

Diseño y desarrollo de una guitarra eléctrica parametrizable mediante procesos de fabricación aditiva

Design and development of a parametrizable electric guitar through additive manufacturing

Daniel Moreno-Nieto^{1,2}, Gari De-la-Herrán¹, Rafael Bienvenido¹ y Sergio Molina^{2,3}
 Universidad de Cádiz. Dpto. de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial¹ y Dpto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica² (España)
³ Instituto IMEYMAT (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8672>

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de fabricación aditiva están cada vez más consolidadas y extendidas como herramientas de producción final en un contexto industrial cada vez más globalizado. Su crecimiento y difusión sigue siendo continuo en todos los sectores industriales y en el ámbito doméstico, creciendo tanto el volumen de negocios como el número de publicaciones anualmente dentro del contexto de la Industria 4.0 [1]

Estamos en una nueva era de madurez de las tecnologías de fabricación aditiva, así como de fiabilidad en términos de repetitividad y propiedades de la producción. Estas tecnologías están dando lugar a las primeras piezas funcionales, no sólo en los ámbitos aeroespacial y médico, (donde desde hace tiempo que vienen utilizándose en la producción de piezas funcionales) sino también en la industria de productos de consumo. En esta línea están apareciendo modelos de negocio que se fundamentan en el nuevo paradigma productivo que la flexibilidad de estas tecnologías ofrece y que se conoce como la customización en masa.

LA INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0 [2] es una corriente de organización industrial que plantea el uso de nuevos desarrollos y herramientas que se apoyan en los últimos avances tecnológicos, que además del aumento de la eficacia y eficiencia de los procesos, buscan la integración de los mismos gracias a las TICs (Tecnologías de la información) y la optimización del ciclo de vida de los productos.

Esto supone una revolución en cuanto a la gestión de la información de los procesos, que se monitorizarán en tiempo real desde la extracción de las materias primas al uso y fin de vida de los productos.

Este concepto fue comentado por primera vez en la feria de Hannover, Alemania (Salón de la Tecnología Industrial), en el año 2011. Se conoce también como Industria Inteligente o Ciber-industria del futuro [3]. Corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción a partir de un gran número de fábricas inteligentes, capaces de ofrecer mayor adaptabilidad a las necesidades y a los procesos de producción y una asignación más eficaz de los recursos.

Considerada ya esta idea como la Cuarta Revolución industrial [4], la industria 4.0 se caracteriza por la integración horizontal de la información a lo largo de toda la cadena de valor, la ingeniería para todo el ciclo de vida de los productos y de la integración vertical de los sistemas productivos. Siendo las características más relevantes que se asocian a las fábricas adaptadas a esta nueva etapa tecnológica la digitalización, la flexibilidad y producción personalizada, las nuevas herramientas logísticas, el uso de las herramientas de simulación, así como el ahorro de energía y materias primas [5].

Para que esto suceda, es necesario un conjunto de tecnologías que hacen posible este nuevo modelo de "Industria Digital", llamados habilitadores digitales [6]. Pueden reunirse en 3 grupos:

- Hibridación del mundo físico y digital. Convierten elementos físicos en información digital para su posterior tratamiento: Impresión 3D, Realidad aumentada, Robótica avanzada y sectores y sistemas embebidos.
- Comunicaciones y tratamiento de datos. Trasladan la información desde los sistemas de hibridación hasta los sistemas de gestión: Ciberseguridad, Computación y cloud, Conectividad y movilidad.

- Aplicaciones de gestión intraempresarial/interempresarial. Procesan la información y le dan uso: Soluciones de negocio, Soluciones de inteligencia (Big Data & Analytics) y control, Plataformas colaborativas.

LA CUSTOMIZACIÓN EN MASA

La repercusión del cambio de paradigma hacia un paradigma post-industrial de la Industria 4.0 junto con el desarrollo y la consolidación de nuevas herramientas se traduce en el contexto empresarial en la aparición de nuevos modelos de negocio que buscan como factor diferencial y valor añadido la oferta de servicios y productos a medida de la demanda. Muchas empresas están evolucionando de un enfoque industrial tradicional a un nuevo enfoque que combina sistemas de producción de grandes volúmenes, muy eficientes en coste y personalizados de cada cliente. Esta orientación cada vez más extendida en diferentes sectores industrial se denomina: Personalización en Masa o "Mass Customization" [7] y es una de las tendencias cada vez más frecuente en modelos de negocio de éxito.

En las últimas tres décadas, la organización de la producción ha evolucionado considerablemente. Dos de los principales catalizadores de este hecho son la mejora sustancial de nuevas tecnologías de fabricación (como los robots, máquinas y herramientas cada vez más exigentes), así como el uso extendido de las tecnologías de la información (TICs), permitiendo implantar eficazmente aplicaciones en tiempo real en los propios procesos y que mejoran sensiblemente la eficiencia de los mismos. Todas estas innovaciones que modifican y mejoran los sistemas establecidos se enfrentan con los sistemas clásicos aún persistentes en la mentalidad de muchas empresas. El enfoque tradicional de la gestión de la producción se basa en maximizar el beneficio, disminuyendo los costes mediante la mecanización de procesos y altos volúmenes de producción que permitan grandes economías de escala, es decir, producción en masa. Por otra parte, los nuevos modelos de negocio que apuestan por la personalización de productos, donde el valor añadido se da a los clientes simultaneando sistemas de producción de grandes volúmenes, son muy

eficientes en costes y personalizados a las necesidades de cada cliente.

El factor que cataliza todos estos cambios es el incremento de una demanda cada vez más exigente y personalizada de los clientes. Además, la competición global estimula este cambio y fuerza a los fabricantes a producir de una manera cada vez más personalizada al mismo tiempo que mantienen los costes lo más bajos posible.

LA FABRICACIÓN ADITIVA

Las técnicas de Fabricación Aditiva aportan una enorme flexibilidad a la producción, que se realiza a partir de la información almacenada en modelos tridimensionales digitalizados mediante sistemas de diseño asistido por ordenador o CAD (Computer Aided Design). A partir de un material inicial, frecuentemente dispuesto en forma de polvo, resina o filamento, el equipo de Fabricación Aditiva va materializando capa a capa la información digital suministrada por el modelo digital en 3D. [4]

Este proceso se lleva a cabo de diferentes modos, dependiendo de la técnica de fabricación aditiva utilizada, por ejemplo, mediante la aplicación de láser o de otras fuentes de iluminación, mediante fundido y posterior solidificación de un filamento que pasa a través de una extrusora, con aplicación local de calor, mediante adhesión de láminas previamente cortadas, o por inyección de material y aglutinante. Debido a que son muchos los procesos disponibles para realizar fabricación aditiva, la American Society for Testing and Materials (ASTM) ha formulado un conjunto de estándares que clasifican estos procesos en siete categorías.

Los materiales utilizados actualmente en estas técnicas incluyen a polímeros,

metales, cerámicos y compuestos, aunque la I+D de nuevos materiales para esta tecnología es una de las principales vías de avance para aumentar su competitividad en la industria y en la que queda mucho camino por recorrer.

La fabricación aditiva presenta como ventajas, la libertad de diseño y la flexibilidad para el rediseño del producto, la escasa producción de residuos, la reducción del número de útiles y herramientas, la posibilidad de generar piezas más ligeras y de producción local reduciendo costes de transporte y logística, se eliminan los stocks y simplifican las cadenas de montaje llegando a reducir los riesgos laborales.

Entre los sectores productivos que ya se están beneficiando de la Fabricación Aditiva, muy indicada en productos complejos de alto valor y de producciones cortas, destacan el aeronáutico, la automoción, la producción de piezas dentales y otras prótesis médicas, así como la elaboración de otros productos y bienes de consumo.[4]

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

La metodología adoptada para el desarrollo del producto y su documentación como proyecto, diferencia tres etapas fundamentales: el análisis, la ideación y el desarrollo o diseño de detalles en un proceso continuo de convergencia y divergencia de información y decisiones. [9] El producto a desarrollar es una guitarra eléctrica, donde nos centraremos en el cuerpo haciendo uso de un kit de elementos complementarios.

En la etapa de análisis se procede a una fase de recopilación de información

de diferentes fuentes para poder definir de manera clara y precisa cuáles serán las especificaciones del diseño a desarrollar. Todo el proceso está orientado considerando al usuario como eje fundamental en el aporte de información y apoyo en la toma de decisiones. Esta metodología es ampliamente conocida como diseño centrado en el usuario (DCU) [8] siendo los usuarios todas las personas de interés para el proyecto desde los clientes potenciales a los expertos en la fabricación y venta de los productos.

Se realiza una revisión bibliográfica que nos permita conocer con detalle el producto a desarrollar, se hará una revisión histórica del mismo, así como un estudio pormenorizado de los elementos que componen el conjunto y como estos actúan y permiten su funcionamiento.

El estudio de mercado es también uno de los pilares fundamentales para definir las especificaciones de diseño o requerimientos del producto a desarrollar, se analizarán mediante fichas diferentes productos, en este punto se analizarán tres tipologías de producto: las guitarras eléctricas más destacadas y exitosas del mercado, otros instrumentos musicales fabricados por procesos aditivos y productos de diferentes categorías pero que a nuestro criterio pueden tener interés para el proyecto, ya sea en términos funcionales, acabados, formales, etc.

El estudio de usuario según las herramientas de ergonomía aplicada [9] [10] es fundamental para definir las especificaciones del producto.[8] En este caso se han realizado dos entrevistas con expertos (un luthier y un comercial) y una encuesta a potenciales clientes que en diferentes etapas del proyecto han contribuido a la definición de especificaciones o a la toma

Proceso	Definición técnica	Tecnología	Materiales
Fotopolimerización VAT	Fotopolímeros y resinas líquidas curadas por medio luz	Esterolitografía (SLA), Procesado de luz digital (DLP)	Polímeros y cerámicos
Inyección Material	Gotas del material se depositan de manera selectiva	Impresión 3D por Inyección	Polímeros y composites
Inyección de aglutinante	Agulutinante se deposita selectivamente aglutinando material en polvo	Impresión 3D por Inyección	Metal, polímeros y cerámicos
Extrusión de material	Deposición del material semifundido a través de una boquilla	Modelado por deposición fundida (FDM)	Polímeros
Fundido en cama de polvo	Aplicación de energía térmica que funde selectivamente material en un lecho de polvo.	Sinterizado selectivo por láser (SLS), Fundido selectivo por láser (SLM), Fundido por haz de electrones (EBM)	Metal, polímeros composites y cerámicos
Laminación de capas	Láminas de material se unen para formar una pieza	Consolidación Ultrasónica (UC)	Híbridos, metales y cerámicos
Deposición por aporte de energía directa	Energía térmica focalizada que funde el material según se deposita	Deposición de metal por láser (LMD), Fabricación por arco (WAAM)	Metales y aleaciones

Tabla 1: Clasificación de tecnologías de fabricación aditiva según ASTM F42 comité

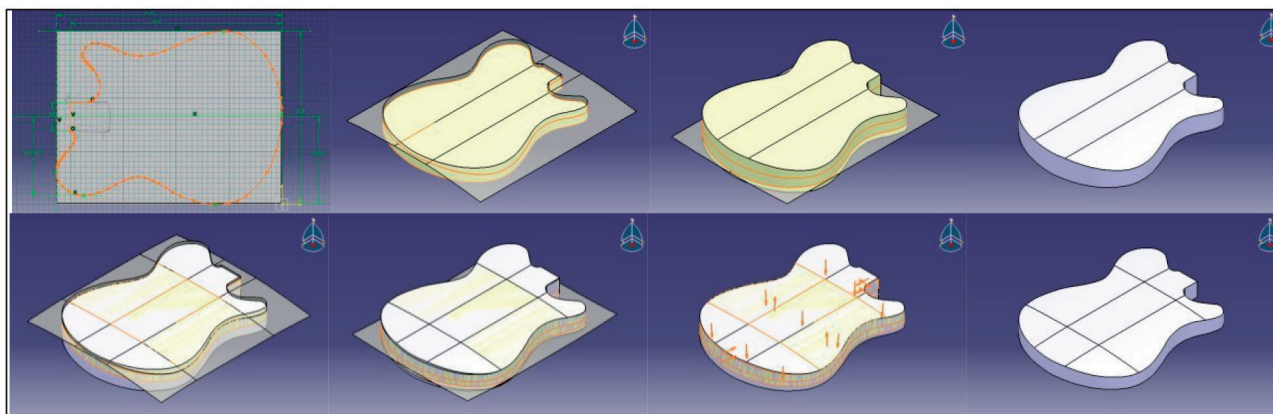


Figura 1: Modelado del cuerpo principal de la guitarra

de decisiones. Los expertos dieron información útil en cuanto a aspectos técnicos y comerciales del producto. Con respecto a la encuesta realizada a los clientes potenciales se trató de una encuesta que permitiera apoyar la toma de decisiones en términos de definición del producto. De las 120 encuestas realizadas a usuarios habituales de guitarras eléctricas un 72% se mostró interesado por esta innovación, se decantaron por modelos conservadores en cuanto que eran más cercanos a las guitarras eléctricas tradicionales, sin orificios y se definieron modelos de referencia a partir de ejemplos mostrados.

Se ha realizado un estudio ergonómico con diferentes usuarios donde se han determinado las diferentes zonas como susceptibles de adaptación a cada usuario en las posiciones sentado y de pie del usuario: zona trasera del cuerpo: realizando un rebaje para que el abdomen del usuario se adapte al contacto con el instrumento; zona baja del cuerpo: corte, soporte o extremidad del cuerpo para dejar descansar el instrumento sobre el muslo (útil especialmente en la posición sentada) y la zona delantera del cuerpo: por un lado está el rebaje superior que se deja para que el antebrazo tenga una amplia zona como punto de apoyo y, por otro, el rebaje "cutaway" de la parte delantera; dejando suficiente espacio a la mano del mástil para tocar con soltura las notas más agudas.

Todos estos estudios los complementamos con un análisis comparativo de los materiales tradicionalmente utilizados en el desarrollo de los cuerpos de guitarra eléctrica (Fresno, Aliso, Tilo, Caoba y Álamo) y de los materiales más extendidos en los procesos de fabricación aditiva por tecnologías FDM (Fused Deposition Modeling), (ABS y PLA) en aras de disponer de información útil para el posterior proceso de toma de decisiones.

Completando así la fase de análisis del proyecto, de donde se concluyen las es-

pecificaciones de diseño necesarias para pasar al siguiente estadio del proyecto: la ideación o propuesta de conceptos.

A continuación las especificaciones de diseño fruto de los diferentes estudios realizados (bibliográfico, de mercado, de usuario, materiales, tecnológico y ergonómico): Que sea fabricable por procesos FDM; que la geometría se adapte a las características biométricas de cada usuario; que sea atractiva para su público objetivo; que los materiales sean duraderos que soporten bien los cambios de temperatura y la humedad; que el clavijero sea de pala ancha; que el Mástil sea tipo atornillado: sencillo montaje y cambio si hay que repararlo o intercambiarlo; El material debe soportar la tensión del cordal (clavijero) y asegurar la cohesión de resto de componentes; Que tome los modelos "clásicos" como los mejores ejemplos para transmitir facilidad en la ejecución con el instrumento, ergonomía, comodidad y adaptabilidad; que no tengan aristas, cortes y ángulos pronunciados; que no tenga orificios.

Atendiendo a los criterios de diseño establecidos y a toda la investigación previa se definen en dos alternativas de diseño justificadas, cumpliendo ambas los requisitos de diseño por lo que se opta por el diseño 1 atendiendo a los criterios del equipo técnico.

Una vez la decisión del modelo a desarrollar es tomada procedemos a la etapa de desarrollo o ingeniería de detalle donde se realizarán los modelos CAD y todas las mediciones y cálculos necesarios para el correcto desarrollo del proyecto.

Para el correcto desarrollo del modelo 3D se hizo acopio de todos los componentes de la electrónica, mástil y otros mediante un kit comercial del Modelo Fender Stratocaster, que se comercializa para el auto montaje. Así pues, los primeros pasos fueron la toma de mediciones y la representación virtual de todos los com-

ponentes. En este punto destacar que el software utilizado para el diseño asistido por ordenador fue Catia V5 más concretamente los módulos de part design, drafting y generative shape design.

Insistir que la particularidad del diseño es el carácter paramétrico y personalizable del cuerpo de la guitarra y que este modificara su geometría a través de valores y límites determinados, según las decisiones de diseño oportunas que garanticen la forma adecuada. Lo que permitirá a cada usuario decidir, frente a factores estéticos y ergonómicos, la forma concreta de su modelo de cuerpo de guitarra eléctrica.

A continuación, los pasos más importantes en el desarrollo de los modelos 3D:

Partiendo de un boceto del concepto seleccionado y mediante las diferentes instrucciones del módulo "Sketch", se reproduce la silueta de la guitarra gracias a la colocación de una plantilla con las medidas a escala 1:1.

Una vez dibujado contorno principal, se extruye altura suficiente para permitir realizarle posteriormente una serie de cortes a partir de unas superficies definidas. De esta manera conseguimos crear un modelo con superficies curvas y redondeadas en todas las direcciones del espacio. Las superficies curvas que cortarían el contorno están definidas en los ejes XYZ permitiendo un diseño más exigente. En total, hicieron falta dos superficies que formarían un primer sólido, otras dos para mejorar la definición de la forma y un corte final de la geometría concreta del sólido inicial.

A continuación, se modelaron las diferentes zonas parametrizables mediante las cuales se realizarán las modificaciones del diseño para adaptarse a cada usuario.

Para la parametrización del antebrazo se seleccionó un punto concreto del borde exterior de la guitarra que determinará la profundidad del rebaje. La superficie de corte concreta baja una cierta altura (en

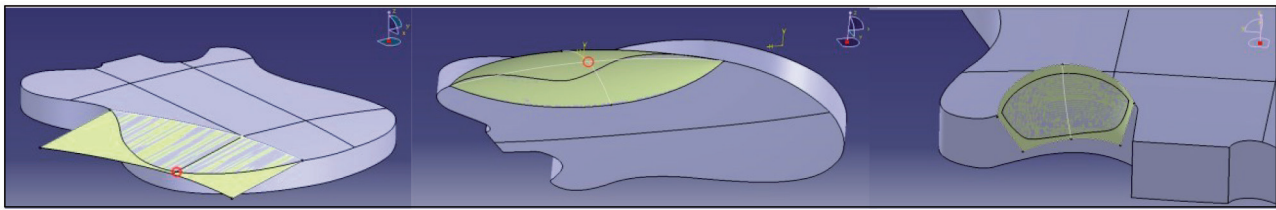


Figura 2: Diferentes modificaciones del diseño según la parametrización

mm) sobre la dirección del eje Z en función del parámetro introducido.

Para la parametrización del rebaje abdominal, seleccionamos la superficie que corta al lateral y parte de la vista trasera de la guitarra está formada por dos curvas construidas sobre los planos ZX y ZY. El punto de intersección de estas dos curvas es el que determina la profundidad del rebaje y, al mismo tiempo, es el que coincide con la altura máxima de esta superficie. Modificando esta altura (en mm) se consigue modificar la profundidad de este rebaje, reduciendo o aumentando la convexidad de la superficie de corte sobre la dirección del eje Z.

El último rebaje será el del cutaway, esta superficie depende de 3 puntos relacionados entre sí por unas proporciones muy concretas. De manera más precisa, uno de los puntos es el que modifica su distancia al borde de esta zona de la guitarra por la parametrización, mientras que los otros dos responden acompañándole. La curva principal la completan dos puntos más. En cuanto a la superficie cortante, es el resultado de 3 curvas que siguen dos guías (superior e inferior). La modificación de los puntos nombrados anteriormente cambia la forma de la superficie, haciendo que el rebaje sea más o menos profundo.

En vistas a la necesidad de tener que reducir la masa del cuerpo debido a la densidad del material ABS, se le practicó al macizo un vaciado uniforme interno de 4 mm. Se eligió este valor porque era el que más se adaptaba a los objetivos a cumplir en cuanto a peso del conjunto final del instrumento (entre 1,5 y 1,8 Kg) y buena resistencia ante esfuerzos mecánicos.

Una vez se le retiró la superficie necesaria para colocar posteriormente la tapa trasera, se comenzó con el diseño de la estructura interna que el cuerpo iba a tener. Debido sobre todo al tipo de puente móvil o "Trémolo" que iba a colocarse, era necesario una determinada estructura que sirviera como sustento para la colocación de todos los elementos que conformaban el conjunto del puente. Debido a esto, se colocó un bloque rectangular macizo de

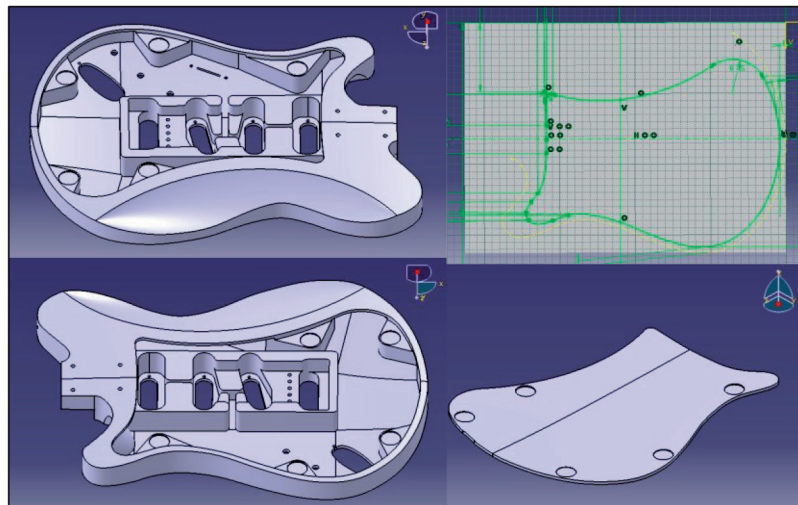


Figura 3: Diferentes modificaciones del diseño según la parametrización

material sobre el que trabajar e ir colocando todas las cavidades necesarias para los componentes internos. Para facilitar la comprensión, a partir de ahora se referirá a este bloque como "núcleo central".

Se ha tenido muy en cuenta las tolerancias de cada cavidad en vistas a ser un diseño adaptado a tecnologías de impresión 3D. Muchas de las dimensiones se han tomado de los componentes del kit de guitarra adquirido, como todo lo relacionado con las pastillas, potenciómetros, selectores, topes para la correa, Jack, puente, encaje cuerpo-mástil y todas las partes atornilladas. La tolerancia aplicada al diseño es de +/-0,2 mm a sus dimensiones nominales.

Para el correcto posicionamiento y retirada de la tapa se han dimensionado unos orificios para colocar imanes de hasta 20 mm y una estructura sólida sin voladizo; es decir, levantada desde el fondo de la superficie interna hasta la altura necesaria para asegurar el buen encaje con la tapa.

Para el modelado de la tapa se siguió el mismo procedimiento utilizado para el cuerpo mediante las operaciones del módulo "Sketch", trasladando el boceto de la tapa al software. A partir del "Sketch" de la tapa, se utilizarán en un primer momento operaciones con superficies para conseguir la silueta concreta. Este paso fue fundamental para conseguir la curva-

tura específica que debía de tener en su geometría. Sin el previo diseño del cuerpo completo del instrumento no hubiera sido esto posible. De este modo, se llega a la superficie curvada que debía de tener la tapa.

Una vez completamente definido el modelo, se verificaron las propiedades mecánicas del diseño con el material seleccionado, en este caso ABS (módulo elástico 1950 MPa y densidad 1050Kg/m³). Quedando así verificado por simulación de elementos finitos en el mismo software Catia V5 pero con el módulo Structural Design. Para esto se realizó una simulación de cargas estáticas que estarían generadas por las cuerdas con un valor de 380 N (dato suministrado por el fabricante), aplicando un mallado sobre el sólido de geometría tetraédrica y de tamaño 5mm de altura, y posicionando las restricciones simulando el apoyo del mástil. Se obtuvieron la concentración de tensiones y las deformaciones máximas y mínimas estando todo en el rango de lo admisible con factores de seguridad que superaban nuestras expectativas. Los resultados indican un valor del límite elástico de 5,95e5 Pa. Esto quiere decir que la estructura aguantaría una tensión de 379,027 N correspondientes a las 6 cuerdas sin deformación plástica, siempre que el ABS utilizado supere el valor de límite elástico mínimo que indica el ensayo. Las

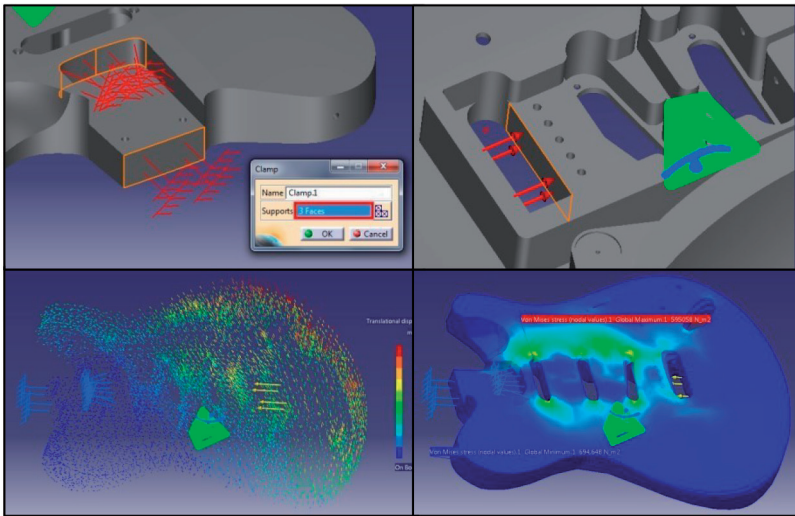


Figura 4: Proceso de simulación estructural

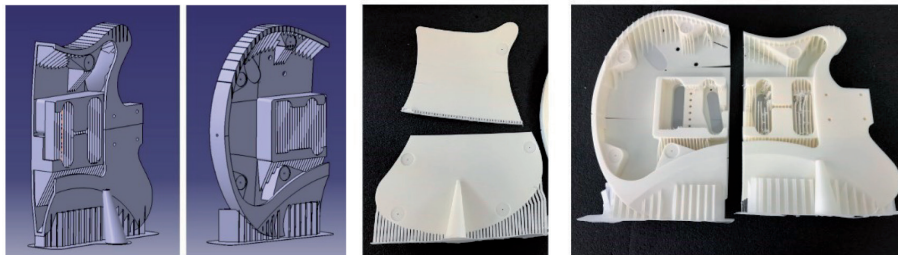


Figura 5. Particiones y soportes para impresión



Figura 6: Guitarra terminada

deformaciones del material no son notables, siendo el pico de deformación de 0,04 mm.

Una vez validados el diseño nos disponemos a preparar el diseño para la impresión, debido a las limitaciones de los equipos con los que contamos con un área imprimible de 200mm x 200mm x 300mm, nos vimos obligados a seccionar ambas piezas (cuerpo y tapa) en dos partes. Definimos la posición de impresión favoreciendo que las cargas trabajaran en

la dirección axial del del filamento depositado ya según presenta mejores propiedades.

El diseño de los soportes lo realizamos de manera manual, ya que ahorramos tiempo y material en este proceso, soportando siempre estructuras de espesor el tamaño de la boquilla del extrusor con soportes a 45° conseguimos construcciones autoportantes y que se retiran fácilmente.

Para la fabricación de la pieza que conforma el cuerpo de la guitarra se utili-

zarán tecnologías de FDM/FFF. El proceso se realizó con cuatro máquinas en paralelo por lo que pudimos tener la pieza lista para el postprocesado en 29 h de impresión. A continuación, se citan los parámetros de configuración del equipo: Altura de capa 0.2 mm, densidad de relleno 60 %, grosor del borde 0.7 mm, altura primera capa 0.35 mm, Velocidad de impresión 49 mm /s, temperatura de impresión 240°C, temperatura de la cama 100°C, tipo de adhesivo a la cama citan adhesiva, diámetro del filamento 1.75 mm, espesores mínimos 1 mm, boquilla 0.5 mm, orientación del relleno 45°/-45°

Para el correcto acabado de las piezas impresas, realizaron los siguientes procedimientos de postproducción: Retirada de los elementos de la estructura soporte mediante acción mecánica, Unión de las partes por soldadura (material de aporte ABS) y refuerzos, Acabado superficial con lija, Rectificación de desperfectos y recubrimiento superficial con resina de poliéster y posterior lijado para acabado de superficie, Imprimación de alta densidad y posterior lijado para acabado de superficie, Pintura Barniz de protección.

El luthier se encargó del ajuste fino y de la afinación del instrumento. Dejándolo listo para tocar y para la posterior sesión de fotos en el estudio de la Escuela Superior de Ingeniería en Cádiz.

CONCLUSIONES

El este artículo hemos introducido los conceptos de industria 4.0 y customización en masa con la intención de poner en valor nuevos modelos de negocio que apuestan por el uso de las tecnologías de fabricación aditiva en el desarrollo y comercialización de productos personalizados. Una vez revisadas también las tecnologías de fabricación aditiva de manera general, se ha presentado la metodología de diseño y desarrollo de un cuerpo de guitarra eléctrica parametrizable que adapta su forma a las necesidades ergonómicas del usuario, diferenciado en tres etapas fundamentales: análisis, ideación y desarrollo con un enfoque centrado en el usuario. Se ha descrito al detalle el proceso de diseño asistido por ordenador de esta pieza compleja, así como los procedimientos de parametrización de superficies. Por otro lado se han expuesto las tecnologías y procedimientos necesarios para producir el cuerpo de la guitarra en impresoras FDM con material ABS, ilustrando el proceso de pre y post impresión para conseguir acabados de alta calidad que posibilitarían la comercialización del

producto según un modelo de negocio en el que la personalización del producto supone el elemento diferenciador y valor añadido del producto, en una producción continua.

REFERENCIAS

[1] Wohlers T, Caffrey T. "Wohlers Report 2015: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report." Fort Collins, CO: Wohlers Associates. 2015.
 [2] Rübmann M, Lorenz M, Gerbert P et al. "Industry 4.0 The future of productivity and growth in manufacturing

industries". The Boston Consulting Group. Abril 2015.
 [3] Smit, J, Kreutzer S, Moeller C et al. "Industry 4.0 - Study for the ITRE Committee." European Parliament. 2015.p 1-94 .
 [4] Gibson I, Rosen DW, Stucker B. "Additive Manufacturing Technologies.: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing". New York: Springer-Verlag, 2010.
 [5] Stock T, Seliger G." Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0." In Procedia CIRP. 2016. pp. 536-541.
 [6] Fundación Telefónica. "La transformación digital de la industria española. Informe preliminar " Fundación telefónica Industria Conectada .2015. vol 4.0.
 [7] Joseph Pine B.P. "Mass Customization: The New Frontier in Business Competition". Harvard Business

School Press. 1992.
 [8] Boeijen A, Daalhuizen J Schoo R et al. "Delft design guide: Design methods." Bispublishers Editorial. 2014.
 [9] Alexander D , Rabourn R, "Applied Ergonomics First Edition " . Taylor Et Francis Inc Editorial. 2003.
 [10] Wilson JR "Fundamentals of ergonomics in theory and practice. Applied Ergonomics". Elsevier editorial. 2014. Vol 42. 1 p.557-567.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Manuel Boza y Jerónimo Carrera de la empresa UNYQ su inestimable colaboración para el desarrollo de los prototipos finales presentados en esta publicación; así como a Fernando Ajenjo Iutier quien realizó los ajustes y montaje de la electrónica.

ANEXO IMÁGENES



Figura A: A la izquierda los cuerpos de guitarra de las marcas Fender y Gibson y a la derecha cuerpos de guitarra fabricados por tecnologías aditivas por la empresa ODD



Figura B: Guitarras eléctricas con consideraciones ergonómicas incluidas en su diseño

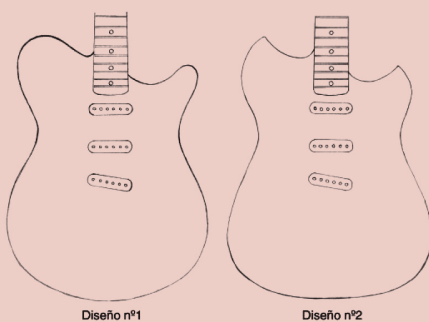


Figura C: Alternativas de diseño



Figura D: Postprocesados: Retirada de soportes, unión de piezas, montaje de electrónica, imprimación y unión del mástil