

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Estudio, diseño y modelado de La Falcata: el arma más pesada de los Íberos

Autor: Ana Hidalgo Naranjo

Tutor: Emilio Ramírez Juidias

Dpto. Ingeniería gráfica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Estudio y modelado de la falcata: el arma más pesada de los íberos

Autor:

Ana Hidalgo Naranjo

Tutor:

Emilio Ramírez Juidias

Profesor Titular

Dep. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Trabajo de Fin de Grado: Estudio y modelado de la falcata:
El arma más pesada de los íberos

Autor: Ana Hidalgo Naranjo
Tutor: Emilio Ramírez Juidias

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal

ÍNDICE

Índice	5
Índice de Figuras	6
1. Introducción	9
2. La falcata como arma	16
3. Materiales y métodos	28
4. Resultados y discusión	33
5. Conclusión	54
Bibliografía	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hoja de una daga de la Primera Edad de Bronce.	9
Figura 2. Mapa de la situación de los kopides de acuerdo a datos arqueológicos.	10
Figura 3. Espada de tipo machaira griega encontrada en Dedeli.	11
Figura 4. Sección de la machaira en la parte más ancha.	11
Figura 5. Kopis itálica, Palestrina, Italia.	11
Figura 6. Espada falcata.	12
Figura 7. Empuñadura con forma de cabeza de caballo unida a la hoja.	12
Figura 8. Partes y dimensiones fundamentales de la falcata.	13
Figura 9. Hoja de una daga de la Primera Edad de Bronce.	15
Figura 10. Modelo 3D de falcata con acanaladura única estrecha en el dorso de la hoja.	18
Figura 11. Modelo 3D de falcata con acanaladura ancha simétrica en las caras de la hoja.	18
Figura 12. Modelo 3D de una falcata con varios tipos de acanaladuras estrechas.	19
Figura 13. Series básicas de empuñadura.	20
Figura 14. Decoración de la guarda basal de una falcata.	21
Figura 15. Falcata con perfil en S.	22
Figura 16. Modelo 3D de falcata con combinación del filo dorsal con el filo principal.	23
Figura 17. Réplica de una falcata hallada en la Necrópolis de Palomar de Pintado.	23
Figura 18. Comparación entre empuñaduras de machairas itálicas e ibéricas.	24
Figura 19. Representación de los diferentes tipos de guarda basal.	25
Figura 20. Representación de un guerrero luchando a pie con una falcata.	27
Figura 21. Representación de falcatas encontradas en la Península Ibérica.	28
Figura 22. Boceto del alzado de la hoja de la falcata modelada.	29
Figura 23. Boceto del alzado de la hoja de la empuñadura modelada.	30
Figura 24. Representación de la tuerca y tornillo empleados para ensamblar la falcata	30
Figura 25. Representación de la empuñadura y una hoja.	31
Figura 26. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 1.	35
Figura 27. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 1.	35
Figura 28. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 1.	36
Figura 29. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 2.	36
Figura 30. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 2.	37
Figura 31. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 2.	37
Figura 32. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 3.	37

Figura 33. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 3.	38
Figura 34. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 3.	38
Figura 35. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 4.	39
Figura 36. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 4.	39
Figura 37. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 4.	39
Figura 38. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 5.	40
Figura 39. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 5.	40
Figura 40. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 5.	41
Figura 41. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 6.	41
Figura 42. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 6.	42
Figura 43. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 6.	42
Figura 44. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 7.	43
Figura 45. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 7.	43
Figura 46. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 7.	43
Figura 47. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 8.	44
Figura 48. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 8.	44
Figura 49. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 8.	45
Figura 50. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 9.	45
Figura 51. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 9.	46
Figura 52. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 9.	46
Figura 53. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 10.	47
Figura 54. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 10.	47
Figura 55. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 10.	48
Figura 56. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 11.	48
Figura 57. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 11.	49
Figura 58. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 11.	49
Figura 59. Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 12.	50
Figura 60. Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 12.	50
Figura 61. Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 12.	50
Figura 62. Tabla que muestra los resultados obtenidos por las hojas tras la simulación.	51
Figura 63. Gráfica comparativa de la relación desplazamiento/peso entre las hojas.	53

1. INTRODUCCIÓN

Desde que existe el ser humano los conflictos y las guerras entre nuestra especie han sido una constante. Los primeros indicios de una guerra en el Egeo se remontan a la Primera Edad del Bronce, esto se sabe gracias a hallazgos arqueológicos en Creta de un gran número de dagas datadas en este periodo. (Georganas, 2010)



Figura 1: Hoja de una daga de la Primera Edad del Bronce. (Fuente: Museo de Londres. Acceso a la fuente: 2021)

Gracias a numerosas investigaciones sobre la guerra en la Edad del Bronce se sabe que fue en esta etapa histórica donde surgió la espada como una evolución de las dagas. Entre los años 1800 y 700 a.C se desarrolló y se extendió, llegando a ser el arma que se conoce hoy en día. Debido a descubrimientos tecnológicos de esta época fue posible fabricar hojas más largas hechas de una aleación de cobre y estaño. (Ruiz, 2020)

Dicho esto, en la Edad de Hierro, en concreto la Primera Edad de Hierro, la espada ya era un símbolo de estatus en la sociedad de esta era, esto es conocido gracias a hallazgos arqueológicos de tumbas en los que se puede comprobar que los guerreros eran enterrados con parte de su armamento. En la Segunda Edad del Hierro una pieza fundamental del armamento de un guerrero era la espada larga de doble filo, cuyo uso específico era el combate a caballo. (Zapatero, 2014)

Según varios autores (Quesada,1990; Gabaldón,2003)el origen de la falcata, podría estar entre los siglos VIII y V a.C en las regiones balcánicas del Mar Adriático, desde estos lugares se extendió hasta Italia y Grecia, donde obtuvo gran popularidad adoptando el nombre de machaira o kopis, a partir de aquí se ha demostrado que la distribución de la falcata se produjo esencialmente por la zona mediterránea donde estas hojas fueron evolucionando en su

llegada a la Península Ibérica, desde la Península Itálica, donde llegó a las manos de pueblo Ibero y poco a poco se convirtió en la espada que hoy conocemos como falcata ibérica.

En relación con lo anterior, fue en las regiones del sureste litoral y el sureste interior de la Península Ibérica donde se puede situar arqueológicamente en concreto entre los siglos V y I a.C.

Estas dataciones y las representaciones halladas de la falcata en un conjunto de esculturas de Porcuna en Jaén, el cual algunos expertos datan a principios del siglo V a.C., podrían significar que fue adoptada y modificada en lo que hoy se conoce como falcata ibérica en algún punto de la segunda mitad del siglo VI a.C. (Quesada,1997)



Figura 2: Situación de los kopides de acuerdo con datos arqueológicos, vemos como es la Península Ibérica la zona con mayor número de falcatas. Elaboración propia a partir de (Fuente: Quesada,1990. Acceso a fuente: 2021)

En otro orden de temas la machaira (Figura 3) es una espada de un solo filo, más esbelta, siendo la parte estrecha de esta espada más larga y la punta más estirada que en la falcata ibérica, esta hoja tiene una sección en forma de “T”, esto es debido al nervio que la recorre. En cuanto a su tamaño la machaira tiene unas medidas mucho más grandes que su descendiente, teniendo una longitud media de unos 80 cm. Para blandir esta hoja a modo de sable es necesario contar con gran espacio y tener libertad de movimiento, además se necesita emplear un gran porcentaje del cuerpo para preparar un golpe, es por esto por lo que para el combate cuerpo a cuerpo era ciertamente un estorbo más que una ayuda. Por tanto, la machaira era un arma que tenía un uso más adecuado para la caballería. (Quesada, 1991)



Figura 3: Espada de tipo machaira griega encontrada en Dedeli, Valandovo, Macedonia del Norte, se observa que la hoja y la empuñadura son una sola pieza. (Fuente: Angelovski,2018. Acceso a fuente: 2021)

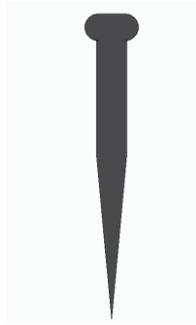


Figura 4: Sección de la machaira en la parte más ancha. Elaboración propia en Solid Edge 2020

El kopis itálico (Figura 5) es una espada curvada hacia abajo de un solo filo diseñada para ser usada a una mano como la machaira y la falcata, en el dorso de esta espada tenemos un voluminoso nervio también en forma de “T”, con unas dimensiones medias de 80-90 cm pudiendo llegar a los 110 cm. A menudo a diferencia de la falcata, el kopis presenta embotada la parte del filo más próxima a la empuñadura, lo que permite coger la espada desde la hoja sin cortarse.



Figura 5: Kopis itálica, Palestrina, Italia. (Fuente: Quesada,1997. Acceso a fuente: 2021)

La principal diferencia de la falcata con estas dos armas son las acanaladuras que presenta, al principio se pensó que su propósito era agravar las heridas infligidas al adversario, pero por el lugar donde están colocadas, en el dorso, para que las acanaladuras llegasen a la herida debería ser un corte demasiado profundo. Esta idea se desechó y hoy se sabe que las acanaladuras se hacían para poder aligerar la hoja y limitar la flexibilidad de esta, aunque también se hacían acanaladuras con motivo meramente decorativo. (Quesada, 1988; Quesada,1991)

La falcata es una espada curvada de un solo filo, aunque puede presentar doble filo en la punta, con una hoja ancha y asimétrica que cuenta con distintas acanaladuras cuya finalidad, como hemos dicho anteriormente, es aligerar el peso del arma, esto es necesario ya que se fabricaba soldando tres láminas de hierro entre sí, siendo por lo tanto bastante pesada.



Figura 6: Espada falcata. Perteneciente al siglo II a.C. fue encontrada en una necrópolis ibérica en Almedinilla, Córdoba. (Fuente: Jaime Cenalmor, Jaime Darío, 2018. Acceso a fuente: 2021)

Un aspecto característico de la falcata es su empuñadura, la cual era decorada a menudo con formas de animales y personas, así como con motivos vegetales. Se trata de una empuñadura pequeña para una sola mano, con una forma que abraza la mano del portador, puede quedarse abierta en forma de gancho o volver a unirse a la hoja de forma que queda el hueco para empuñarla.



Figura 7: Empuñadura con forma de cabeza de caballo unida a la hoja. (Fuente: revistadehistoria.es. Acceso a fuente: 2021)

Esta espada tiene unas dimensiones de entorno 50 a 60 centímetros de longitud solo de hoja, sin contar la empuñadura. La vaina de esta espada era de cuero con refuerzos de hierro. Se trata de una espada idónea para combatir cuerpo a cuerpo. (Blázquez y García, 1994)

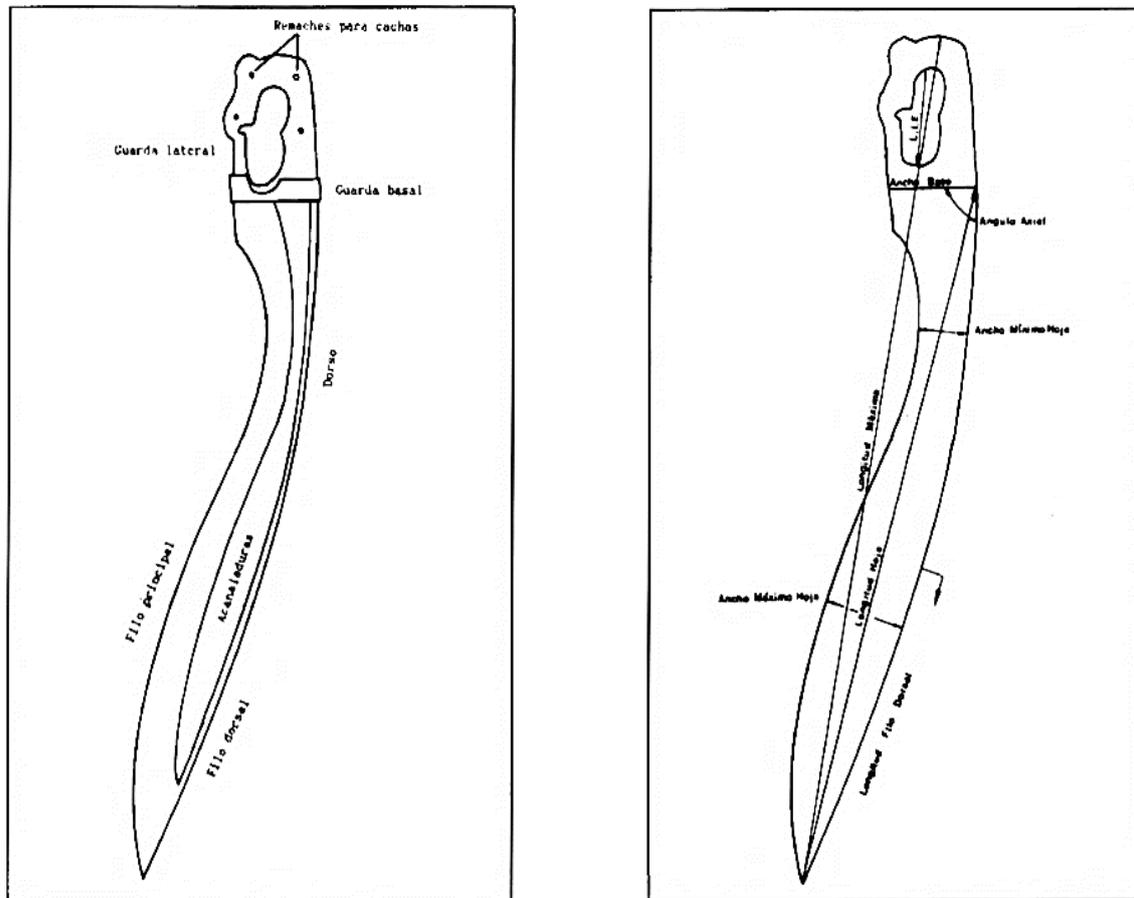


Figura 8: Partes y dimensiones fundamentales de la falcata (Fuente: Quesada, 1997. Acceso a fuente: 2021)

A manos de los íberos la falcata sufrió variaciones convirtiéndola así en la espada que se conoce hoy en día, su longitud fue acortada considerablemente, viéndose reducida en una media de 20 o 30 cm, se le añadió a la hoja un contrafilo pudiendo así ser usada para golpes punzantes y no solo tajantes, por último, eliminan el nervio e introdujeron las acanaladuras.

El resultado de estas modificaciones fue un arma que dejó de ser útil para un jinete y pasa a adecuarse al combate a pie, cuerpo a cuerpo y una hoja más ligera.

Las tribus íberas luchaban usando una especie de guerrillas, debido a las adversidades que esto les ocasionaba su armamento debía ser ligero.

Para forjar estas armas se introducían en la tierra láminas de hierro para que con el tiempo la parte débil de este se desprendiera de la parte más dura, dando lugar a un hierro muy puro que era trabajado cuidadosamente, finalmente las hojas eran forjadas combinando fuego y agua.

Con la adopción de la falcata y sus modificaciones el armamento habitual que cargaban los guerreros íberos se vió reducido a una espada, dos lanzas más cortas que anteriormente y un escudo.

Además de ser un arma mortífera en el campo de batalla, la falcata era todo un símbolo de estatus para los íberos, la llevaban los aristócratas de la época y las personas libres, a menudo se forjaban falcatas con el propósito de formar parte de un ajuar funerario para ciertos soldados, a veces las hojas de las espadas con este fin eran dobladas en forma de ritual. Era común enterrar a los guerreros con armas en las necrópolis, es por esto que se han encontrado algunas de estas armas fundidas entre sí, probablemente por el fuego de la pira funeraria. (Blázquez y García, 1994; Santiago,2016)

Durante mucho tiempo se consideró como descendiente de la falcata el gladius hispaniense, que también es una espada que se usaba para asestar heridas graves y punzantes al adversario, esto lo afirmaron varios investigadores como Broncano et alii, Grangel, Nebot y Estall, sin embargo Quesada ofrece la hipótesis de que esto podría no ser cierto, ya que pese a que la falcata o la machaira aparecen en periodos tardíos en la península itálica, el gladio es una espada recta y ancha de doble filo, por lo tanto no podría ser un tipo de falcata, siendo la única característica en común entre estas dos hojas el uso punzante de las mismas.(Quesada, 1997)

Una vez dicho esto, cabe destacar que en la actualidad no hay suficientes estudios sobre esta arma y la comparativa entre sus secciones, según los distintos tipos de acanaladura que puede presentar (Figura 9), respecto al esfuerzo que nos digan cuál de ellas es la más propicia para el combate.

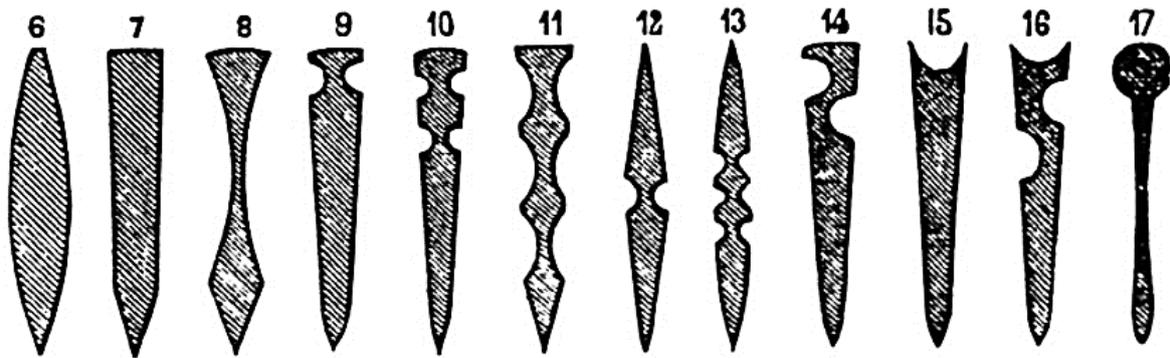


Figura 9: Tipos de acanaladuras que puede presentar la hoja de la falcata. (Fuente: Quesada,1988. Acceso a fuente: 2021)

Por lo cual en el presente trabajo se va a realizar una simulación mediante elementos finitos, relacionando el peso de las hojas y el desplazamiento que sufren las mismas al realizar un golpe, con el motivo de conocer cuál es la falcata con la sección más óptima para combatir.

2. LA FALCATA COMO ARMA

La hoja de la falcata está formada por tres láminas de hierro, una por cada cara y un núcleo, siendo esta última más ancha que las exteriores. Para fabricar esta hoja es necesario soldar entre sí estas láminas a la calda, para ello se usa únicamente el propio fuego de la fragua sin necesidad de aportar metales adicionales para soldar. Cabe mencionar que es la lámina central la que se prolonga para formar parte de la empuñadura.

Debido a hallazgos arqueológicos sabemos que, aunque las técnicas de forja de arma de los íberos eran muy avanzadas para su época las forjas en las que fabricaban estas espadas eran primitivas si son comparadas con las de griegos y romanos.

En el proceso de fabricación de la falcata se producía un acerado del hierro de forma prácticamente accidental ya que el hierro absorbía el carbono vegetal empleado en la fragua. Se cree que, en algunos casos, como mencionamos con anterioridad, las láminas de metal eran enterradas, para mediante un proceso de oxidación de la magnetita eliminar las impurezas y fortalecer el hierro, este proceso en el que eran enterradas otorgaba a la hoja un característico color negruzco.

El proceso de forjado de la falcata comienza poniendo al rojo el metal en la fragua, y posteriormente se golpea para darle forma a la hoja, a continuación, se bajan los filos de esta y se somete a un proceso de desbaste, se pasa a forjar la empuñadura repitiendo el mismo proceso empleado para la hoja. Para homogeneizar la espada se le hace un proceso de normalización ya que una vez templada no se puede doblar más, tras esto se pasa al templeado, tras este tratamiento térmico se hace un revenido para disminuir la fragilidad del metal tras el temple, este proceso se hace a bajas temperaturas.

Por otra parte, la técnica que se empleaba para hacer las acanaladuras en la época íbera apenas se conoce, pero se cree se usaba la forja caliente empleando martillazos y presionando el hierro para producir los canales y estrías.

Otra hipótesis sobre la técnica empleada es que las acanaladuras fueron cortadas en el hierro y no forjadas.

Por último, hay una tercera teoría que expone que las acanaladuras no son puramente cortadas ni tampoco forjadas, si no que con el hierro de la hoja todavía caliente antes del templeado se extrae material de esta mediante un cincel y posteriormente se procede a limar y pulir estas acanaladuras. (Quesada,1988; Quesada, 1997)

Una vez forjada la hoja y teniendo las acanaladuras hechas el siguiente paso es remachar a la parte superior de la hoja las dos cachas que componen la empuñadura.

Dicho esto, cabe mencionar los materiales de los que se compone la falcata, siendo la hoja un sable de hierro, mientras que la empuñadura estaba formada por dos cachas de madera o hueso, que a veces se encontraban envueltas en cuero para mejorar el agarre, también podían estar cubiertas parcialmente por partes metálicas, que a su vez era común que estuviesen damasquinadas.

De cara a la decoración de la falcata lo más común era que la espada tuviese partes damasquinadas, en este proceso ornamental se empleaban incrustaciones con hilos o láminas de oro y plata sobre materiales como acero y hierro. (Gabaldón. 2003)

Por otra parte, los remaches que formaban parte de la empuñadura comúnmente eran de bronce y podían usarse también a modo decorativo. (Quesada, 1997)

En otro orden de temas, uno de los aspectos más característico de la falcata son sus distintas acanaladuras (Figura 9), la función específica de estas hendiduras no es otra sino aligerar el arma y controlar su flexibilidad, siendo más efectivas las acanaladuras de mayor profundidad y más estrechas según Quesada (1988).

Para un arma que se pretende emplear durante un dilatado periodo de tiempo es fundamental que tenga un correcto aligeramiento sin que comprometa la resistencia y la capacidad que tiene el arma para penetrar.

De acuerdo con Quesada (1988), el número de acanaladuras que presentaban las falcatas podía variar entre las piezas sencillas que generalmente presentaban solo un tipo (Figuras 10 y 11) y otras más complejas que presentaban combinaciones de varios tipos (Figura 12).

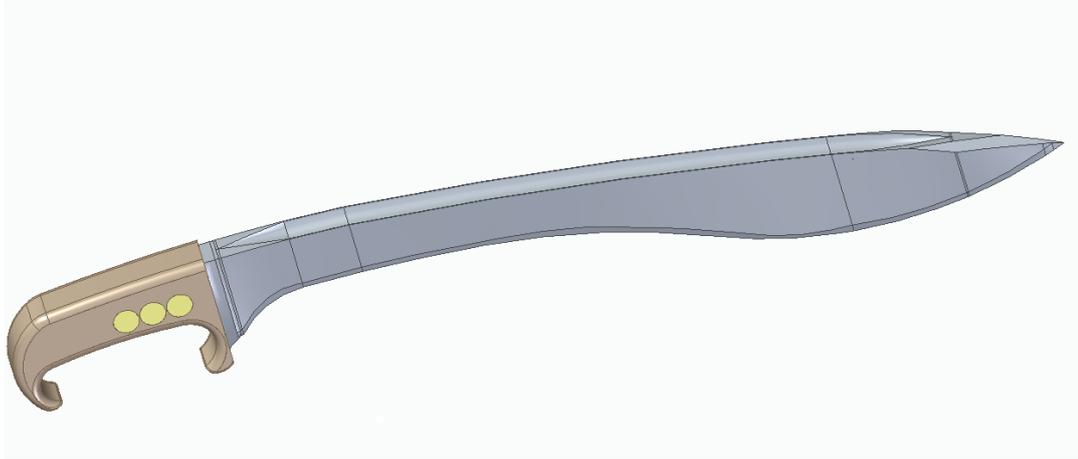


Figura 10: Modelo 3D de una falcata con una única acanaladura estrecha en el dorso de la hoja, este modelo corresponde con la sección 15 de la Figura 9. Elaboración propia en Solid Edge 2020

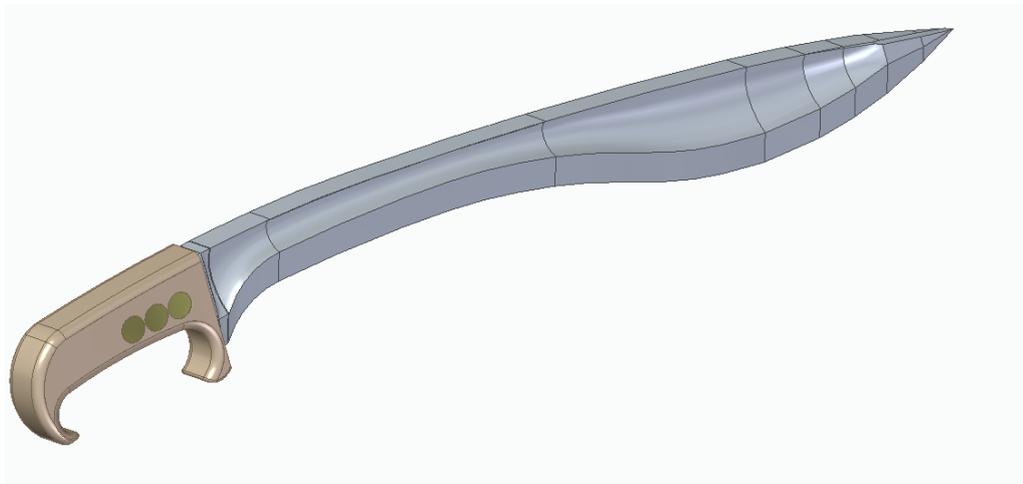


Figura 11: Modelo 3D de una falcata con una acanaladura ancha en ambas caras de la hoja simetricamente, este modelo corresponde con la sección 8 de la Figura 9. Elaboración propia en Solid Edge 2020

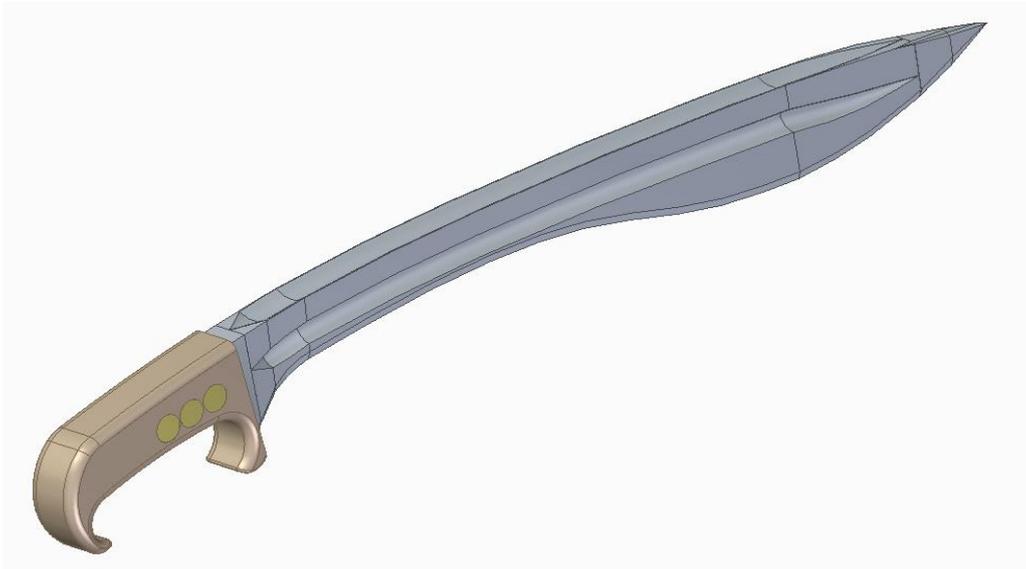


Figura 12: Modelo 3D de una falcata con varios tipos de acanaladuras estrechas, una de ellas en el dorso de la hoja y otras dos una a cada lado de las caras de la hoja de forma no simétrica quedando la del lado izquierdo más abajo que la del derecho, este modelo corresponde con la sección 16 de la Figura 9. Elaboración propia en Solid Edge 2020

Otra cuestión a tener en cuenta en lo que se refiere al diseño de la falcata son los distintos tipos de empuñadura, entre los que destacan las que tienen forma de cabeza de ave y caballo.

Las falcatas más antiguas contaban con una empuñadura en forma de cabeza de ave realista y pequeña, que con el tiempo sufriría modificaciones a través de las cuales se estilizaría y agrandaría la cabeza del ave llegando a poder confundirse con una cabeza de caballo. Era común que el pico del ave estuviese unida a la base de la empuñadura con una cadenilla.

Siguiendo este hilo, las empuñaduras con cabeza de caballo siguieron una evolución similar a las anteriores hablado de estilización y ensanchamiento. La cadenilla que unía el pico con la base se sustituyó por una barra maciza que constaba con un carácter menos decorativo, pero más sólido.

Aunque se usaban cadenillas y barras para unir la cabeza del animal a la base de la empuñadura, lo cierto es que empezaron a aparecer empuñaduras abiertas a principios del siglo IV a.C. (Quesada, 1997; García y Gómez,2006)

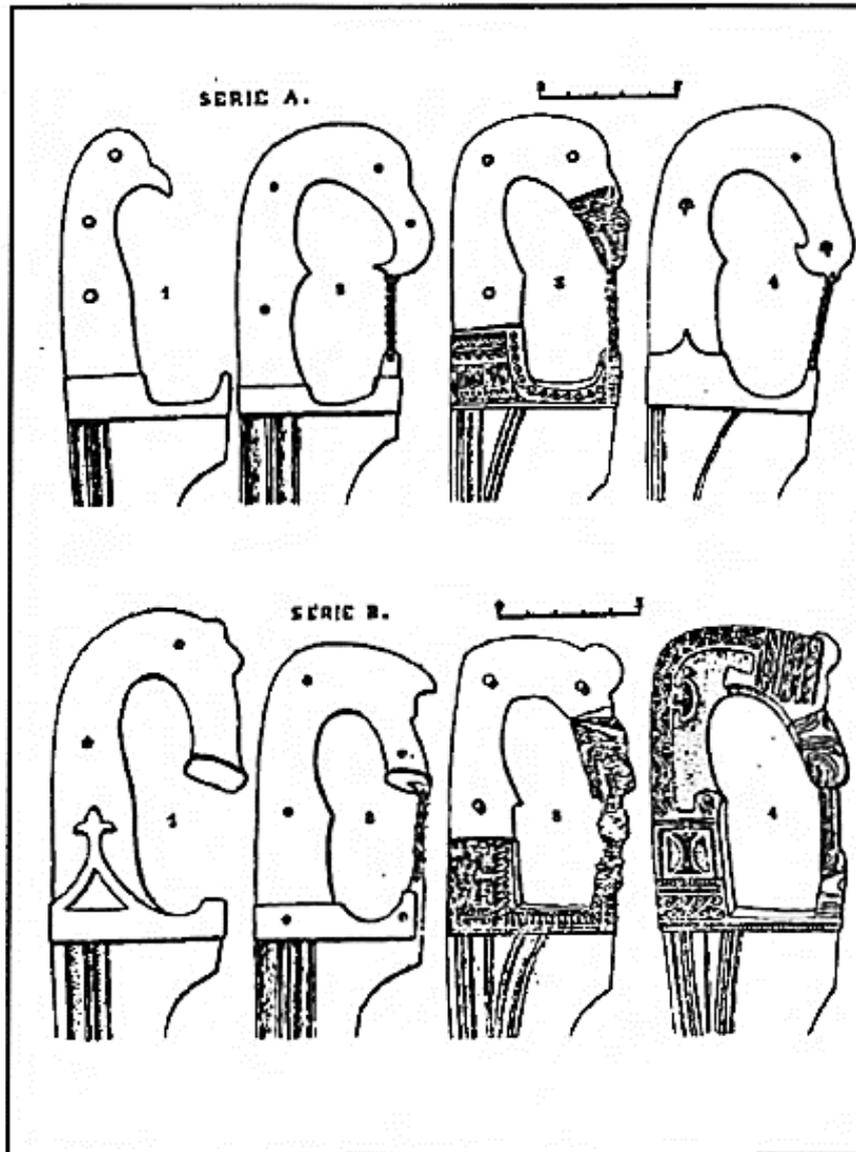


Figura 13: Series básicas de empuñadura, donde la serie A es la de cabeza de ave y la serie B de cabeza de caballo. (Fuente: Quesada, 1997. Acceso a fuente: 2021)

Las empuñaduras también podían estar decoradas con otros motivos como, por ejemplo: con forma de cabezas de felinos, lobos, jabalís o dragones; formas geométricas sencillas; con figuras vegetales, siendo las más habituales la hiedra o la palmera, todas estas formas podían presentarse tanto de pomo de la empuñadura como encontrarse damasquinadas en la misma (Figura 14). También se han encontrado empuñaduras con dientes de lobo incrustados. (Quesada, 1997)

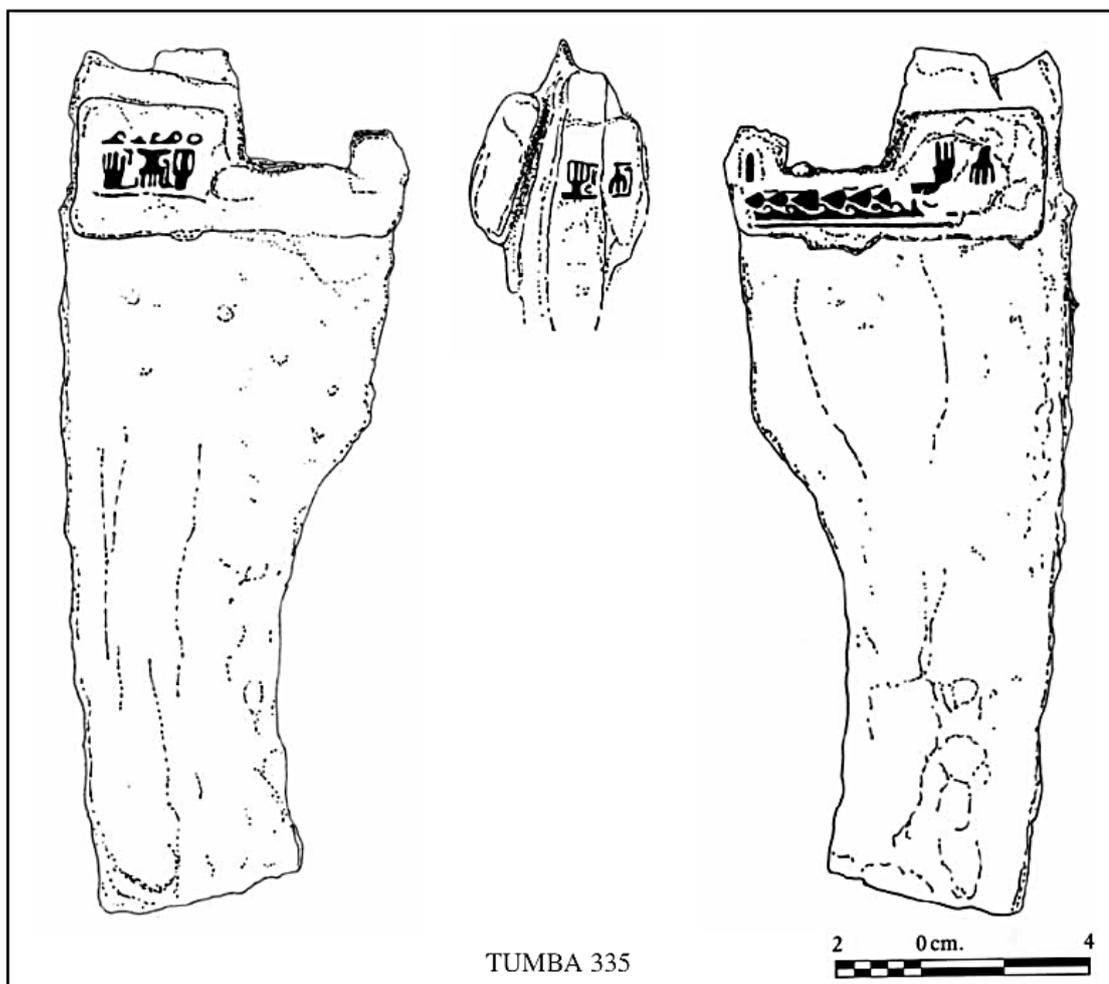


Figura 14: En la figura se muestra la decoración en la guarda basal varias palmeras de cuenco enfrentadas, así como hojas de hiedra y otros grabados, representa los hallazgos arqueológicos de la tumba 335 de la necrópolis ibérica del Cabecico del Tesoro (Verdolay, Murcia). (Fuente: García y Gómez, 2006. Acceso a fuente: 2021)

Las principales características de la hoja de la falcata son la distinta anchura desde la empuñadura hasta la punta y sus acanaladuras. Las distintas partes de la hoja, y que serán desarrolladas a continuación son: el perfil de la hoja, el dorso, el filo dorsal y las acanaladuras.

El filo principal empieza desde la base de la empuñadura con un peculiar perfil en forma de “S” invertida (Figura 15), siendo más delgado hacia la empuñadura y más ancho hacia la punta, esta forma hace que el centro de percusión se desplace más hacia la punta del arma sin que se vea afectado el centro de gravedad de la misma, recayendo más peso en el filo de la hoja lo que repercute positivamente en su capacidad tajante. (Quesada,1997)



Figura 15: Falcata con perfil en S. Fotografía de archivo del Museo Juan Cabré (Fuente: patrimonioculturaldearagon.es. Acceso a fuente: 2021)

Por otra parte, en el dorso de la hoja hay que distinguir entre la parte más cercana a la empuñadura y la parte próxima a la punta en la que se encuentra el filo dorsal.

El dorso de la falcata se encuentra curvado desde la base de la empuñadura hasta la punta, dependiendo del ejemplar la curvatura puede ser más suave o más pronunciada. El dorso presenta una ausencia de nervio al contrario que las machairas, esta ausencia se compensa con el grosor de la hoja lo que facilita un forjado y un templado más homogéneos.

A diferencia de las armas antecesoras un aspecto característico es la combinación del filo principal con el filo dorsal (Figura 16).

En relación con lo anterior, el filo dorsal ocupa aproximadamente el tercio distal del dorso, este filo y su posición hacen que esta espada sea propicia principalmente para tres tipos de golpe; un golpe cortante como el que poseen el resto de sables, un golpe cortante del revés aprovechando la posición primera de la espada, además de esto aprovechando la combinación del filo dorsal y principal permite realizar un golpe punzante. (Quesada,1997)

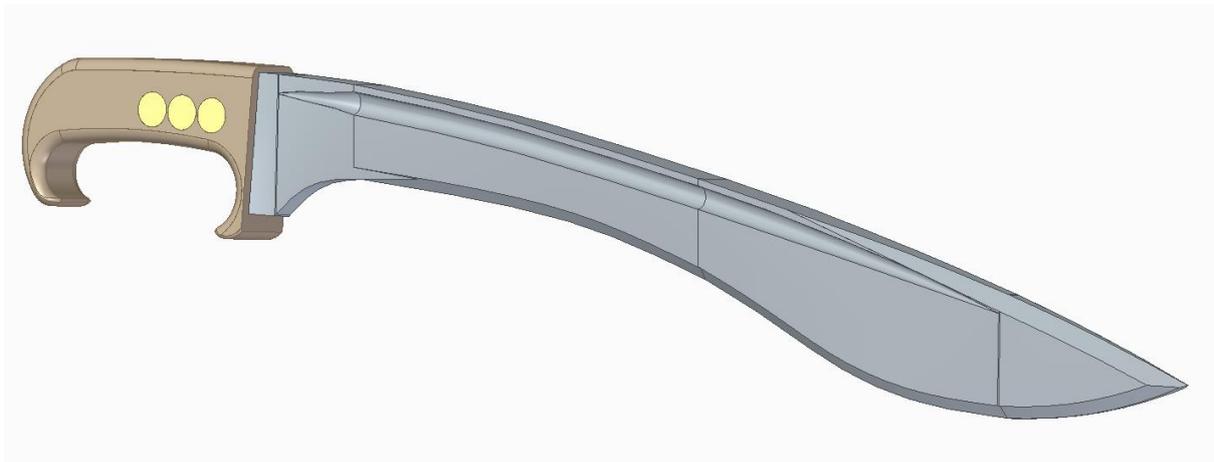


Figura 16: Modelo 3D de una falcata en la que podemos ver la combinación del filo dorsal con el filo principal, este modelo corresponde con la sección 9 de la Figura 9. Elaboración propia en Solid Edge 2020

Por último, de las acanaladuras ya expuestas con anterioridad cabe destacar que estaban presentes en la inmensa mayoría de las hojas de las falcatas aunque muchas de las encontradas en yacimientos arqueológicos las hayan perdido con la corrosión producida por el paso del tiempo. Estas acanaladuras comienzan desde la base de la empuñadura y nunca llegan hasta la punta de la hoja (Figura 17), si no que acaban a unos centímetros de la hoja, siendo estos variables según el ejemplar. (Quesada,1997)



Figura 17: Réplica de una falcata la hallada en la Necrópolis de Palomar de Pintado, Toledo. (Fuente: Jaime Cenalmor, Jaime Darío, 2020. Acceso a fuente: 2021)

Otro aspecto característico de la falcata es su empuñadura que es muy similar a la de un sable, este aspecto no era común en las armas coetáneas. La empuñadura era diseñada para adaptarse a la mano del guerrero que la blandía, por lo que la longitud de misma podía variar, esta empuñadura envuelve la mano y la protege de golpes. La función que tenían las cachas que formaban parte de la empuñadura era la de facilitar el agarre del arma. (Quesada,1997)

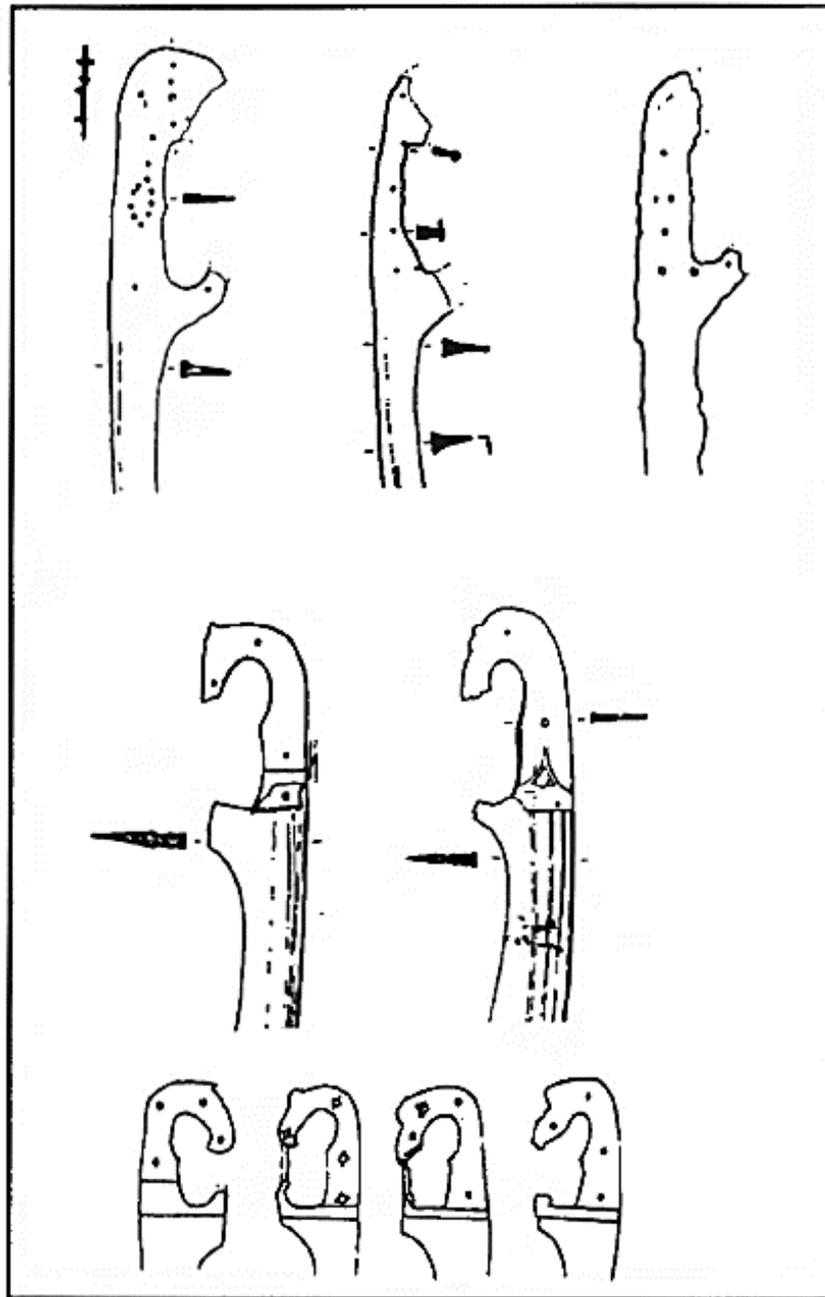


Figura 18: Comparación entre empuñaduras de machairas itálicas (registro superior) e ibéricas (registros inferiores). (Fuente: Quesada, 1997. Acceso a fuente: 2021)

Una de las partes con la que cuenta la empuñadura de la falcata es la guarda basal (Figura 19), que proporcionaba un espacio plano susceptible de ser decorado posteriormente con damasquinado. (Quesada, 1997)

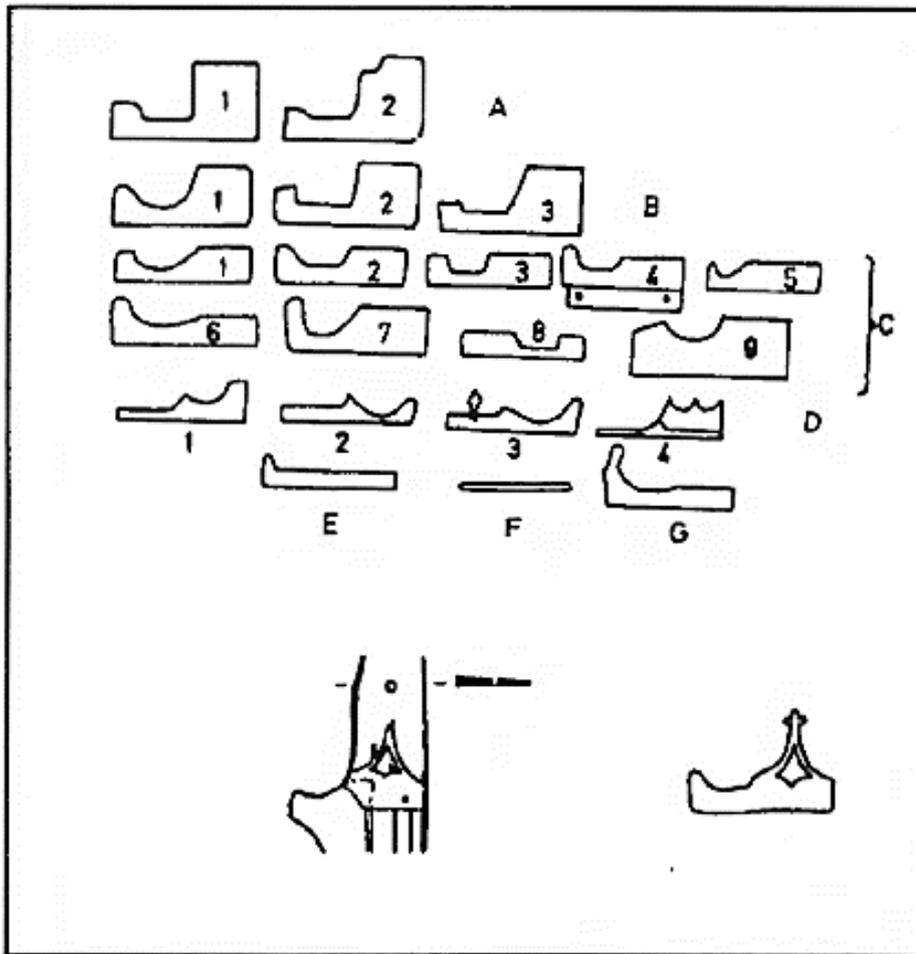


Figura 19: Representación de los diferentes tipos de guarda basal. (Fuente: Quesada, 1997. Acceso a fuente: 2021)

En cuanto a las características de la falcata el último elemento que queda por analizar es el ángulo axial, que mide la curvatura de la espada, así como el ángulo que forma cuando es empuñada, cuanto menor es este ángulo, más curva será la hoja y el golpe tajante se impondrá sobre el golpe punzante. Relacionado con esto, se tiene que cuanto mayor es la longitud de la hoja el ángulo axial tiende a ser menor, por lo que las hojas más cortas tienden a ser más rectas que las alargadas. (Quesada, 1997)

En el aspecto táctico tras las modificaciones que sufrió es una espada que más que usarla como sable es más práctico usarla de manera punzante, gracias al doble filo en la punta y a la curvatura de esta generalmente un poco elevada es una hoja bastante efectiva para los golpes bajos causando graves y profundas heridas punzantes al cuerpo, además estas heridas son bastante anchas debido al incremento gradual de anchura que presenta la hoja. Sin embargo, el mismo ancho de la espada hace que a la hora de perforar la profundidad es menor que en otras con una hoja más fina.

Esta arma es apta para herir tanto con la punta como con el filo, en el caso de la infantería su uso más óptimo es el de asestar las estocadas con la punta, aunque también en este caso permite su uso como sable, ya que, aunque se trate de un filo corto para ser un sable se compensa con la anchura y el grosor de la hoja asestando de igual modo heridas contundentes.

Del mismo modo, de cara a la caballería un sable es más útil que una espada recta, ya que comparándolos usando la misma fuerza a la hora de asestar un golpe se tiene que con el sable es de mayor potencia efectiva. Esto era algo a tener en cuenta ya que podía comprometer la estabilidad del jinete encima del caballo el cual carecía de estribos.

También cabe destacar que en la antigüedad los caballos no eran tan comunes y que por tanto eran los más ricos los dueños de estos, por lo que, al ser un símbolo de estatus era poco probable que estuviesen dispuestos a arriesgar a muchos de estos animales en el combate.

Por otro lado, es sabido que la caballería supone una ventaja si es numerosa, pero si de lo que se dispone son guerreros aislados no supone ninguna ventaja respecto al contrario y sumándole la poca estabilidad de los jinetes sobre los caballos la falcata no era la mejor opción como arma principal para estos jinetes.

Finalmente, a la conclusión que se llega a partir de lo expuesto, es que la falcata es una espada muy corta para el combate a caballo que puede comprometer al jinete por lo su principal uso sería el combate cuerpo a cuerpo, siendo una espada corta y efectiva para ser usada tanto de punta como de filo, a la hora de realizar las transformaciones en las espadas predecesoras para obtener la falcata, se puede afirmar que se tuvieron poco en cuenta las necesidades de la escasa caballería de la época siendo finalmente una espada para el combate a pie aunque eventualmente el guerrero se desplace en la batalla a caballo. (Quesada, 1997)



Figura 20: Representación de un guerrero luchando a pie con una falcata realizado por C. Fernández. (Fuente: arthistoria.com. Acceso a fuente: 2021)

3.MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, para poder introducir el contexto histórico y modelar las espadas con las distintas secciones que presenta la falcata se hizo un proceso de búsqueda en distintos artículos de investigación, los cuales se encuentran citados en las distintas referencias que aparecen a lo largo de este documento.

A la hora del modelado de las hojas se toma como referencia a Quesada (Figura 21) en lo cuanto al boceto. Las acanaladuras se basarán en las presentes en la Figura 9, como no se disponen de datos claros sobre las medidas de las secciones de las hojas, para su modelado y posterior análisis, se ha hecho una aproximación de ellos.

El software empleado para dicho modelado es Solid Edge 2020, en el cual se diseñan varias piezas para finalmente ensamblarlas entre sí creando las 12 falcatas completas correspondientes a las distintas secciones según las acanaladuras que presentan (Figura 9).

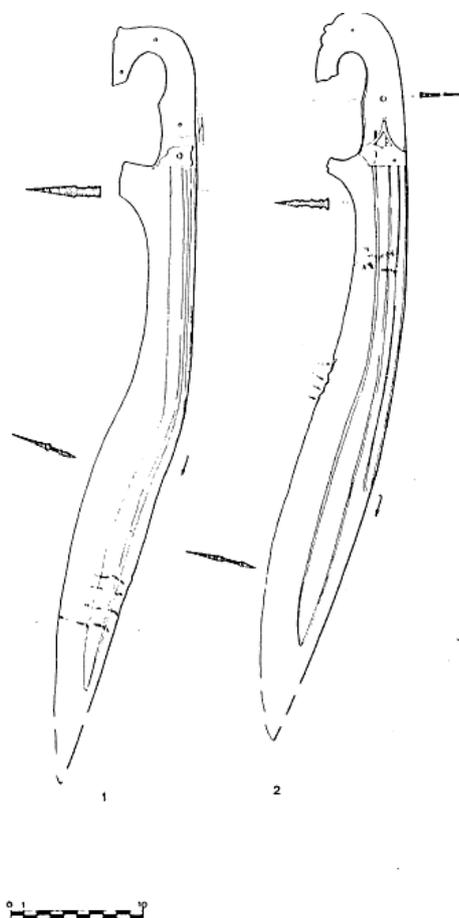


Figura 21: Representación de falcatas encontradas en la Península Ibérica. (Fuente: Quesada, 1990. Acceso a fuente: 2021)

De cara al modelado hay que distinguir entre las distintas piezas de las que se compone la falcata.

Dicho esto, la parte más característica y reconocible de esta espada es la hoja, cuyas principales medidas son (Figura 22):

- Ancho de la base: 6 cm
- Ancho máximo de la hoja: 6 cm
- Ancho mínimo de la hoja: 4 cm
- Ancho del ensamble con la empuñadura: 2 cm
- Ángulo axial: $88,79^\circ$
- Longitud de la hoja: 50 cm
- Longitud del ensamble con la empuñadura: 6,63 cm

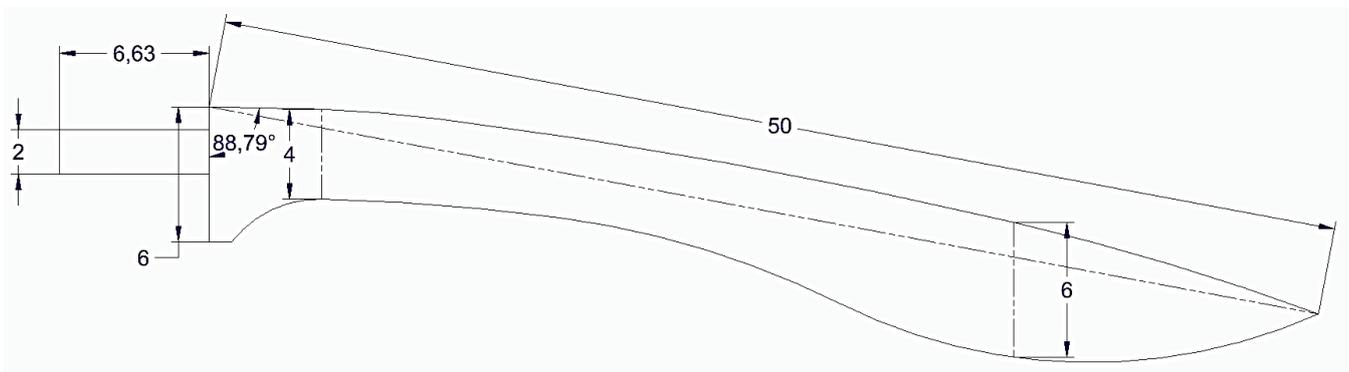


Figura 22: Boceto del alzado de la hoja de la falcata modelada en el que aparecen las principales medidas de la misma en centímetros. Elaboración propia en Solid Edge 2020

La empuñadura junto con la hoja son las dos partes que conforman el grueso de la espada, las dimensiones de la empuñadura se muestran a continuación:

- Ancho de la base de la base: 7 cm
- Ancho del ensamble con la base de la hoja: 6 cm
- Ancho del ensamble con la hoja: 2 cm
- Longitud del ensamble con la hoja: 6,63 cm
- Longitud máxima de la empuñadura: 12 cm
- Longitud mínima de la empuñadura: 10,23 cm

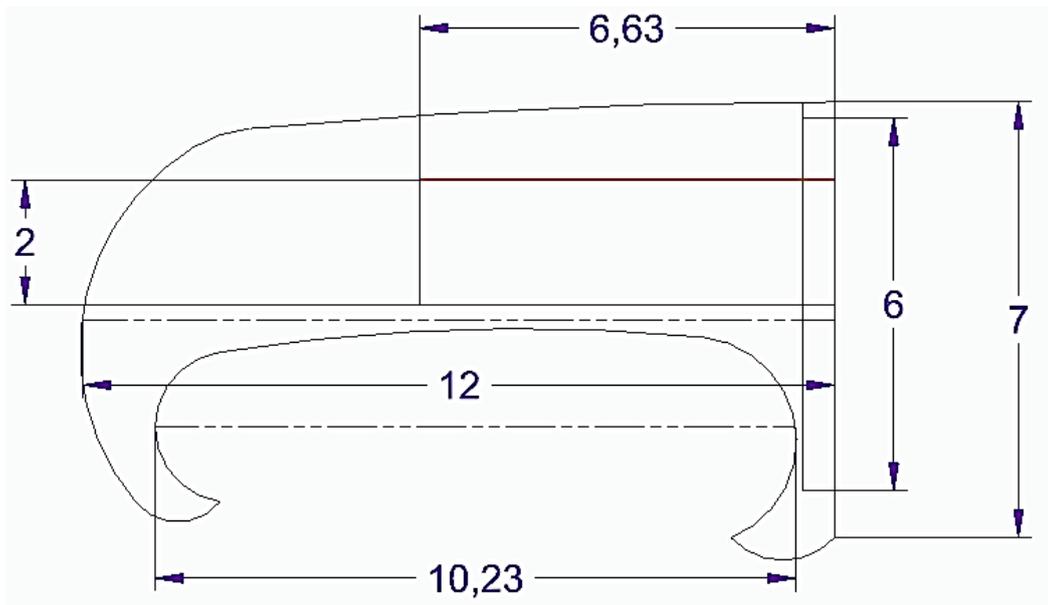


Figura 23: Boceto del alzado de la hoja de la empuñadura modelada en el que aparecen las principales medidas de la misma en centímetros. Elaboración propia en Solid Edge 2020

Para poder conectar estas dos piezas es necesario algún elemento para poder unirlos, aunque en la época se usaban broches, en este caso se ha diseñado un tornillo y una tuerca, cuyas medidas las encontramos en la Figura 24.

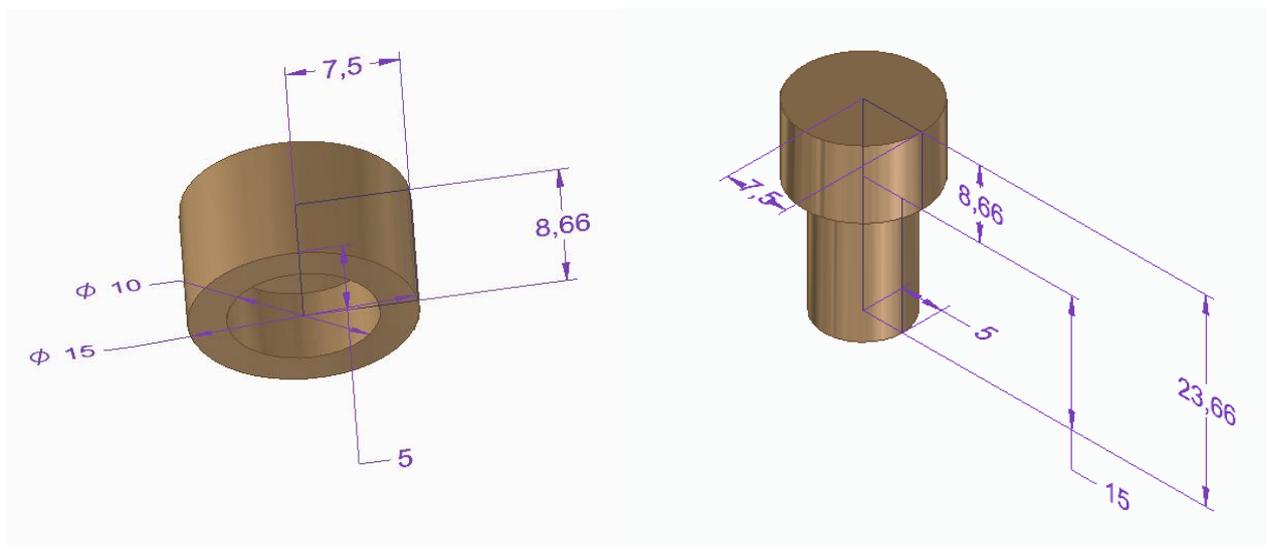


Figura 24: A la izquierda se muestra la representación de la tuerca empleada para ensamblar la factata en el software y a la derecha se encuentra el tornillo empleado con este mismo fin, ambos con sus medidas correspondientes en milímetros.

Elaboración propia en Solid Edge 2020

Para finalizar con esta parte de piezas, y ensamblaje, de la falcata es preciso aclarar que se utilizan tres conjuntos (tuerca-tornillo), como el representado en la Figura 24, a partir de los cuales se realizan tres agujeros tanto en la empuñadura, como en el saliente de la espada destinado al ensamblaje, cuya profundidad, y dimensiones, son las correspondientes para que ambas piezas sean coincidentes (Figura 25).

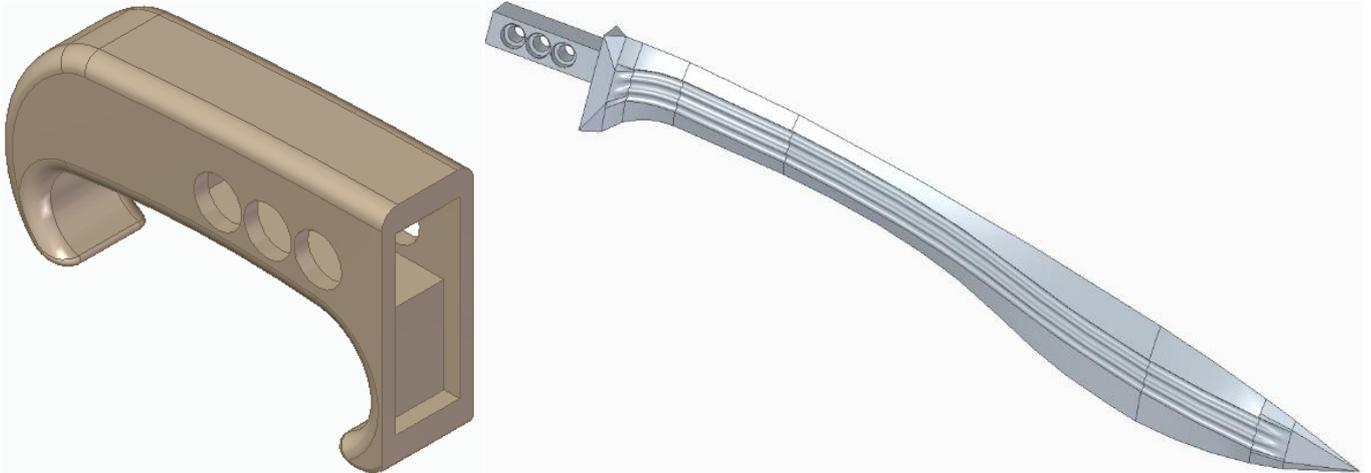


Figura 25: Representación de la empuñadura y una hoja correspondiente a la sección de acanaladura 8 de la figura 9, en la que podemos ver los tres agujeros pasantes por los que se ensamblan las dos partes de la espada con los tornillos y tuercas.
Elaboración propia en Solid Edge 2020

En otro orden de temas, se tiene la simulación, para la cual se ha utilizado el software CATIA V5R21. Como las espadas modeladas están con la extensión de Solid Edge se procederá a guardarlas en una extensión compatible con el software empleado y a mallar las 12 hojas de las falcatas para poder proceder a su simulación.

Una vez hecho esto, con el fin de analizar las hojas hay que tener en cuenta varios datos, como el peso de la espada y la resistencia a compresión de la carne humana que es 5 Kg/cm^2 (Gorjón, Herraiz, Lucía y Vázquez de Prada, 2020).

Para el ensayo es común la fuerza de impacto que se define como:

$$f=P*g \quad (1)$$

Siendo “P” el peso de la espada y “g” la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).

El ensayo se trata de simular la deformación que sufre la espada cuando se somete a un golpe ejecutado de arriba abajo, tomándose como fuerza que ejerce una persona para asestar dicho golpe 80 Kg más la fuerza de impacto:

$$F_1 = w_1 + f \quad (2)$$

Siendo “ w_1 ” la fuerza que ejerce la persona en el golpe de arriba abajo (80 kg) y “ f ” la fuerza de impacto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método de elementos finitos (MEF o FEM) consiste en dividir la geometría de la pieza a analizar en partes mucho más pequeñas, las cuales se conocen como elementos, esto permite dividir un problema complejo en problemas más simples, se utiliza sobre todo a la hora de hacer simulaciones computacionales.

Los elementos finitos se conectan entre sí por lo que se denominan puntos nodales o nodos, el conjunto que forman todos estos elementos y nodos es conocido por malla. Cuanto menor es el tamaño y el número de elementos presentes en la malla más exactos y precisos serán los resultados de dicho análisis.

El MEF principalmente se usa para poder calcular computacionalmente el desplazamiento, la deformación y las tensiones de un sólido deformable al que se le aplican criterios de resistencia o rigidez.

En relación con lo anterior, cabe destacar que los sólidos deformables se rigen de acuerdo con las ecuaciones que se presentan a continuación:

La ecuación de equilibrio se define por:

$$\sigma_{ij,j} + X_i = 0 \quad (3)$$

siendo “ σ ” el tensor de las tensiones a las que se encuentra sujeto el sólido, y X es la fuerza por unidad de volumen que ejercen sobre el mismo.

Ecuación de comportamiento:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\mu_{ij} + \mu_{ji}) \quad (4)$$

en esta ecuación se utiliza “ ϵ ” para hacer referencia a la deformación, mientras que “ μ ” se utiliza para los desplazamientos.

Ley de comportamiento:

$$\sigma_{ij} = \lambda\theta\delta_{ij} + 2G\epsilon_{ij} \quad (5)$$

donde se tiene que " λ " y " G " son unas constantes de cada material, las cuales dependen de las características que presenta dicho material.

Además de lo expuesto deben ser consideradas las condiciones de contorno y el teorema de trabajos virtuales cuya ecuación es la siguiente:

$$\int_D \epsilon^{\psi T} \sigma = \int_D \psi^T X dv + \int_{\delta D} \psi^{cT} t^c ds \quad (6)$$

donde " ψ " es el campo de desplazamientos y " t " las tensiones superficiales. Este teorema enuncia que dado un cuerpo rígido en equilibrio sobre el que actúa un sistema de fuerzas, el trabajo producido por las fuerzas externas será igual al producido por los esfuerzos internos. (Fachinotti, Tourn, 2015)

Los elementos finitos que se han empleado en este análisis son tetraédricos, en cuanto al tamaño utilizado ha sido 3 mm, mientras que en las zonas en las que es necesaria una mayor precisión, como son las acanaladuras, se ha optado por usar elementos locales más pequeños de 0,3 mm.

CATIA emplea fundamentalmente tres hipótesis a la hora de recabar los resultados de la simulación de una pieza:

- Hipótesis de pequeños desplazamientos: supone que los desplazamientos producidos por las cargas son mucho más pequeños que las dimensiones de la pieza que se analiza.
- Hipótesis de pequeñas deformaciones: implica que las deformaciones producidas por las cargas que se aplican son infinitesimales.
- Ley constitutiva lineal: se usa la hipótesis de un modelo elástico lineal, relacionando linealmente el esfuerzo que se aplica con la deformación que sufre. (Guzmán, 2014).

A continuación, se procede a presentar y analizar los resultados del análisis usando elementos finitos:

Hoja 1

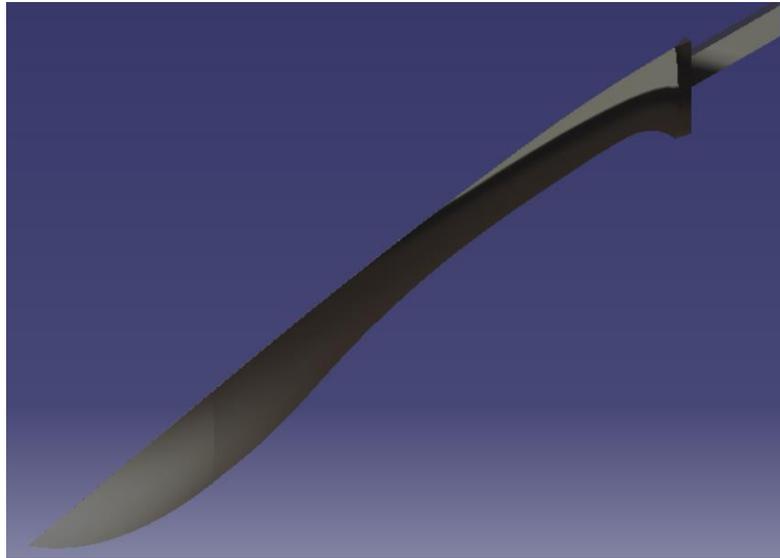


Figura 26: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 1. Elaboración propia en CATIA V5R21.

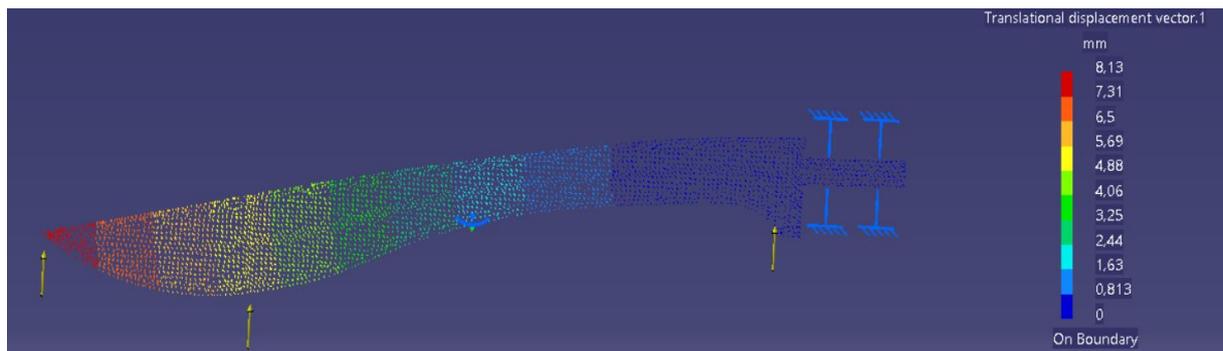


Figura 27: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 1. Elaboración propia en CATIA V5R21.

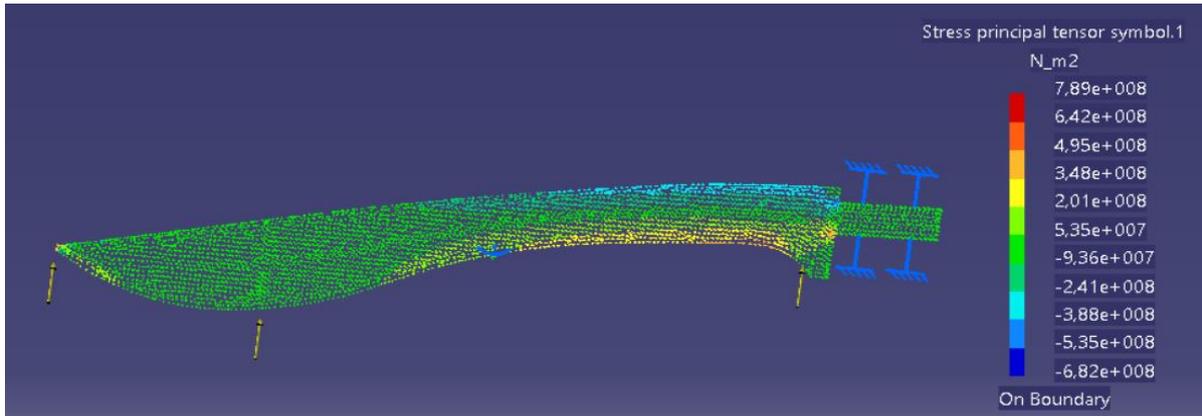


Figura 28: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 1. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 6 de la Figura 9 tiene una acanaladura convexa a cada lado de la hoja de forma simétrica, siendo el espesor máximo de esta hoja 0,5 cm, tiene contrafilo solo en la punta.

Hoja 2

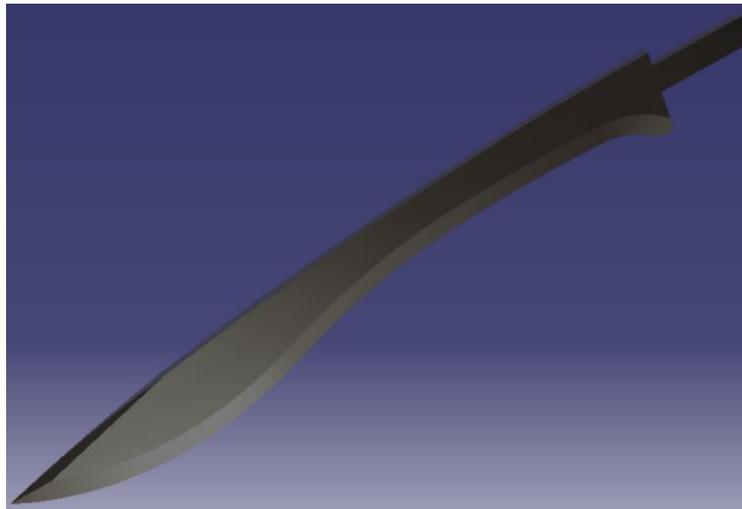


Figura 29: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 2. Elaboración propia en CATIA V5R21.

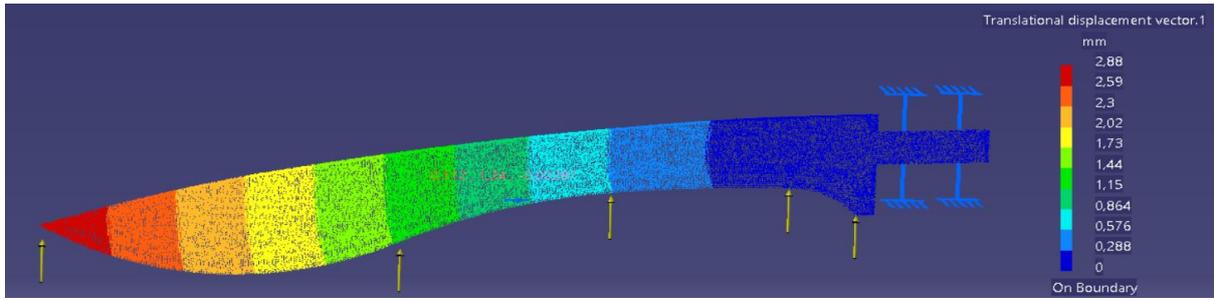


Figura 30: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 2. Elaboración propia en CATIA V5R21.

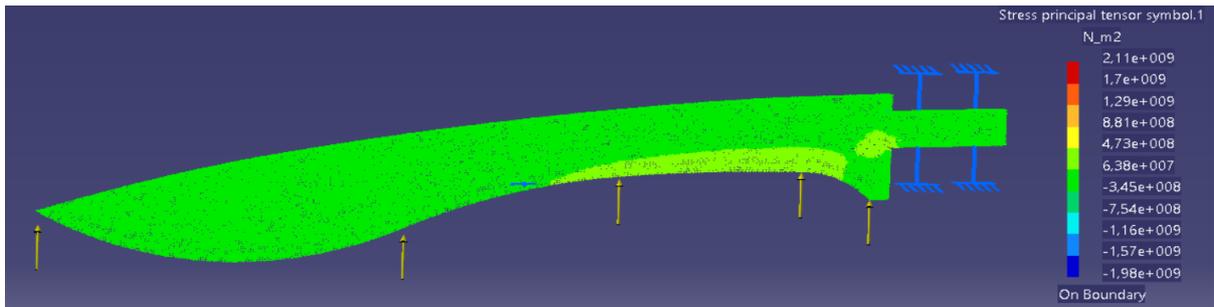


Figura 31: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 2. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 7 de la Figura 9 no tiene acanaladuras, su espesor máximo es de 0,5 cm, tiene contrafilo solo en la punta.

Hoja 3



Figura 32: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 3. Elaboración propia en CATIA V5R21.

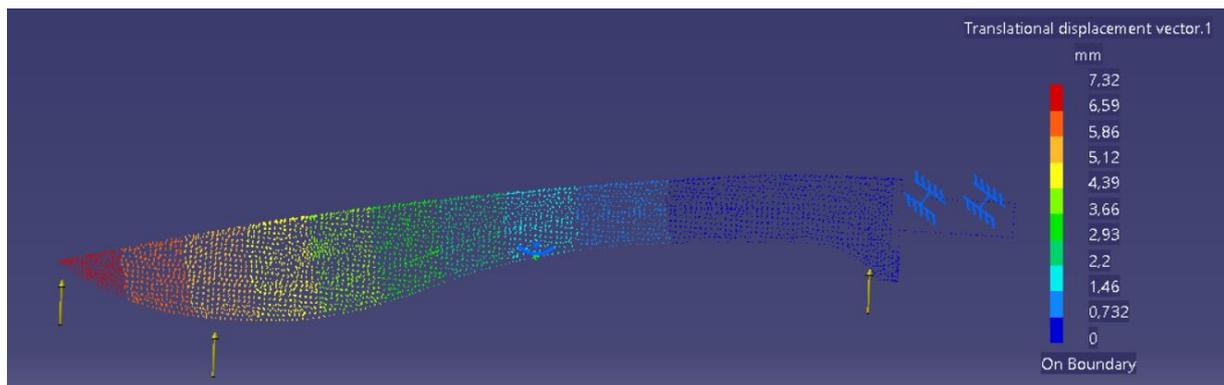


Figura 33: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 3. Elaboración propia en CATIA V5R21.

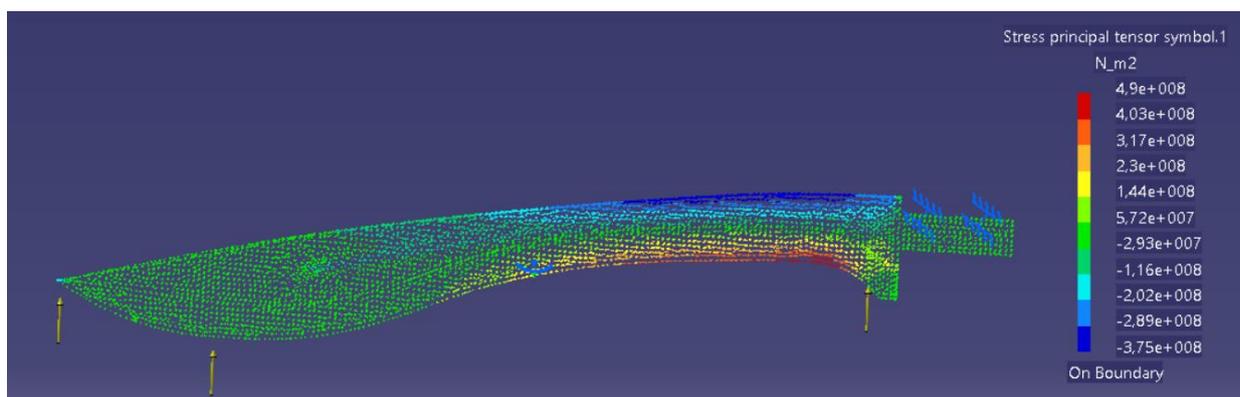


Figura 34: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 3. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 8 de la Figura 9 tiene dos acanaladuras anchas una a cada lado de la hoja de forma simétrica, la longitud de las acanaladuras es 39,37 cm mientras que su profundidad 0,22 cm, tiene contrafilo solo en la punta.

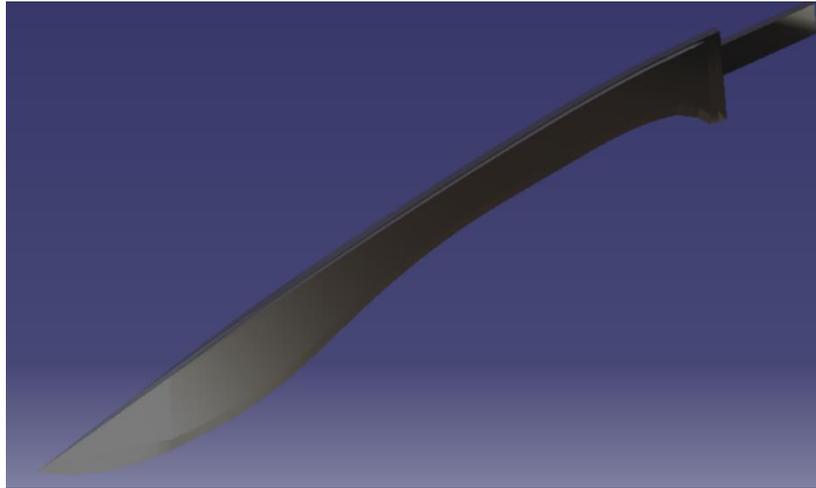


Figura 35: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 4. Elaboración propia en CATIA V5R21.

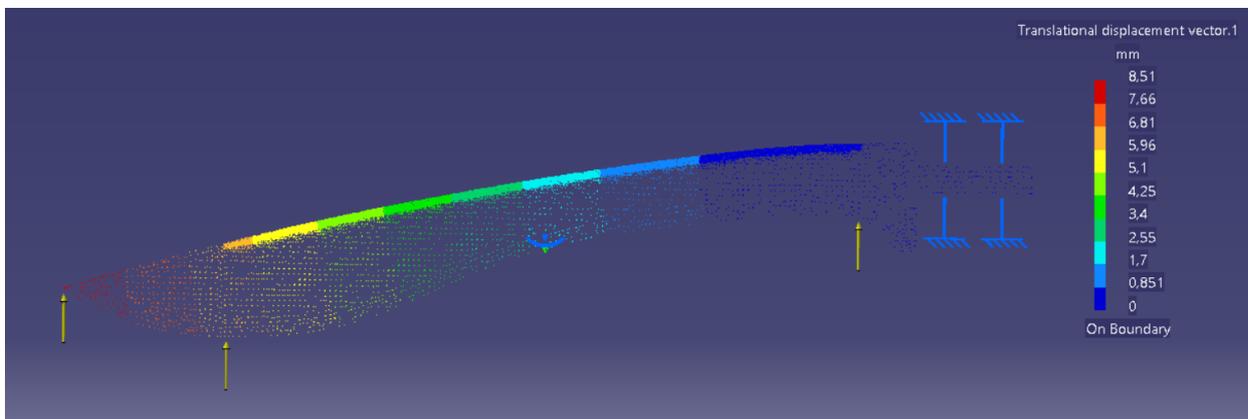


Figura 36: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 4. Elaboración propia en CATIA V5R21.

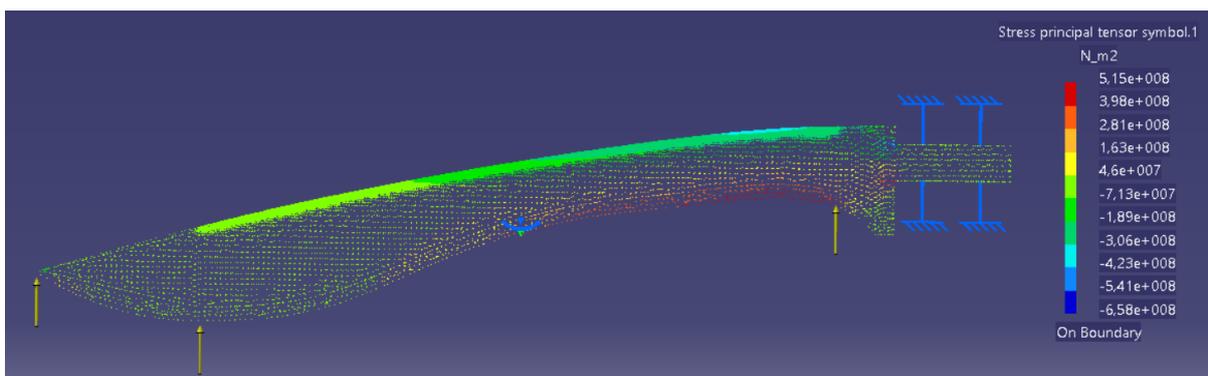


Figura 37: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 4. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 9 de la Figura 9 tiene una acanaladura estrecha en la parte superior de cada cara de la hoja de forma simétrica, la longitud de las acanaladuras es de 38,62 cm, su profundidad es de 0,12 cm, tiene contrafilo solo en la punta.

Hoja 5



Figura 38: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 5. Elaboración propia en CATIA V5R21.

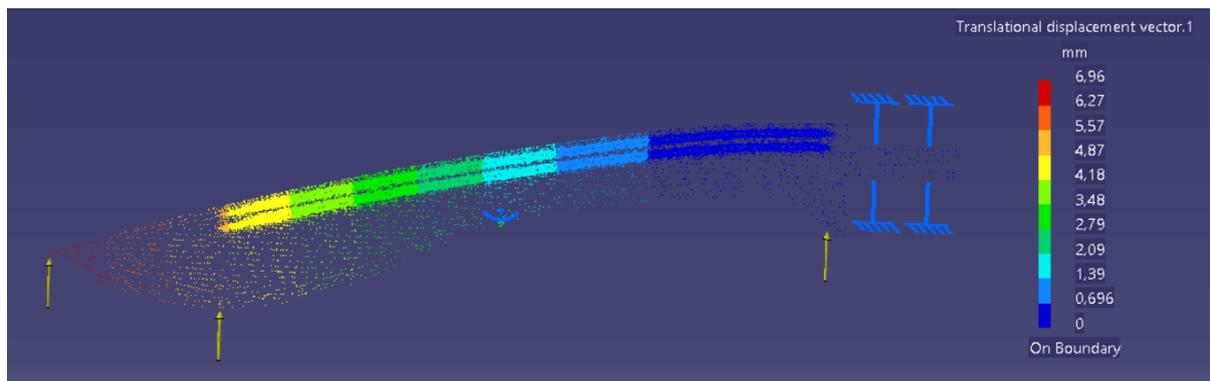


Figura 39: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 5. Elaboración propia en CATIA V5R21.

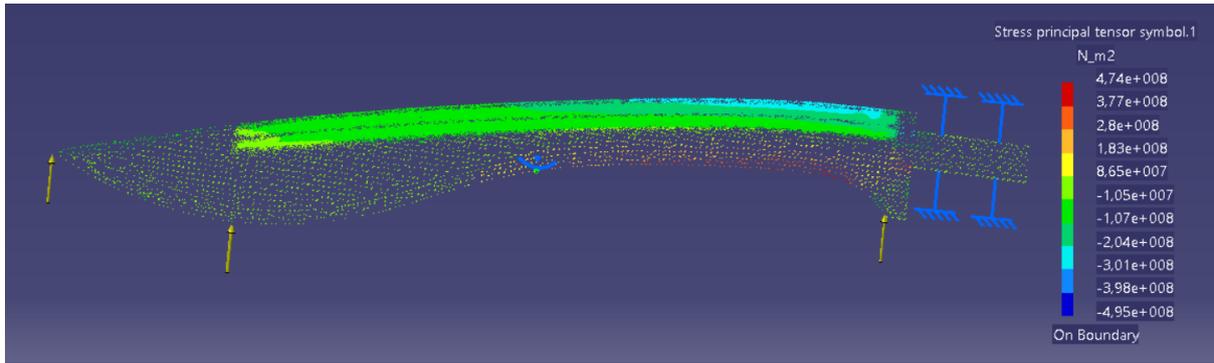


Figura 40: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 5. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 10 de la Figura 9 tiene dos acanaladuras estrechas en la parte superior de cada cara de forma simétrica, la longitud de las acanaladuras es 37,2 cm, mientras que su profundidad es 0,18 cm, tiene contrafilo solo en la punta.

Hoja 6



Figura 41: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 6. Elaboración propia en CATIA V5R21.

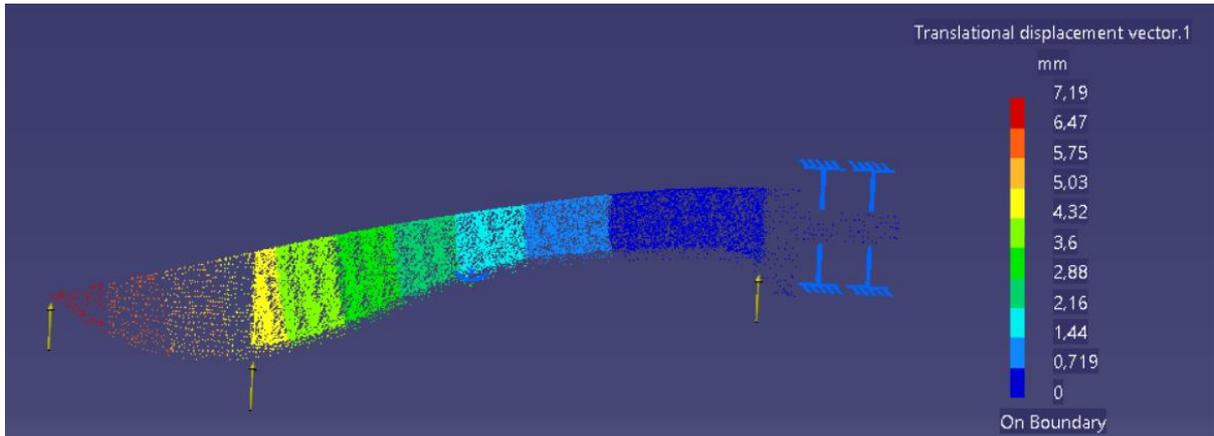


Figura 42: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 6. Elaboración propia en CATIA V5R21.

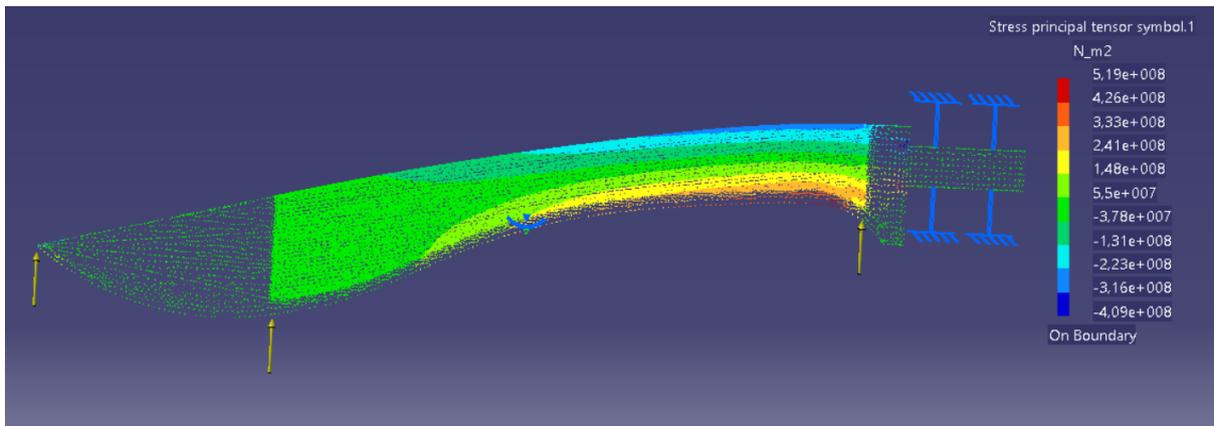


Figura 43: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 6. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 11 de la Figura 9 tiene tres acanaladuras estrechas, con una curvatura más suave repartidas a lo largo de cada cara de forma simétrica, la longitud de las acanaladuras es de 36,52 cm y de profundidad 0,12 cm, 0,1 cm y 0,08 cm siendo la última la más cercana al filo, tiene contrafilo solo en la punta.

Hoja 7

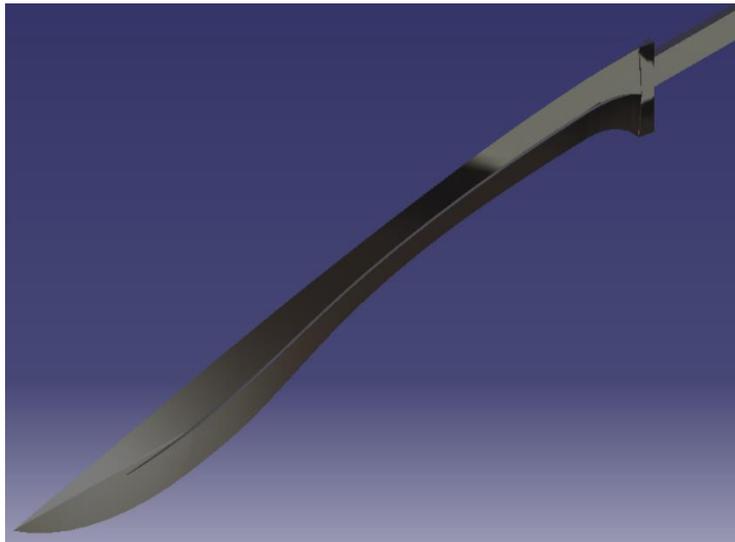


Figura 44: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 7. Elaboración propia en CATIA V5R21.

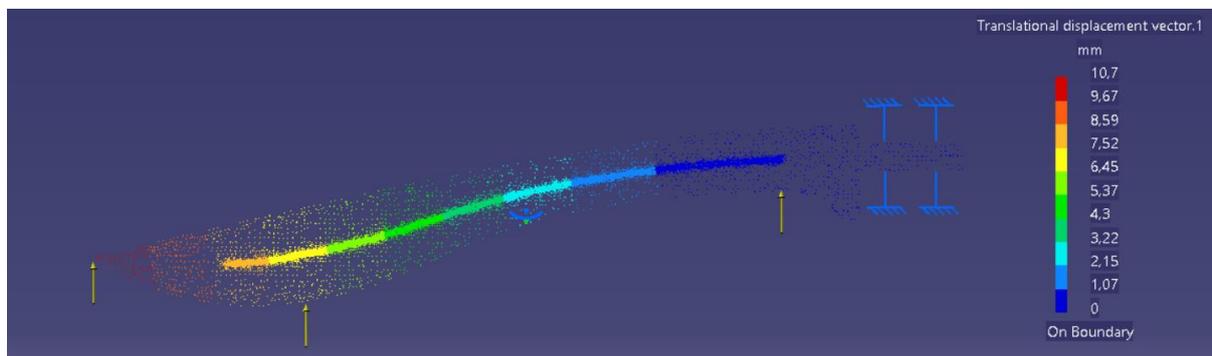


Figura 45: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 7. Elaboración propia en CATIA V5R21.

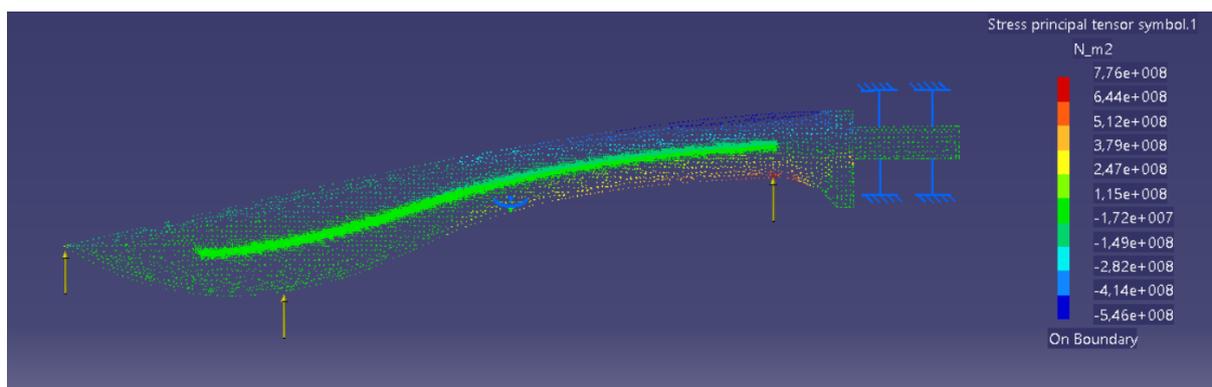


Figura 46: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 7. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 12 de la Figura 9 tiene una única acanaladura estrecha en el centro de cada cara de la hoja simétricamente, la longitud de la acanaladura es de 37,65 cm y su profundidad 0,12 cm, tiene contrafilo por toda la hoja.

Hoja 8

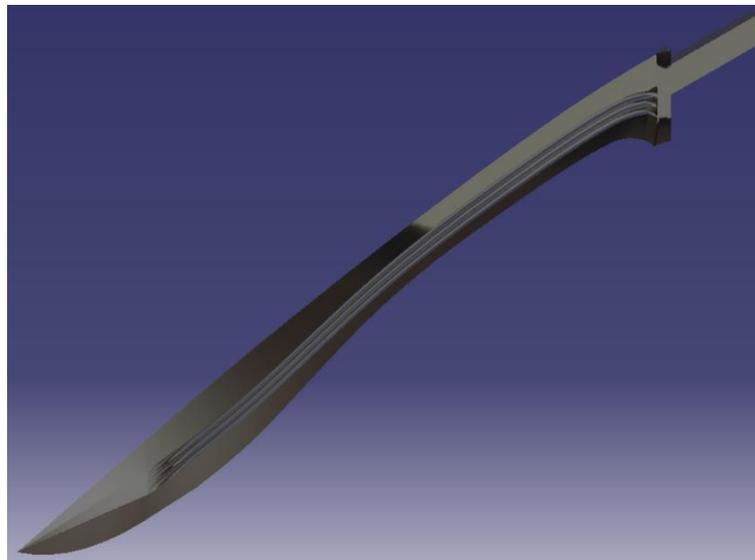


Figura 47: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 8. Elaboración propia en CATIA V5R21.

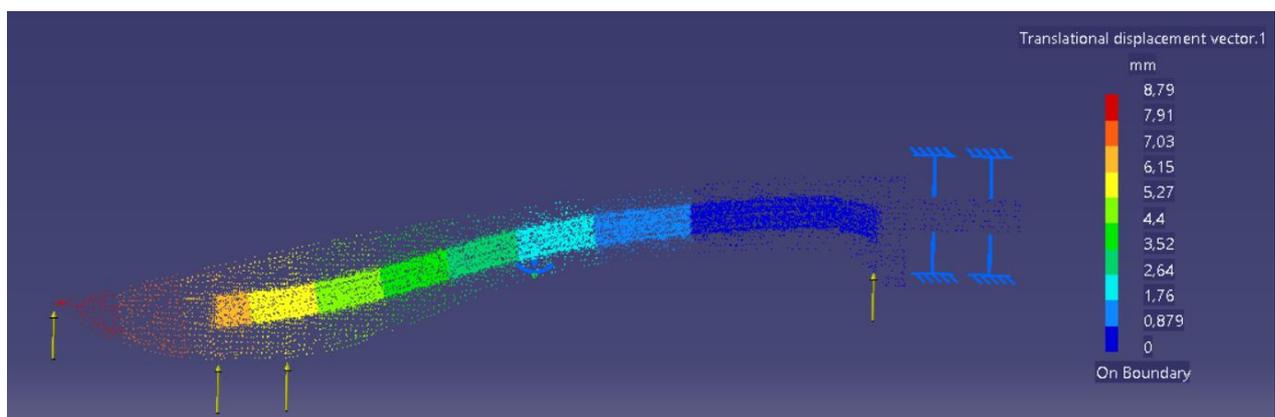


Figura 48: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 8. Elaboración propia en CATIA V5R21.

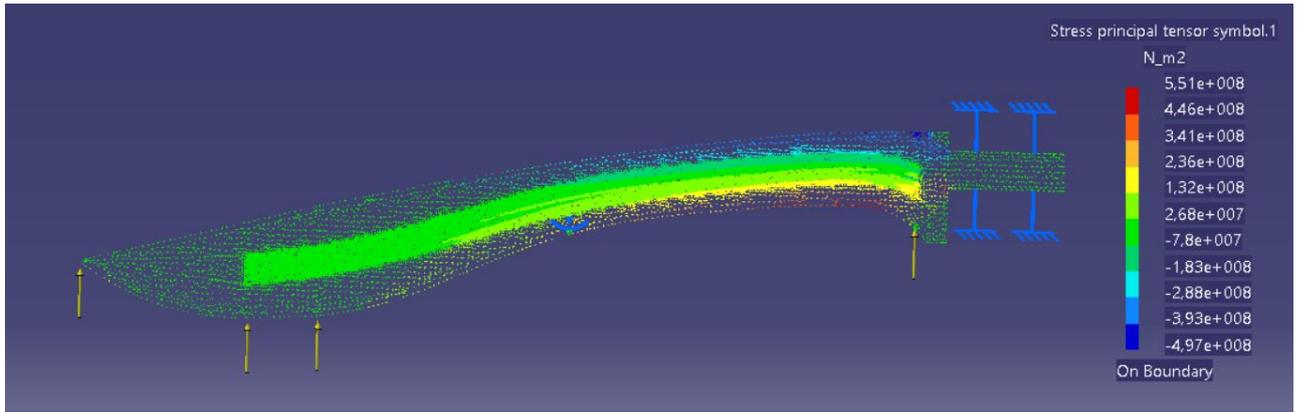


Figura 49: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 8. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 13 de la Figura 9 tiene tres acanaladuras estrechas en el centro de cada cara de la hoja de forma simétrica, la longitud de las acanaladuras es de 37,93 cm y de profundidad 0,2 cm, tiene contrafilo por toda la parte superior de la hoja.

Hoja 9



Figura 50: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 9. Elaboración propia en CATIA V5R21.

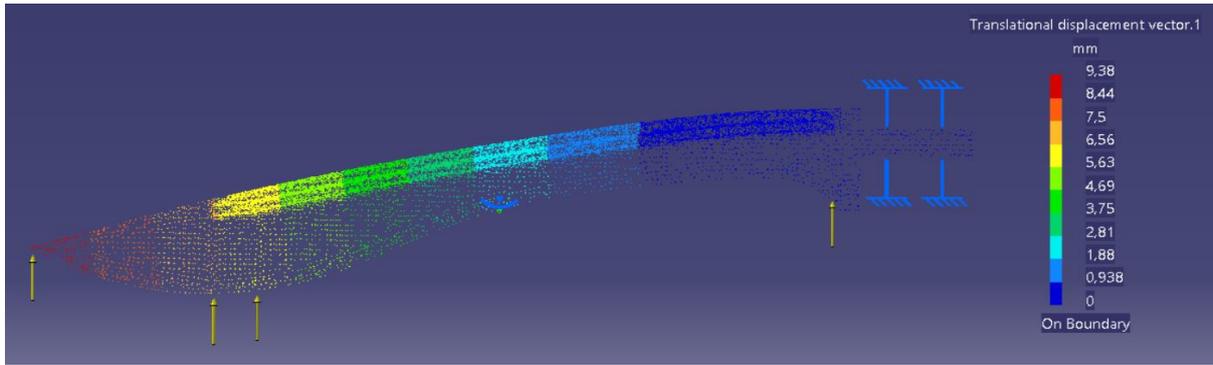


Figura 51: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 9. Elaboración propia en CATIA V5R21.

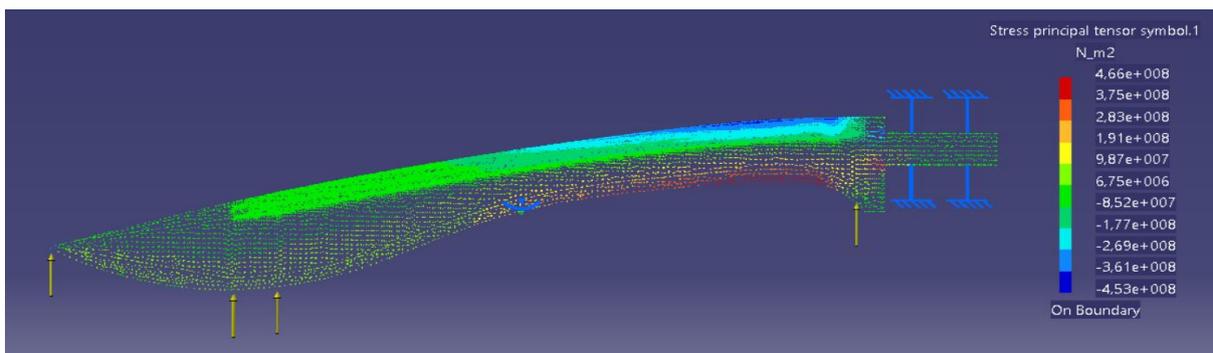


Figura 52: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 9. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 14 de la Figura 9 tiene una acanaladura estrecha en la parte superior de cada cara de la hoja de 37,25 cm de longitud y una profundidad de 0,3 cm, estando la acanaladura del lado izquierdo más arriba que la presente en el lado derecho solo tiene contrafilo en la punta.

Hoja 10



Figura 53: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 10. Elaboración propia en CATIA V5R21.

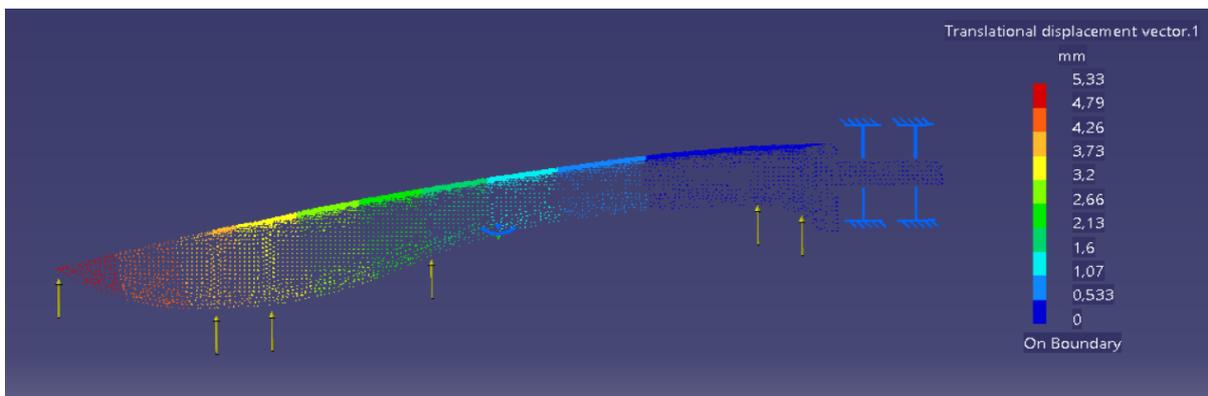


Figura 54: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 10. Elaboración propia en CATIA V5R21.

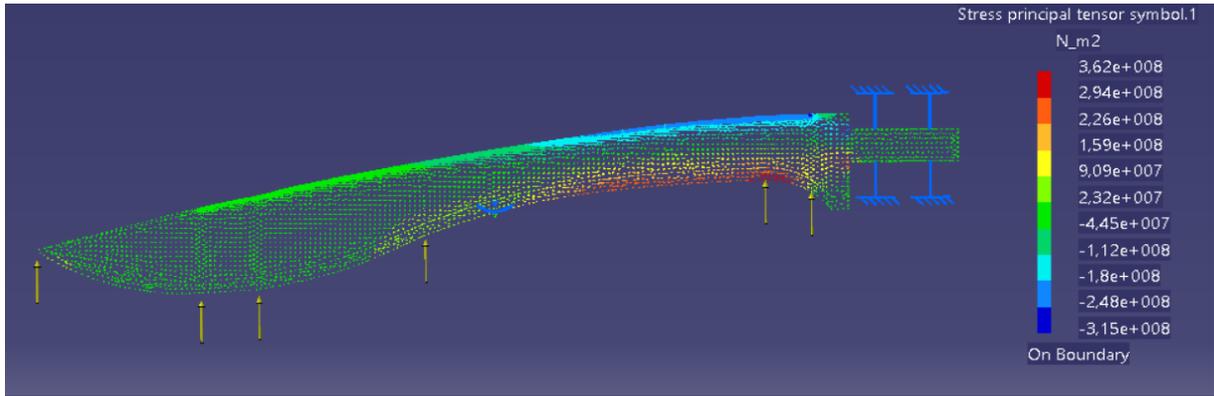


Figura 55: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 10. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 15 de la Figura 9, tiene una única acanaladura estrecha en la parte superior de la hoja, en el dorso, de una longitud de 37,83 cm y profundidad de 0,24 cm solo tiene contrafilo en la punta.

Hoja 11



Figura 56: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 11. Elaboración propia en CATIA V5R21.

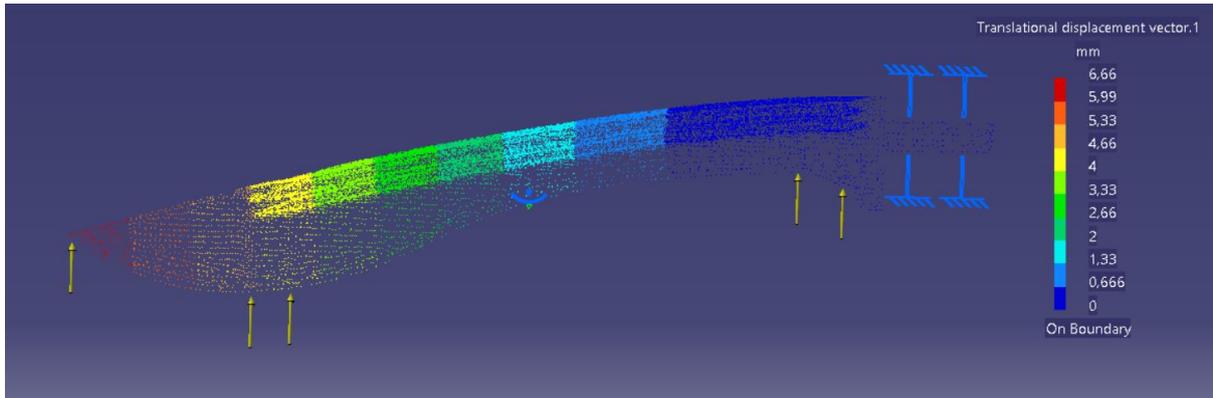


Figura 57: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 11. Elaboración propia en CATIA V5R21.

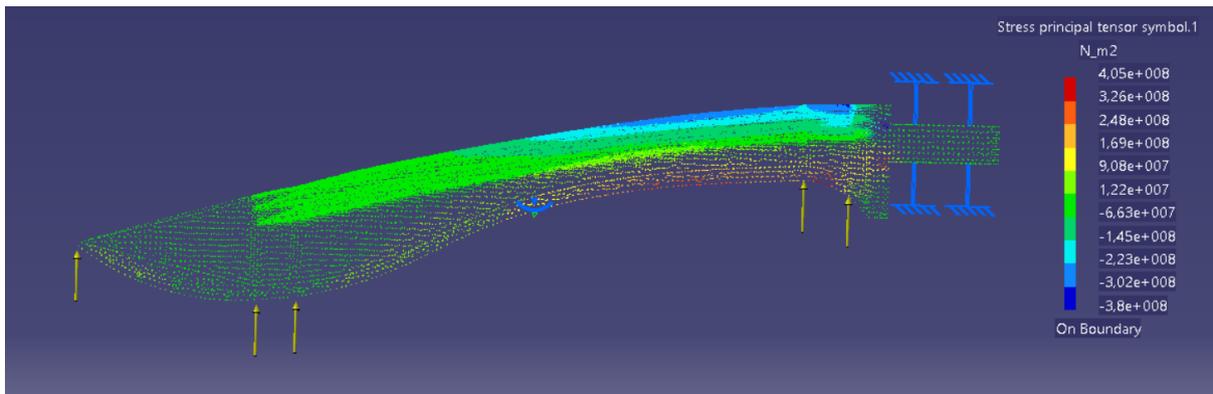


Figura 58: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 11. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 16 de la Figura 9 presenta dos tipos de acanaladuras, tiene una acanaladura estrecha de longitud 36,92 cm y 0,24 cm de profundidad, mientras que tiene una acanaladura estrecha en la parte superior de cada cara, siendo la longitud de estas al igual que el superior 36,92 cm y su profundidad de 0,3 cm, estando la del lado derecho más hacia arriba que la del izquierdo, solo tiene contrafilo en la punta.

Hoja 12

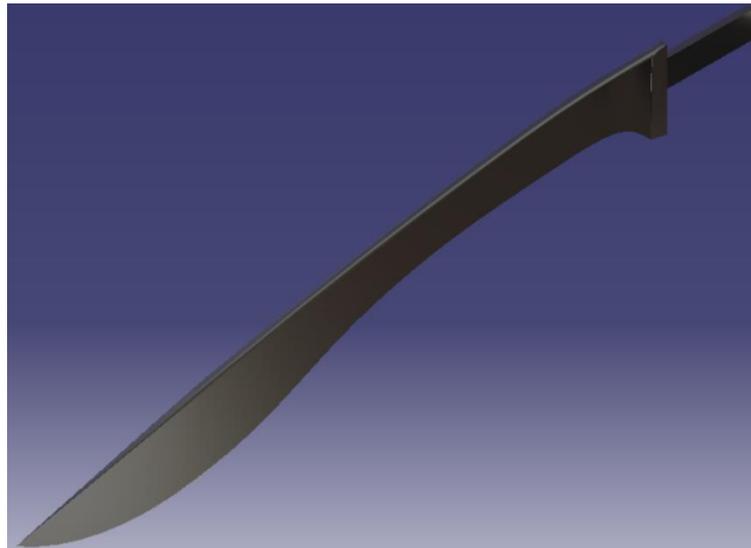


Figura 59: Perspectiva isométrica del modelo de la hoja 12. Elaboración propia en CATIA V5R21.

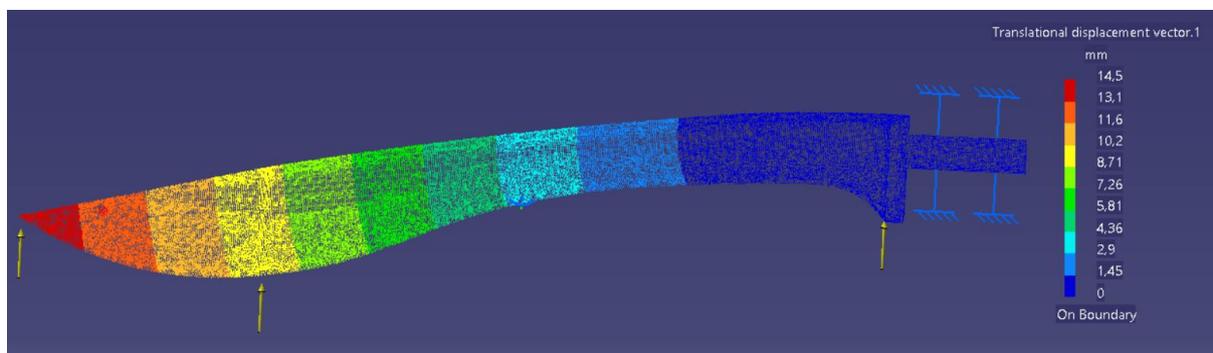


Figura 60: Desplazamiento resultante de la simulación para la hoja 12. Elaboración propia en CATIA V5R21

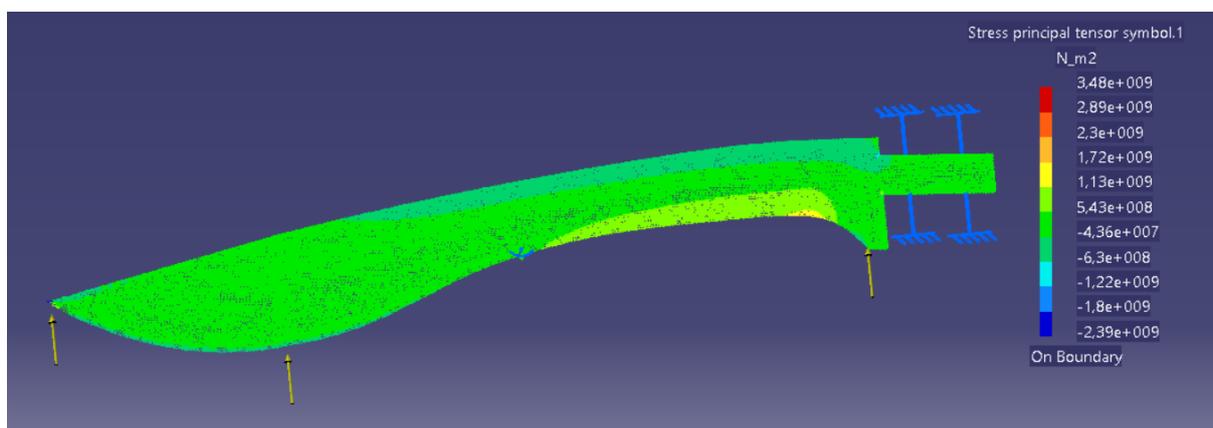


Figura 61: Tensión principal resultante de la simulación para la hoja 12. Elaboración propia en CATIA V5R21.

Esta hoja corresponde a la sección 17 de la Figura 9, no presenta acanaladura, sino que se trata de una hoja mucho más delgada que las anteriores con un nervio de forma circular de 0,5 cm de espesor en la parte superior de la hoja, en el dorso, mientras que en el resto de la hoja la parte más ancha es 0,2 cm, no presenta contrafilo.

De cara a los elementos, se puede ver como los lugares donde se acumulan coinciden con las zonas de las hojas donde se encuentran las acanaladuras, esto es debido a que al ser zonas con detalles más pequeños es necesario situar más elementos en estas localizaciones para ver cómo se comporta el material en ellas.

En cuanto a las tensiones se puede apreciar como la máxima tensión en las hojas, aunque en algunas se evidencien más que en otras, aparece en la zona del filo principal más cercana a la guarda lateral, esto se debe a los concentradores de tensiones, que son toda clase de discontinuidades geométricas o cambios en la sección que causan un aumento localmente en el esfuerzo por encima de las tensiones nominales.

Los datos en los cuales se ha basado la clasificación de las hojas se presentan en la siguiente tabla:

	Peso (Kg)	Fuerza (N)	Desplazamiento (mm)	Tensión principal (N*m ²)	Desplazamiento/Peso (mm/Kg)
Hoja 1	0,564	5,5272	8,13	500000000	14,41
Hoja 2	0,761	7,4578	2,88	345000000	3,78
Hoja 3	0,447	4,3806	8,66	476000000	19,37
Hoja 4	0,57	5,586	8,51	500000000	14,93
Hoja 5	0,523	5,1254	6,96	474000000	13,31
Hoja 6	0,421	4,1258	7,19	519000000	17,08
Hoja 7	0,435	4,263	10,7	776000000	24,60
Hoja 8	0,474	4,6452	8,79	551000000	18,54
Hoja 9	0,521	5,1058	9,38	466000000	18,00
Hoja 10	0,575	5,635	5,33	362000000	9,27
Hoja 11	0,488	4,7824	6,66	409000000	13,65
Hoja 12	0,264	2,5872	14,5	348000000	54,92

Figura 62: Tabla que muestra los resultados obtenidos por las hojas tras la simulación. Elaboración propia en Microsoft Excel.

Se ha visto que cada una de las secciones posee un determinado desplazamiento que es en función de su peso, en base a este se ha hecho una clasificación desde el punto de vista mecánico y por ello la mejor hoja es la 2 a consecuencia de que las espadas macizas, es decir con más material y más pesadas presentan una mayor rigidez lo que las hace más resistentes a los esfuerzos a los que están sometidas.

En la misma línea, la consecuencia favorable de las espadas con mayor peso es que aporta una mayor potencia al golpe y capacidad de penetración tanto en la carne humana como en los escudos y defensas del rival, también proporciona al arma una mayor resistencia. (Quesada, 1988)

Como puede verse en la clasificación las hojas con acanaladuras más anchas o a las que se les ha quitado más material son peores que el resto, estas hojas son la 3, 5, 7, 8, 9 y 12.

Lo que concuerda con lo dicho por Quesada que afirma que las acanaladuras más estrechas y profundas son más óptimas que las más anchas y superficiales. (Quesada, 1988)

En referencia a lo comentado, las acanaladuras estrechas y profundas son mejores ya que aplicando estas en la hoja hace que se pierda menos rigidez.

Relacionado con lo anterior, hojas 1 y 4 tienen una relación similar, pesan aproximadamente lo mismo, sin embargo, aun pesando la hoja 4 más que la 1, es mejor la hoja 1, debiéndose esta diferencia al desplazamiento como consecuencia de las acanaladuras en la hoja, haciendo que se acumule mayor tensión y por lo tanto se genere esta diferencia de desplazamiento siendo la hoja 4 menos adecuada para el combate.

El caso de las hojas con pesos similares como son la 3, 6, 8 y 11 el factor fundamental que influye a la hora de clasificarlas es el desplazamiento que sufre la hoja al asestar un golpe, se pueden observar estos datos en la Figura 62.

La hoja 12 es la menos óptima para combatir debido a su relación desplazamiento-peso, esto concuerda con lo expuesto por Quesada que consideraba que esta sección a pesar de ser la más parecida a las antiguas machairas es la menos eficiente a causa de la delgadez de la hoja respecto al dorso de esta. (Quesada, 1988)

Para poder hacer una comparación entre las distintas las hojas diseñadas según las secciones diferentes secciones más comunes de la falcata (Figura 9), se ha generado una relación entre el desplazamiento que sufre la hoja al asestar un golpe y el peso de la misma (Figura 50).

Relación desplazamiento/peso

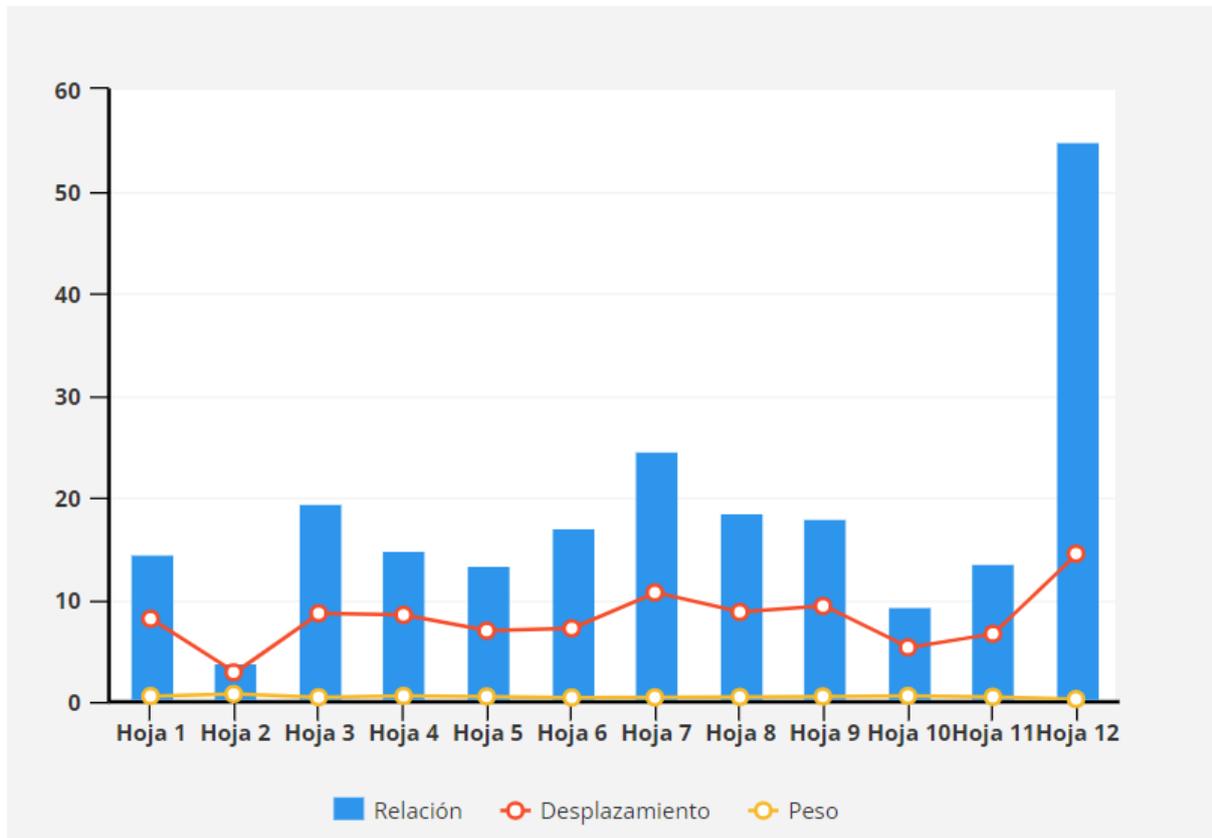


Figura 63: Gráfica comparativa de la relación desplazamiento/peso entre las hojas con las distintas secciones. Elaboración propia en Venngage Editor.

Se puede observar la gran diferencia que hay entre la relación de la hoja 2 y la hoja 12 con el resto de las hojas.

A partir del estudio realizado en el presente trabajo se puede deducir que, aunque las acanaladuras que hacían en la hoja para aligerarla sin que se viese comprometida su resistencia y flexibilidad de cara al combate es mejor una espada de mayor peso y más material. También cabe comentar que una espada de mayor peso es menos manejable y que a la hora de diseñar y forjar una hoja intervienen más factores a parte de la resistencia de esta.

5. CONCLUSIÓN

Tras el análisis de los resultados comentados anteriormente se procede a especificar las conclusiones del presente trabajo.

- Tras efectuar un análisis de rigidez, se ha observado que la hoja 2 es la que presentó una mejor relación desplazamiento/peso. Este hecho es de enorme interés, pues aun cuando es la sección que confiere mayor peso a la espada, es la más sencilla de templar a consecuencia de que, la homogeneidad de la sección a lo largo de la hoja permite controlar, adecuadamente, el tiempo que el arma debe de estar en el horno.
- Respecto de la hoja 12, a pesar de ser la que menos peso tiene, y por tanto material, era una hoja que probablemente era muy buena para inferir cortes al adversario de manera rápida, sin casi esfuerzo por su fácil manejo. Probablemente fuera una espada utilizada para el entrenamiento inicial de los soldados, dado que su poco peso permitía que éste fuera acostumbrándose, poco a poco, a los diferentes movimientos en combate cuerpo a cuerpo. Sin embargo, a la hora de ejecutar golpes, o estocadas, en combate real, su excesiva esbeltez le confería gran fragilidad, lo cual puede ser causa también de un deficiente control del tiempo de templado.
- Tras el análisis mecánico de todas las secciones, se ha obtenido como resultado que, es justamente la punta donde se ejercía el máximo esfuerzo en combate, motivo por el que la mayor parte de las falcatas encontradas en yacimientos arqueológicos se encuentran mochas, esto es, sin punta.
- CATIA V5R21 tiene una interfaz de simulación sencilla de utilizar, aunque las opciones de mallado con las que cuenta son bastante limitadas. Aunque es un programa que permite hacer análisis estáticos, hay que tener presente que, de manera general, sus herramientas de análisis estructural pueden ser mejorables, pudiéndose llegar a equiparar, a corto medio plazo, a las de otros programas de análisis estructural como pueden ser ANSYS o ABAQUS.
- Podría ser conveniente hacer un estudio de las acanaladuras independientemente, de manera que se consiga una forma más óptima que permita reducir el peso sin afectar a la resistencia, sobre todo teniendo en cuenta la gran calidad, y eficacia histórica, de la espada en combate cuerpo a cuerpo.

BIBLIOGRAFÍA

- Blázquez Martínez, J. M^a. García Gelabert, M^a P. (1994). “El armamento de las necrópolis ibéricas de la alta Andalucía”. Gabinete de Antigüedades de la Real Academia de la Historia. Cástulo, ciudad ibero-romana, Madrid, pp. 327-344. Acceso a fuente: 2021.

- Boško Angelovsky (2018). “Evolution of the cutting swords and review of the machaira type of sword from the Republic of Macedonia”. Instituto de la Antigua Cultura Eslava de la ISP, Prilep

- Cristóbal Santiago Armenteros (2016). “La falcata en la cultura de los íberos”. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad de Jaén. Acceso a fuente: 2021.

- David Ruiz Marull (2020).” Así eran los violentos combates con espada en la Edad de Bronce”. La Vanguardia. Acceso a fuente: 2021.

- García Cano, J.M. y Gómez Rodenas, M. (2006). “Avance al estudio radiológico del armamento de la necrópolis ibérica del Cabecico del Tesoro (Verdalay, Murcia). Las Falcatas”. Gladius. XXVI, pp. 61-92. Acceso a fuente: 2021.

- Gonzalo Ruiz Zapatero (2014). “Gentes de la edad del Hierro”. Madrid, una historia para todos. Dirección General de Patrimonio Histórico. Acceso a fuente: 2021.

- Ioannis Georganas (2012).” Weapons and warfare”. Acceso a fuente: 2021.

- I. Gorjón, E. Herraiz, M. Lucía, B. Vázquez de Prada (2020): “Gel balísyico”. E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid. Acceso a fuente: 2021.

- Jaime Cenalmor, Jaime Darío (2018): “Falcata ibérica de Almedinilla (Córdoba). Reproducción a tamaño real del mejor ejemplar de falcata jamás encontrado”. Los viajeros del tiempo. Tienda del Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid (M.A.R.) . Acceso a fuente: 2021.

- Jaime Cenalmor, Jaime Darío (2020): “Falcata ibérica, réplica en resina de la falcata de Cabezo Lucero”. Los viajeros del tiempo. Tienda del Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid (M.A.R.) . Acceso a fuente: 2021.

- Mar Gabaldón (2003).” Las armas: defensa, prestigio y poder”. Museo Arqueológico Nacional. Acceso a fuente: 2021.

- L. G. Guzmán (2014). Comparación de resultados entre los módulos de análisis estructural de CATIA V5 y ANSYS”, Sevilla. Acceso a fuente: 2022.

- Quesada Sanz, F. (1988). “Las acanaladuras en las hojas de falcatas ibéricas”. Acceso a fuente: 2021.

- Quesada Sanz, F. (1990). “La falcata ibérica: ¿Un arma de origen Ilirio y procedencia Itálica?” Archivo Español de Arqueología, vol. 63, nº 161-162, pp. 65- 93. Acceso a fuente: 2021.

- Quesada Sanz, F. (1991).” Entorno al origen y procedencia de la falcata ibérica”. La presencia del material etrusco en el ámbito de la colonización arcaica en la Península Ibérica, J. Remesal, Olimpio Musso. Editorial Barcelona. Acceso a fuente: 2021.

- Quesada Sanz, F. (1997). “El armamento ibérico: estudio tipológico, geográfico, funcional, social y simbólico de las armas en la cultura ibérica. (Siglos VI-I a.C.)”. Editorial Monique Mergoil, Monique, Montagnac. Acceso a fuente: 2021.

- Victor Fachinotti, Benjamín Tourn (2015). “Mecánica de Sólidos Capítulo V: Problemas de Valores de Borde”. Programa de Doctorado en Ingeniería Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH). Universidad Nacional del Litoral (UNL). Acceso a fuente: 2022.