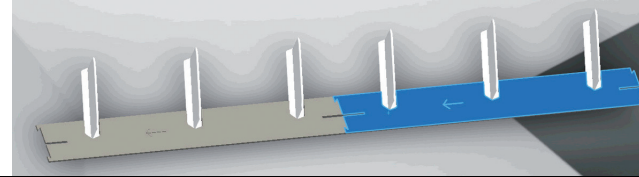


AIRVORTEX: Ejemplo de diseño multidisciplinar

AIRVORTEX: EXAMPLE OF MULTIDISCIPLINARY DESIGN



DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7694> | Recibido: 12/06/2015 • Aceptado: 30/09/2015

Ramón Miralbés-Buil, David Ranz-Angulo

Universidad de Zaragoza. Escuela de Ingeniería y Arquitectura.
Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. C/ María de Luna, s/n
- 50018 Zaragoza. Tfno: +34 876 765069. miralbes@unizar.es

ABSTRACT

• The aim of this article is to present the design process for a simple product using a multidisciplinary point of view that includes diverse knowledge areas such as aerodynamic design, structural design, ergonomic analysis, material selection, manufacturing process analysis, packing, ecological design, and recycling, as well as to present the prototype manufacturing and the experimental test of the end product. Technologies of reverse engineering have been used to obtain the design solutions of other companies. In addition, it is indispensable to analyze the sequence of use and the product's interaction with both the user and the environment, so the main design specifications must be defined. This methodology has been applied to a simple product installed habitually in the wings of the light aircrafts, named vorticity generators (VG).

• **Keywords:** design, multidisciplinary, aerodynamic, eco.-design, structural, development, product.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es presentar el proceso de diseño de un producto simple desde un punto de vista multidisciplinar que incluye diversas áreas de conocimiento como el diseño aerodinámico, el diseño estructural, al análisis ergonómico, la selección de materiales, el proceso de fabricación y el análisis experimental del producto final. Adicionalmente se han utilizado tecnologías de ingeniería inversa para obtener conclusiones de los diseños de otras empresas. Por otro lado resulta indispensable el análisis de otros aspectos como la secuencia de uso y la interacción usuario producto con ambos tanto el usuario como el medio y con ello definir las especificaciones de diseño. Esta metodología se ha utilizado en un producto simple instalado habitualmente en las alas de las avionetas denominado generador de vorticidad (VG).

Palabras clave: diseño, multidisciplinar, aerodinámica, eco-diseño, estructural, desarrollo, producto.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es el diseño de un generador de vorticidad (VG) con unas mejores características que los existentes y que debe permitir una mayor reducción del consumo de combustible. Para el diseño se ha utilizado un método de diseño multidisciplinar por lo que otro de los objetivos del artículo es la explicación de ese método; en este caso resulta indispensable esta metodología de diseño porque el proceso de diseño involucra a diferentes disciplinas que en muchas ocasiones están en conflicto. La Figura 1 del material adicional muestra las diversas disciplinas involucradas y cómo influyen en el proceso de diseño.

El diseño de muchos productos requiere del uso de metodologías de diseño multidisciplinarias que combinan diversas áreas de conocimiento ^[1] para conseguir los mejores resultados, por lo que el proceso de diseño debe involucrar a todas esas áreas de conocimiento de forma conjunta a pesar de que habitualmente persiguen objetivos contrapuestos, por lo que resulta imprescindible encontrar una posición de acuerdo entre ambas tal como apunta Shut ^[2].

En este caso particular el objetivo es el diseño de un generador de vorticidad (VG) que son pequeños dispositivos que se instalan en las alas de aviones y avionetas para controlar el flujo de aire en la zona posterior al ala controlando el desprendimiento de la capa límite. Un mayor control de este desprendimiento implica una mayor estabilidad del avión y reduce el

consumo de combustible tal como han demostrado algunos autores como Soso, Gad-el-hak y Miralbés [3,4,5].

Los generadores de vorticidad modifican el flujo laminar que se transforma en turbulento y fuera de control en la zona trasera del ala convirtiéndolo en un flujo controlado. Habitualmente los flujos turbulentos llevan asociadas pérdidas mecánicas por lo que sí es posible redirigir el aire utilizando, por ejemplo VG, el choque entre partículas se reduce y el flujo es menos caóticos. Éste es el fundamento de los generadores de vorticidad que generan un flujo turbulento controlado en las zonas de cambios abruptos de geometría como la zona final de las alas y por tanto reducen el efecto de succión.

En el proceso de diseño es necesario adicionalmente analizar productos similares para conseguir las mejores soluciones de diseño y obtener el mejor diseño posible; es este caso es necesario realizar entre otros el análisis aerodinámico y estructural y su optimización, el diseño del embalaje y en eco-diseño. Una de las contribuciones principales de este artículo es que ejemplifica un proceso de diseño multidisciplinar para una pieza común y muestra como contribuye cada área de conocimiento a mejorar el diseño y cómo están estas áreas interconectadas y la influencia de cada una en las demás.

El artículo ha sido estructurado de acuerdo con el proceso de diseño por lo que inicialmente se ha analizado la zona de instalación y, utilizando ingeniería inversa, algunos de los productos similares utilizados tanto en vehículos pesados como en aeroplanos. Tras ello se ha propuesto un diseño inicial y,

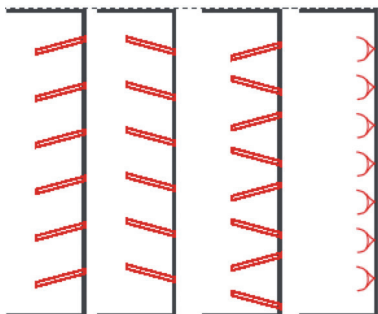


Figura 1: Diversos modelos de generadores de vorticidad (de izquierda a derecha: +15° VG, -15° VG, VG mixto y VG de referencia)

ya que el factor crítico de diseño es la aerodinámica se ha analizado y optimizado utilizando técnicas CFD y diversas configuraciones. Tras ello el diseño ha ido evolucionado desde diversos puntos de vista hasta obtener el diseño final que ha sido prototipado y con él se han realizado diversos ensayos experimentales.

Se ha utilizado una metodología de diseño clásica que involucra a diversas disciplinas y áreas de conocimiento que en ocasiones entran en conflicto como es el caso del diseño estructural, el eco-diseño y los aspectos económicos; en este caso el objetivo es la optimización de las dimensiones y el peso para obtener peso posible utilizando el menor espesor de pared admisible que permita la suficiente rigidez y resistencia y con ello minimizar el coste y el impacto ambiental.

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO, ZNA DE INSTALACIÓN E INGENIERÍA INVERSA

El primer paso del proceso de diseño es establecer los requerimientos por lo que, además de analizar la zona de instalación, la secuencia de uso, el usuario, etc. resulta interesante analizar productos similares utilizando ingeniería inversa [6]. Los requerimientos de diseño que el producto debe satisfacer se dependen de muchos aspectos como el uso, la instalación, la fabricación, etc. y se explican en detalle en la Tabla I.

Estos requerimientos de diseño se han obtenido utilizando un árbol de objetivos que permite determinar las funciones, los requerimientos y la relación de los mismos con cada campo de estudio (ver Figura 2 del material adicional); este método permite además determinarlos y priorizarlos.

El producto a diseñar se instala en la parte trasera del ala antes de la estela que genera; analizando dicha zona se ha observado que es una zona ligeramente curvada de material rígido que puede ser aluminio o material compuesto por lo que resulta imprescindible seleccionar un material y un método de unión compatible y que se adapte a la superficie y adicionalmente que sea lo suficientemente resistente.

Se analizaron productos similares durante el estudio de mercado para la obtención de conclusiones de diseño para mejorar el producto y obtener algunas de las especificaciones de diseño y algunas soluciones adoptadas. Entre estos productos

Usuario objetivo	Uso / instalación	Fabricación
Avionetas	Instalación sencilla	Mediante inyección
Principales requerimientos de diseño	Sin herramientas especiales	Resistente al medio ambiente
Al menos un 2% de reducción en el consumo de combustible y mejor estabilidad	Sin necesidad de conocimientos previos	Con resistencia estructural
Compatible con la regulación aeronáutica	Por el comprador	Mínimo peso y espesor
Otros requerimientos	En menos de 1 hora	Mínimas dimensiones
Bajo impacto ambiental	Sin mantenimiento	Ensamblaje rápido y sencillo
Material reciclado, reciclable y ecológico	Desinstalación sencilla	Mínimo coste y peso
Mínimo volumen / mínimo peso a transportar		

Tabla I: Requerimientos de diseño del producto a desarrollar

Modelo	Fuerza resistente (N) (menor es mejor)	% mejora
Sin VG	1.620	
+15°	1.418,4	12,46
-15°	1.772	-3,71
±15°	1.750	-2,42
VG de referencia	1.466,06	9,46

Tabla II: Resultados del análisis CFD

se analizó un generador de vorticidad para vehículos pesados y diversos VG para aviones y avionetas.

2.1. ANÁLISIS DE LOS GENERADORES DE VORTICIDAD EXISTENTES

Uno de los principales generadores de vorticidad analizado es de tipo “sub-boundary layer” es decir que tiene una altura inferior a la altura de la capa límite, con unas dimensiones de

127 mm x 90 mm x 25 mm fabricado en ASA blanco o negro pero fabricable en otros colores y con un hueco interior (de pared delgada) con una pared de 1.5 mm y con un peso bajo (ver Figura 3 del material adicional).

El generador de vorticidad redirige el aire en la zona de instalación y posterior y genera un flujo controlando en dichas zonas, reduciendo la resistencia aerodinámica. La información obtenida indica una reducción de la resistencia aerodinámica del 4% a 120 Km/h.

El producto de referencia se suministra en una caja serigrafiada y consta de 80 VGs, un prospecto y dos herramientas de ensamblaje. Los VGs están fabricados en ASA utilizando un único molde (sin contrasalidas ni inserciones) en una única inyección (esta información se ha obtenido del estudio del producto analizando los puntos de inyección, las líneas de partición, etc.). Tras el proceso de inyección se instala la cinta doble cada de forma manual y posteriormente se corta y embala. Esta cinta doble cara se incluye con el producto (ver Figura 4 del material adicional).

Analizando la interacción usuario-producto, el producto se instala por el cliente sin necesidad de herramientas adicionales ni conocimientos específicos y la instalación se puede completar en menos de una hora. Las superficies donde se debe

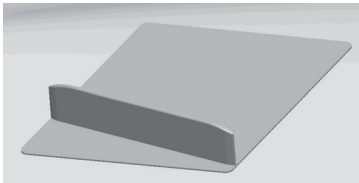
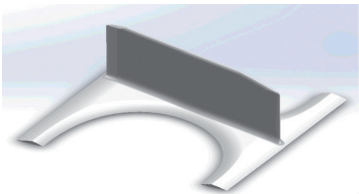
Modelo	Análisis comparativo	
Diseño 1, 7,7 g.	Ventajas	Desventajas
	Instalación sin herramientas Instalación mediante alineación Mayor zona de apoyo 1 tipo de pieza	Base grande → alto coste del molde Instalación intuitiva y asimétrica Alto coste de la cinta doble cara
Diseño 2, 5,3 g.		
	Instalación sin herramientas Instalación mediante alineación Mayor zona de apoyo	Peso medio → precio Alto coste del molde (dimensiones) Higher cost in double-face tape Alto coste de la cinta doble cara Corte complicado de la cinta doble cara 2 tipos de pieza (derecha e izquierda) → mayor coste de moldes (x 2) Instalación menos intuitiva
Diseño 3, 3,53 g.		
	Menor peso → coste / impacto ambiental Molde del menor tamaño y coste Instalación intuitiva con la herramienta de ensamblaje Menor coste de la cinta doble 1 único tipo de pieza (1 molde)	Menor zona de unión Requiere de una herramienta de ensamblaje
Diseño 4, 4,1 g.		
	Peso bajo → coste / impacto ambiental Molde de pequeño tamaño y coste Instalación intuitiva con la herramienta de ensamblaje Menor coste de la cinta doble	Menor zona de unión Requiere de una herramienta de ensamblaje 2 tipos de pieza (derecha e izquierda) → mayor coste de moldes (x 2) Instalación menos intuitiva

Tabla III: Variantes iniciales de diseño

instalar deben estar totalmente desengrasadas utilizando agua, jabón y productos de limpieza desengrasantes y debe secarse y limpiarse con una gamuza; el producto se instala utilizando una escalera y las herramientas de ensamblaje suministradas de forma manual.

Sobre las herramientas de ensamblaje se debe indicar que son dos piezas fabricadas en plástico inyectado que pueden engarzarse entre sí para alinearse (ver Figura 5 del material adicional).

3. ANÁLISIS CFD

Se ha realizado un análisis comparativo de diversas configuraciones de generadores de vorticidad de tipo “sub-boundary layer” (ver Figura 1 y Tabla II) que tienen forma de aleta y con diversos ángulos de incidencia. Los resultados se han comparado con el generador de vorticidad analizado durante la ingeniería inversa (VG de referencia) y con el vehículo sin generadores.

El análisis CFD se realizó utilizando el software comercial libre *OpenFoam* con una malla de alrededor de 10.000.000 elementos y simulando un túnel de viento con paredes móviles sin rugosidad con una entrada de aire a la velocidad indicada y una salida de aire a la atmósfera. Se utilizó un procesador i/ para realizar las simulaciones con un tiempo de cálculo por simulación aproximado de 18 horas.

Se han analizado tres tipos diferentes de generadores de vorticidad (provenientes del diseño de VGs de los aviones): +15° en la dirección del flujo (también llamado co-rotacional), -15° VG (también llamado contra rotacional) y ±15° (también llamado mixto). El análisis CFD arrojó los siguientes resultados y fue utilizado como base para el nuevo diseño de generador de vorticidad.

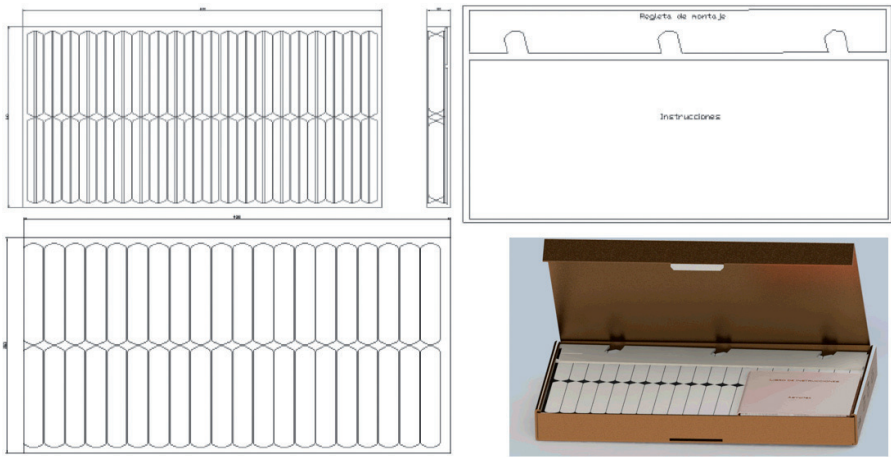


Figura 2: Cada capa del empaquetado y modelo 3D del mismo

4. DISEÑO DE AIRVORTEX

Utilizando los anteriores requerimientos de diseño, el análisis de productos similares mediante ingeniería inversa y el análisis del estado del arte, así como los resultados del análisis CFG, se ha iniciado el proceso de diseño del nuevo producto que debe ser un VG co-rotacio-

Unión	Ventajas	Inconvenientes	Coste
Tornillos	Unión duradera, desmontable y estructuralmente rígida	Es necesario roscar el ala de la avioneta. Instalación especializada	Bajo
Soldadura	Unión duradera y estructuralmente rígida	No desmontable. Sólo entre piezas metálicas. Instalación especializada	Bajo
Remaches	Unión duradera y estructuralmente rígida	No desmontable. Es necesario realizar agujeros en el ala del avión. Instalación especializada	Bajo
Pegamento estructural	Unión duradera, desmontable y estructuralmente rígida, instalación por parte del usuario. Sin necesidad de procesos de montaje en la empresa. Gran cantidad de adhesivos	Instalación más sucia y complicada (aplicación del adhesivo) Aumento del tiempo de instalación requerido. Posibilidad de necesitar pegamentos bi-componente activados por calor. Requiere cierto tiempo antes de usarse	Bajo/medio
Cinta doble cara normal	Desmontable, instalación por parte del usuario, adhesivo de contacto	Insuficiente rigidez estructural. Poca durabilidad. Requiere de un proceso de montaje intermedio en la empresa	Bajo
Cinta doble cara estructural	Unión duradera, desmontable, instalación por parte del usuario, adhesivo de contacto	Requiere de un proceso de montaje intermedio en la empresa	Bajo/medio
Spray de adhesivo estructural	Unión duradera, desmontable, instalación por parte del usuario, sin procesos intermedios de montaje en la empresa	Instalación más sucia y complicada (aplicación del adhesivo). Aumento del tiempo de instalación requerido. Dificultad para aplicar el adhesivo de forma uniforme	Medio/alto

Tabla IV: Análisis de los tipos de unión

nal de tipo “sub-boundary layer” con un ángulo de15°, una altura de 20 mm y una longitud de 80 mm, separados entre sí una distancia de 100 mm. La Tabla III muestra una comparati-va de diversas variantes iniciales de diseño.

La elección de los materiales implica diversas especi-ficaciones de diseño: los materiales deben ser resistentes a la intemperie, en material plástico (preferiblemente reciclado), reciclable, de bajo coste, inyectable, pintable, sin excesivos requerimientos estructurales, inyectable en diversos colores utilizando pigmentos y compatible con adhesivos y cintas ad-hesivas. Tras la selección de los materiales que cumplen es-tos requerimientos (PP, ABS, etc.) se han analizado de forma comparativa; finalmente el material elegido ha sido el ASA (acrylonitrile-styreneacrylate; 0,69 €/l) y el PP (0,65 €/l), este último si puede ser obtenido (debido a la alta demanda). Pa-ralelamente se han analizado ambos materiales desde el punto de vista ecológico utilizando *Solid Works Sustainability*.

En relación al proceso de manufactura, se ha selecciona-do una inyección de termoplástico en molde de acero (vida > 100.000 inyecciones) en dos cavidades sin inserciones si contrasalidas con un coste aproximado de 4.250 €.

Este proceso de inyección implica una serie de restriccio-nes que han tenido que trasladarse al propio diseño:

- Angulo de desmoldeo mínimo: 2°
- Espesor mínimo para evitar el alabeo: 1,3 mm

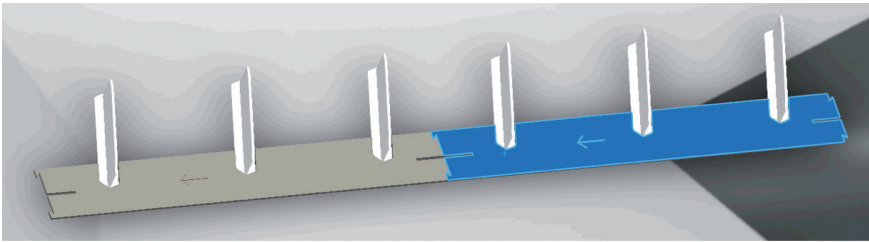


Figura 3: Dos herramientas de montaje unidad con los VGs

- Espesor máximo para evitar el “shrinkage”: 4 mm
- Sólo un punto de inyección (feeder) en la cara de la pie-za no visible y centrado
- Línea de partición en la cara no vista € cara inferior

Por ello esta pieza debe rediseñarse según los criterios mencionados y utilizando las herramientas de diseño como *Solid Works Tools* que indica el ángulo de desmoldeo tras defi-nir la superficie de partición (ver Figura 6 del material adicio-nal: azul indica zonas con posibles problemas de desmoldeo).

Respecto al proceso de ensamblaje y empaquetado, se ha tratado de simplificar para reducir costes y tiempo:

- Recepción de las piezas inyectadas con la forma final, de las herramientas de ensamblaje, los embalajes las ins-trucciones y la cinta adhesiva doble cara
- Fijación de la cinta adhesiva doble cara a las piezas por una cara
- Ensamblaje de los embalajes y embalaje de los kits (80 VGs, 1 herramienta de montaje, 1 manual de instruccio-nes y un embalaje)
- Almacenado y envió

Para realizar la selección de la unión al vehículo se es-tudiaron todas las posibles soluciones y se realizaron diver-sos ensayos para determinar el tipo de unión ideal (ver Tabla IV). Del análisis de las características de cada tipo de unión se

concluye que la más indicada es la unión mediante cinta estructural doble cara que presenta significativas ventajas con res-pecto a otras alternativas manteniendo un coste razonable y con pocas desventajas (no críticas como en otros casos). Por ello se ha seleccionado una cita doble cara de 15 mm de anchura para maximizar la zona de pegado y de contacto con el VG. Poste-riormente se han realizado test específicos

Ciclo de vida		Material adicional	Materiales req
Instalación (41 min)	Desembalaje	Cúter	Todos
	Preparación de la zona de unión	Productos desengrasantes, agua, jabón y una gamuza limpia y seca	
	Instalación	Ninguno	Instrucciones, VGs y herramienta de ensamblaje
Uso			VGs
Desinstalación		Disolvente	VGs

Tabla V: Secuencia de uso

Interacción	Problemas posible	Test
Aire	Pequeña reducción del consumo de combustible	CFD, test experimentales con lanza de agua
	Degradación	De degradación y de inmersión en agua
Carrocería	Despegado de la cinta	Estudio de la rigidez del adhesivo y la unión. Estudio mediante chorros de agua y mediante inmersión

Tabla VI: Interacción con el usuario y el medio

para determinar su comportamiento estructural y frente a las inclemencias del tiempo y ensayos de montaje por parte del usuario.

Para seleccionar el embalaje, éste depende principalmente de las dimensiones de la herramienta de montaje (320 mm) que establece la anchura mínima del embalaje (330 mm), aunque influye también las dimensiones de los VGs y su cantidad y el proceso de embalaje (ver Figura 7 del material adicional).

El embalaje seleccionado tiene dimensiones no convencionales (330 x 170 x 30) para minimizar el volumen a transportar y simplificar y optimizar el proceso de embalaje. Adicionalmente debido a la forma propia de los generadores se puede evitar el uso de material de relleno por lo que se obtiene un embalaje más ecológico. Se ha optado finalmente por una caja simple de cartón no corrugado de 3 mm (ver Figura 4 del material adicional).

La herramienta de ensamblaje permite la instalación de forma simultánea de varios VGs manteniéndolos alineados, con el ángulo de incidencia correcto y a una cierta distancia. El diseño de estos elementos implica también una serie de restricciones: uso de material plástico, bajo coste, no inyectable (para reducir el coste debido al molde) y uso intuitivo.

Tras analizar diversos posibles procesos de fabricación y geometrías se ha decidido utilizar un proceso mediante corte por chorro de agua a muy alta presión utilizando placas de 1.000 mm x 2.000 mm x 3 mm (apiadando 100). La herramienta de instalación se ha diseñado de forma que permite instalar de forma simultánea 2 VGs y se ha utilizado la forma de la propia herramienta para visualizar y fijar las aristas, así como una flecha tallada para identificar el sentido de montaje y simplificarlo, evitando posibles errores humanos. Por otro lado la herramienta cuenta con dos pestañas que permiten unir varias herramientas de montaje y reducir el tiempo de montaje final. Por otro lado el proceso de corte por chorro de agua permite el corte de varias láminas de forma simultánea (hasta 500 mm) por lo que se agrupan en altura y se cortan varias de forma simultánea (aproximadamente 160) para reducir el coste y tiempo de fabricación de forma que pueden realizarse 16.000 piezas en un único proceso, por lo que se reduce considerablemente el coste final de la pieza.

Debido a la forma simple del dispositivo la evolución del diseño de este producto ha sido bastante simple por lo que ha sido casi imposible realizar cambios sustanciales en su forma o evolucionarlos funcionalmente.

La vida útil del producto viene determinada por el material y la vida de la cinta adhesivo que, de forma conjunta garantizan una vida útil de al menos 7 años. Por otro lado se ha evolucionado el diseño hasta conseguir un peso final unitario de 5,26 gr. A continuación en la Tabla V se muestra la secuencia de uso del producto y en la Tabla VI la interacción usuario producto.

En relación con la ergonomía se ha analizado tanto los VGs como la herramienta de ensamblaje utilizando los datos del percentil 5 y del percentil 95 de la mano humana (ver Figura 8 del material adicional).

Finalmente se ha analizado el impacto ambiental y se ha rediseñado el dispositivo para la obtención del menor impacto posible utilizando una serie de directrices de diseño, tanto para los VGs como para el resto del producto:

- Selección de material reciclado y reciclable (cartón reciclado, PVC, ASA reciclado y papel reciclado)
- Optimizado del peso/espesor → reducción de material y de consume de combustible y emisiones durante el transporte
- Reducción y optimización del proceso de fabricación (un único proceso por pieza)
- Optimización de las piezas para reducir la cantidad de zonas y partes no útiles (diseño de la caja para optimizar el corte, de las herramientas de montaje, etc.)
- Reducción/eliminación de material de relleno para el embalaje
- Reducción de tamaño del embalaje → menor consumo de cartón
- Fabricación local/nacional → reducción de las emisiones debidas al transporte

Con ello se han obtenido los siguientes resultados globales (para ver los resultados detallados analizar la Figura 9 del material adicional).

- Peso total: 597,46 g
- CO₂ emitido: 2,41 kg
- Energía utilizada: 49,7 MJ
- Acidificación atmosférica: 4,6e – 4 kg SO₂
- Eutrofización del agua: 5,7e – 4 kg PO₄

Se ha utilizado para realizar los ensayos medioambientales la base de datos de *Solid Works* y su herramienta *Sustainability Analysis*.

Se ha realizado también un análisis estructural donde las únicas cargas que se deben considerar son las debidas a la interacción con el viento; por ello se ha considerado una presión de 19,2 Pa, equivalente a la presión que produce el vehículo al moverse a 200 Km/h con aire frontal de otros 100 Km/h. Esta es la velocidad máxima estimada que puede soportar.

Al analizar los diagramas de tensión se puede observar que la máxima tensión que aparece es de 1.587 Pa, bastante alejada de los 33 MPa (límite de fluencia del ASA), por lo que el coeficiente de seguridad es superior a 10.000. La fuerza que produce el aire en la base es de 0,0256 N (que es considerablemente inferior a los 6,8 N de fuerza de despegado de la cinta) por lo que no se generará despegado de la misma.

En relación con el coste del producto, se ha estimado:

- 40 VGs x 0,8 €/cada uno= 80 € (incluyendo coste del molde)
 - Herramienta de montaje= 6 €
 - Embalaje: 6 €
 - Coste de montaje y embalaje= 14 €
 - Costes de envío: 12 €
- Coste total: 110 €**

5. PROTOTIPADO RÁPIDO Y TEST EXPERIMENTAL

Se han realizado diversos prototipos del kit completo del producto mediante moldeo por gravedad utilizando moldes de silicona y mediante plástico de poliuretano y con la cinta doble cara estructural final que ha sido instalada en el producto. Por otro lado se ha fabricado tanto la caja final como la herramienta de montaje mediante corte manual. Para realizar el prototipo maestro de los VGs se ha utilizado impresión 3D a partir del modelo de *Solid Works* y se ha imprimido

mediante una impresora *Prusa* (ver Figura 10 del material adicional).

Con estos prototipos se han realizado diversos test para evaluar el comportamiento del producto: análisis del proceso

de montaje de la cinta doble cara y cálculo de tiempo necesario requerido (600 piezas por hombre y hora), de las herramientas necesarias y el análisis de la pieza, de su espesor y del adhesivo de unión para comprobar la fuerza de despegado

	Fortalezas	Debilidades	Soluciones Tecnológicas	Posibles Mejoras
Embalaje	Pequeño tamaño. Envío postal. Sin relleno. Sin adhesivos o Cintas. Embalaje rígido y compacto. Apertura simple e intuitiva. Cierre simple y robusto. Embalaje sencillo	Ensamblaje complicado de la caja. Mejorable ecológicamente (gran cantidad de desperdicios)	Caja serigrafiada de cartón simple. Uso de la disposición para evitar el uso de relleno. Diseño de los pliegues para aumentar la rigidez y permitir un cierre simple. Empaquetado en capas.	Simplificación de la caja para reducir el número de pliegues, facilitar el ensamblaje y reducir el coste en cartón
Generadores de vorticidad	Resistente al medio ambiente y a los UVA. Vida útil larga. Pintable. En cualquier color	Forma compleja Coste unitario / peso.	Material ASA sin aditivos ni pigmentos. Espesor de la pieza 1.5 mm	Rediseño de la forma para reducir las dimensiones → menor coste y más ecológico
Fabricación	Inyección en un único paso. Molde simple sin inserciones o contrasalidas	Grandes dimensiones del molde debido a las dimensiones de la pieza	Fabricación mediante inyección en un molde sin contra salidas (una o varias cavidades)	Rediseño de la forma para reducir dimensiones → molde menor → menor coste
Ensamblaje	Ensamblaje sencillo sin herramientas adicionales o conocimientos especiales	Ensamblaje en dos pasos: pegado de la cinta y corte de la misma. Desperdicio de gran cantidad de cinta	Proceso de ensamblaje sencillo	Rediseño de la forma para reducir dimensiones → menor desperdicio de cartón → menor coste y más ecológico
Instalación	Sin herramientas especiales ni conocimientos adicionales. Por el usuario en menos de 1 hora	Uso no intuitivo de la herramienta de montaje. Posible confusión en la dirección de montaje	Uso de cinta doble cara y herramienta de montaje	Colocación de marcas para facilitar el ensamblaje
Herramienta de ensamblaje	Pieza relativamente simple. Posibilidad de unión de varias herramientas.	Alto coste unitario (inyección / coste del molde) 2 herramientas de montaje necesarias	Pieza plástica. Pestañas para unir varias herramientas	Rediseño de la herramienta de ensamblaje sin inyección y de un único tipo
Adhesivo	Removible. Resistente a los elementos. Montaje simple e intuitivo sin necesidad de herramientas o conocimientos	Desperdicio de mucha cinta	Uso de cinta estructural doble cara	Uso de otros adhesivos. Rediseño de los VGs
Uso	Reducción del consume de combustible de entre el 2 y el 4 %. Sin mantenimiento		Formas redondeadas, bajo peso, sencillo de quitar, etc. Características del VG	Reducción adicional del consumo de combustible
Instrucciones	Bajo coste	No profesional. Sin imágenes del proceso de montaje. Contenido	5 páginas DIN A4 realizado en Word en B/N	Uso de otro formato. Rediseño de los contenidos. Inclusión de imágenes. Mayor profesionalidad

Tabla VII: Análisis DAFO

(6,8 N), el análisis de los elementos de unión y de su durabilidad, análisis de la unión mediante agua (inmersión y chorro de agua), análisis del proceso de embalaje (20 kits por hora) y análisis del proceso de instalación por el usuario (entre 30 y 50'), de la secuencia de uso y del desmontaje.

5.1. TEST MEDIANTE CHORRO DE AGUA

En este test se analiza de forma comparativa la forma de la estela que produce un chorro de partículas de agua al incidir contra diversos modelos de VG; con ello se persigue evitar un costoso ensayo mediante túnel de viento pero por otro lado sólo se obtienen datos cualitativos de la estela producida; con ello se puede analizar a simple vista la turbulencia generada por diversos modelos de VG.

Las imágenes de la Figura 11 del material adicional muestran cómo cada tipo de VG redirige las partículas y como, en comparación con un modelo sin VG se produce un flujo menos caótico y se reduce la estela que genera el vehículo y, por tanto se reducen las pérdidas de energía.

Este test experimental es útil de cara a validar los resultados numéricos obtenidos mediante las herramientas CFD e indican que el generador diseñado produce menores turbulencias que los de referencia y por tanto menores pérdidas aerodinámicas.

Por otro lado el uso de prototipos permite verificar la ergonomía y analizar la interacción usuario producto para determinar el tiempo de instalación requerido, la fuerza de la unión y otros aspectos esenciales para la validación del diseño.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La principal conclusión que se obtiene es que utilizando técnicas de diseño multidisciplinar se ha obtenido un diseño mejor desde diversos puntos de vista como la mejora aerodinámica, el impacto medioambiental, la optimización del proceso de producción, la reducción del precio, etc.

Por otro lado un prototipado rápido y barato ha permitido analizar funcionalmente el producto a través de diversos test que simulan casos extremos a los que va a estar sometido durante su vida útil y permite por ejemplo comprobar la resistencia de los adhesivos u obtener la turbulencia generada.

En este artículo la ingeniería inversa ha sido útil ya que ha permitido obtener las especificaciones de diseño y las soluciones tecnológicas adoptadas por productos similares en aspectos como por ejemplo el embalaje, los materiales, el diseño inicial, etc. a partir de los que se ha realizado el desarrollo del producto y que ha permitido además compararlos con el nuevo diseño (fuerzas de resistencia aerodinámica, impacto ambiental, coste, peso, volumen del embalaje, ergonomía, etc.)

Finalmente remarcar que se ha realizado un análisis DAFO (ver Tabla VII) del producto final.

MATERIAL ADICIONAL

http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/7694_1.pdf



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miralbes R, López I. "Design optimization based on eco-design and mechanical analysis". 2011. Improve 2011. Pp103-104
- [2] Schut EJ, Van Tooren MJL. "Design "feasilization" using knowledge-based engineering and optimization technique". 2007. Journal of Aircraft. Vol 44 Pp 1776-1786. DOI <http://dx.doi.org/10.2514/1.246888>
- [3] Soso MD, Wilson, P.A. "The influence of an upstream diffuser on a downstream wing in ground effect". 2008. Journal of Automotive Engineering. 2008. Vol. 222.Pp 551-563. DOI: <http://dx.doi.org/10.1243/09544070JAUTO284>
- [4] Gad-el-hak M, Bushnell DM. "Separation control: review". 1991. Journal of Fluids Engineering. Vol 113, Pp 5-13
- [5] Miralbes R. "Aerodynamic analysis of some vortex generator improvements for heavy vehicles". 2012. International Journal of Heavy Vehicle Systems. Vol 19. Pp 355-370. DOI <http://dx.doi.org/10.1504/IJHVS.2012.049847>
- [6] Driessen PH, Hillebrand B, Robert AW et al. "Green New Product Development: The Pivotal Role of Product Greenness". 2013. IEEE Transactions on Engineering Management Vol 60. Pp 315-326. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2013.2246792>