

**SmartBird**

**FESTO**



**Descifrado el vuelo  
de los pájaros**

# Construcción ligera aerodinámica con torsión activa

El SmartBird es un modelo de vuelo ultraligero pero potente a la vez con unas excelentes cualidades aerodinámicas y una agilidad extrema. Con el SmartBird, Festo ha conseguido descifrar el vuelo de los pájaros. Inspirado en la gaviota argéntea, este dispositivo portador de tecnología biónica puede despegar, volar y aterrizar de forma autónoma sin necesidad de contar con un mecanismo de propulsión adicional. Sus alas no solo se mueven de arriba abajo, sino que también pueden girar en ángulos específicos. Esto es posible gracias a una unidad articulada de torsión activa que, junto con un complejo sistema de control, alcanza un rendimiento sin precedentes en la operación de vuelo. Con ello, Festo ha conseguido por primera vez realizar una adaptación técnica eficientemente energética del modelo natural.

## Conocimientos prácticos para la automatización

La integración funcional de mecanismos de propulsión acoplados proporciona importantes ideas y revelaciones que Festo puede transmitir al desarrollo y a la optimización de tecnologías híbridas de accionamiento. El uso mínimo de materiales y la construcción extremadamente ligera allanan el camino para la eficiencia en el

consumo de recursos y energía. Los conocimientos adquiridos sobre aerodinámica y el comportamiento hidrodinámico permiten nuevos enfoques y soluciones para la automatización.

## El fascinante vuelo de los pájaros

Desde siempre, uno de los sueños más antiguos del hombre es volar como un ave, moverse libremente por el aire en todas las dimensiones y observar el mundo a vista de pájaro. No menos asombroso es el vuelo de los pájaros en sí. Solo con la fuerza de sus alas, los pájaros obtienen el impulso necesario para despegar y mantenerse en el aire. Además, con estas mismas alas generan también el impulso necesario para superar la resistencia del aire y poner su cuerpo en movimiento: todo ello sin contar con ningún tipo de pieza giratoria.

Sin duda, la naturaleza ha conseguido integrar a la perfección las funciones de elevación y propulsión. Los pájaros miden, controlan y regulan sus movimientos por el aire continuamente y de forma autónoma para garantizar así su supervivencia. Para este fin utilizan sus órganos sensoriales.





### Científicos precursores

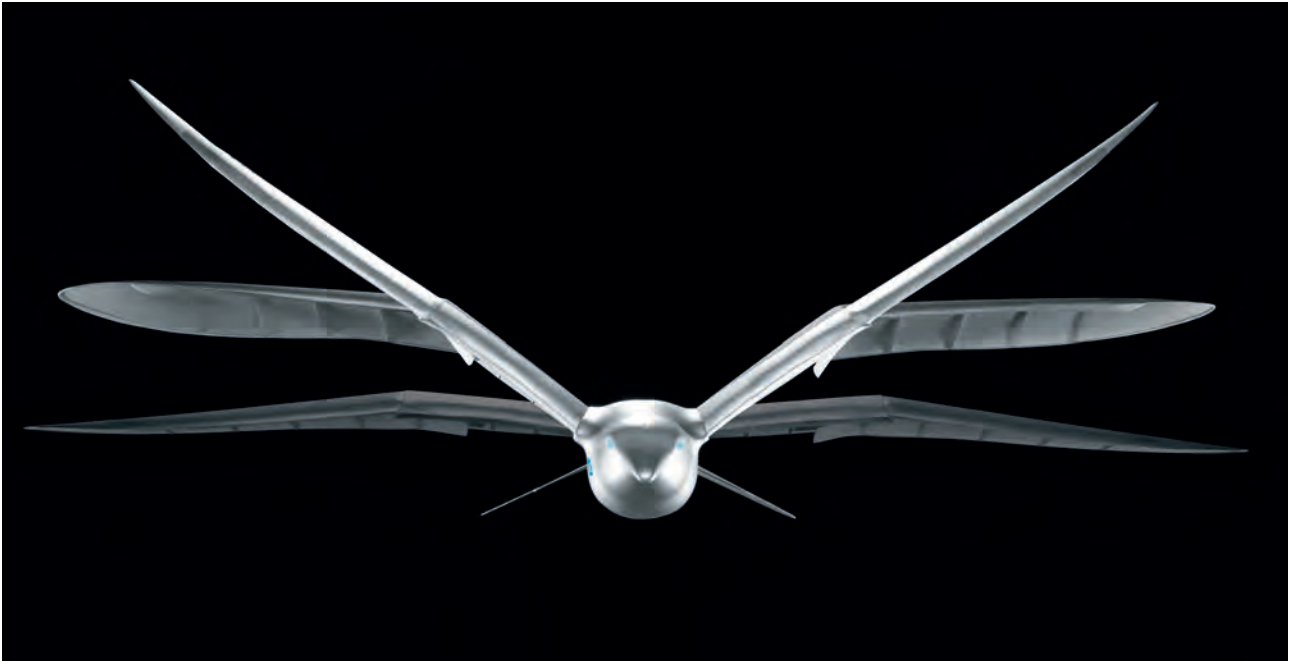
Ya en el año 1490, Leonardo Da Vinci construyó el primer modelo de alas batientes para aproximarse al vuelo de los pájaros. Otto Lilienthal publicó en 1889 el libro «El vuelo de los pájaros como base de la aviación». En el capítulo «El pájaro como modelo», Lilienthal describe de forma detallada el vuelo de la gaviota. En los últimos años, también se han desarrollado proyectos de ornitópteros, como el del equipo de investigación que dirige James DeLaurier, profesor de la Universidad de Toronto. En 2006, este grupo consiguió hacer despegar por primera vez una aeronave tripulada y propulsada por un mecanismo de ala batiente. En agosto de 2010, una aeronave accionada con la fuerza muscular del piloto recorrió una distancia de unos 150 metros, después de haber sido remolcada previamente hasta el nivel de vuelo.

### Descifrado el vuelo de los pájaros

En 2011, los ingenieros de la Bionic Learning Network de Festo consiguieron desarrollar un modelo de vuelo que puede despegar de forma autónoma y elevarse por el aire solo batiendo las alas y sin ayuda de ningún otro mecanismo de propulsión. El SmartBird vuela, se desplaza y planea por el aire.

Para su creación se aprovechó la experiencia adquirida en los proyectos AirRay y AirPenguin de la Bionic Learning Network. El objetivo era construir un pájaro biónico siguiendo el modelo de la gaviota argéntea. La fascinación de construir un pájaro que pudiese despegar, volar y aterrizar solo con la ayuda de sus alas fue el aliciente de los ingenieros de SmartBird. Mover el aire de manera específica es una competencia central de Festo que impulsa a la empresa desde hace más de 50 años. La característica excepcional de SmartBird es la torsión activa de las alas sin ayuda de mecanismos de propulsión adicionales. El objetivo del proyecto SmartBird era lograr una estructura general que fuera eficiente en términos de consumo de energía y recursos, con un peso total mínimo junto con una integración funcional de la propulsión y la elevación en las alas y una unidad de control de vuelo en las zonas del torso y la cola. Otros requisitos eran una excelente aerodinámica, una alta densidad de potencia para la propulsión y máxima agilidad del objeto volador. Gracias a un seguimiento científico, se pudo llevar a la práctica un proyecto global cibernético e inteligente siguiendo unas fases de trabajo lógicas.





**Giro específico:** torsión activa al batir las alas hacia arriba

#### **Unidad articulada de torsión activa**

El vuelo por aleteo se compone de dos movimientos fundamentales. Por una parte, las alas baten arriba y abajo, con lo que un mecanismo de palanca hace que el grado de desviación aumente desde el torso hasta la punta de las alas. Por otra, el ala gira de manera que su punta se dirige hacia arriba al batir hacia arriba y esta adopta un ángulo positivo de ataque. Si el giro se debe únicamente a la elasticidad de las alas, se habla de una torsión pasiva. No obstante, si la magnitud y el desarrollo temporal de la torsión se controla de forma específica mediante un actuador, entonces la torsión ya no es pasiva, sino activa.

#### **El ala: mecanismo de elevación y propulsión del pájaro**

El ala se compone de un larguero del ala del brazo de dos partes con un soporte del eje situado en el torso, una articulación trapezoidal (como las que se emplean con un tamaño más grande en las excavadoras industriales) y un larguero del ala de la mano. La articulación trapezoidal causa una relación de transmisión de 1:3. El ala del brazo genera la fuerza de elevación; el ala de la mano detrás de la articulación trapezoidal, la propulsión.

Tanto el larguero del ala del brazo como el de la mano son resistentes a la torsión. La torsión activa se consigue a través de un servomotor situado al final del ala de la mano, que gira toda el ala en dirección opuesta al larguero mediante una costilla exterior del ala.

#### **Cinemática lineal parcial para un impulso óptimo**

Si el SmartBird levanta las alas, el servomotor encargado de la torsión activa gira el extremo del ala de la mano hasta un ángulo de ataque positivo, que posteriormente pasa a uno negativo en una fracción del periodo de aleteo. Entre estas dos fases, el ángulo de torsión permanece constante. Mediante esta secuencia de movimientos, la corriente de aire que fluye a lo largo del perfil se aprovecha de forma óptima para generar impulso.

#### **El torso: alojamiento seguro para la tecnología**

En el torso se alojan la batería, el motor y los engranajes, el mecanismo de manivela, así como el sistema electrónico de control y regulación. El motor de rotor exterior hace batir las alas arriba y abajo a través de un engranaje recto de dos niveles con una reducción de 1:45. Cuenta con tres sensores de efecto Hall para



**Elevación y propulsión en un movimiento:** aleteo hacia arriba





poder registrar con exactitud la posición de las alas. Desde el engranaje se transmite la potencia de aleteo a través de una biela hasta el ala de la mano. El mecanismo de manivela no tiene ningún punto muerto, lo que permite un movimiento uniforme con mínimas cargas de punta y, con ello, un vuelo tranquilo.

El movimiento opuesto de la parte de la cabeza y del torso en cualquier dirección espacial se sincroniza mediante dos propulsores eléctricos y bielas. De este forma, el torso gira de forma aerodinámica y el peso se desplaza simultáneamente, lo que hace al SmartBird muy ágil y fácil de maniobrar.

#### La cola: ayuda de elevación y control

La cola del SmartBird también genera igualmente fuerza de elevación. Esta funciona tanto como timón de elevación como de dirección. Si el pájaro vuela en línea recta, la posición en V de ambas alas batientes lo estabiliza, al igual que sucede con el estabilizador vertical convencional de un avión. Para tomar una curva, la cola se inclina: si esta rota alrededor del eje longitudinal, esto causa una guiñada en torno al eje vertical.



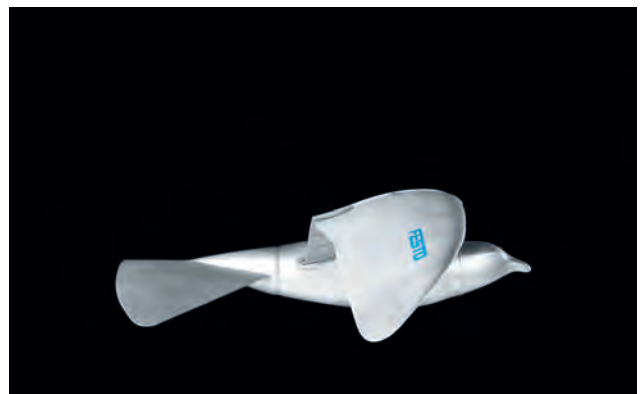
... y hacia abajo

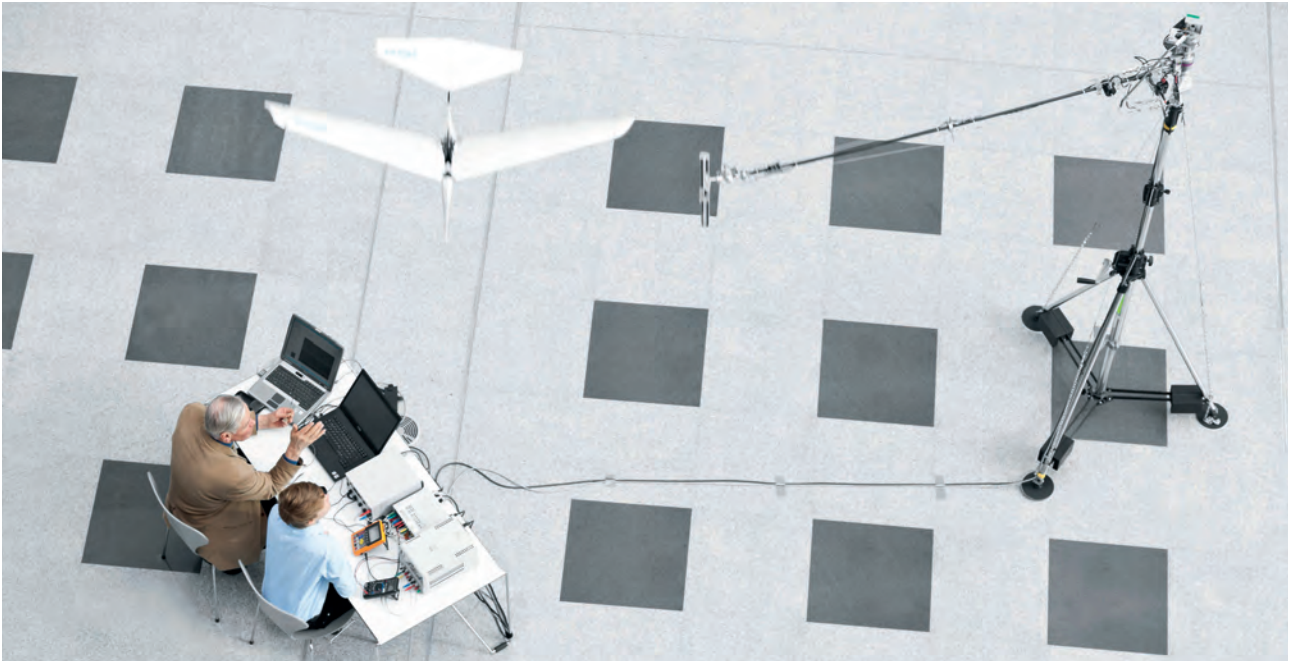
#### Medición, control y regulación

El sistema electrónico integrado a bordo es garantía de un control preciso y, con ello, eficiente de la torsión en función de la posición de las alas. Para que esto sea así, un potente microcontrolador calcula cuál es el ajuste óptimo de los dos servomotores, que a su vez ajustan la torsión de las alas. La sincronización de la secuencia entre el movimiento de aleteo y el de torsión tiene lugar mediante la lectura de la posición absoluta del motor para el movimiento de aleteo con ayuda de tres sensores de efecto Hall. Puesto que la unidad articulada de torsión activa requiere una coordinación precisa de los movimientos de aleteo y giro, está sujeta a un control completo y continuo.

#### Supervisión inteligente

Un sistema de comunicación bidireccional por radio que cuenta con el protocolo ZigBee permite supervisar la posición y la torsión de las alas. Es este sistema el que transmite datos de funcionamiento, como el estado de carga de la batería, el consumo de potencia y la información de la dirección del piloto. Además, los parámetros de control de la torsión pueden configurarse en tiempo real y, con ello, pueden optimizarse durante el vuelo. Junto con la unidad de control electrónica, este sistema de supervisión inteligente hace posible adaptar el mecanismo a situaciones nuevas en décimas de segundo. Gracias a todo ello, la construcción mecánica del modelo de pájaro pudo diseñarse de forma más sencilla, eficiente y ligera, lo que optimizó el rendimiento de todo el sistema biomecatrónico para la operación de vuelo.





### Fundamentos teóricos

Teóricamente, solo se puede obtener un alto rendimiento aerodinámico mediante una torsión activa, para lo que se requiere una pequeña cantidad de potencia suministrada por un actuador. Con la torsión activa, la potencia de aleteo se convierte de forma muy eficiente en potencia de empuje. El rendimiento aerodinámico es la relación entre la potencia de empuje obtenida y la potencia de aleteo y giro aplicada.

### Seguimiento científico

Durante su desarrollo, el SmartBird fue estudiado y medido conforme al modelo del fisiólogo francés Étienne-Jules Marey (1830 – 1904), quien analizó el vuelo de los pájaros haciéndolos volar en círculos. Para determinar el rendimiento electromecánico, desarrolló un aparato de prueba conocido como freno dinamométrico.

### El rendimiento como indicador de eficiencia

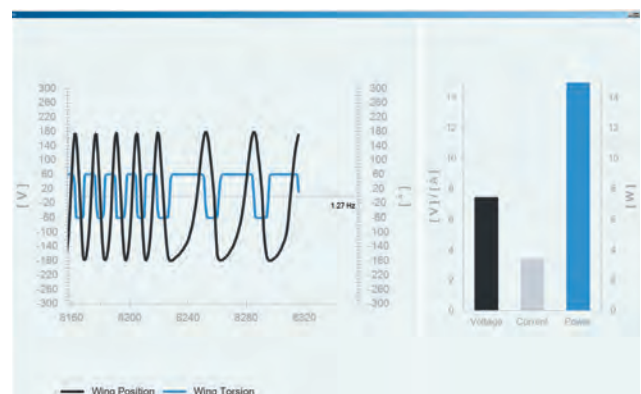
El SmartBird y sus modelos predecesores han mostrado el alcance de rendimientos electromecánicos de hasta un 45 %. Durante las mediciones del vuelo circular, se han registrado valores de hasta un 80 % de rendimiento aerodinámico. El rendimiento total se obtiene al multiplicar ambos valores parciales. Dado que el rendimiento aerodinámico se puede calcular, pero no medir directamente, este se obtiene de los resultados de la medición del rendimiento total y del rendimiento electromecánico.

Con la finalidad de averiguar cuál es el rendimiento electromecánico, el freno dinamométrico mide de forma continuada el par de giro y la velocidad angular para determinar así la potencia disponible que se genera durante el vuelo. Para ello, el movimiento de elevación de la propulsión de aleteo se transmite a un eje, que se carga mediante una zapata de freno. Un sensor de fuerza sostiene el brazo de palanca del freno mientras que, por su

parte, un sensor de ángulo mide la rotación del eje. El par de giro y la velocidad angular proporcionan la potencia mecánica. De la relación con la potencia eléctrica suministrada se obtiene como resultado el rendimiento electromecánico.

### Aprovechamiento óptimo de la corriente

Las fuerzas de elevación y propulsión se generan únicamente con el batir de las alas y requieren unos 25 W de potencia. El peso total de la gaviota biónica es de unos 400 gramos aproximadamente y su envergadura alcanza los dos metros. Con ello, el dispositivo Smartbird es un ejemplo excelente de cómo lograr una integración funcional, una construcción extremadamente ligera y eficiente en relación al consumo de recursos y, al mismo tiempo, es modelo de cómo se pueden utilizar de la manera óptima los fenómenos relativos al flujo de aire. La secuencia de aleteo y torsión se controla en cuestión de milisegundos y resulta en unas condiciones hidrodinámicas óptimas en torno a las alas. El modelo de vuelo existente en el SmartBird no tiene piezas giratorias en la parte exterior y, por esta razón, queda excluido cualquier riesgo de causar lesiones.



Supervisión en tiempo real de la posición y la torsión de las alas



### **Cambio de paradigma gracias a la biónica**

Con el SmartBird y dentro de su Bionic Learning Network, Festo ha conseguido de nuevo transmitir un principio natural a un área técnica. SmartBird incita a inspirarse en la naturaleza para encontrar nuevas soluciones para la automatización.

### **Proyecto global mecatrónico**

SmartBird es un proyecto global mecatrónico y cibernético que combina numerosas soluciones individuales en un objeto fascinante. La gaviota biónica solo pudo llevarse a la práctica con la integración de un sistema mecánico inteligente, la tecnología de propulsión eléctrica, los descubrimientos de la dinámica de fluidos, el sistema Condition Monitoring, la validación científica permanente y la transferencia de conocimientos científicos. En la actualidad, Festo ya aplica sus conocimientos prácticos del área de la dinámica de fluidos para desarrollar las nuevas generaciones de cilindros y válvulas. Mediante el análisis de los fenómenos del flujo del aire en el SmartBird, Festo ha adquirido un conocimiento adicional para mejorar sus productos y ha aprendido a diseñarlos de manera más eficiente. Esta eficiencia en el diseño

permite desarrollar productos de construcción compacta que requieren menos espacio para su instalación, están optimizados frente a la corriente y, con ello, son más eficientes energéticamente.

### **Consumo eficiente de recursos y de energía**

Gracias a su forma optimizada y su construcción ligera de fibra de carbono, el SmartBird es un excelente ejemplo de movimiento eficiente en cuanto a energía y del ahorro de recursos en el material empleado. La integración funcional de dos tipos de propulsión en una solución híbrida incrementa también la eficiencia en los recursos.

### **Integración funcional mediante tecnología híbrida**

Esta integración funcional proporciona información para desarrollar y optimizar tecnologías híbridas de propulsión. Festo ya combina las ventajas de los sistemas neumáticos con las ventajas de los ejes lineales eléctricos para conseguir una tecnología de propulsión lineal altamente precisa.

### **Posibles áreas de aplicación**

Los mecanismos de propulsión con acoplamiento para movimientos de batimiento y giro pueden aplicarse desde en generadores para producción de energía a partir del agua, conocidos como generadores de ala batiente, hasta en las nuevas propulsiones de regulación de la automatización de procesos. Inspirado por el cambio de paradigma de la biónica, Festo ya ha desarrollado anteriormente productos que han tenido una buena acogida en la industria y cuya atención se centra en la eficiencia energética y de recursos.

### **Funcionamiento seguro gracias al sistema Condition Monitoring**

Durante el vuelo del SmartBird se registran constantemente los datos de la posición y la torsión de las alas. Los parámetros de control de la torsión se pueden ajustar en tiempo real y, con ello, optimizarse durante el vuelo. Esto garantiza la estabilidad del vuelo, así como el funcionamiento seguro del pájaro.



Comportamiento hidrodinámico en el diseño y la simulación de productos



**Condition Monitoring:** seguridad de procesos con el diagnóstico permanente



#### Datos técnicos

- Longitud del torso: 1,07 m
- Envergadura/Peso: 2,00 m/0,450 kg
- Batería: baterías de polímero de litio, 2 elementos, 7,4 V, 450 mA
- Servos: 2 servos digitales con 3,5 kg de fuerza de regulación para el control de la cabeza y la cola 2 servos digitales para la torsión de las alas con 45 grados de recorrido de ajuste en 0,03 s
- Potencia eléctrica: 23 W
- Estructura: construcción ligera de fibra de carbono
- Revestimiento: espuma de poliuretano extruida
- Microcontrolador: MCU LM3S811 microcontrolador de 32 Bit a 50 MHz, 64 KB de Flash, 8 KB de RAM
- Radiotransmisión: 868 MHz / 2,4 GHz radiotransmisión bidireccional basada en el protocolo ZigBee
- Motor: compacto 136, sin escobillas
- Sistema de sensores: posicionamiento del motor 3 sensores de efecto Hall TLE4906
- Acelerómetro: LIS302DLH
- Gestión de potencia: 2 elementos de batería LiPo con supervisión de tensión y corriente ACS715
- Activación de ledes: TPIC 2810D



→ Película

#### Participantes en el proyecto

- Promotor del proyecto:  
Dr. Wilfried Stoll, socio administrador, Festo Holding GmbH
- Director del proyecto:  
Dipl.-Ing. (FH) Markus Fischer, Diseño Corporativo, Festo AG & Co. KG
- Proyecto y fabricación:  
Rainer Mugrauer, Günter Mugrauer, Andreas Schadhauer, Effekt-Technik GmbH Schlaitdorf
- Sistema electrónico e integración:  
Dipl.-Ing. Agalya Jebens, Dipl.-Ing. Kristof Jebens, JNTec GbR, Gärtringen
- Diseño y seguimiento científico:  
Dr. Wolfgang Send, Felix Scharstein, ANIPROP GbR, Göttingen
- Fotografías:  
Thomas Baumann, Esslingen, Axel Waldecker, Murr
- Gaviotas grises preparadas:  
Préstamo del Museo estatal de Historia Natural de Stuttgart
- Tareas de preparación:  
Jan Panniger

#### Festo AG & Co. KG

Ruiter Strasse 82  
73734 Esslingen  
Alemania  
Tel. +49 (0) 711 347-0  
Fax +49 (0) 711 347-21 55  
cc@de.festo.com  
www.festo.com/bionica