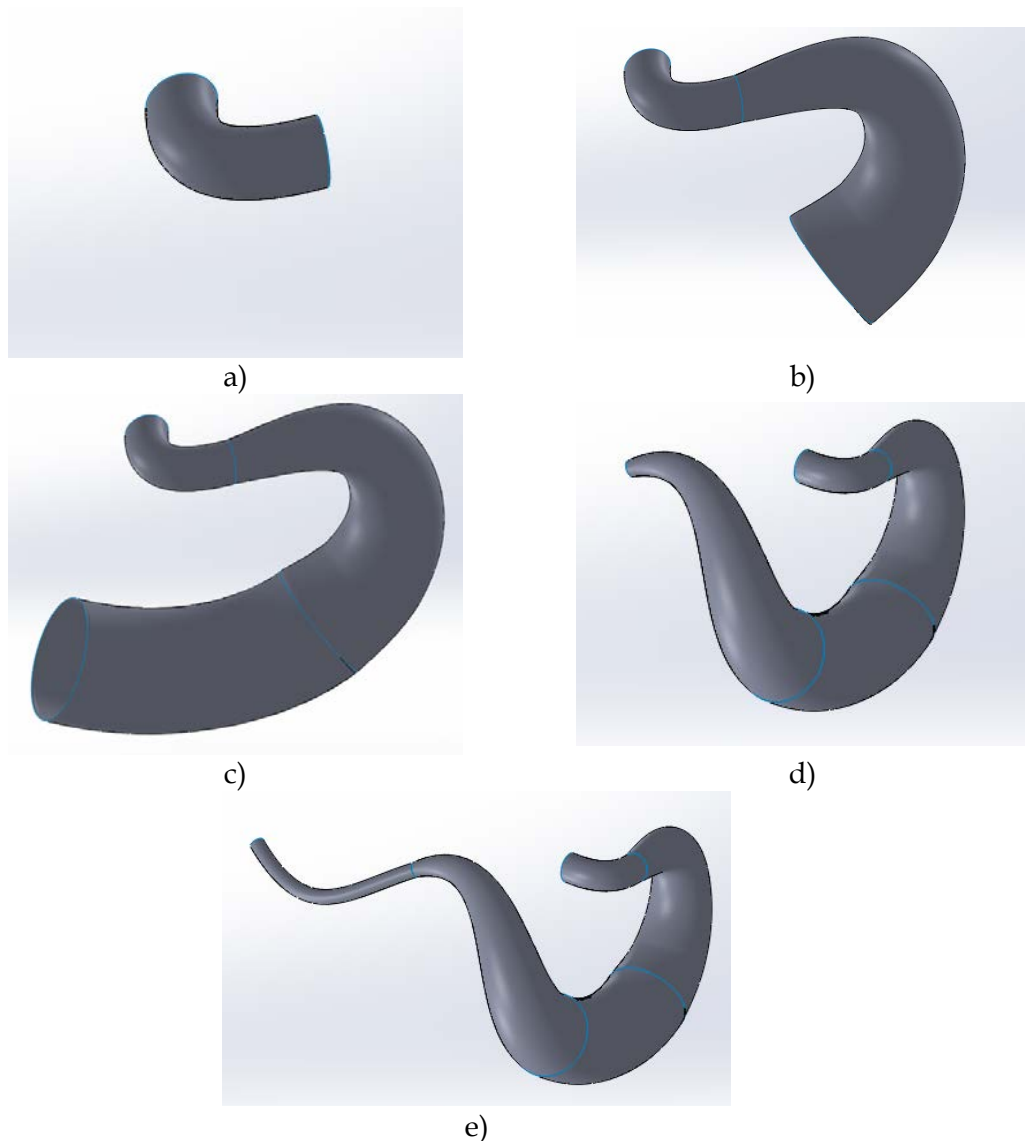


Figura III.19. Evolución de la función de recubrir para el a) tramo LP12, b) tramo LP23, c) tramo LP34, d) tramo LP45, e) tramo LP56 donde se muestra la geometría final del conducto de escape.

III. Desarrollo proyecto

Todas las dimensiones longitudinales del sistema de escape obtenidas con el programa de simulación en el apartado anterior han sido trasladadas a cada uno de los elementos del diseño 3D realizado.

III. Desarrollo proyecto

III.4. ESTUDIO DE IMPACTO.

El sistema de escape es un elemento externo de la Motocicleta, el cual queda expuesto al ambiente y otros fenómenos que pueden dañarlo. Uno de los muchos posibles fenómenos con los que se puede topar el sistema de escape de la motocicleta durante una competición, es frente al impacto de piedras o frente a caídas. Estos impactos describen el efecto producido en un cuerpo al ser golpeado por otro, pudiendo provocar deformaciones o alteraciones en la estructura original del mismo.

En el siguiente apartado, se van a realizar varios análisis de impacto mediante el programa de dibujo Solidworks. En un primer estudio se analizarán las tensiones y deformaciones producidas por el impacto de piedras en diferentes puntos de la parte frontal del escape; y a continuación, se realizará otro estudio para el impacto lateral producido por una posible caída estática de la moto.

III.4.1. Asignación del material.

El material seleccionado para la fabricación del sistema de escape, como se ha comentado anteriormente, es el acero inoxidable AISI 304.

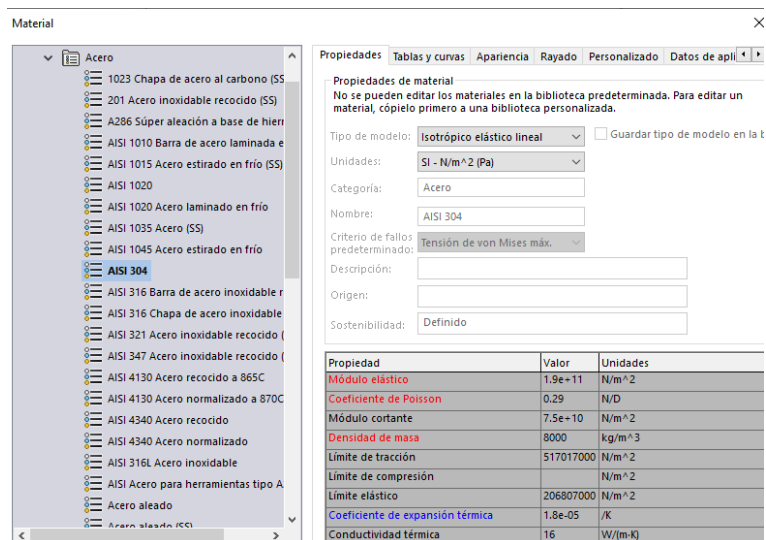


Figura III.20. Imagen de la salida de piedras producida por el giro de la rueda de la motocicleta.

III. Desarrollo proyecto

De todas las propiedades del material, para el siguiente análisis cabe destacar dos principalmente:

- El límite elástico.

Este valor indica la tensión máxima que puede soportar un material elastoplástico, sin llegar a deformarse de un modo permanente. Si se supera dicha tensión, el material empezará a comportarse de un modo plástico, deformándose cada vez más, y sin poder recuperar la forma original tras retirar dichas tensiones.

El límite elástico del acero inoxidable AISI 304 es de 206,8 MPa.

- El límite de rotura.

Una vez superado el límite elástico, el material puede seguir deformándose a medida que la tensión crece, hasta alcanzar un valor de tensión máximo, en el cual la estructura no puede deformarse más y finalmente se rompe.

El límite de rotura es el valor que indica la tensión máxima que puede soportar el material, antes de que su sección transversal se contraiga de manera significativa.

El límite de rotura del acero inoxidable AISI 304 es de 517 MPa.

En la siguiente imagen, se muestra una curva típica de los ensayos de tracción realizados en los materiales, donde se obtienen los valores comentados anteriormente.

III. Desarrollo proyecto

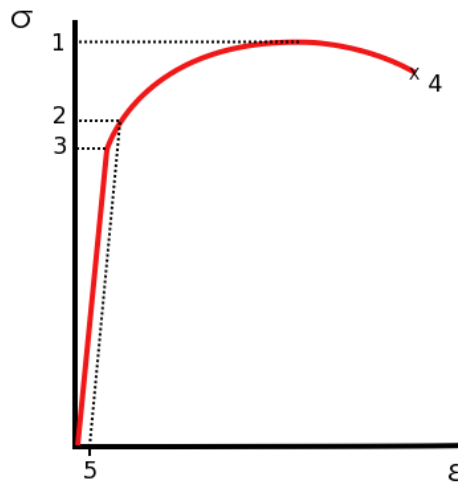


Figura III.21. Gráfica de tensión-deformación del ensayo de tracción típico de los materiales ⁴⁵.

Los puntos que se observan en la **Figura III.21**, se corresponden con los siguientes valores:

- **Punto 1.** Indica el límite de rotura del material.
- **Punto 2.** Indica el límite elástico del material.
- **Punto 3.** Indica el límite de proporcionalidad del material.
- **Punto 4.** Indica punto de fractura del material.
- **Punto 5.** Indica la deformación producida en el punto del límite elástico.

III.4.2. Estudio y definición de condiciones de contorno.

En este apartado, se van a determinar todos aquellos puntos, donde el sistema de escape está fijado en algún punto de la motocicleta.

⁴⁵ https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi3n_de_rotura

III. Desarrollo proyecto

Analizando las condiciones de contorno del sistema de escape, este se conecta directamente con la salida del motor a través del codo, formando una unión fija.

En el otro extremo en cambio, como se ha podido ver anteriormente, existen dos tipos de montajes del silenciador. Los Slip-On a través de un codo de unión, o los Bolt-On mediante tornillería. En este caso, ya que el diseño no contempla la fabricación del silenciador, el extremo de la caña se va a tomar como una unión fija también.

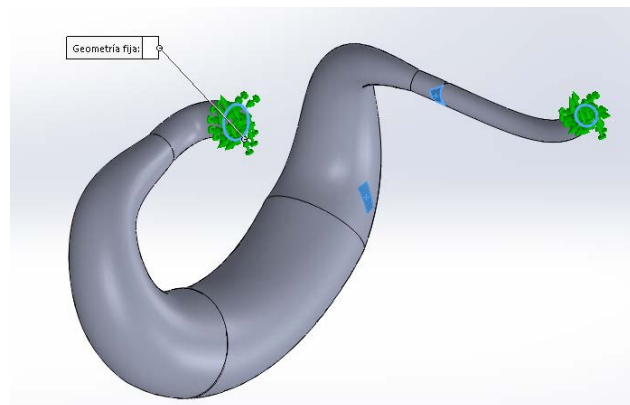


Figura III.22. Puntos de anclaje del sistema de escape con el chasis de la motocicleta.

Además, la mayoría de los sistemas de escape llevan varios puntos de anclaje a lo largo de su longitud, que le permiten mantenerse fijo con el chasis de la motocicleta y evitar posibles deformaciones o flexiones durante un impacto. Estos puntos de unión se fijan comúnmente mediante tornillería, formando unas uniones fijas también.



Figura III.23. Puntos de anclaje fijos del sistema de escape con el chasis de la motocicleta ⁴⁶.

⁴⁶ <https://www.motofichas.com/marcas/beta/rr-250-2t-2020>

III. Desarrollo proyecto

III.4.3. Generación de mallado.

Para el estudio, se ha generado una malla fina con elementos SHELL de superficies basada en curvatura. la malla realizada tiene una cantidad total de 16.153 nodos.

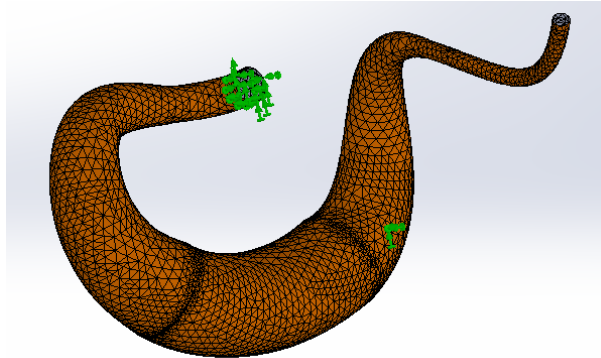


Figura III.24. Imagen del mallado del sistema de escape para el estudio.

III.4.4. Estudio del impacto de piedras sobre el escape.

Las competiciones de Motocross se realizan sobre circuitos de tierra llenos de pequeñas piedras. Es común que, debido al giro de las ruedas, estas piedras salgan disparadas e impacten contra la estructura de la motocicleta.



Figura III.25. Imagen de la salida de piedras producida por el giro de la rueda de la motocicleta⁴⁷.

⁴⁷ <https://www.motociclismo.es/consejos/articulo/neumaticos-cross-enduro-prueba-comparativa-bridgestone>

III. Desarrollo proyecto

En el siguiente estudio, se va a realizar un análisis estático en el que se va a analizar el impacto de una piedra producido en diferentes partes de la cara frontal del sistema de escape, es decir, en la zona del cono, la cámara y el contracono. Con estos estudios, se analizará la diferencia obtenida en cada uno de las simulaciones, determinando los estados tensionales y de deformaciones en cada caso y el trazado del factor de seguridad.

III.4.4.1. Hipótesis de carga.

Para calcular la fuerza de impacto de la piedra al colisionar contra el sistema de escape, el primer paso es conocer el principio de Trabajo-Energía, el cual determina que, si se conoce la energía cinética de la piedra justo antes del impacto y la distancia que recorre justo después de este, se puede determinar la fuerza de impacto.

Sabiendo que la ecuación de la energía cinética del objeto es un medio de la masa por la velocidad al cuadrado del objeto.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Y la ecuación del trabajo relaciona, la fuerza de impacto por la profundidad que alcanza un objeto sobre el otro.

$$W = F * d$$

Al igualar ambas ecuaciones y despejar, se obtiene la fuerza de impacto como:

$$E_c = W \rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = F * d$$

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d}$$

III. Desarrollo proyecto

La fuerza de impacto, como se observa en la ecuación superior, depende principalmente de la distancia de penetración del objeto.

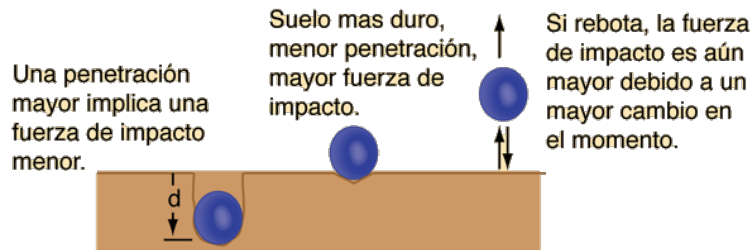


Figura III.26. Imagen de la hipótesis del grado de carga de un impacto en función de la distancia de penetración ⁴⁸.

Como se observa en la **Figura III.26**, según la dureza del material y la distancia de penetración que se considere, la fuerza de impacto deberá ser mayor o menor.

Para calcular dicha fuerza de impacto es necesario entonces, determinar la masa de la piedra y la velocidad con la que esta se desplaza. Atendiendo a la granulometría de la tierra y considerando que las piedras nunca son completamente redondas, el tamaño de estas se define como el diámetro de una esfera de su mismo volumen, expresada en milímetros.

Tabla III.11. Clasificación de la granulometría de las distintas partículas que existen en la Tierra en función del tamaño.

PARTICULAS	TAMAÑO [mm]
Arcillas	< 0,0039
Limos	0,0039 - 0,0625
Arenas	0,0625 - 2
Grava	2 - 64
Cantos rodados	64 - 256
Bloques	> 256

⁴⁸ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/flobi.html>

III. Desarrollo proyecto

El mayor tamaño de piedra que puede haber en un circuito de Motocross, es aproximadamente de entre 20 - 40 milímetros. Según la **Tabla III.8**, el tamaño de estas piedras se corresponde con el tipo de partícula de "Grava".



Figura III.27. Imagen de partículas de grava según la granulometría de la Tierra ⁴⁹.

Para el siguiente análisis de impacto, se ha considerado una piedra de grava de tamaño medio de 27 milímetros. Se puede determinar el peso de esta, a partir de la ecuación de la densidad de la grava, que es de 1.500 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V$$

Como bien se ha comentado anteriormente, el tamaño de la piedra indica el diámetro correspondiente al volumen de una esfera, por lo tanto, la piedra escogida tendrá un volumen de:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} * \pi * 0,0135^3 = 1,03 \times 10^{-5} m^3$$

⁴⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Grava>

III. Desarrollo proyecto

Sustituyendo en la ecuación de la densidad del material, se obtiene finalmente una masa de la piedra de:

$$m = \rho * V = 1.500 * 1,03 \times 10^{-5} = 0,015 \text{ kg} = 15 \text{ g}$$

Para determinar la velocidad de desplazamiento de la piedra, se ha estimado que si la motocicleta circula a una velocidad media de 70 km/h, esta desplazará las piedras a la misma velocidad aproximadamente. Convirtiendo a las unidades del sistema internacional, se obtiene una velocidad de:

$$v = 70 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 19,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cong 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se ha estimado en un primer momento, que la piedra penetrará una distancia de 2 milímetros en la estructura del material. Con esta distancia de penetración, se obtiene una fuerza de impacto de:

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 0,015 * 20^2}{0,002} = \frac{3}{0,002} = 1.500 \frac{\text{J}}{\text{m}} = 1.500 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 1.500 \text{ N}$$

III. Desarrollo proyecto

A continuación, se muestran los diferentes puntos de impacto sobre el sistema de escape, para cada estudio.

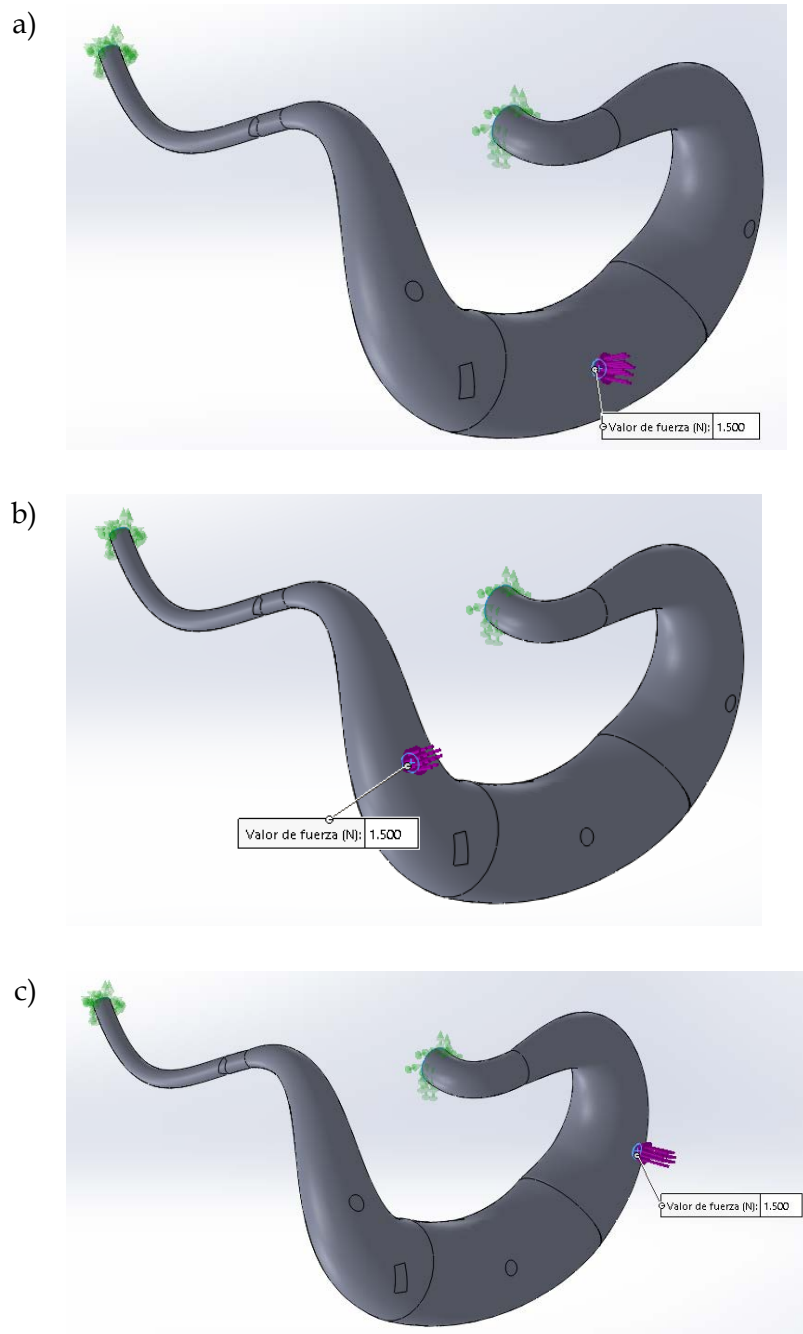


Figura III.28. Puntos de impacto de la piedra sobre a) la cámara, b) el contracono y c) el cono del sistema de escape.

III. Desarrollo proyecto

III.4.4.2. Análisis del estado tensional y deformación producida en la cámara del sistema de escape.

En el siguiente apartado, se va a realizar el estudio del impacto de una piedra sobre la cámara del sistema de escape.

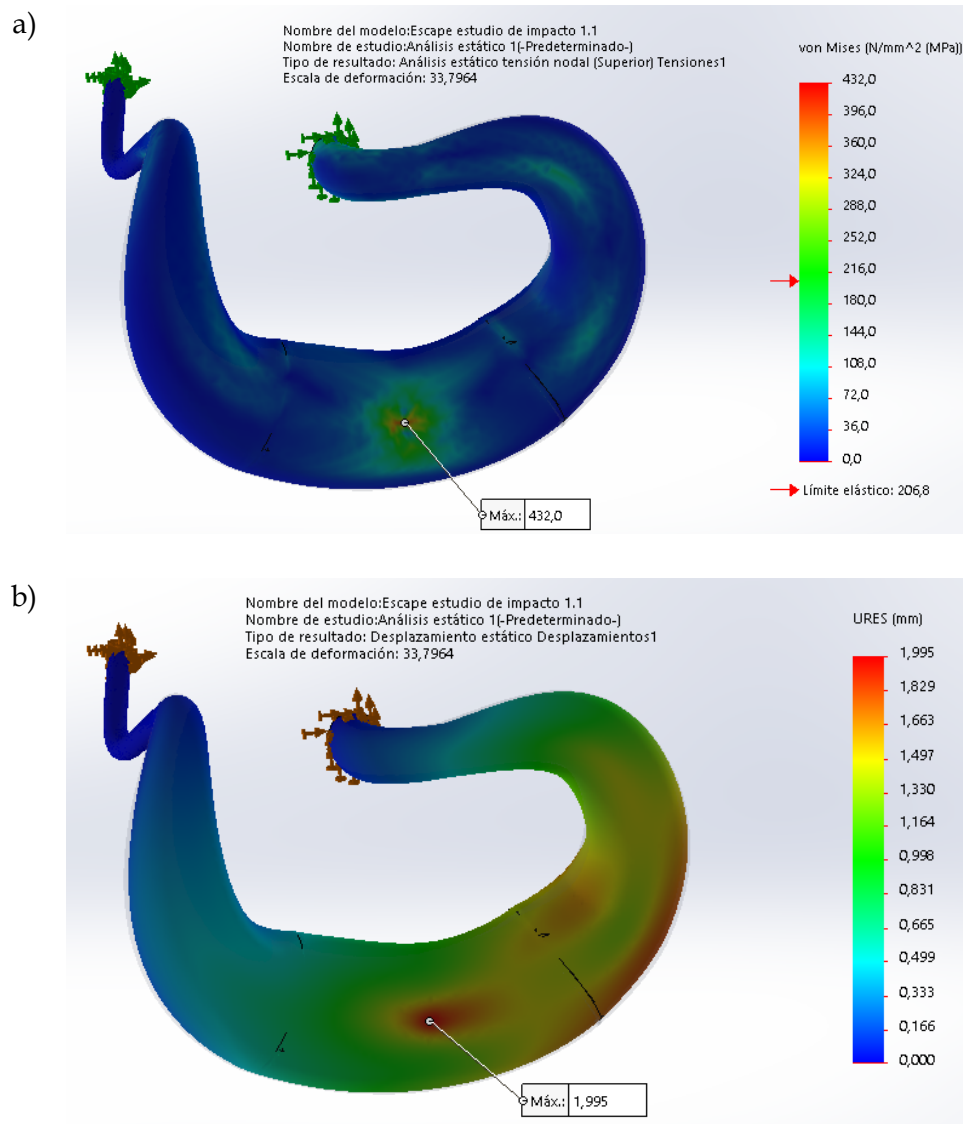


Figura III.29. Resultados del análisis tensional y de deformación producida por el impacto de una piedra en la cámara del sistema de escape.

En la Figura III.29a, se observa el resultado obtenido del estudio sobre el estado de tensiones producido por el impacto de una piedra en la cámara del sistema de escape.

III. Desarrollo proyecto

En él, se observa como el valor de la máxima tensión se produce en el punto donde ha impactado la piedra, deformando ligeramente la posición del escape.

En la escala de tensiones de Von Mises, se observa cómo se ha superado el límite elástico del material, el cual indica que se ha superado la zona plástica del material, donde una vez se retire la tensión producida, esta no recuperará la forma original.

Sin embargo, cabe prestar atención a la tensión máxima alcanzada. Esta es mucho menor al límite de rotura del material de 517 MPa. Este valor indica que, dicho impacto producido en el escape no ha llegado a penetrar y agujerear el escape.

Si se observa en cambio la **Figura III.29b**, en esta se indica la deformación producida en el escape, que como se observa es de aproximadamente 2 milímetros, correspondiente con la penetración que se había considerado en la hipótesis de carga.

Se puede concluir, que el impacto producido por la piedra en la zona de la cámara del sistema de escape, según la hipótesis de carga determinada, ha hecho que se alcance una tensión máxima de 432 MPa, provocando una abolladura el escape de 2 milímetros en el punto donde ha impactado la piedra.

III. Desarrollo proyecto

III.4.4.3. Análisis del estado tensional y deformación producida en el contracono del sistema de escape.

En el siguiente apartado, se va a realizar el estudio de impacto de una piedra sobre la parte del contracono del sistema de escape.

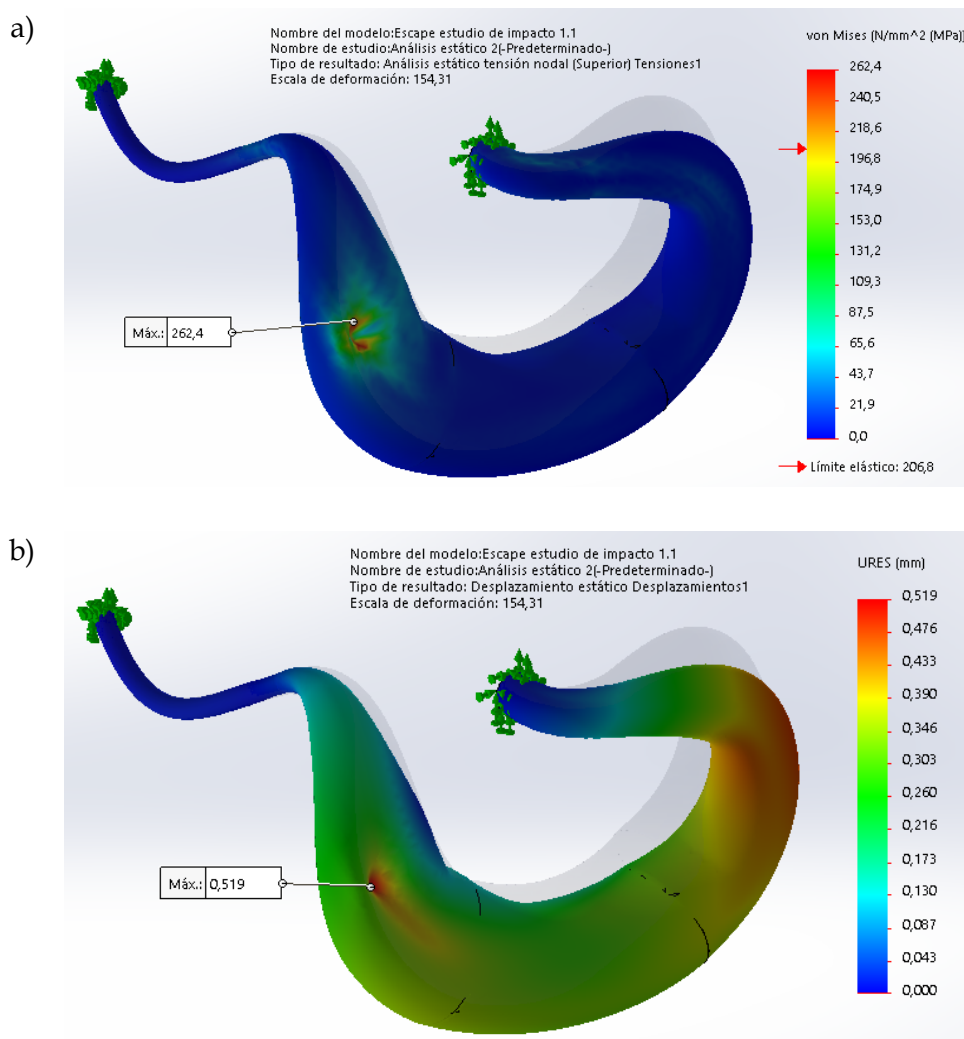


Figura III.30. Resultados del análisis tensional y de deformación producida por el impacto de una piedra en el contracono del sistema de escape.

III. Desarrollo proyecto

En la **Figura III.30a** se observa el resultado obtenido del estudio sobre el estado de tensiones producido por el impacto de una piedra en el contracono del sistema de escape. En él, se observa como el valor de la máxima tensión se produce también en el punto donde ha impactado la piedra, deformando de nuevo la posición del escape.

En la escala de tensiones de Von Mises, se observa cómo se ha superado el límite elástico del material, el cual indica que se ha superado la zona plástica del material donde una vez deformado, no recuperará la forma original.

Sin embargo, la tensión máxima alcanzada en este caso es muy inferior que, para el caso anterior, y del mismo modo, inferior al límite de rotura del material. Esto indica que, dicho impacto producido en el escape no ha llegado a penetrar y agujerear el escape.

Si se observa la **Figura III.30b**, en esta se indica la deformación producida en el escape. El valor máximo de deformación alcanzado es muy inferior a la hipótesis de penetración determinada de 2 milímetros. En este punto del sistema de escape, la estructura es capaz de absorber el impacto producido con una menor deformación; dicho de otro modo, el contracono podría absorber un impacto de mayor magnitud para sufrir una deformación mayor.

Según la **Figura III.26**, una menor penetración implica una mayor fuerza de impacto. Considerando una nueva hipótesis de distancia de penetración de 1,03 milímetro, se obtiene una fuerza de impacto de:

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 0,015 * 20^2}{0,00103} = \frac{3}{0,00103} = 2.900 \text{ N}$$

III. Desarrollo proyecto

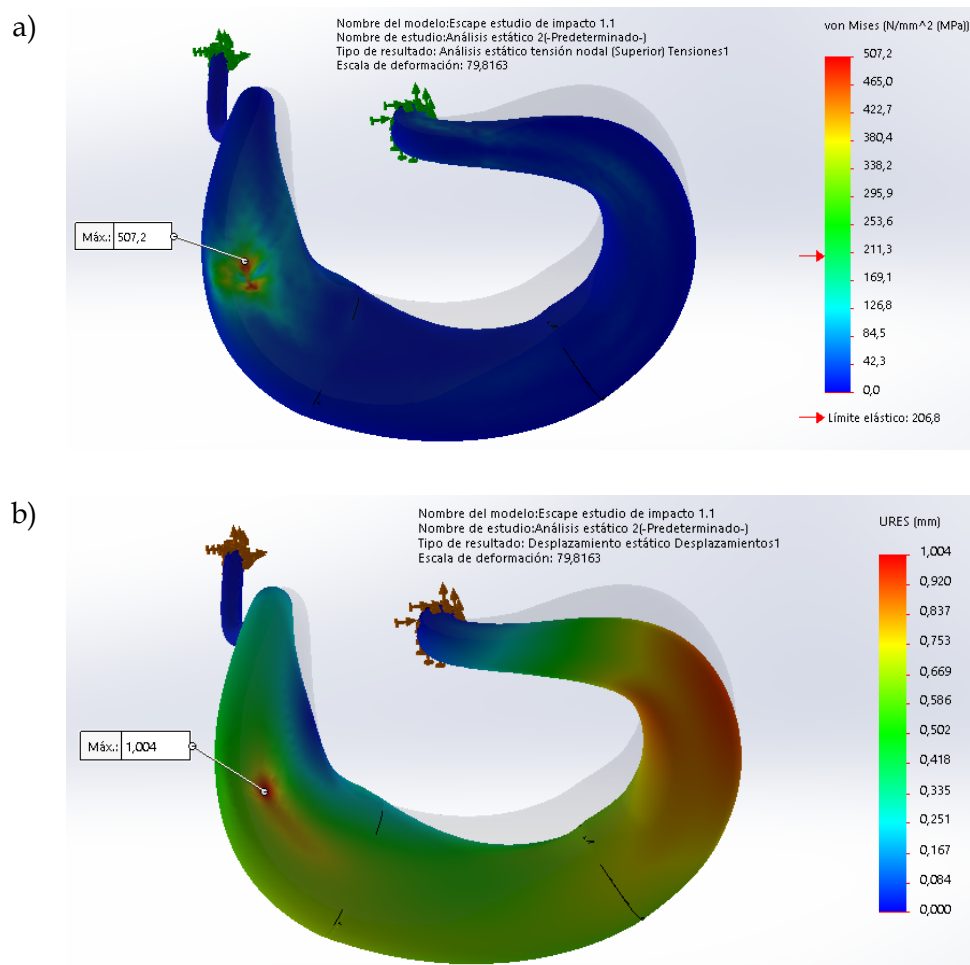


Figura III.31. Resultados del análisis de la nueva hipótesis de carga en la zona del contracono.

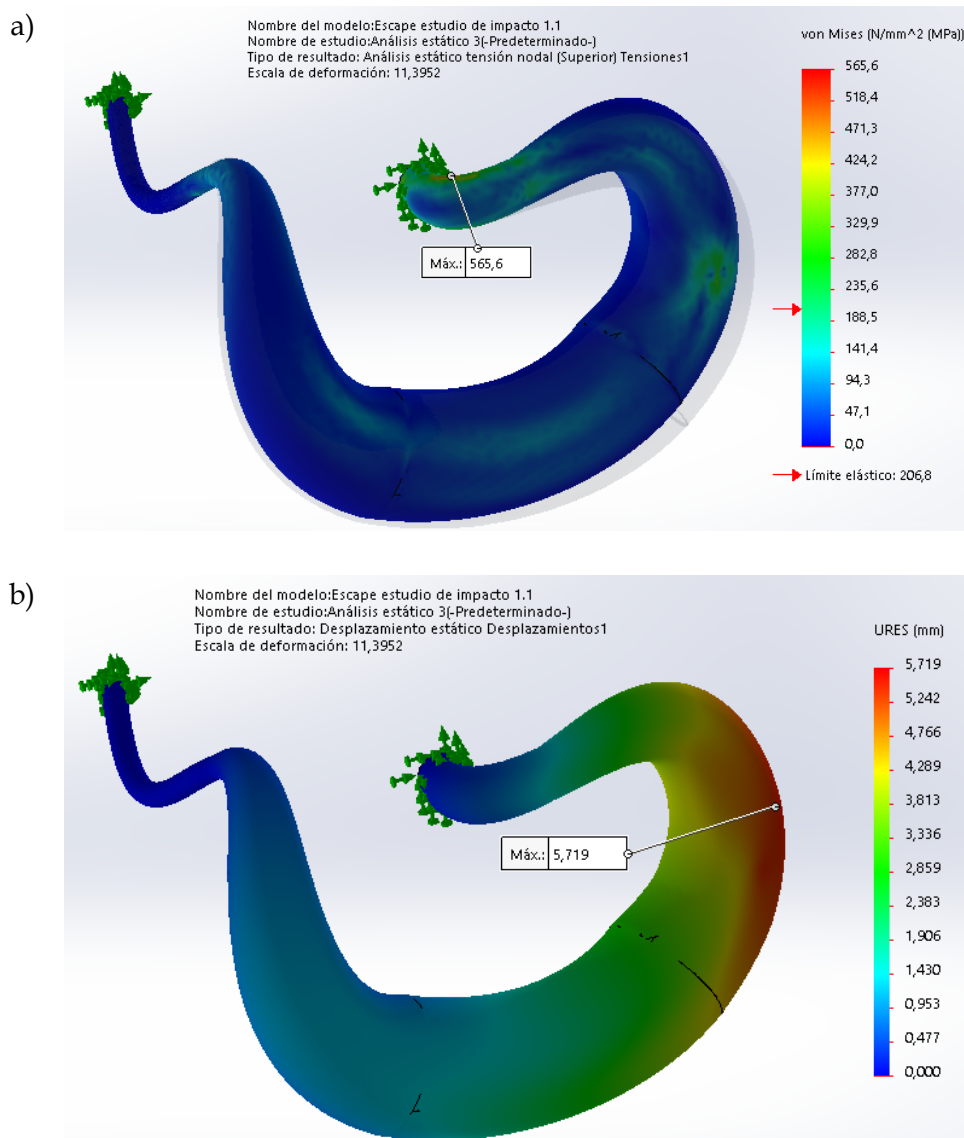
Analizando el estado de tensiones y deformaciones producidas para el nuevo estudio de impacto, se observa en la **Figura III.31** como la tensión máxima alcanzada sigue siendo menor al límite de rotura del material, y la deformación máxima producida en el material coincide aproximadamente con la hipótesis de penetración determinada.

Se puede concluir, que el impacto producido por la piedra en la zona del contracono del sistema de escape, según la nueva hipótesis de carga determinada, ha hecho que se alcance una tensión máxima de 507,2 MPa, provocando una abolladura el escape de 1 milímetro en el punto donde ha impactado la piedra.

III. Desarrollo proyecto

III.4.4.4. Análisis del estado tensional y deformación producida en el cono del sistema de escape.

En el siguiente apartado, se va a realizar el estudio de impacto de una piedra sobre la parte del cono del sistema de escape.



III. Desarrollo proyecto

En la **Figura III.32a** se observa el resultado obtenido del estudio sobre el estado de tensiones producido por el impacto de una piedra en el cono del sistema de escape. En él, se observa en cambio, como el valor de la máxima tensión alcanzada no se ha producido en el punto donde ha impactado la piedra, sino que esta se ha producido en la parte del codo del escape. Esto ha sido debido al desplazamiento que ha sufrido el escape por el impacto de la piedra en este punto. El sistema de escape se ha flexionado más de lo que las fijaciones han podido soportar.

En la escala de tensiones de Von Mises, se observa cómo se ha superado el límite elástico del material, el cual indica que se ha superado la zona plástica del material donde una vez deformado, no recuperará la forma original.

Pero, además, se observa como la tensión máxima alcanzada en este caso es ligeramente superior al límite de rotura del material de 517 MPa. Lo que indica que, dicho impacto producido en el cono ha hecho que el sistema de escape flexione más de lo que las fijaciones han podido soportar, haciendo que la estructura se fracture en ese punto.

Si se observa en cambio la **Figura III.32b**, en esta se indica la deformación producida en el escape, que como se observa es muy superior a la hipótesis de trabajo determinada donde se había considerado una penetración de 2 milímetros. En este punto del sistema de escape, la estructura no es capaz de absorber el impacto con la deformación considerada; dicho de otro modo, el cono no podría absorber un impacto de esta magnitud.

Según la **Figura III.26**, una mayor penetración implica una menor fuerza de impacto. Considerando una nueva hipótesis de distancia de penetración de 3,4 milímetro, se obtiene una fuerza de impacto de:

$$F = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 0,015 * 20^2}{0,0034} = \frac{3}{0,0034} = 890 \text{ N}$$

III. Desarrollo proyecto

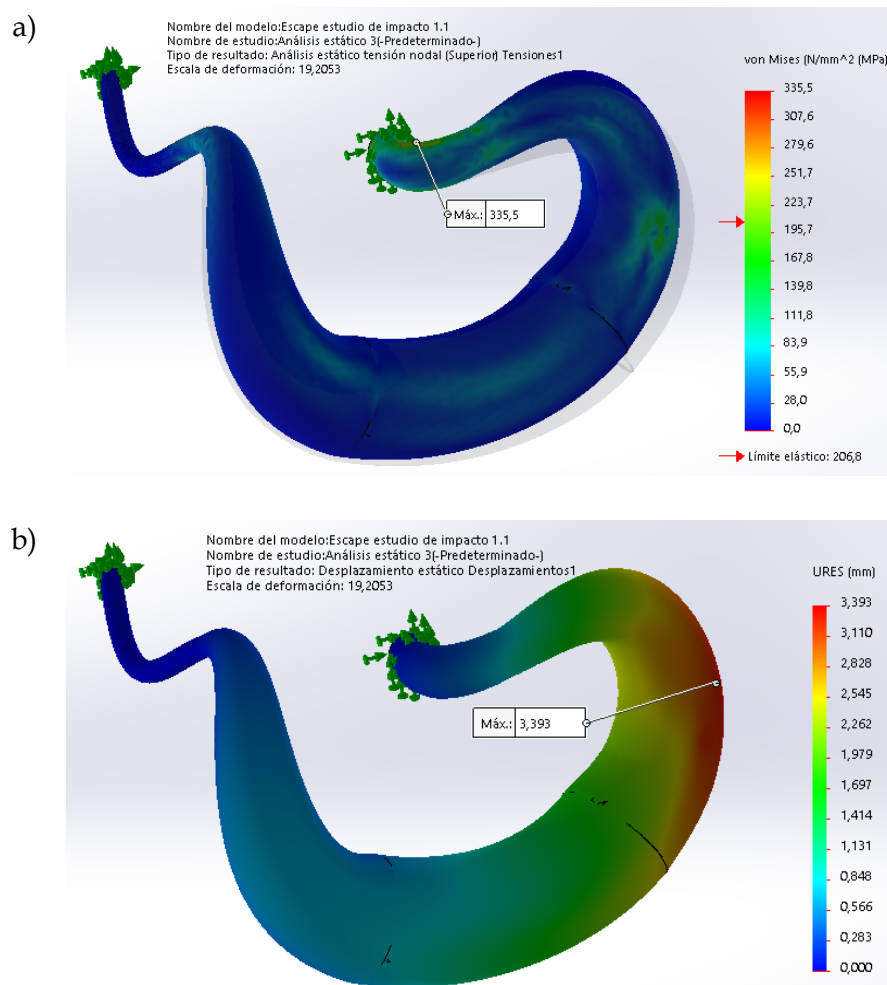


Figura III.33. Resultados del análisis de la nueva hipótesis de carga en la zona del cono.

Analizando el estado de tensiones y deformaciones producidas para el nuevo estudio de impacto, se observa en la **Figura III.33** como la tensión máxima alcanzada ahora es menor al límite de rotura del material, y la deformación máxima producida en el material coincide con la hipótesis de penetración determinada.

Se puede concluir, que el impacto producido por la piedra en la zona del cono del sistema de escape, según la nueva hipótesis de carga determinada, ha hecho que se alcance una tensión máxima de 323,1 MPa, provocando una abolladura el escape de 3,4 milímetros en el punto donde ha impactado la piedra.

III. Desarrollo proyecto

III.4.5. Estudio estático de caída.

En el siguiente estudio, se va a llevar a cabo el análisis del impacto producido por la caída lateral de la motocicleta contra el suelo. Para la siguiente hipótesis de trabajo, se ha considerado que la mayor parte del impacto la absorbe el manillar de la motocicleta, y tan solo un 10% repercute en el escape de la motocicleta.

Si dicha caída afectase íntegramente al sistema de escape, en el mejor de los casos tan solo sufriría una gran abolladura. Los sistemas de escape no son diseñados para resistir impactos tan grandes.

III.4.5.1. Hipótesis de carga.

Para calcular la fuerza de impacto con la que el sistema de escape colisionará contra el suelo, se va a obtener mediante el mismo principio de Trabajo-Energía determinado en el apartado anterior. Considerando ahora que la fuerza de impacto es un 10% del total:

$$F = 10\% \left(\frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} \right)$$

Es necesario ahora, determinar la masa de la motocicleta y la velocidad con la que esta caerá.

Según la base de datos del fabricante del modelo de la motocicleta seleccionada (**Figura III.1**), esta tiene un peso de 105 kg.

Para el valor de la velocidad, se ha estimado que la motocicleta caerá a una velocidad de 1 m/s. Una velocidad relativamente pequeña, aunque hay que tener en cuenta que se trata de una caída en estático.

Finalmente, la fuerza de impacto con la que el sistema de escape colisionará contra el suelo, según la hipótesis de trabajo determinada, es de:

III. Desarrollo proyecto

$$F = 10\% \left(\frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 105 * 0,32^2}{0,001} \right) = 10\% \left(\frac{5,25}{0,001} \right) = 10\%(52.500 N) = 5.250 N$$

A continuación, se muestra la zona donde impactará el sistema de escape contra el suelo. Esta zona se corresponde con la parte lateral del cono del sistema de escape, la cual sobresale siempre de la estructura del chasis de la motocicleta, quedando expuesta a sufrir daños ante una posible caída de la motocicleta.

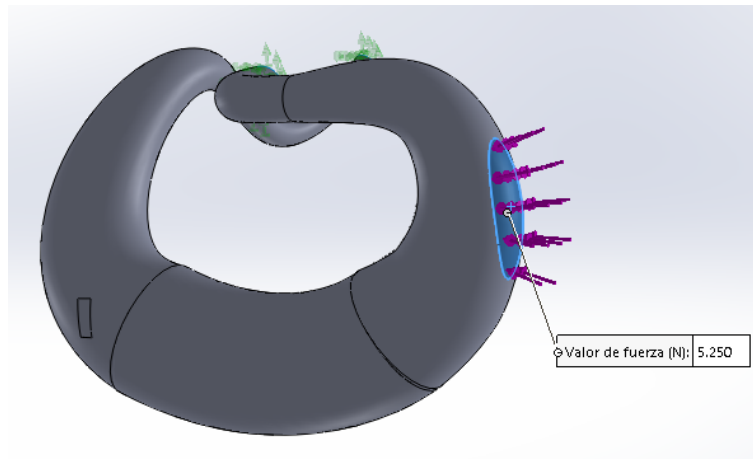


Figura III.34. Punto de impacto del lateral del cono contra el suelo ante la caída de la motocicleta.

III. Desarrollo proyecto

III.4.5.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones para el estudio de caída.

En el siguiente apartado, se va a realizar el estudio de impacto de una piedra sobre la parte del cono del sistema de escape.

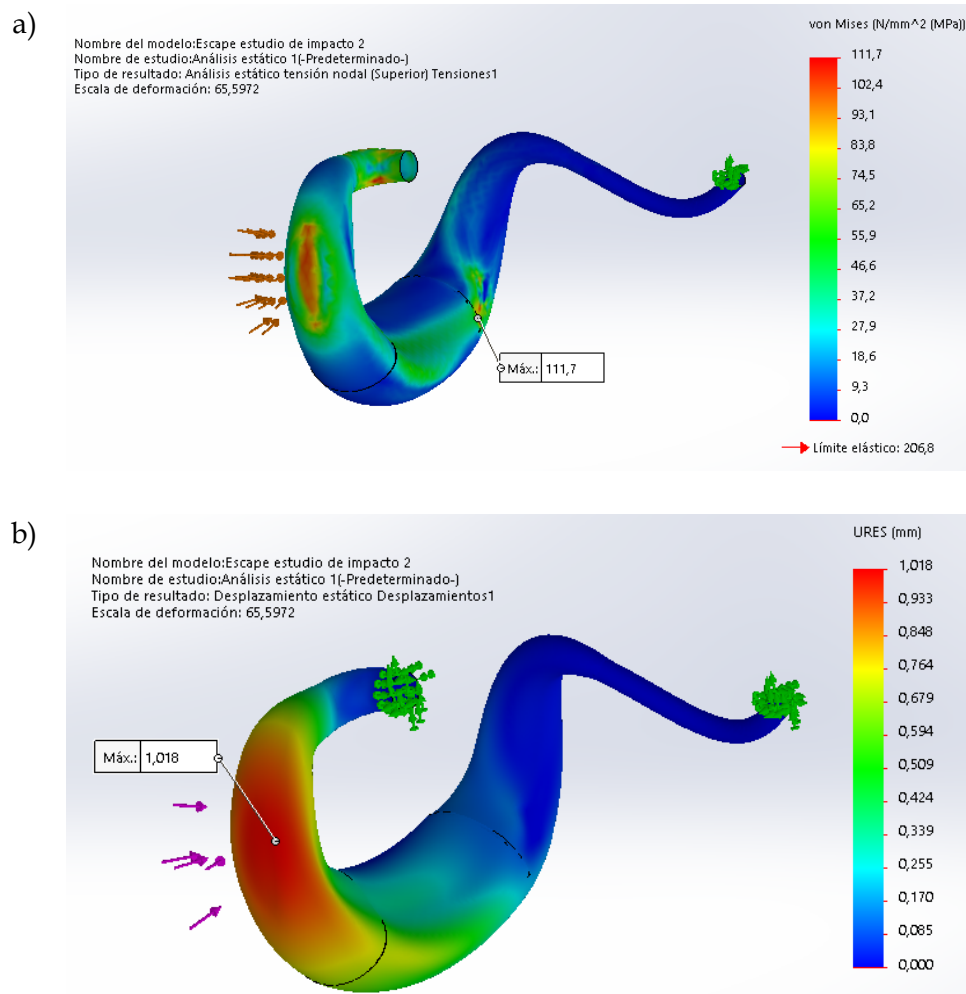


Figura III.35. Resultados del análisis tensional y de deformación del sistema de escape producida por la caída de la motocicleta contra el suelo.

III. Desarrollo proyecto

En la **Figura III.35a** se observa el resultado obtenido del estudio, sobre el estado de tensiones producido por la caída lateral de la motocicleta contra el suelo. En él, se observa como el valor de la máxima tensión no se produce en el punto donde ha impactado contra el suelo, sino que esta se produce en el punto de anclaje de la cámara con el chasis, debido a la deformación producida en el sistema de escape a causa del impacto.

En la escala de tensiones de Von Mises, se observa como la tensión máxima alcanzada es inferior al límite elástico del material, lo que significa que en este caso, tras el impacto producido el sistema recuperara la forma original sin sufrir ninguna abolladura ni deformación permanente, y por supuesto sin sufrir ninguna rotura.

Si se observa en cambio la **Figura III.35b**, en esta se indica la deformación producida en el escape, que como se observa es de 1 milímetro, correspondiente con la penetración que se había considerado en la hipótesis de carga.

Se puede concluir, que el impacto producido por la caída de la motocicleta contra el suelo, según la hipótesis de carga determinada, ha hecho que se alcance una tensión máxima de 111,7 MPa, provocando que el sistema de escape se desplace y el lateral del cono se deforme 1 milímetro, pero sin llegar a producir una deformación permanente. Tras este impacto, el escape recuperará la forma original.

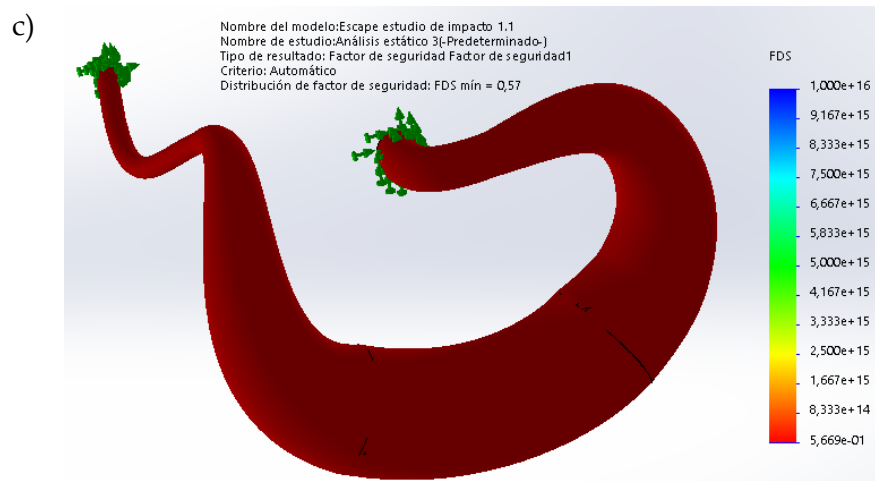
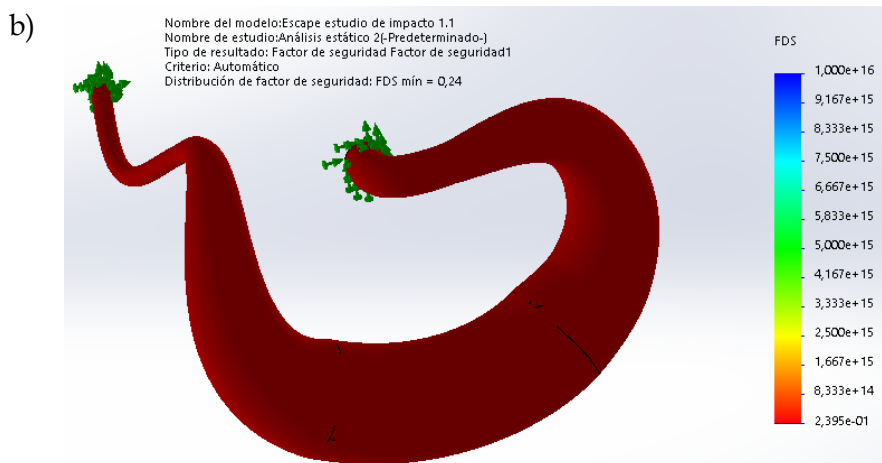
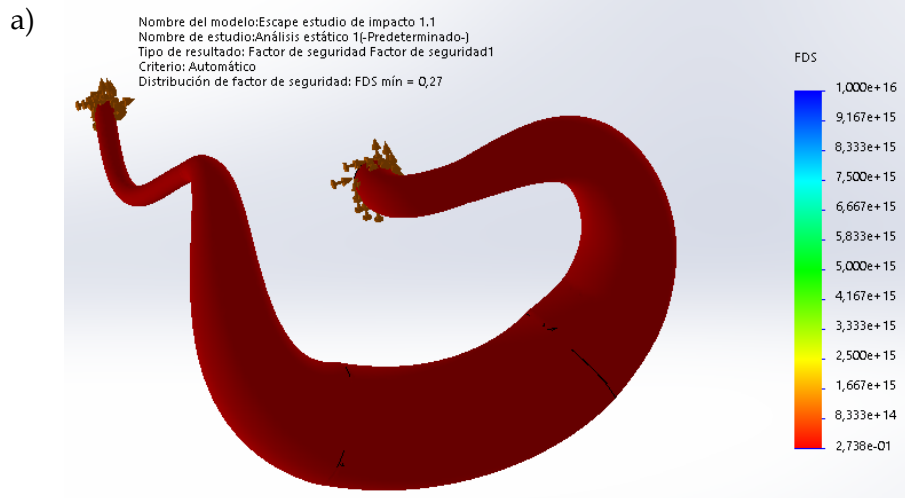
Para más información sobre las condiciones de funcionamiento o los resultados obtenidos con los análisis anteriores, véase en las referencias del Apéndice.

III.4.6. Trazado de Factor de Seguridad.

En el siguiente apartado, se va a mostrar el trazado del factor de seguridad de cada estudio del sistema de escape. Este valor relaciona el límite elástico del material y la tensión máxima alcanzada, según la escala de tensiones de Von Mises de la pieza.

$$FDS = \frac{\sigma_{lim.e}}{\sigma_{max.Von\ Mises}}$$

III. Desarrollo proyecto



III. Desarrollo proyecto

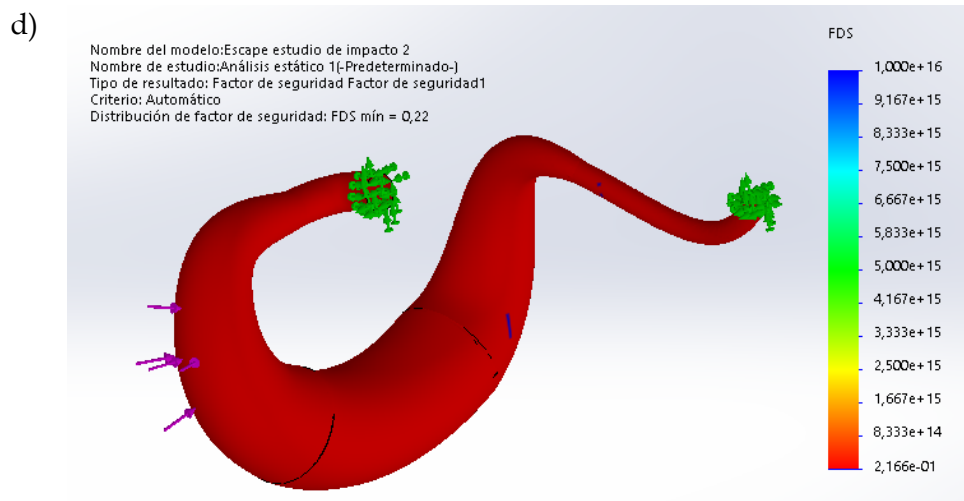


Figura III.36. Resultados del trazado del factor de seguridad de los estudios de impacto realizados, a) impacto piedra en la cámara, b) impacto piedra en el contraono, c) impacto piedra en el cono, d) impacto de caída.

Analizando el trazado del factor de seguridad de todos los estudios anteriores, se obtiene un factor de seguridad de:

- Estudio impacto de piedra 1.

$$FDS = \frac{\sigma_{lim.e}}{\sigma_{max.Von Mises}} = \frac{206,8}{423} = 0,27$$

- Estudio impacto de piedra 2.

$$FDS = \frac{\sigma_{lim.e}}{\sigma_{max.Von Mises}} = \frac{206,8}{507} = 0,24$$

- Estudio impacto de piedra 3.

$$FDS = \frac{\sigma_{lim.e}}{\sigma_{max.Von Mises}} = \frac{206,8}{335,5} = 0,62$$

III. Desarrollo proyecto

- Estudio de caída.

$$FDS = \frac{\sigma_{lim.e}}{\sigma_{max.Von Mises}} = \frac{206,8}{111,7} = 1,85$$

El factor de seguridad se calcula respecto a la elasticidad del material, por lo tanto es normal que en los tres primeros estudios de impacto de las piedras, se obtengan factores de seguridad menores que 1, ya que la tensión máxima alcanzada en estos casos es superior al límite elástico del material.

Sin embargo, el sistema de escape está fabricado de acero inoxidable AISI 304. Se trata de un material elastoplástico, cuya estructura permite entrar dentro de la zona plástica del material y deformarse de forma permanente, alcanzando valores de tensión superiores al límite elástico del material.

Lo importante en estos análisis, es que no se ha superado la tensión máxima del límite de rotura del material, aunque el factor de seguridad sea menor que 1.



Figura III.37. Escala de frecuencias naturales de distintos elementos de la naturaleza ⁵⁰.

⁵⁰ <https://www.motociclismo.es/moto-verde/articulo/como-desabollar-escapes-2t>

III. Desarrollo proyecto

Es común que los sistemas de escape de Motocross sufran abolladuras. Es más, es conveniente que el material con el que se fabrique tenga un límite de rotura elevado, aunque el límite elástico sea pequeño. Es más fácil y económico reparar una abolladura, que sustituir un escape roto.

III. Desarrollo proyecto

III.5. ESTUDIO DE FRECUENCIA.

En el siguiente apartado, se va a llevar a cabo un estudio de frecuencia, para analizar las oscilaciones producidas por las vibraciones del motor y del terreno, sobre el sistema de escape.

Todo elemento de la naturaleza posee una frecuencia de vibración natural, capaz de empezar a vibrar por si sola, ante la presencia de otra vibración en sus proximidades, sin necesidad de estar ambas en contacto.

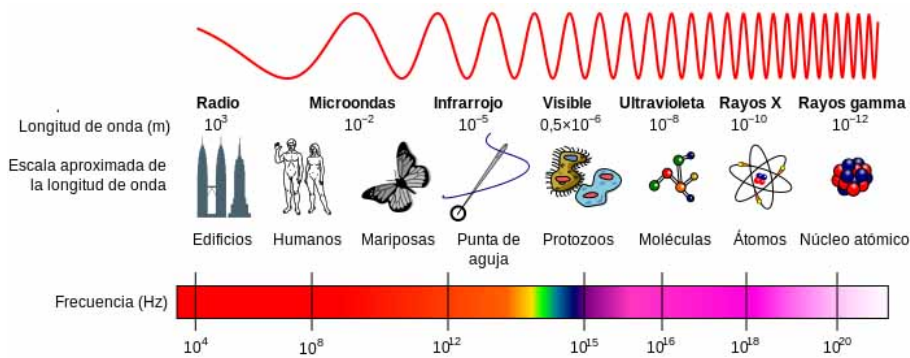


Figura III.38. Escala de frecuencias naturales de distintos elementos de la naturaleza ⁵¹.

Las frecuencias naturales de los elementos se pueden clasificar mediante un escala de longitudes de onda, como se observa en la **Figura III.38**.

Se trata de un fenómeno muy importante de analizar, ya que si se produce una vibración similar a la frecuencia natural de un objeto cercano, y esta se mantiene uniforme durante un periodo largo de tiempo, el objeto empezará a vibrar y a oscilar cada vez con más intensidad, acumulando cada vez más energía hasta el momento en el que la estructura del objeto colapse y se rompa. Este fenómeno se conoce como “resonancia”.

51 https://www.unadmexico.mx/sitios/aplicaciones-107/LITE_36/_Un_139_Resonancia/escenas/2_Inicio_2.html

III. Desarrollo proyecto

Un claro ejemplo de este fenómeno es el caso de uno de los primeros puentes colgantes de la historia, el puente de Tacoma. Un día que empezó a soplar un fuerte viento de aproximadamente 80 km/h, al atravesar los hilos que sostenían el puente, este los hizo vibrar con una frecuencia similar a la frecuencia natural del puente, generando una oscilación en la estructura inimaginable, y cada vez más pronunciada.



Figura III.39. Oscilación del puente de Tacoma producido por el fenómeno de resonancia ⁵².

El resultado final fue el colapso de la estructura del puente, ante tan persistente oscilación.



Figura III.40. Colapso del puente de Tacoma producido por el fenómeno de resonancia ⁵³.

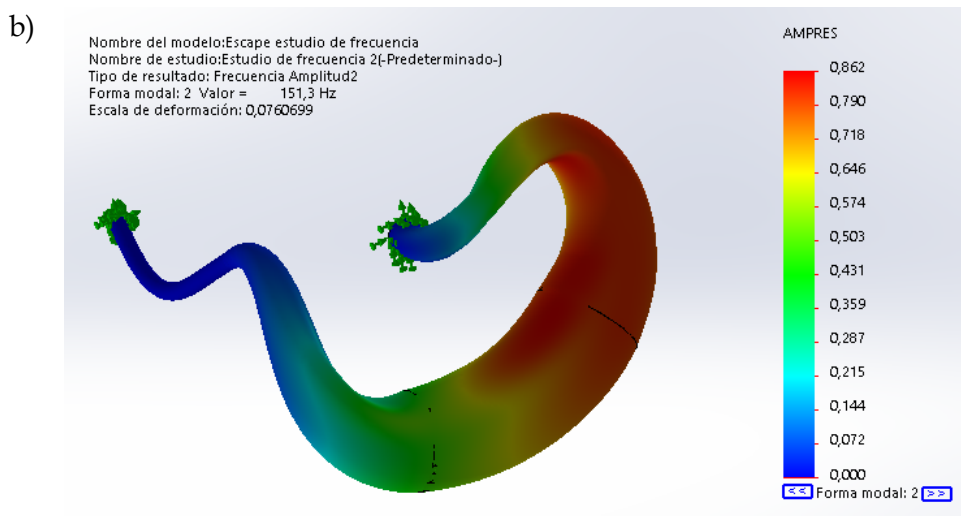
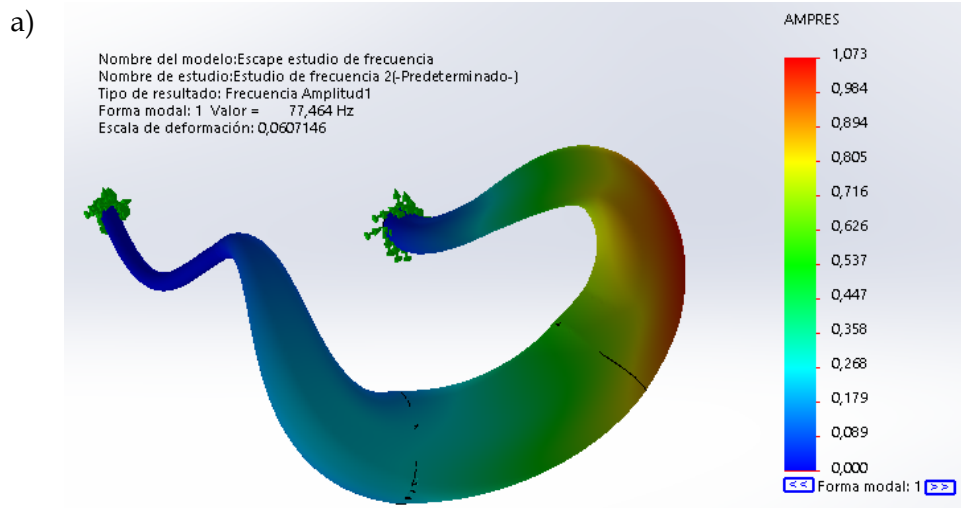
⁵² <https://www.xataka.com/otros/colapso-puente-tacoma-narrows-cuando-naturaleza-nos-dio-ejemplar-leccion-fisica>

⁵³ <https://makinandovelez.wordpress.com/2015/05/14/puente-de-tacoma-narrows/>

III. Desarrollo proyecto

III.5.1. Análisis de estados tensionales y deformaciones.

En el siguiente apartado, se va a realizar el estudio de frecuencia del sistema de escape.



III. Desarrollo proyecto

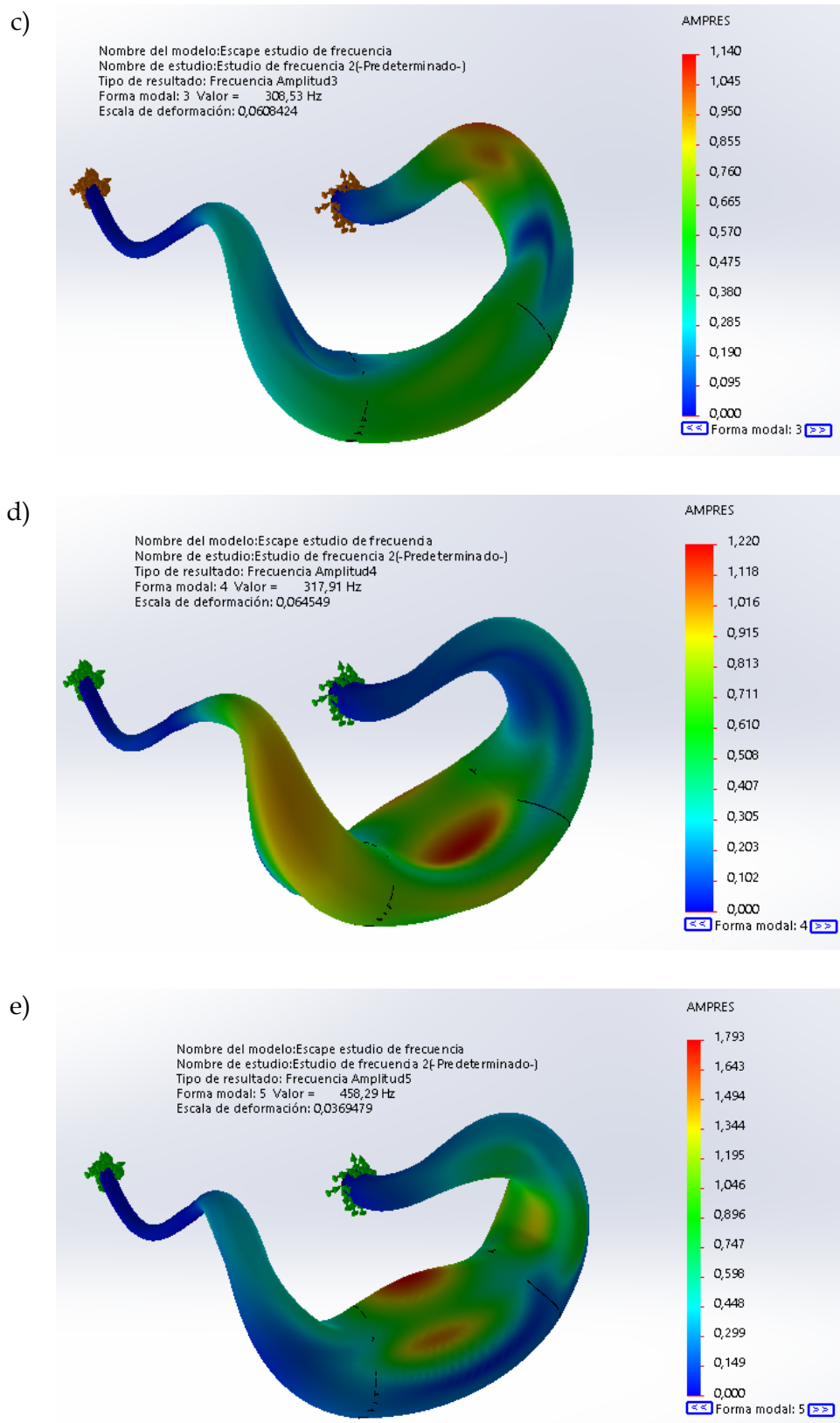


Figura III.41. Resultados del análisis de frecuencia del sistema de escape.

III. Desarrollo proyecto

La **Figura III.41** tan solo muestra una idea del fenómeno de oscilación que sufriría el sistema de escape, para cada una de las frecuencias de resonancia.

A continuación, se muestra una tabla con los cinco primeros casos más desfavorables de resonancia del sistema de escape, obtenidos en el estudio anterior.

Tabla III.12 . Tabla de resultados de los modos de amplitud del estudio de frecuencia del sistema de escape.

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	486,72	77,464	0,012909
2	950,63	151,3	0,0066095
3	1.938,6	308,53	0,0032412
4	1.997,5	317,91	0,0031456
5	2.879,5	458,29	0,002182

La frecuencia de resonancia que afecta a la frecuencia de natural del sistema de escape es producida en gran medida, por la vibración producida por el motor de la motocicleta, es decir, por el régimen de giro de este.

Sabiendo que:

$$1 \text{ Hz} = \frac{1 \text{ revolución}}{1 \text{ segundo}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 60 \text{ rpm}$$

Según la **Tabla III.12**, cada modo de frecuencia de resonancia se corresponde con el siguiente régimen de giro del motor.

III. Desarrollo proyecto

- Modo de frecuencia 1.

$$rpm_1 = 77,5 \text{ Hz} * \frac{60 \text{ rpm}}{1 \text{ Hz}} = 4.650 \text{ rpm}$$

- Modo de frecuencia 2.

$$rpm_2 = 151,3 \text{ Hz} * \frac{60 \text{ rpm}}{1 \text{ Hz}} = 9.078 \text{ rpm}$$

- Modo de frecuencia 3.

$$rpm_3 = 308,5 \text{ Hz} * \frac{60 \text{ rpm}}{1 \text{ Hz}} = 18.510 \text{ rpm}$$

- Modo de frecuencia 4.

$$rpm_4 = 317,9 \text{ Hz} * \frac{60 \text{ rpm}}{1 \text{ Hz}} = 19.074 \text{ rpm}$$

- Modo de frecuencia 5.

$$rpm_5 = 458,3 \text{ Hz} * \frac{60 \text{ rpm}}{1 \text{ Hz}} = 27.498 \text{ rpm}$$

Observando los resultados obtenidos en la **Tabla III.12**, tan solo cabe prestar atención a los dos primeros casos, donde los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de revoluciones del motor. Los demás valores, solo se consiguen a un régimen de revoluciones demasiado elevados para el motor de la motocicleta.

Lo que significan estos resultados, es que, si el motor gira durante un largo periodo de tiempo a este número de revoluciones, es posible que el sistema de escape entre en resonancia con las vibraciones producidas por el giro del motor, deformándose cada vez más, pudiendo llegar incluso a romperse.

Sin embargo, durante una competición de Motocross, las motocicletas nunca circulan manteniendo una velocidad constante durante un largo periodo de tiempo, por

III. Desarrollo proyecto

lo tanto, aunque se alcance esta frecuencia de vibración, tan solo será durante breve instante de tiempo, en el que apenas se notarán los efectos de resonancia.

Si que es en cambio, un efecto importante producido en los automóviles, durante una travesía larga por carretera en la que se mantiene una velocidad constante. Los fabricantes buscan evitar que el régimen de giro del motor, correspondiente con una velocidad media de circulación por carretera, coincida con la frecuencia natural del automóvil. Si esto ocurre, se produce una vibración en el interior del vehículo cada vez más exagerada y molesta para la conducción, la cual puede llevar a la rotura de algunos componentes.

Para más información sobre las condiciones de funcionamiento o los resultados obtenidos con el análisis anterior, véase en las referencias del Apéndice.

III. Desarrollo proyecto

III.6. PROCESO DE FABRICACIÓN.

Existen pequeñas diferencias en el proceso de fabricación y montaje de un sistema de escape, aunque la mayoría siguen un procedimiento muy similar. Tan solo existen ciertas diferencias en cuanto a la maquinaria que se utiliza y el modo de ensamblaje de las distintas partes que conforman el sistema de escape.

La materia prima que se utiliza viene mediante tubos y chapas de acero inoxidable de diferentes dimensiones.

El proceso de fabricación del tubo de escape se lleva a cabo por partes y tramos.

Tanto la parte del codo como la caña, que son de sección uniforme, se fabrican mediante tubos de acero inoxidable. Se escoge el tubo con el diámetro correspondiente y se corta con la dimensión necesaria. A continuación, se hace pasar a través de una curvadora de tubos, para darle la geometría final que esta debe tener.



Figura III.42. Proceso de curvatura de tubos para la parte del codo y de la caña del sistema de escape ⁵⁴.

⁵⁴ <https://www.tecnocurve.es/blog/2018/07/11/curvado-y-calandrado-de-tubos-metalicos/>

III. Desarrollo proyecto

La fabricación de la parte de la cámara es completamente diferente. Sobre una chapa de acero inoxidable, se dibuja una plantilla con las dimensiones de las diferentes piezas que conformaran el cono, la cámara y el contracono, gracias a la tabla de resultados obtenida de la **Figura I.34**, donde se muestran las dimensiones del cono y contracono sobre el plano.



Figura III.43. Plantilla de la geometría de las diferentes piezas que conforman el escape ⁵⁵.

Una vez están dibujadas correctamente sobre la chapa, esta se hace pasar a través de una máquina de corte, como puede ser una cizalla o una máquina laser, obteniendo cada una de las piezas por separado.



Figura III.44. Las piezas que conforman el escape una vez han sido cortadas de la plantilla ⁵⁶.

⁵⁵ <https://www.instructables.com/id/Build-a-Tuned-pipe-for-a-2-stroke/>

⁵⁶ <https://www.instructables.com/id/Build-a-Tuned-pipe-for-a-2-stroke/>

III. Desarrollo proyecto

Tras recortar cada una de las piezas, estas se hacen pasar por una dobladora, donde se obtienen cada uno de los conos, que unidos unos con otros conforman la geometría del sistema de escape.



Figura III.45. Proceso de doblado de las chapas de acero para formar los diferentes conos ⁵⁷.

Para cerrar todos los conos y ensamblar unas piezas con otras, se utiliza en un primer momento la soldadura por puntos. Con esta técnica se puede revisar que todas las piezas encajan bien unas con otras, sin ningún tipo de error y con la orientación correcta.



Figura III.46. Proceso de soldadura por puntos para unir en un primer momento los diferentes conos ⁵⁸.

⁵⁷ <https://www.instructables.com/id/Build-a-Tuned-pipe-for-a-2-stroke/>

⁵⁸ <https://www.instructables.com/id/Build-a-Tuned-pipe-for-a-2-stroke/>

III. Desarrollo proyecto

Una vez se comprueba que todo está correctamente, se procede a cerrar todas estas uniones, mediante el proceso de soldadura por hilo, correspondiente con el método TIG.

Este tipo de soldadura es muy utilizado en tuberías y placas de acero inoxidable, así como para aluminio y titanio. Se trata de una soldadura por arco con protección gaseosa, la cual elimina toda posible contaminación del ambiente que lo rodea. Con esta técnica, se consigue obtener una mayor resistencia frente a la corrosión, obteniendo, además, una unión mucho más fuerte y dúctil. Mediante este tipo de soldadura, se obtiene un gran acabado superficial, el cual no precisa de operaciones de postratamiento ni de acabado superficial.

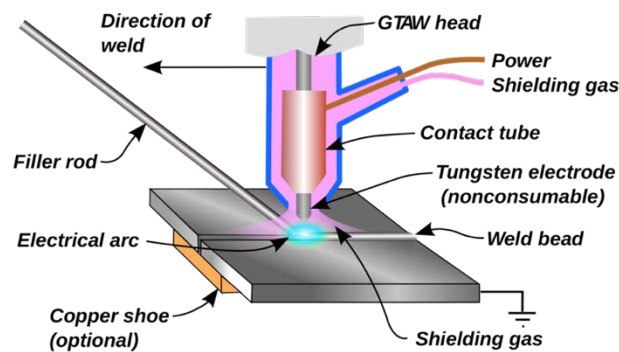


Figura III.47. Proceso TIG de soldadura por hilo para ensamblar las diferentes partes que conforman el sistema de escape ⁵⁹.

Finalmente, se obtiene un sistema de escape completo como el de la **Figura III.17**.

⁵⁹ <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-tig>

III. Desarrollo proyecto

III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.

Por último, en el siguiente apartado se va a realizar un estudio económico aproximado, del coste de fabricación y producción del diseño planteado del sistema de escape.

Se trata de un sistema de escape, exclusivo para un único motor y unas condiciones de trabajo determinadas. Sin embargo, se trata de un diseño capaz de customizarse para cualquier tipo de motocicleta o régimen de giro.

Al tratarse de un producto artesanal, el estudio tan solo contemplará el coste en función de la fabricación de pequeñas series, la materia prima y la mano de obra que se va a utilizar.

El sistema de escape diseñado está fabricado con acero inoxidable de la serie AISI 304. Una chapa de 2000 x 1000 x 1 mm puede ser suficiente para dibujar la plantilla de las partes que conforman el sistema de escape. Si la densidad del acero inoxidable es de 8 g/cm³, la plancha tiene un peso final de:

$$V = 2.000 * 1.000 * 1 = 2 \times 10^6 \text{ mm}^3 = 2.000 \text{ cm}^3$$

$$m = \rho * V = 8 * 2.000 = 16.000 \text{ g} = 16 \text{ kg}$$

Con un precio medio de 9,68 €/Kg, la materia prima necesaria para la obtención del sistema de escape tiene un precio final de:

$$\text{Precio materia prima} = 9,68 * 16 = 154,88 \text{ €}$$

Considerando un único operario para el proceso de fabricación, con un sueldo neto de 12,5 €/h. Si el operario tarda aproximadamente dos horas en realizar el proceso de fabricación y montaje del sistema de escape, más el tiempo empleado en el diseño y optimización de la geometría del sistema de escape, que aproximadamente es también de 2 horas. Finalmente se obtiene un coste de mano de obra de:

III. Desarrollo proyecto

$$\text{Coste de mano de obra} = 12,5 * 4 = 50 \text{ €}$$

Sumando todos estos costes se obtiene un coste de producción total de:

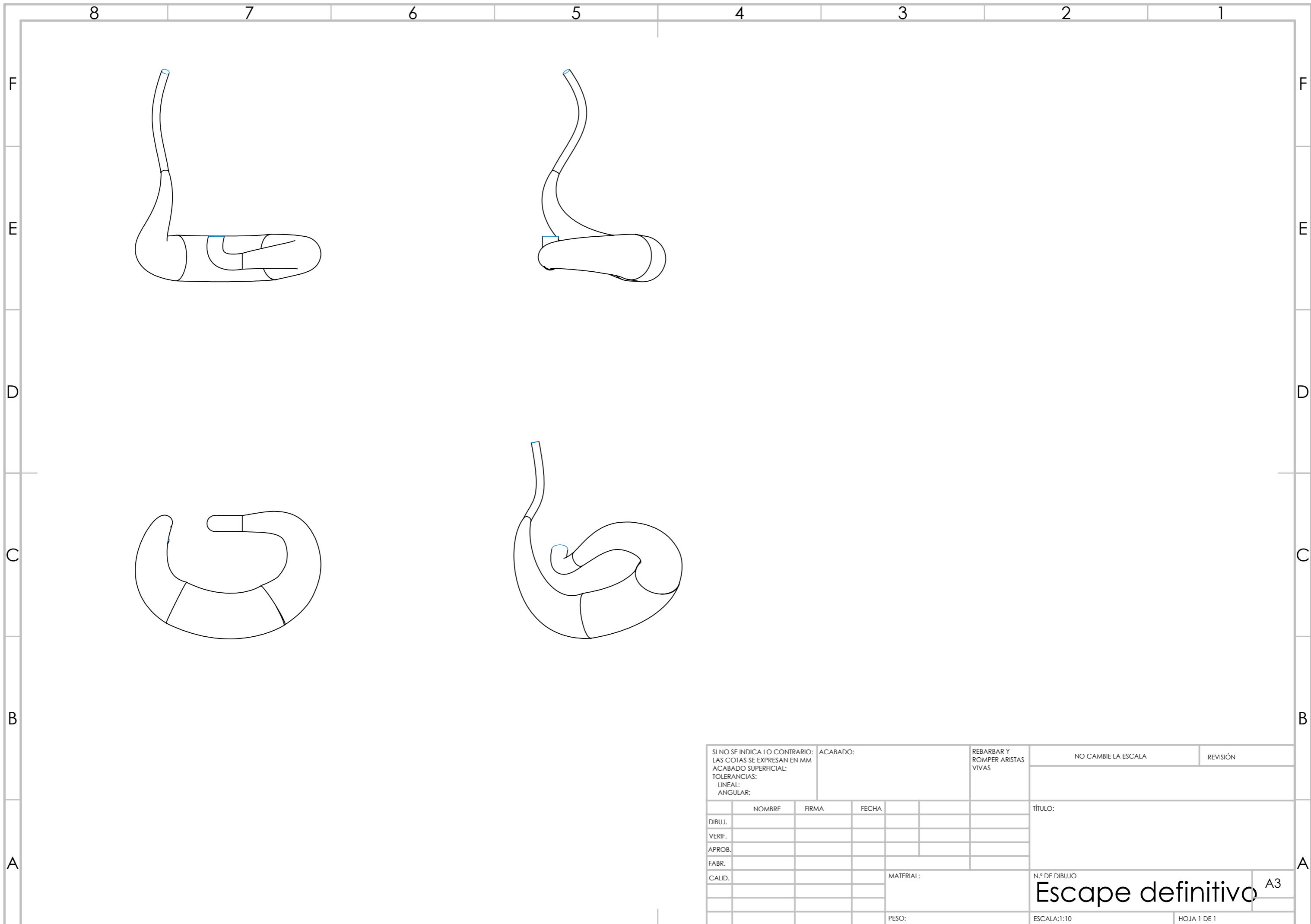
$$\text{Coste total} = 154,88 + 50 = 204,88 \text{ €}$$

Si se observan los diferentes catálogos de los fabricantes de sistemas de escape, se pueden encontrar un gran abanico de precios, en función del material de fabricación o de la calidad que ofrecen cada uno de ellos. Sin embargo, el precio de venta de la mayoría es muy similar al que se ha obtenido mediante el estudio económico del sistema de escape.

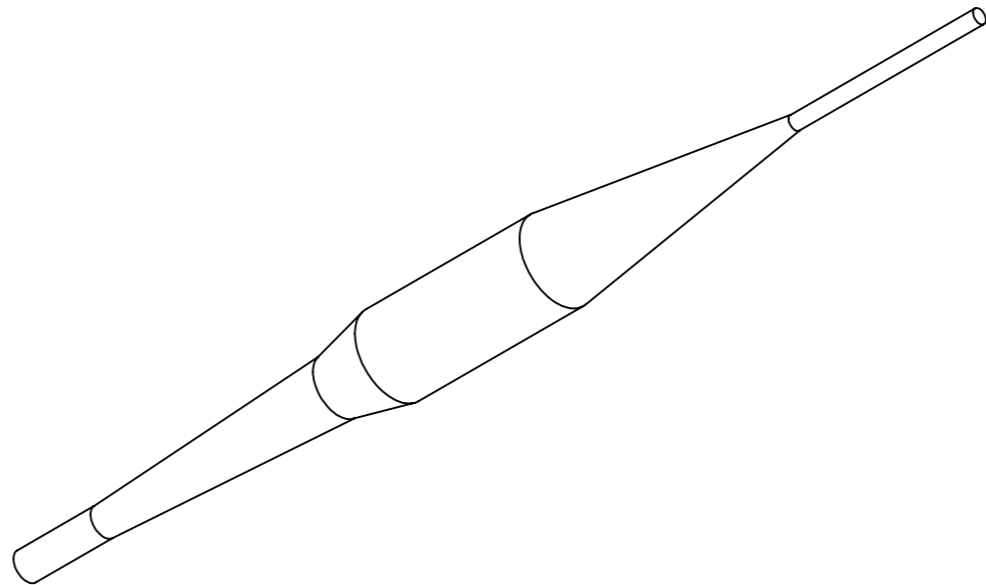
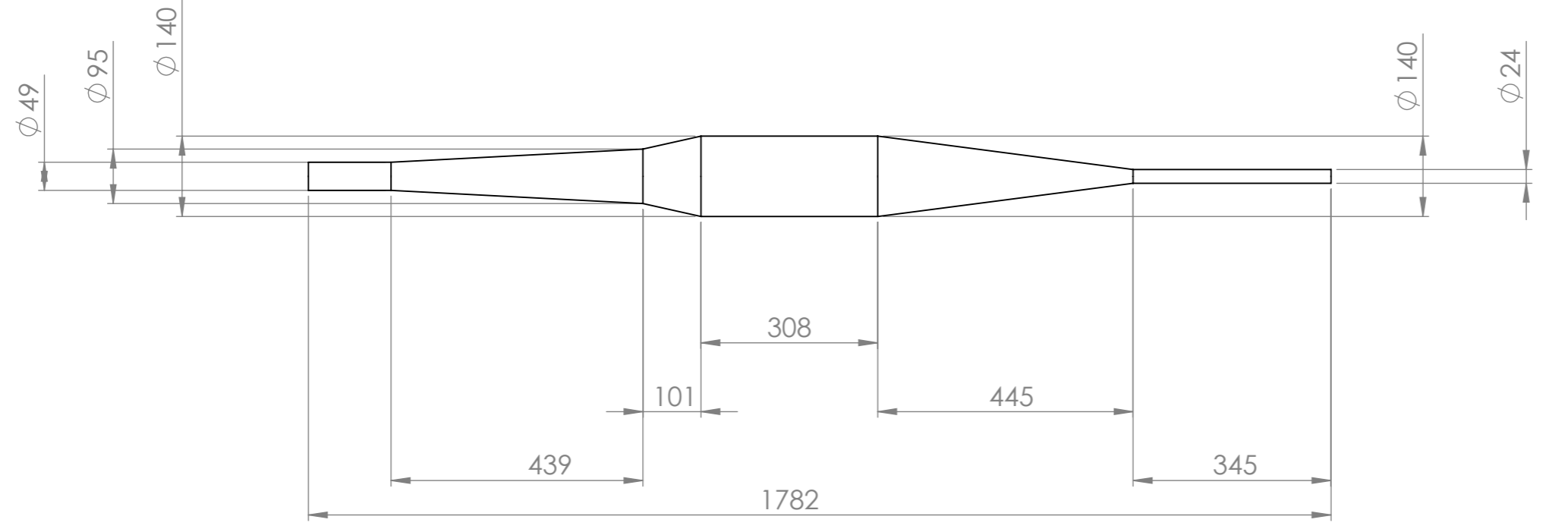
IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV.1. PLANOS ACOTADOS.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								Escape definitivo A3	
						PESO:		ESCALA:1:10	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
									TÍTULO:	
DIBUJ.			NOMBRE		FIRMA		FECHA			
VERIF.										
APROB.										
FABR.										
CALID.							MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
									Plano Escape 2D A3	
							PESO:		ESCALA:1:10	
									HOJA 1 DE 1	

IV.2. INFORMES SOLIDWORKS.



Descripción

No hay datos

Simulación del estudio de impacto 1 sobre la cámara del escape.

Fecha: miércoles, 15 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

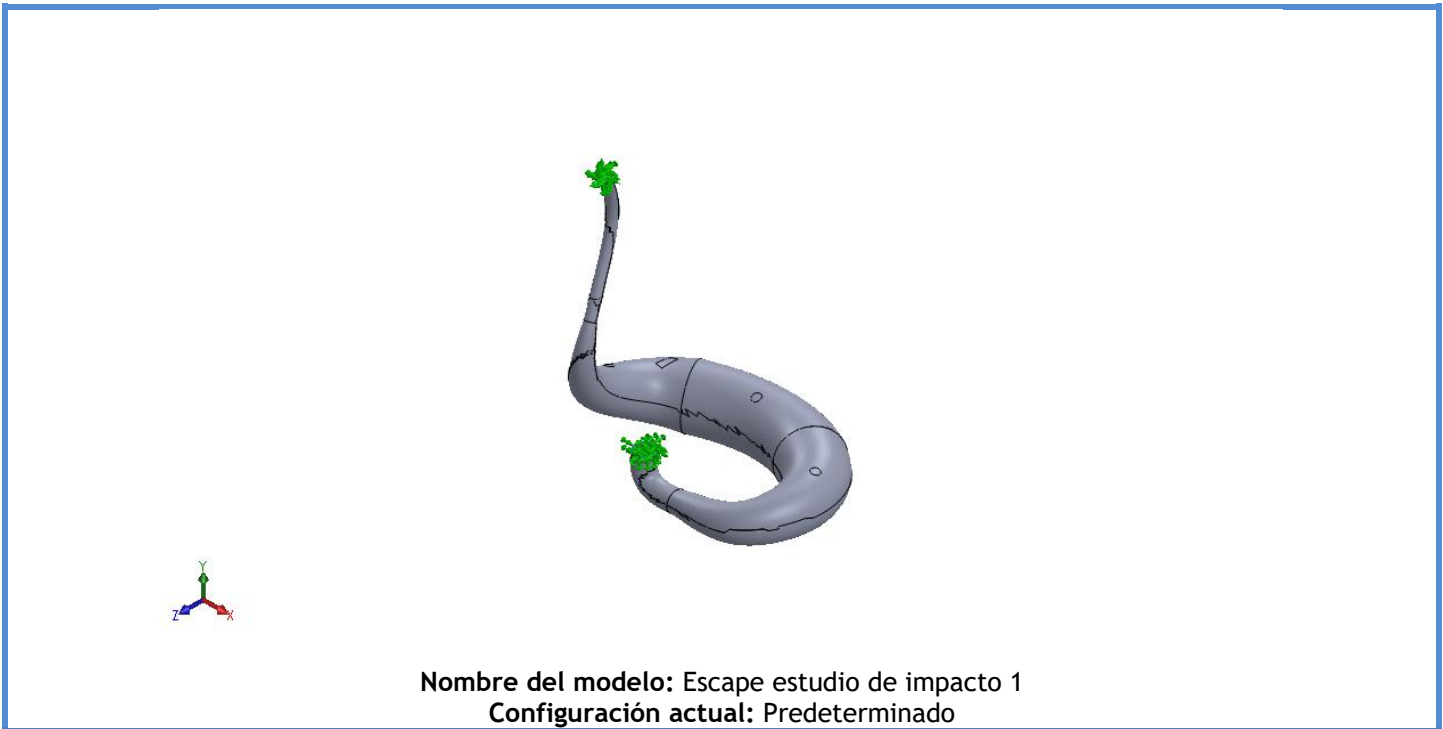
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Definiciones de conector	5
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes.....	7
Vigas	7
Resultados del estudio.....	8
Conclusión	11




Suposiciones

Información de modelo



Vaciados

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición3 	Grueso	Espesor:1 mm Peso:33.7702 N Volumen:0,000430742 m ³ Masa:3,44594 kg Densidad:8.000kg/m ³	C:\Users\Marco\Desktop\Solidworks Escape TFG\Escapes estudio de impacto 1.SLDPRT Jul 10 09:48:18 2020

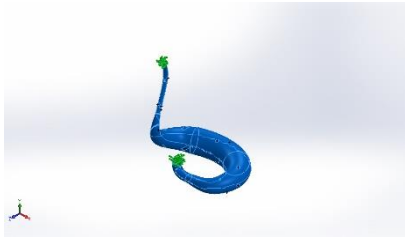
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Marco\Desktop\Escape)


Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,06807e+08 N/m² Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m² Módulo elástico: 1,9e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 8.000 kg/m³ Módulo cortante: 7,5e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin </p>	<p> Conjuntodesuperficies 1(Línea de partición3)(Escape estudio de impacto 1.1) </p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 arista(s), 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	36,4964	-1.405,02	513,145	1.496,24
Momento de reacción(N.m)	-3,28129	-0,890942	-2,91307	4,47735

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1.500 N		

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

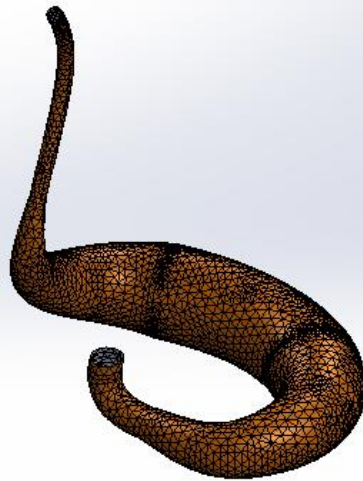
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	13,6482 mm
Tamaño mínimo del elemento	4,54937 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15083
Número total de elementos	7533
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:15
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	36,4964	-1.405,02	513,145	1.496,24

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-3,28129	-0,890942	-2,91307	4,47735

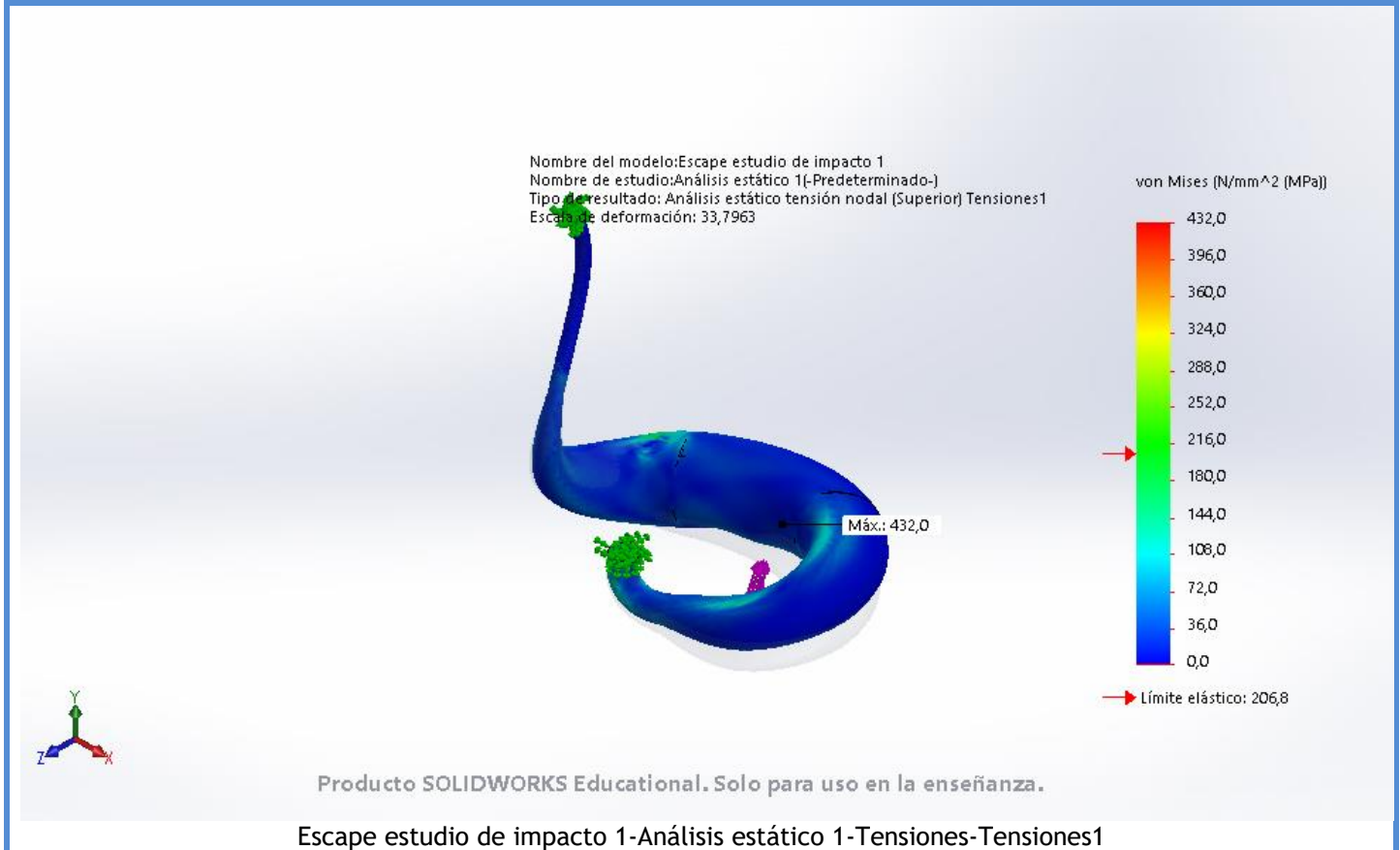
Vigas

No hay datos



Resultados del estudio

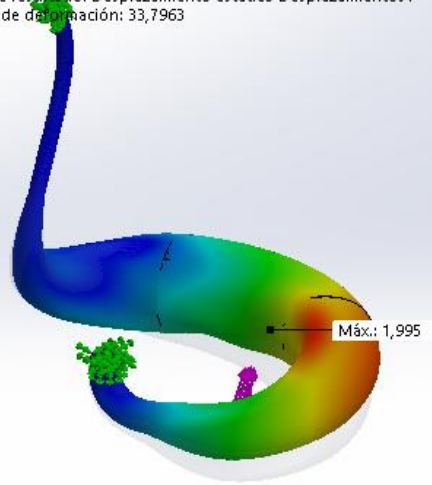
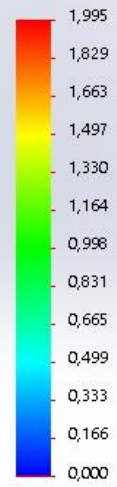
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,0 N/mm ² (MPa) Nodo: 3771	432,0 N/mm ² (MPa) Nodo: 3770



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2	1,995 mm Nodo: 3770

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 33,7963

URES (mm)

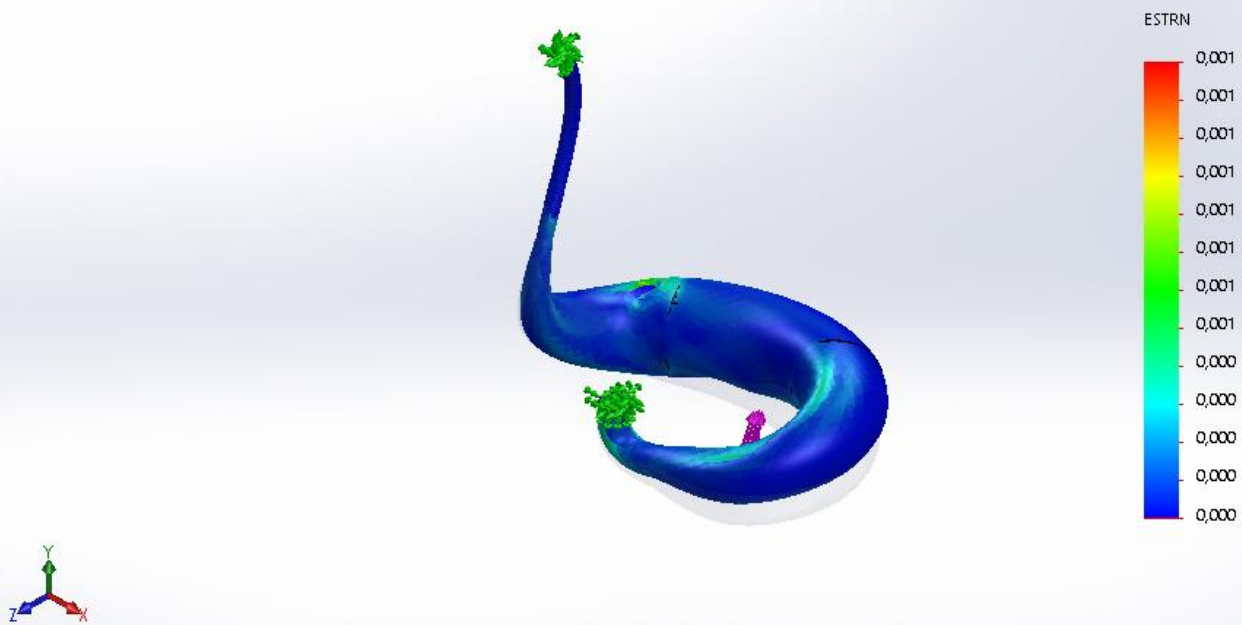


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000 Elemento: 7510	0,001 Elemento: 4408

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 33,7963

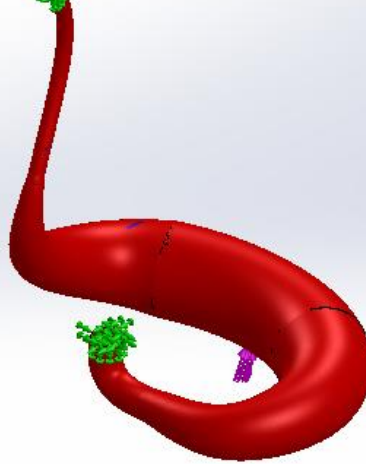
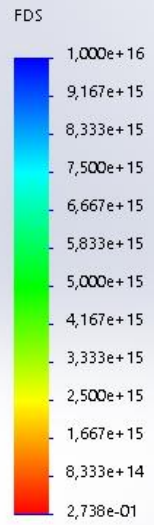


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	2,738e-01 Nodo: 3770	1,000e+16 Nodo: 3771

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de Factor de seguridad: FDS mín = 0,27



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Conclusión



Descripción

No hay datos

Simulación del estudio de impacto 1 sobre el contracono.

Fecha: miércoles, 15 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 2

Tipo de análisis: Análisis estático

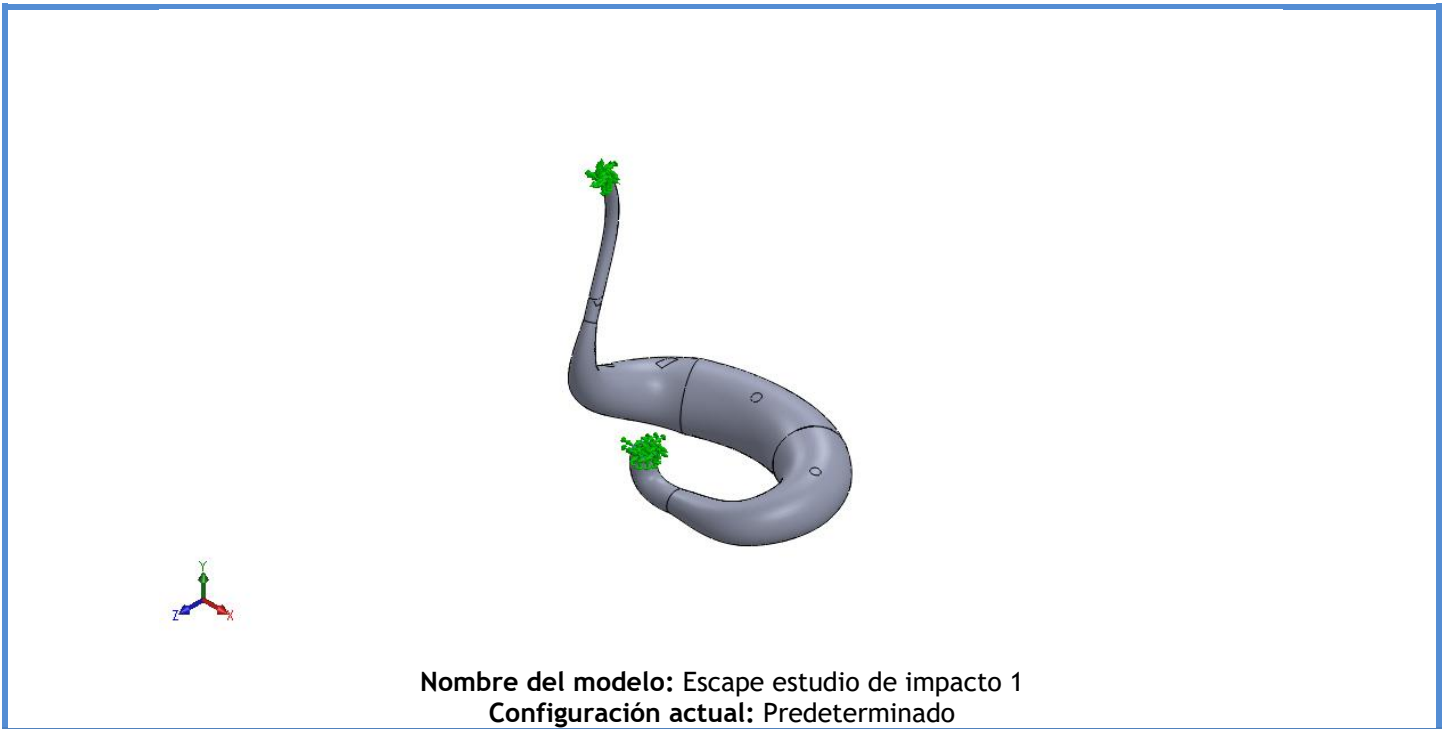
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Definiciones de conector	5
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes.....	7
Vigas	7
Resultados del estudio.....	8
Conclusión	11




Suposiciones

Información de modelo



Vaciados

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición3 	Grueso	Espesor:1 mm Peso:33.7702 N Volumen:0,000430742 m ³ Masa:3,44594 kg Densidad:8.000kg/m ³	C:\Users\Marco\Desktop\Solidworks Escape TFG\Escapes estudio de impacto 1.SLDPRT Jul 10 09:48:18 2020

Propiedades de estudio


Nombre de estudio	Análisis estático 2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Marco\Desktop\Escape)

Unidades

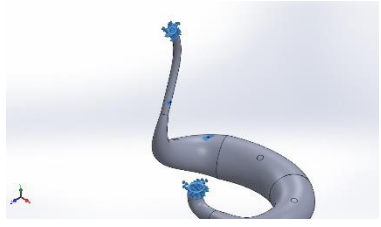
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,06807e+08 N/m² Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m² Módulo elástico: 1,9e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 8.000 kg/m³ Módulo cortante: 7,5e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin </p>	<p> Conjuntos de superficies 1 (Línea de partición 3) (Escape estudio de impacto 1.1) </p>
Datos de curva: N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 arista(s), 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-590,223	-2.432,37	1.440,76	2.888,01
Momento de reacción(N.m)	-2,82679	-0,335354	-0,519944	2,89371

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 2.900 N		

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

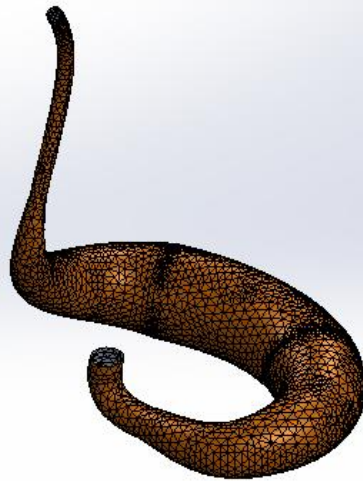
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	13,6482 mm
Tamaño mínimo del elemento	4,54937 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15083
Número total de elementos	7533
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:17
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-590,223	-2.432,37	1.440,76	2.888,01

Momentos de reacción

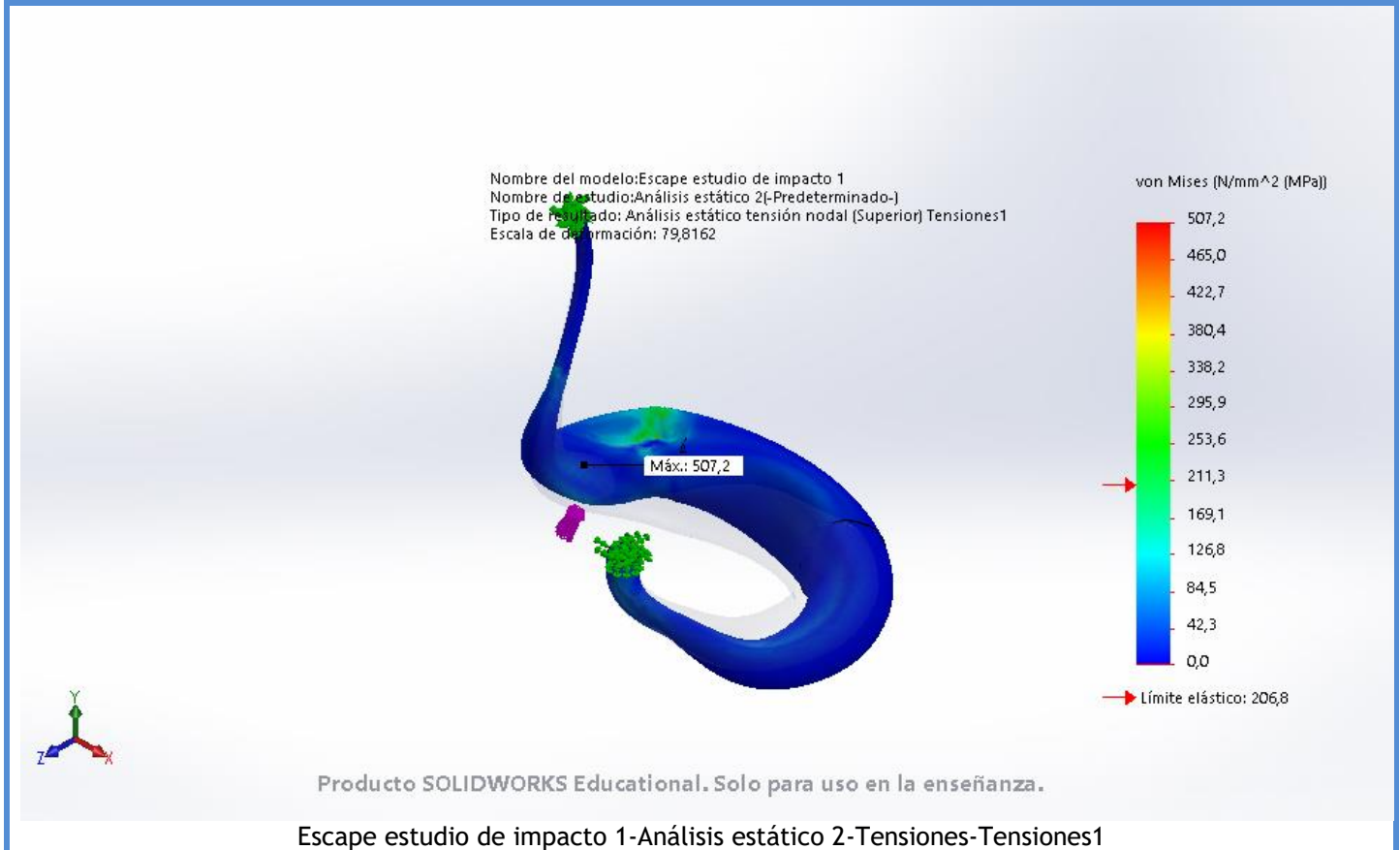
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-2,82679	-0,335354	-0,519944	2,89371

Vigas

No hay datos

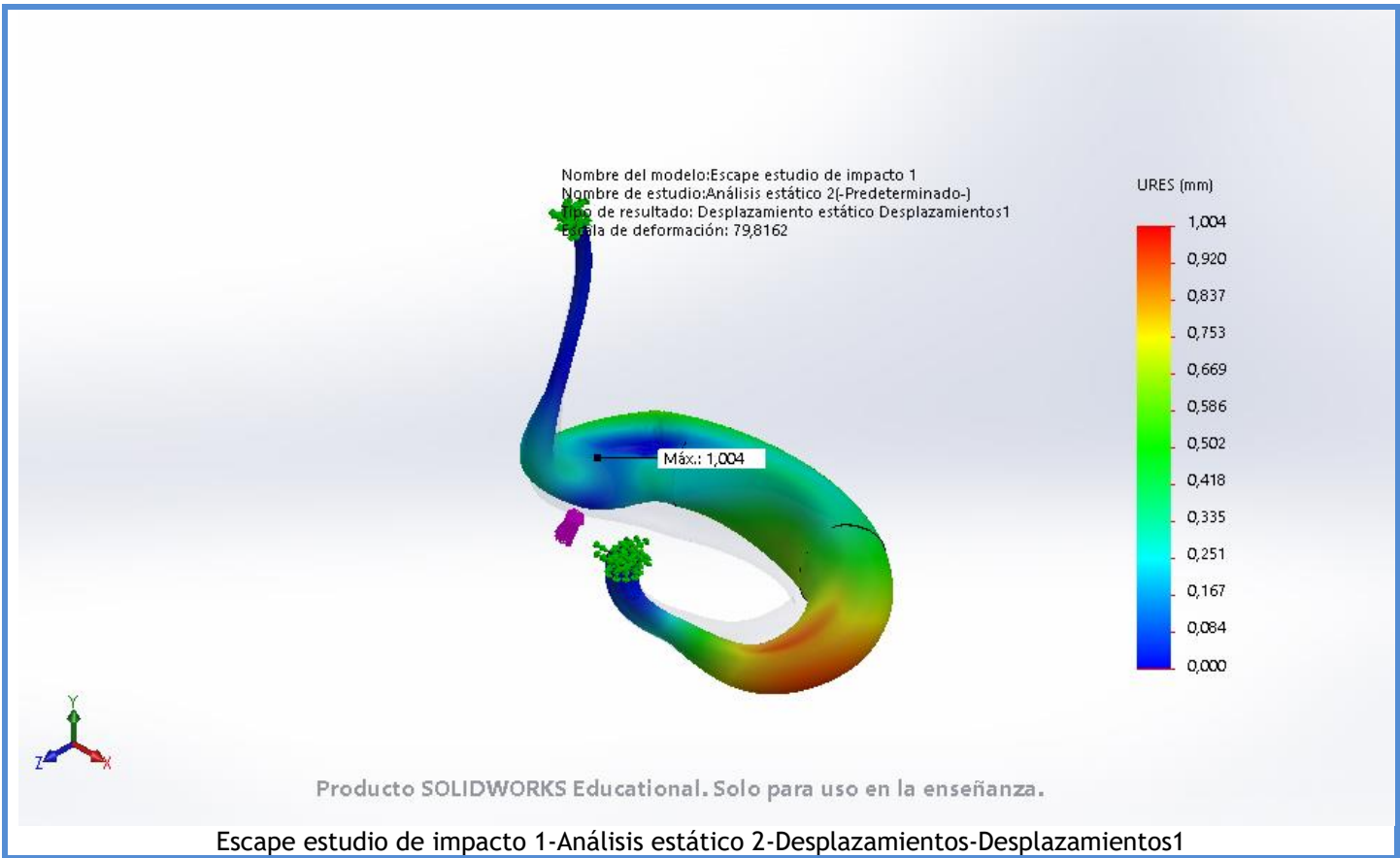
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,0 N/mm ² (MPa) Nodo: 3771	507,2 N/mm ² (MPa) Nodo: 1969



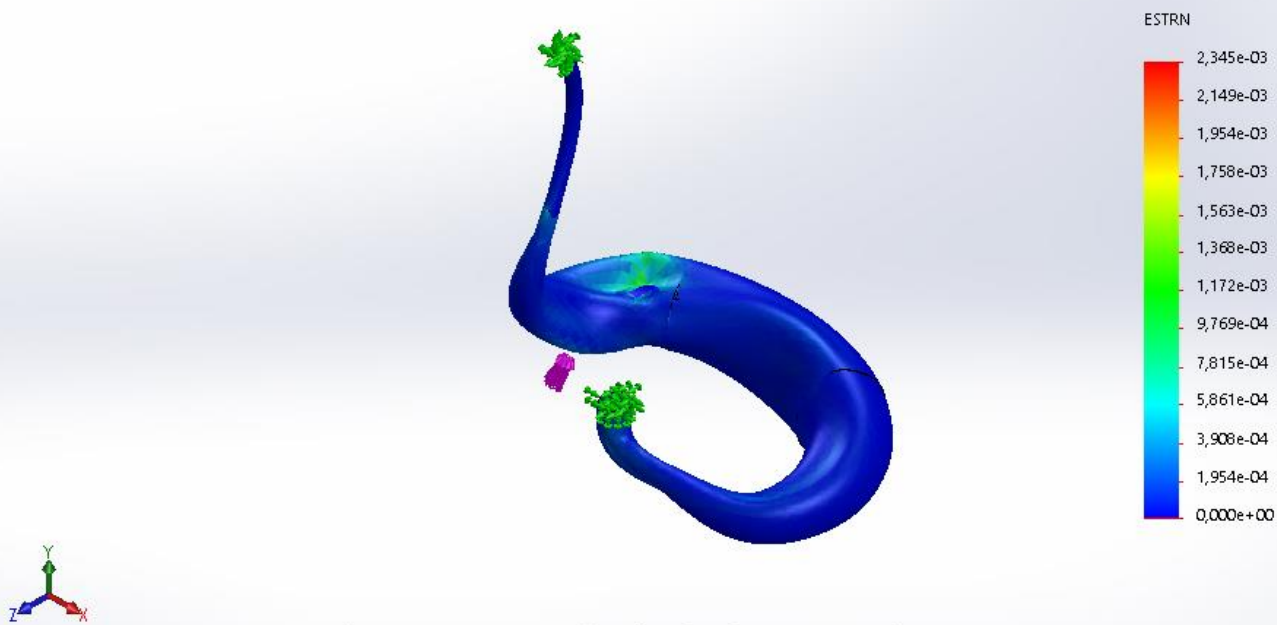
Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2	1,004 mm Nodo: 14596



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000e+00 Elemento: 7510	2,345e-03 Elemento: 3037

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 79,8162

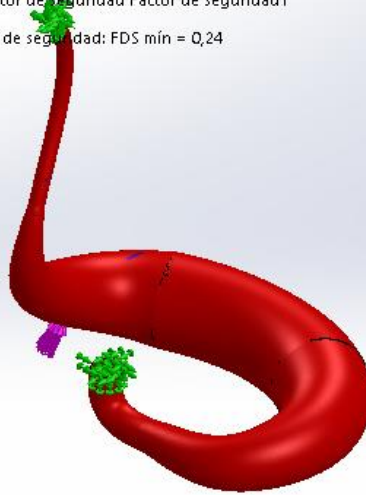
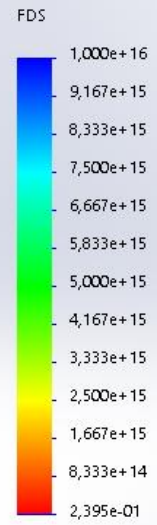


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	2,395e-01 Nodo: 3629	1,000e+16 Nodo: 3771

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0,24



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Conclusión



Descripción

No hay datos

Simulación del estudio de impacto 1 sobre el cono.

Fecha: miércoles, 15 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 3

Tipo de análisis: Análisis estático

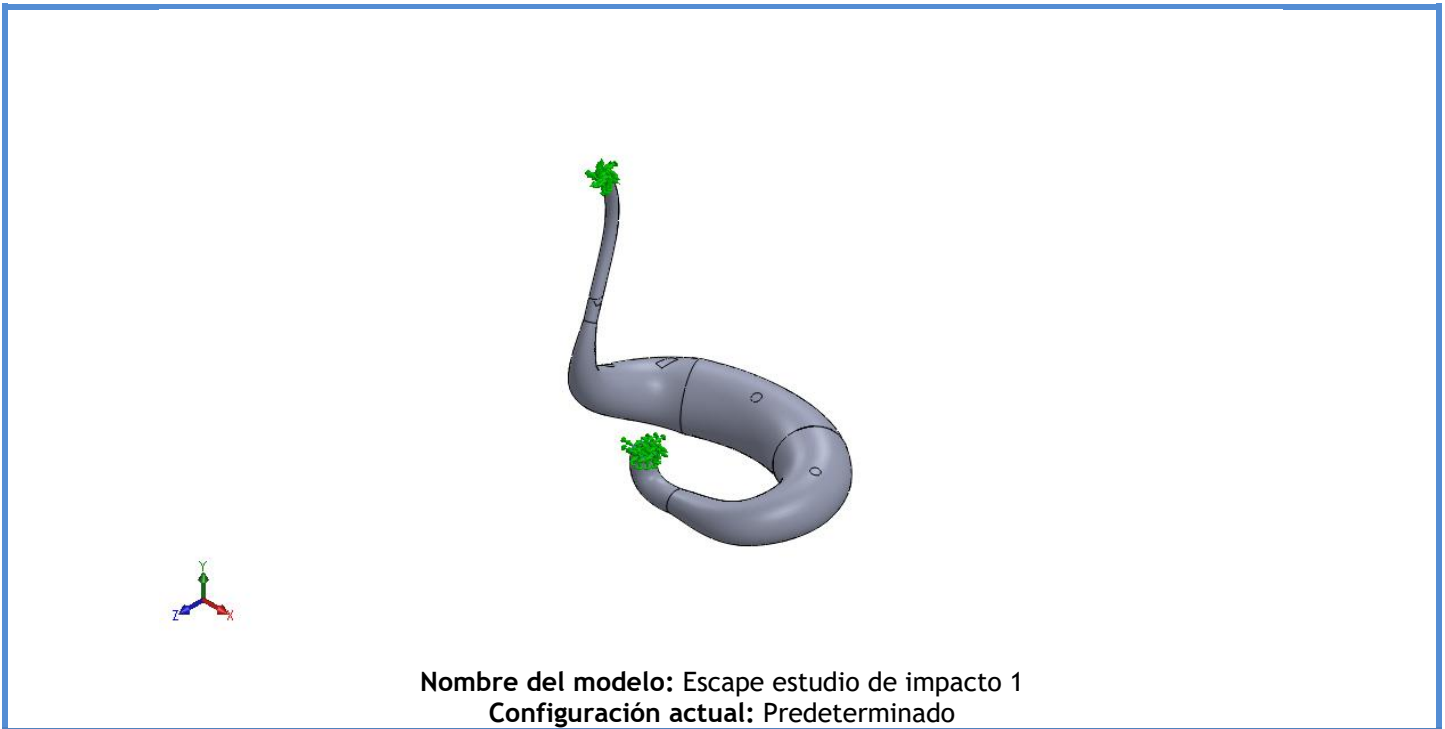
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Definiciones de conector	5
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes.....	7
Vigas	7
Resultados del estudio.....	8
Conclusión	11




Suposiciones

Información de modelo



Vaciados

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición3 	Grueso	Espesor:1 mm Peso:33.7702 N Volumen:0,000430742 m ³ Masa:3,44594 kg Densidad:8.000kg/m ³	C:\Users\Marco\Desktop\Solidworks Escape TFG\Escapes estudio de impacto 1.SLDPRT Jul 10 09:48:18 2020


Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Marco\Desktop\Escape)

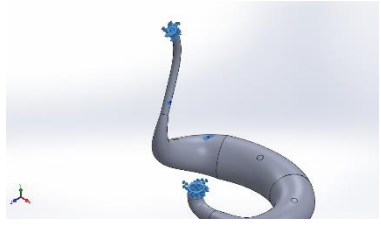
Unidades

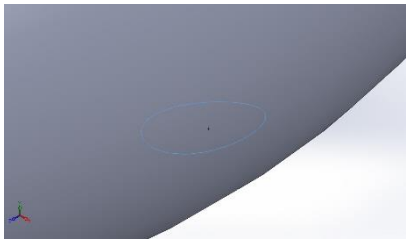
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,06807e+08 N/m² Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m² Módulo elástico: 1,9e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 8.000 kg/m³ Módulo cortante: 7,5e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin </p>	<p> Conjuntodesuperficies 1(Línea de partición3)(Escape estudio de impacto 1.1) </p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 arista(s), 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	223,584	-857,571	39,9276	887,137
Momento de reacción(N.m)	-3,47923	-0,551201	-4,21941	5,49657

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 890 N		

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

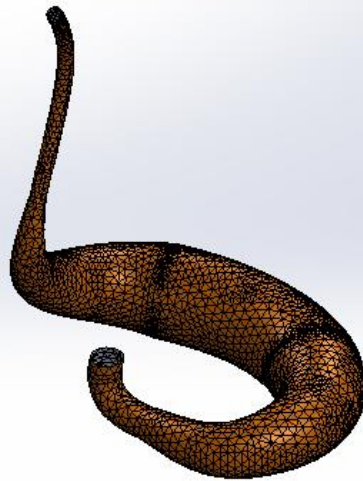
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	13,6482 mm
Tamaño mínimo del elemento	4,54937 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15083
Número total de elementos	7533
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:15
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	223,584	-857,571	39,9276	887,137

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-3,47923	-0,551201	-4,21941	5,49657

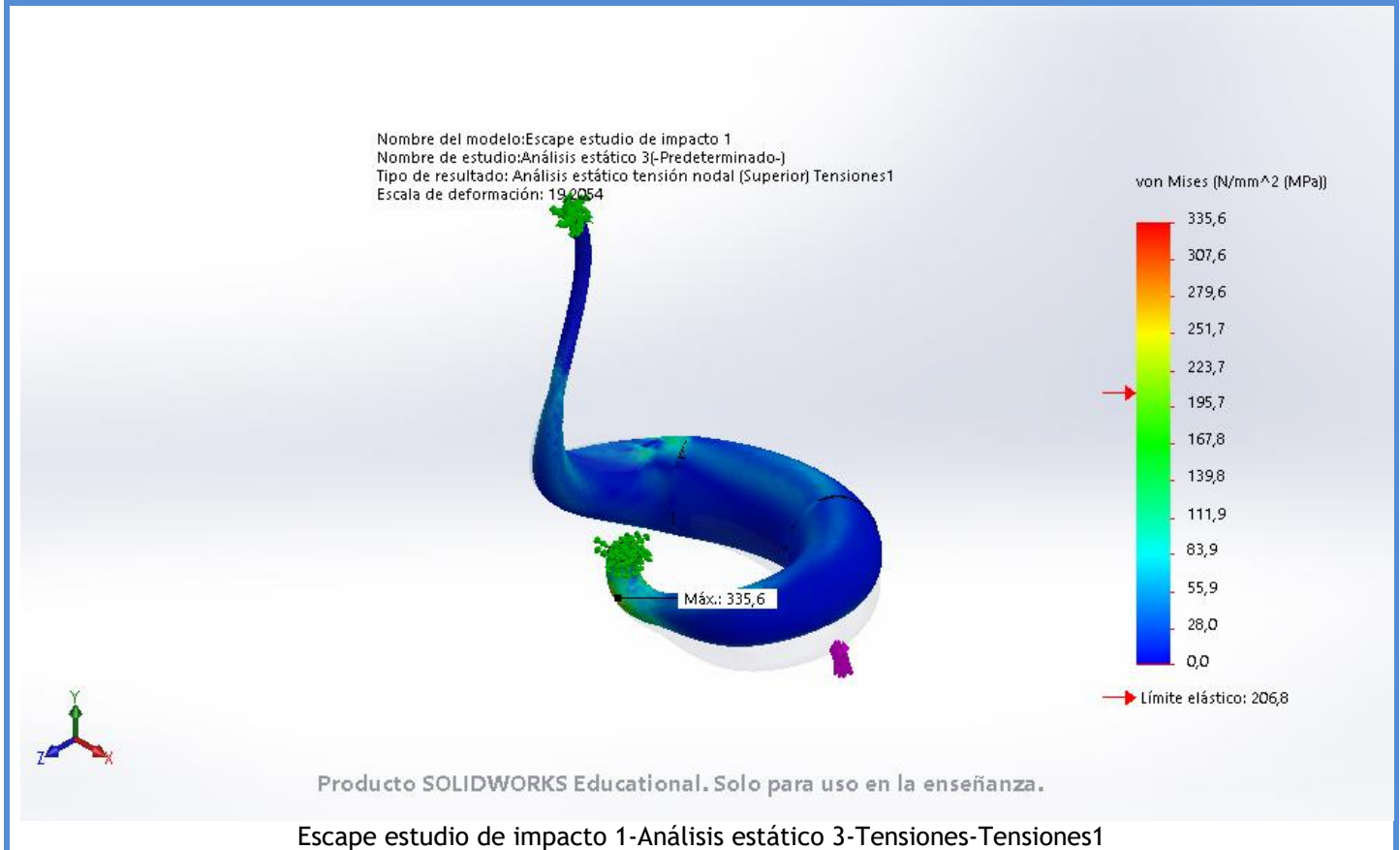
Vigas

No hay datos



Resultados del estudio

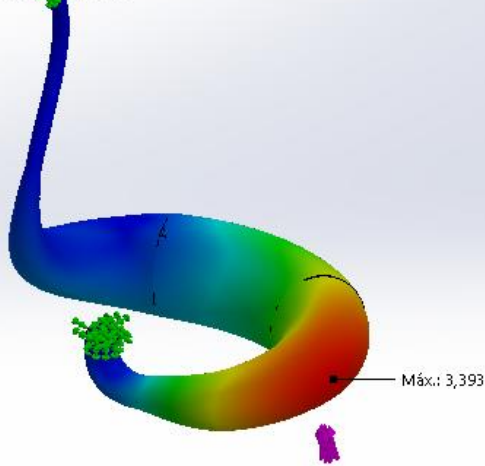
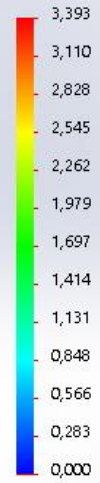
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,0 N/mm ² (MPa) Nodo: 3771	335,6 N/mm ² (MPa) Nodo: 3679



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2	3,393 mm Nodo: 6886

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 3-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 19,2054

URES (mm)

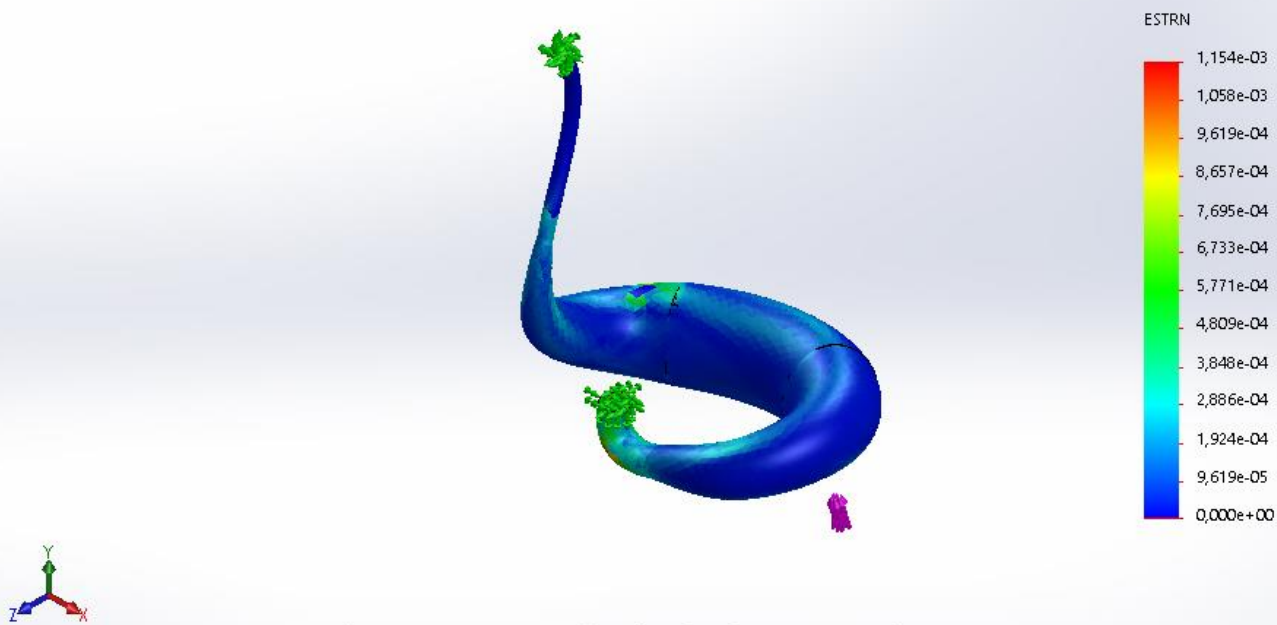


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000e+00 Elemento: 7510	1,154e-03 Elemento: 7318

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
 Nombre de estudio: Análisis estático 3 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 19,2054

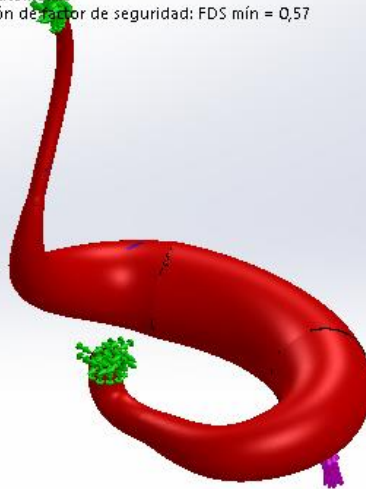
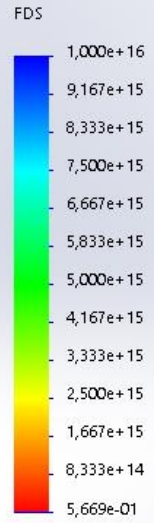


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	5,669e-01 Nodo: 3633	1,000e+16 Nodo: 3771

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 1
Nombre de estudio: Análisis estático 3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0,57



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 1-Análisis estático 3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Conclusión



Descripción

No hay datos

Simulación del estudio de impacto 2 sobre el lateral del cono.

Fecha: miércoles, 15 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

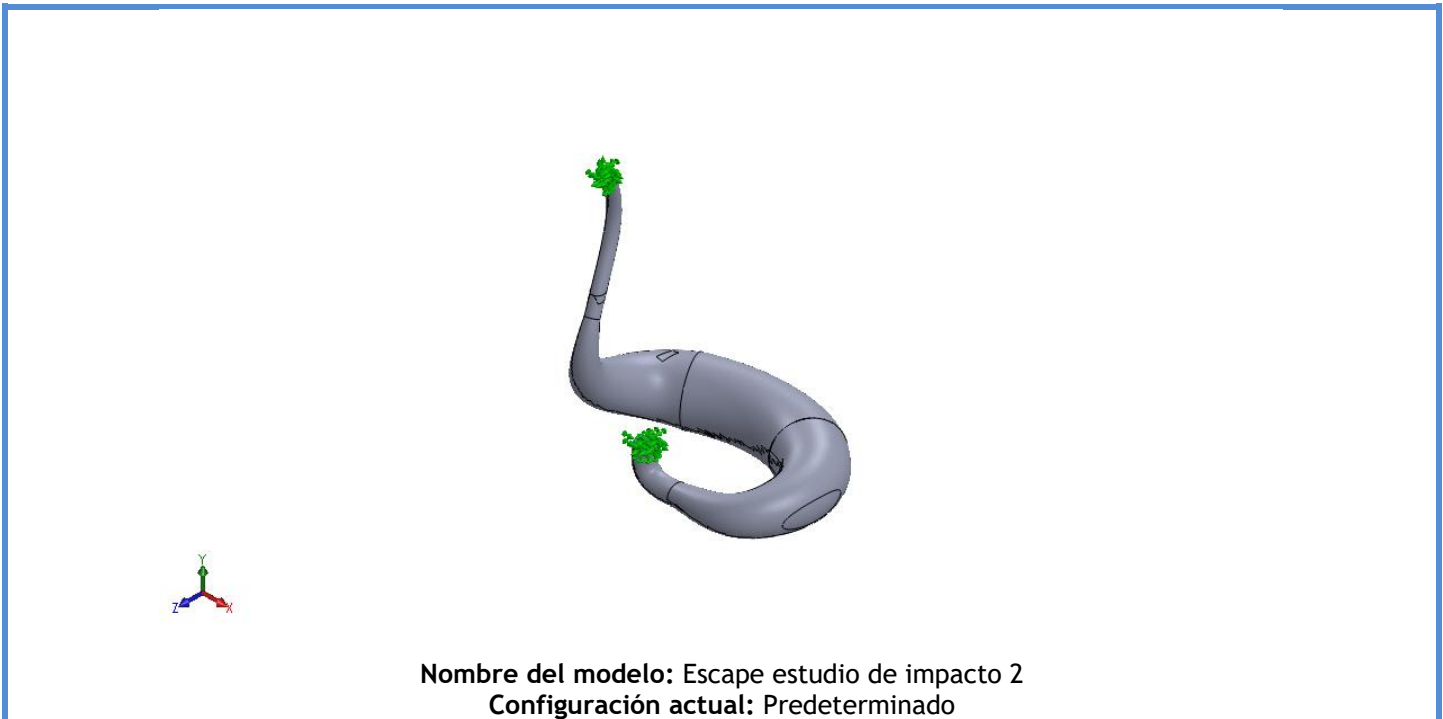
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Definiciones de conector	5
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Fuerzas resultantes.....	7
Vigas	7
Resultados del estudio.....	8
Conclusión	11




Suposiciones

Información de modelo



Vaciados

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición3 	Grueso	Espesor: 1 mm Peso: 36.5098 N Volumen: 0,000465687 m ³ Masa: 3,72549 kg Densidad: 8.000kg/m ³	C:\Users\Marco\Desktop\Solidworks Escape TFG\Escapes estudio de impacto 2.SLDPRT Jul 10 09:47:29 2020

Propiedades de estudio


Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Marco\Desktop\Escape)

Unidades


Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

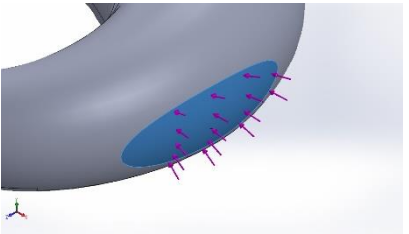


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: AISI 304 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,06807e+08 N/m² Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m² Módulo elástico: 1,9e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 8.000 kg/m³ Módulo cortante: 7,5e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin </p>	<p> Conjuntodesuperficies 1(Línea de partición3)(Escape estudio de impacto 2) </p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 arista(s), 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4.972,98	-444,296	92,2895	4.993,64
Momento de reacción(N.m)	-0,358423	-0,0492426	-0,606806	0,706474

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 5.250 N		

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos

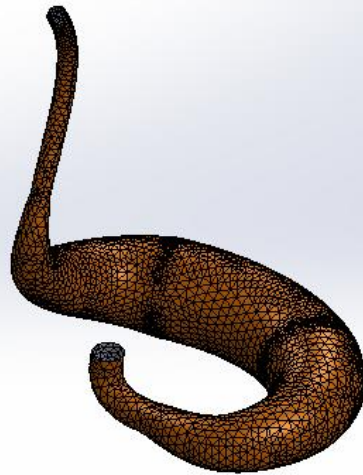
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	13,6514 mm
Tamaño mínimo del elemento	4,55043 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15661
Número total de elementos	7820
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:15
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 2
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4.972,98	-444,296	92,2895	4.993,64

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-0,358423	-0,0492426	-0,606806	0,706474

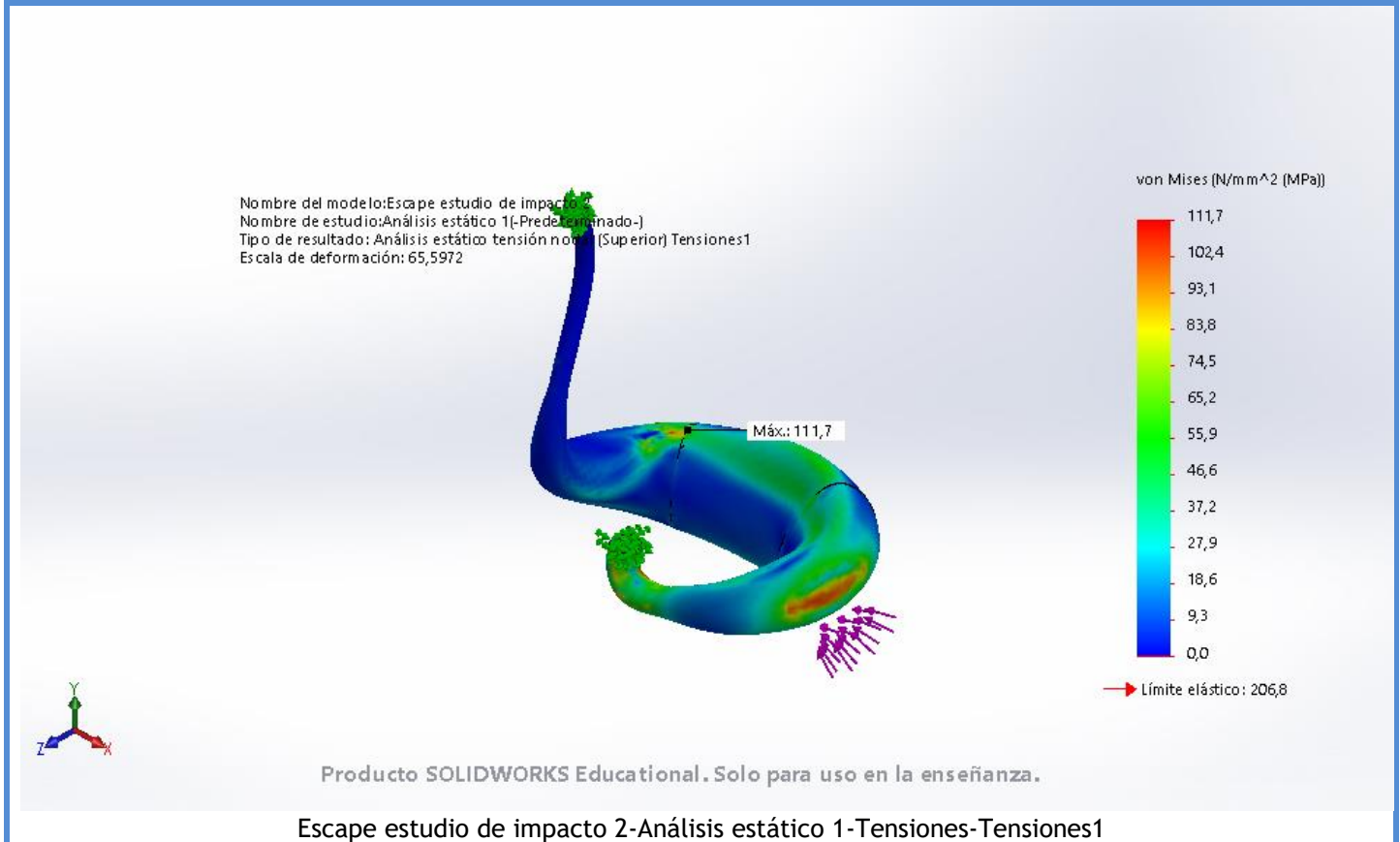
Vigas

No hay datos

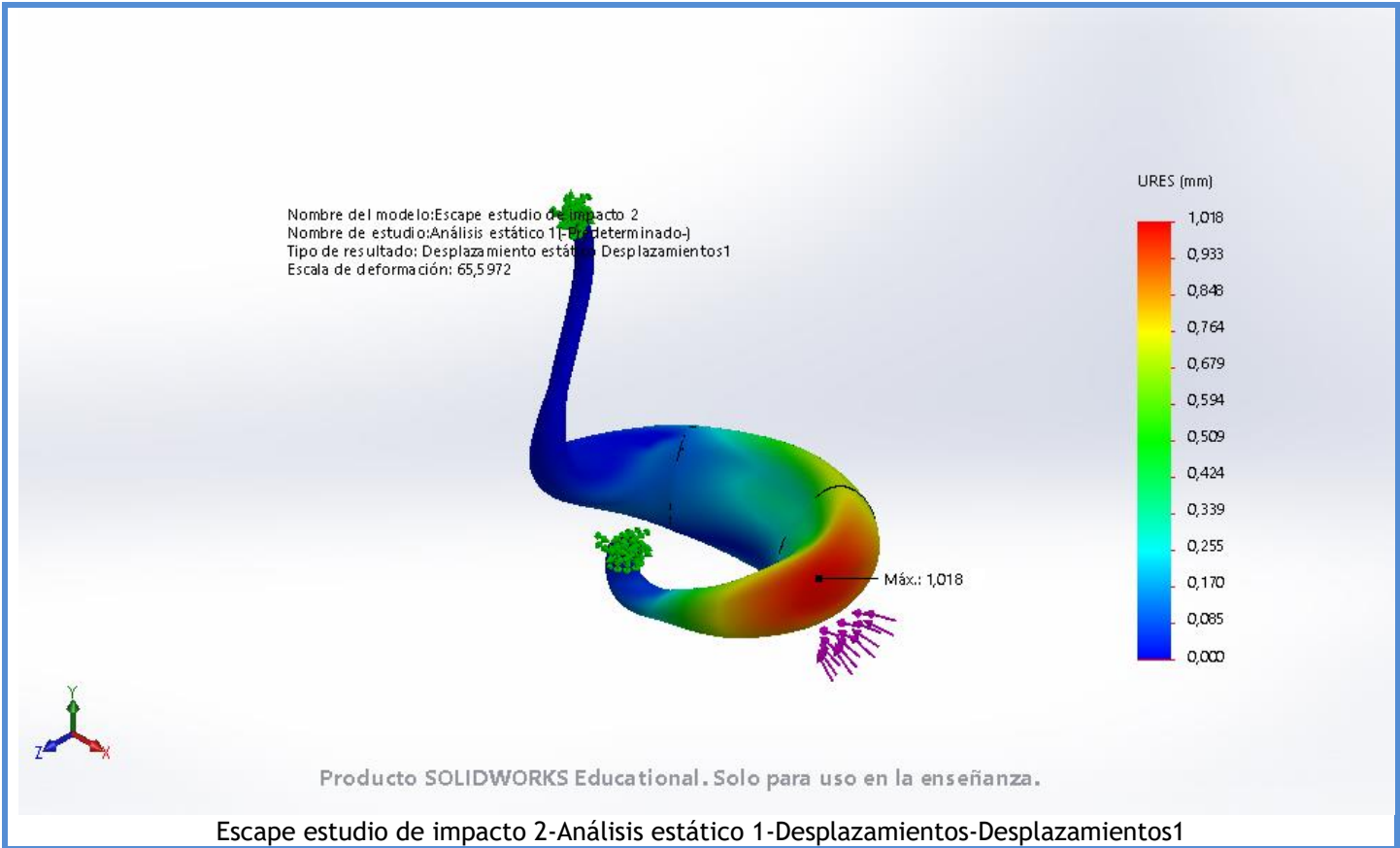


Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,0 N/mm ² (MPa) Nodo: 3916	111,7 N/mm ² (MPa) Nodo: 209

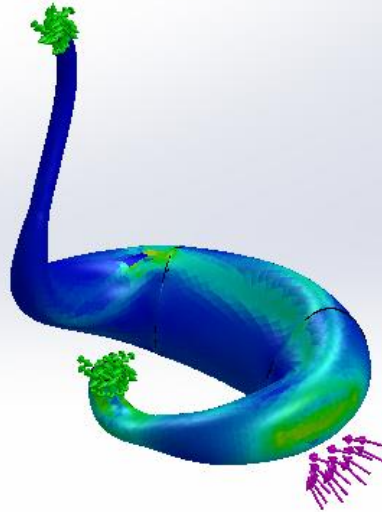
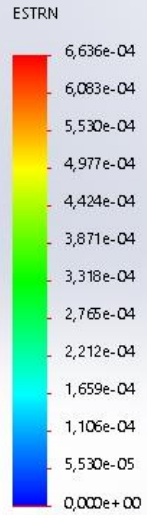


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 4	1,018 mm Nodo: 5441



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000e+00 Elemento: 7797	6,636e-04 Elemento: 1579

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Pre determinado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 65,5972

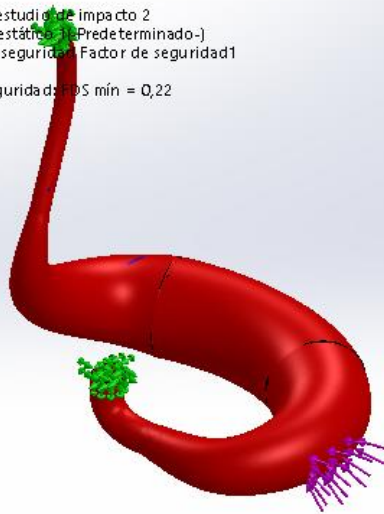
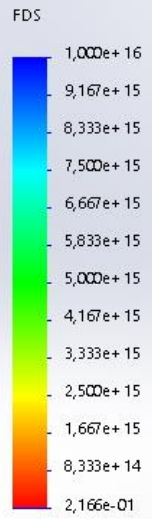


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 2-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2,166e-01 Nodo: 175	1,000e+16 Nodo: 3916

Nombre del modelo: Escape estudio de impacto 2
Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad - Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0,22



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de impacto 2-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Conclusión



Descripción
No hay datos

Simulación del estudio de frecuencia del escape.

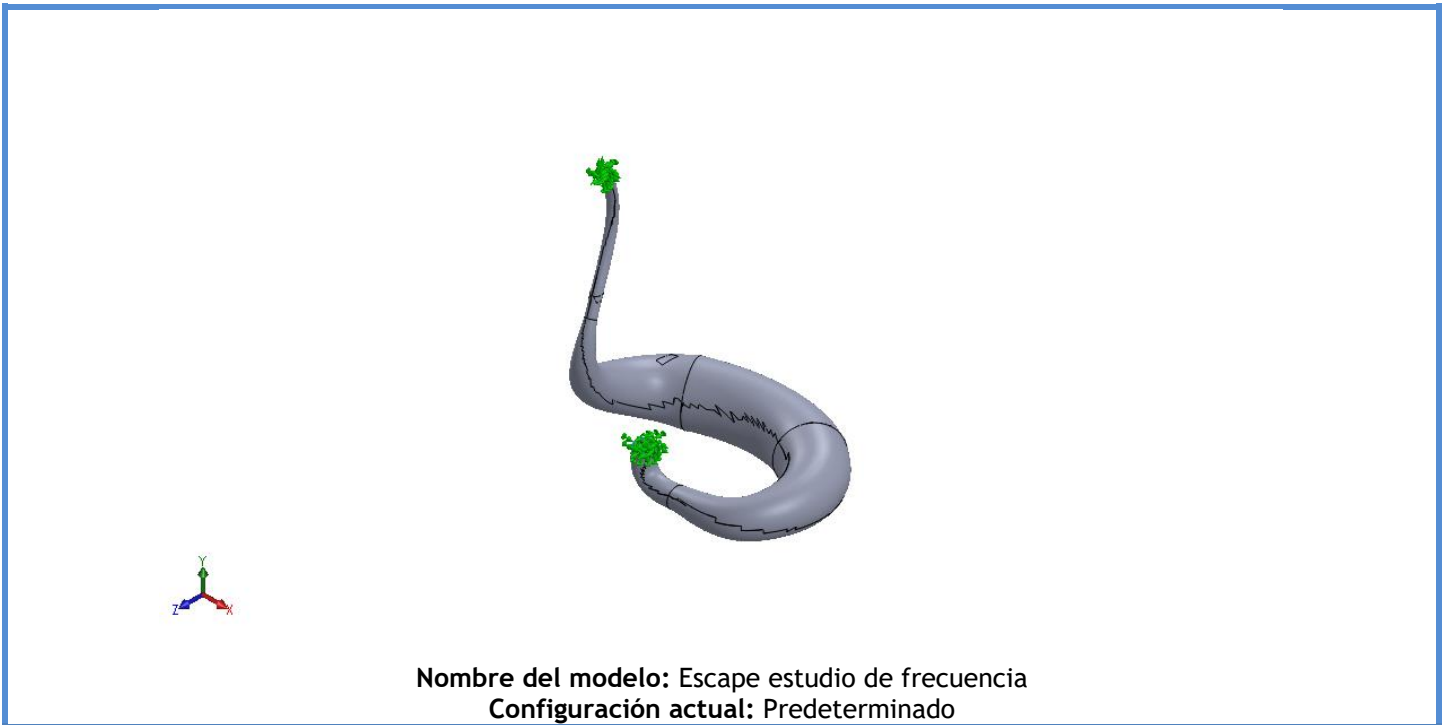
Fecha: miércoles, 15 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1
Tipo de análisis: Frecuencia

Tabla de contenidos


Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	4
Definiciones de conector	4
Información de contacto	5
Información de malla	6
Detalles del sensor	7
Resultados del estudio.....	8
Conclusión	13

Suposiciones

Información de modelo



Vaciados

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición2 	Grueso	Espesor: 1 mm Peso: 33.7702 N Volumen: 0,000430742 m ³ Masa: 3,44594 kg Densidad: 8.000kg/m ³	C:\Users\Marco\Desktop\Solidworks Escape TFG\Escapes estudio de frecuencia.SLDPRT Jul 10 09:54:48 2020

Propiedades de estudio

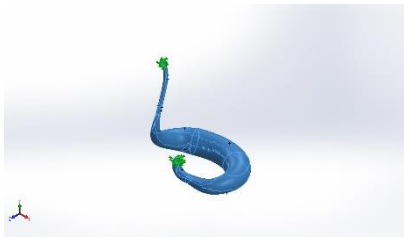
Nombre de estudio	Estudio de frecuencia 1
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Número de frecuencias	5
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Marco\Desktop\Escape)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,06807e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m²</p> <p>Densidad: 8.000 kg/m³</p> <p>Módulo elástico: 1,9e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,29</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 /Kelvin</p>	<p>Conjuntos de superficies</p> <p>1 (Línea de partición 2) (Escape estudio de frecuencia)</p>
<p>Datos de curva: N/A</p>		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 2 arista(s), 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

Definiciones de conector

No hay datos

Información de contacto

No hay datos



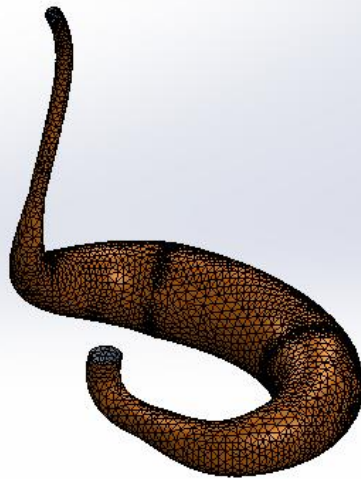
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	13,127 mm
Tamaño mínimo del elemento	4,37563 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15906
Número total de elementos	7941
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Escape estudio de frecuencia
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1 (-Pre determinado-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Detalles del sensor

No hay datos



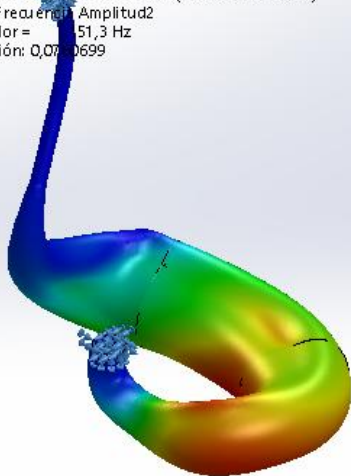
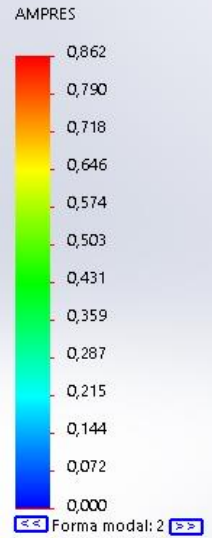
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud1	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 1(Valor = 77,4635 Hz)	0,000 Nodo: 2	1,073 Nodo: 8483



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 151,297 Hz)	0,000 Nodo: 2	0,862 Nodo: 12859

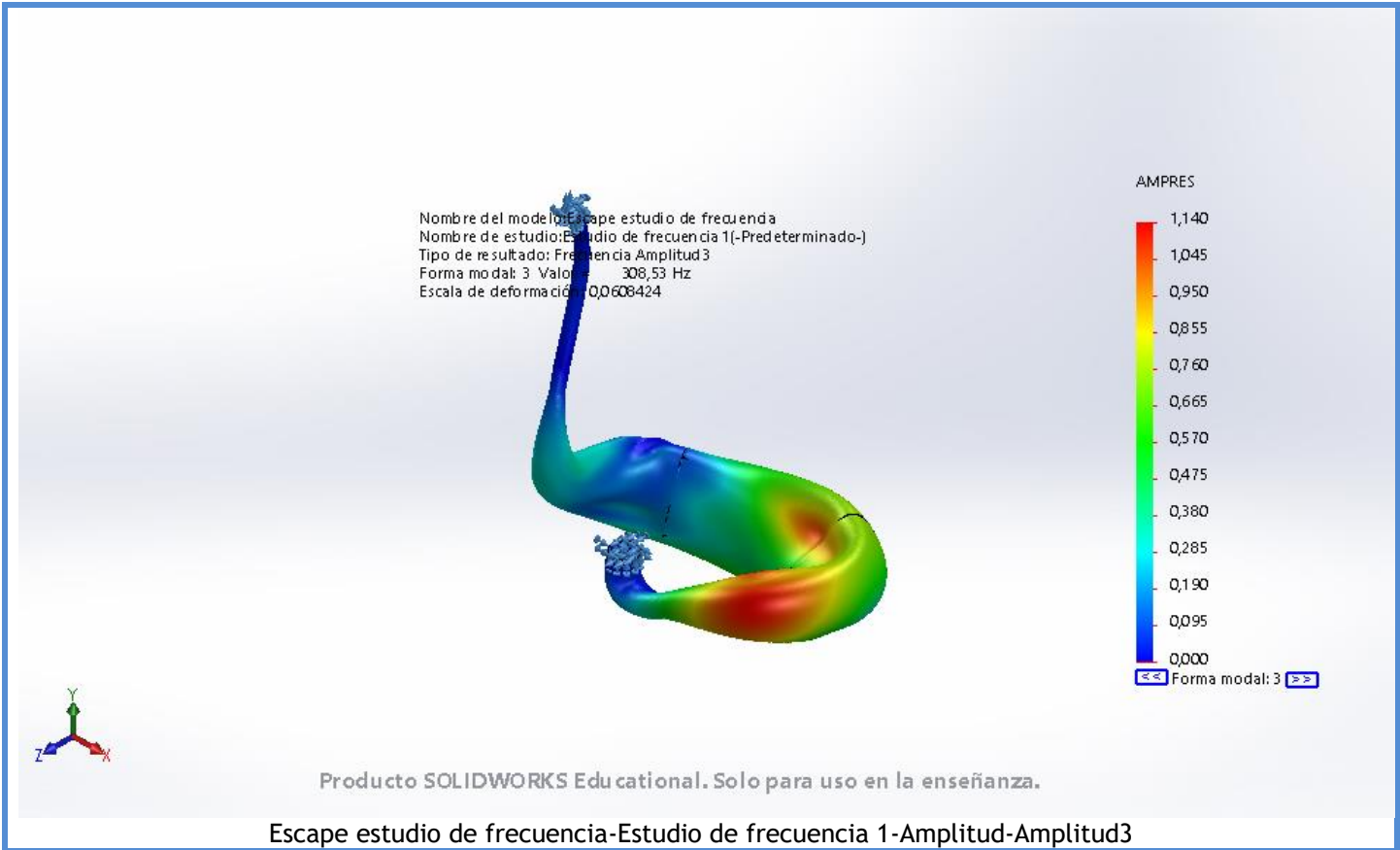
Nombre del modelo: Escape estudio de frecuencia
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia: Amplitud2
 Forma modal: 2 Valor = 51,3 Hz
 Escala de deformación: 0,070699



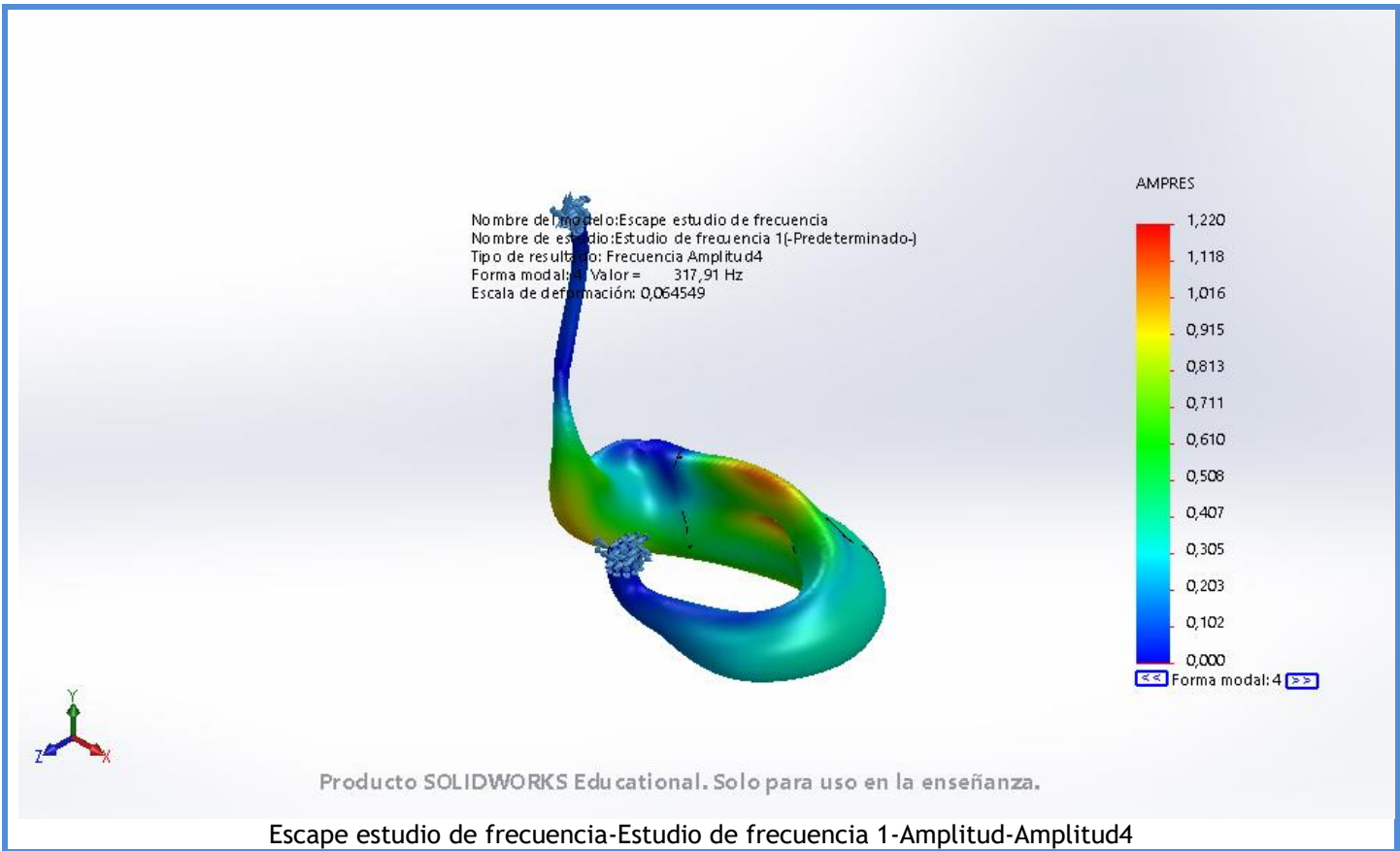
Producto SOLIDWORKS Edu cational. Solo para uso en la enseñanza.

Escape estudio de frecuencia-Estudio de frecuencia 1-Amplitud-Amplitud2

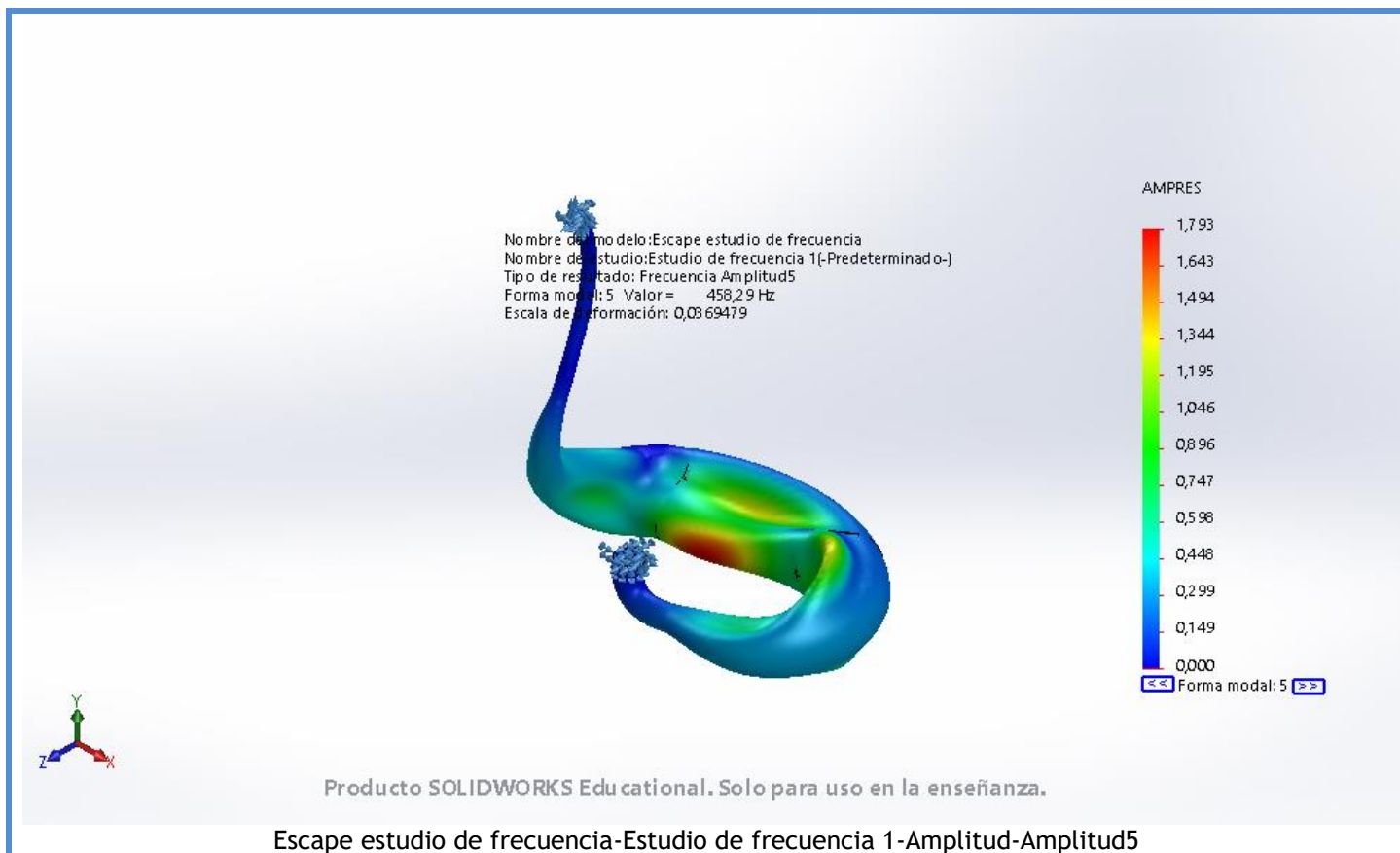
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 308,532 Hz)	0,000 Nodo: 2	1,140 Nodo: 9544



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 317,908 Hz)	0,000 Nodo: 2	1,220 Nodo: 2932



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 458,288 Hz)	0,000 Nodo: 2	1,793 Nodo: 12483



Lista de modos

Frecuencia n°.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	486,72	77,464	0,012909
2	950,63	151,3	0,0066095
3	1.938,6	308,53	0,0032412
4	1.997,5	317,91	0,0031456
5	2.879,5	458,29	0,002182

Participación de masa (Normalizada)

Modo n°.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	77,464	0,024826	0,45924	1,9474e-06
2	151,3	0,0039841	0,019277	0,51653
3	308,53	0,0077699	0,011463	0,03877
4	317,91	0,20564	0,049131	0,0028369
5	458,29	0,0099507	8,6115e-06	0,00025297
		Sum X = 0,25217	Sum Y = 0,53912	Sum Z = 0,55839

Conclusión

