

1 Introducción

1.1 Idea Original

Para muchos aeromodelistas uno de los objetivos a lograr es el poder reproducir aviones a escala reducida tan similares a los reales como les sea posible y también muchos aeromodelistas e ingenieros han deseado obtener mejor desempeño, más funciones y características nuevas, diferentes o superiores a las existentes y mayor facilidad de uso.

Entre todo ese mundo de ideas y proyectos se encuentran: el uso de materiales y técnicas de fabricación modernas (i.e. materiales compuestos, herramientas de control numérico en miniatura), dispositivos electrónicos de alta tecnología (i.e. microcontroladores, radio controles programables), sistemas neumáticos en miniatura (tren de aterrizaje retráctil, frenos en las ruedas), y muchas adaptaciones e implementaciones ingeniosas que literalmente han hecho volar las ideas y los sueños de muchos entusiastas.

Y por cierto, también han elevado el pasatiempo a niveles técnicos comparables a los de los aviones reales y a costos estratosféricos si es que se desea tener lo último y lo mejor de lo mejor, actualmente no es difícil encontrarse en los “aeroshows” y convenciones de aeromodelismo aviones que superan los \$10,000 USD, pero claro está que con un presupuesto modesto de cualquier manera es posible practicar y divertirse mucho con este pasatiempo, por lo que el número de aficionados, profesionales y empresas en el ramo solo sigue incrementándose. En la tabla 1.1 se muestra el rango de costos típico de varios sistemas de aviones de R/C (radio control). Por todo esto la industria del aeromodelismo es hoy en día millonaria.

Tabla 1.1 Rango de Costos Típicos de Aviones de R/C

Nivel	Descripción	Rango de Precios (USD)
Económico, principiante	R/C de 2-4 canales, modelo sencillo, sin motor (planeador), o motor de baja potencia, eléctrico o de pistón.	\$300 a \$800
Medio, amateur	R/C de 4-6 canales, motor de pistón de buena potencia, algunos extras (tren retráctil, flaps)	\$800 a \$3,000
Alto, experimentado	R/C de 6-9 canales, aquí ya podemos ver turbinas en algunos casos y muchos accesorios y extras.	\$3,000 a \$10,000
Super-alto, caprichoso	R/C de 10 o más canales en tandem, múltiples turbinas, tamaños gigantes para modelismo, repleto de accesorios, y componentes hi-tech	\$10,000 y más...

NOTA: Aunque probablemente sería más apropiado indicar los precios en Pesos Mexicanos, creo que da una mejor idea hablar en USD, además de que en este medio todo se cotiza en USD, incluso los distribuidores nacionales manejan sus precios referenciados directamente a dólares.

Sin embargo, hasta hace muy poco se disponía solamente de una forma de propulsión fuerte para un avión a escala: motores de pistón de 2 tiempos. La tabla 1.2 muestra varias formas de propulsión de aviones a escala. La ventaja de los motores de pistón es la potencia relativamente alta que producen, y

que los aviones a escala los cuales su contraparte real es también de motor de pistones, quedan estéticamente muy bien, son muy realistas, y sus características de vuelo en la media de lo posible también lo son. Definitivamente no es el caso en el que se quiere reproducir un avión que originalmente es de turbina pero a escala lleva un motor de pistones y una hélice; he visto en revistas de aeromodelismo, fotografías de, por ejemplo, un F-14 con una hélice en la punta (Fig. 1.1) a mi gusto (y el de muchos otros) se ve muy mal, y las características de vuelo definitivamente son muy diferentes e irreales.



Fig. 1.1 Un hermoso modelo de un F-14 Tomcat con una horrible hélice

Tabla 1.2 Formas de Propulsión

Forma de Propulsión	Potencia	Otras Características
Manual	Muy baja	Limitada a planeadores, sólo funciona bajo ciertas condiciones ambientales. Totalmente silenciosa
Motores Eléctricos	Baja - media	Se usan principalmente en modelos pequeños, y vuelos cortos. No son muy usados. Silenciosos
Motores de pistón	Media - alta	Disponibles en muchos tamaños para muchos tipos de modelos, son muy populares y relativamente económicos aunque también hay caros. Requieren mantenimiento considerable. Muy ruidosos.
Pulso reactores (pulse-jet)	Media - alta	Definitivamente no son usados ni conocidos por la mayoría de los aficionados, prácticamente todos son experimentales y de construcción casera. Extremadamente ruidosos
Turbinas	Alta - muy alta	Alta relación de potencia/peso, para constructores aeromodelos y pilotos experimentados, costosas (materiales caros y difíciles de conseguir, ingeniería de alta precisión), requieren poco mantenimiento, alto consumo de combustible. Ruidosas de cerca*

* NOTA: Si ponemos un motor de pistón junto a una turbina en tierra, es probable que la turbina se escuche más fuerte, sin embargo si se montan estos motores en aviones y se vuelan lado a lado es difícil oír a la turbina ya que el ruido del motor de pistón se sigue escuchando muy fuerte tapando el sonido de la turbina que disminuye rápidamente con la distancia.

Pero como mencionaba, durante mucho tiempo no hubo alternativa. Un intento de mejorar esta situación fue meter la hélice y el motor (de gasolina o eléctrico) dentro de un cilindro, simulando una turbina, a esto se le llamó “ducted fan” (Fig. 1.x), pero era una solución a medias: no cambiaba mucho las características de vuelo ni de propulsión, traía más retos que soluciones, y estéticamente no era tan convincente (no se veía ni sonaba ni olía como una turbina). Simplemente por el último punto los aficionados y profesionales del aeromodelismo deseábamos más, deseábamos una turbina de verdad!!!



Fig.1.2 Un “Ducted Fan” con motor de pistón y uno con motor eléctrico

Desde niño, cuando yo veía las revistas de aeromodelismo, no me gustaba ver los modelos de aviones de turbo-reacción con hélices, me molestaba, y me imaginaba una turbina a escala y deseaba que estos aviones pudieran volar con ella. Sin embargo la imaginación y deseos de un niño no son suficientes (pero si necesarios) para lograr tal proeza tecnológica.

1.1.1 ¿Qué es una Turbina de Gas y Cómo Funciona?

Con el propósito de dejar bien claro de que se está hablando para las personas que no conozcan mucho del tema, explicaré brevemente qué es una turbina de gas y su los conceptos básicos de su funcionamiento. Esto ayudará a entender mejor las secciones siguientes.

Una turbina de gas a cualquier escala es un tipo de máquina térmica, es decir, que genera trabajo mecánico a partir de la energía obtenida al quemar un combustible. Más específicamente es una “Turbomáquina” debido a que la forma en la que produce trabajo es mediante la extracción de energía de un fluido, en nuestro caso este fluido es gas (i.e. el aire). Al componente mecánico que se ocupa de extraer la energía del fluido por medio de paletas que provocan la rotación de una flecha se le llama “*turbina*”, y de ahí que al motor completo también se le llame así, lo que a veces puede generar un poco de confusión. Para evitar esto, por el momento escribiré “*turbina*” con letra cursiva cuando me refiera al componente mecánico.

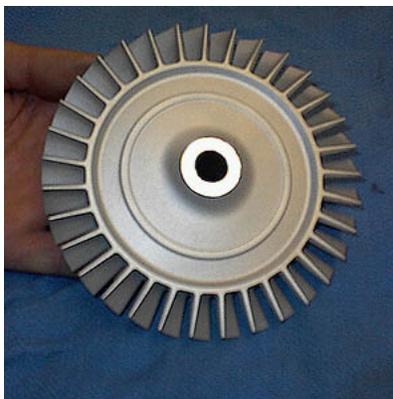


Fig. 1.3 Una rueda de *turbina* hecha en fundición de inconel, una superaleación resistente a las altas temperaturas

Básicamente las turbinas de gas consisten de tres secciones (Fig. 1.4): el compresor, la cámara de combustión y la *turbina*. Cuando el compresor está girando, el aire es succionado hacia el interior de la turbina y comprimido, es decir, se eleva su presión para tener mayor masa de aire (y especialmente de oxígeno) en un volumen menor. El aire comprimido entra a la cámara de combustión, donde se está inyectando combustible y existe una flama permanente donde se esta quemando. Esta combustión provoca un aumento muy grande el la energía interna del aire que se manifiesta principalmente en una temperatura y presión muy elevadas. Al entrar a la etapa de la *turbina*, se le permite al aire expandirse y acelerarse a gran velocidad, forzándolo a pasar a través de las paletas de la *turbina*, lo que provoca que esta gire. La rueda de la *turbina* esta fija a una flecha que a su vez sujeta al compresor, haciendo que este gire.

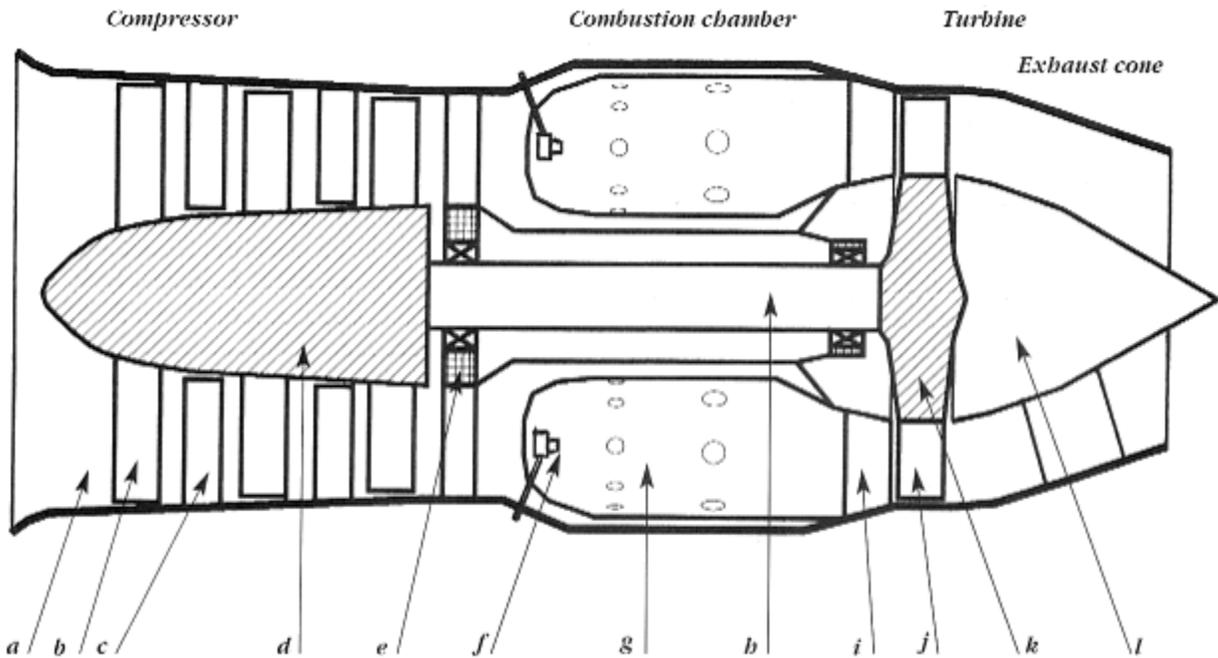


Diagram of a jet engine.

a) Air intake, b) Compressor blades, c) Ring of diffuser blades, d) Compressor rotor, e) Front bearing, f) Fuel injector nozzle, g) Combustion chamber, h) Shaft, i) Nozzle guide vanes, j) Turbine rotor blades, k) Turbine rotor, l) Tail cone.

Fig. 1.4 Diagrama general de una turbina

Entonces la *turbina* extrae una parte de la energía del aire para poder hacer girar el compresor y perpetuar así el ciclo de trabajo del motor. La energía restante en el aire que sale de la turbina es la que se puede usar con otros propósitos. Por ejemplo si simplemente se pasa por una tobera convergente para hacer que el aire salga a gran velocidad de manera que genere empuje, se la llama **Turbojet** o **Turborreactor** (Fig. 1.5a) y este fue el primer diseño de turbinas ya que es el más simple.

Pero es posible pasar el aire nuevamente por una *turbina secundaria* para generar la rotación de una flecha independiente de la flecha que mueve al compresor. Si la flecha secundaria mueve una hélice de propulsión convencional, al diseño se le llama **Turboprop** o **Turbohélice** (Fig. 1.5b), pero si la flecha mueve un ventilador de muchas paletas (como en los motores de aviones comerciales modernos) se le llama **Turbofan** o **Turbosoplador** o **Turboventilador** (Fig. 1.5c). Y si la flecha secundaria mueve cualquier otra cosa, ya sea un generador eléctrico, las ruedas de un auto, las orugas de un tanque, el rotor de un helicóptero, etc., simplemente se le llama al diseño **Turboshaft** o **Turboflecha**.

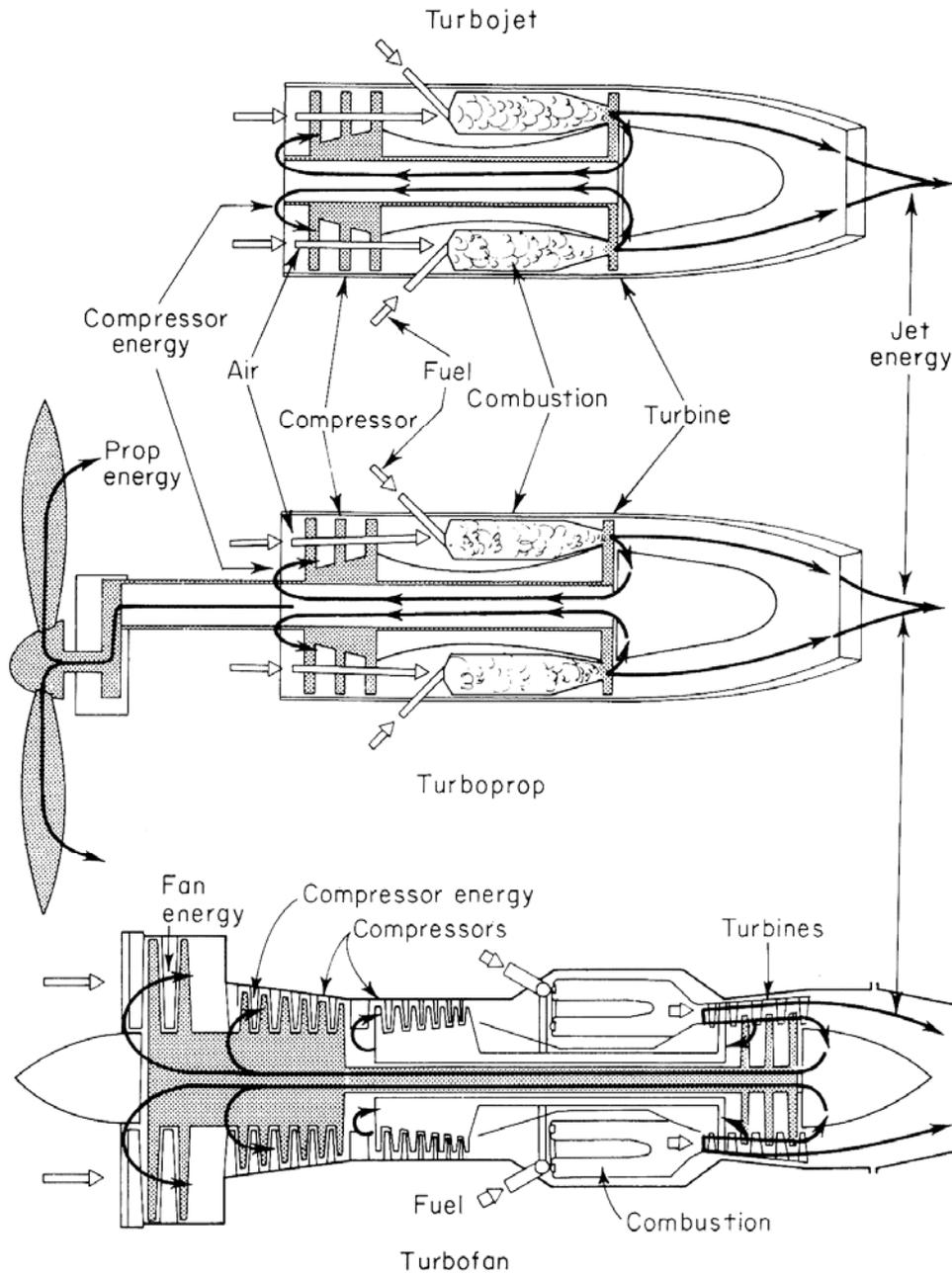


Fig. 1.5 Diferentes diseños de turbinas de gas

Nota: Todos los diferentes diseños mencionados son turbinas. Sin embargo, al hablar de turbinas de gas para aeromodelos, en general nos estamos refiriendo a turbojets (turborreactores), a menos que se especifique lo contrario.

1.2 Marco Histórico

Incluyo esta reseña histórica que dará a los lectores una visión panorámica y global del pequeño mundo de las turbinas de gas para aeromodelismo y les ayudará a comprender los motivos que hay detrás del desarrollo de esta tecnología y la inspiración para hacer este trabajo.

1.2.1 Breve Historia de las Turbinas de Gas Modernas

La tecnología de turbinas se remonta a hace más de dos mil años, cuando alrededor del año 100 a.c. un científico egipcio llamado Hero concibió y construyó el Eolípilo (fig. 1.6), el primer motor a reacción (jet) del mundo. Después siguieron varios inventos importantes, pero salen del alcance de este trabajo, por lo que voy a brincar directamente a las turbinas de gas modernas.

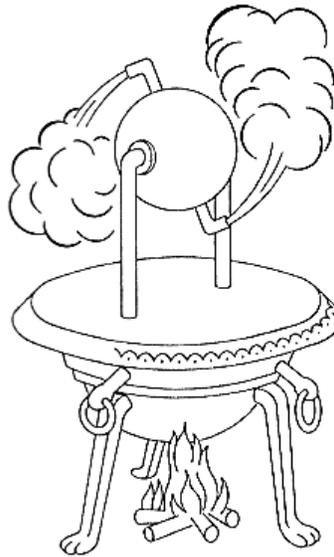


Fig. 1.6 El Eolípilo

Los orígenes de las turbinas de gas modernas se puede rastrear a 1921 con la patente de un motor a turbo-reacción por el francés Maxine Guillaume, y mas adelante, en 1930 el inglés Sir Frank Whittle logró obtener la patente de su turbo-reactor. Y en un esfuerzo de desarrollo casi en paralelo los alemanes Hans von Ohain y Max Hahn patentaron su propio diseño en 1936. Ambos diseños se basaban en el mismo principio de operación y hasta la fecha sigue siendo el mismo, y por supuesto que estos logros fueron posibles gracias a las contribuciones e ideas de muchas otras personas. El trabajo de los alemanes se vio realizado en 1939 cuando lograron el vuelo del primer avión propulsado por una turbina de gas, el HE178, y fue en 1941 que Whittle y su equipo pudieron también poner en el aire su turbina.

1.2.2 Las Primeras Turbinas de Gas para Aeromodelismo

Pero no fue sino hasta la década de 1980 cuando se comenzó a hacer un esfuerzo por parte de muchos aficionados y profesionales del aeromodelismo por crear una turbina de gas a escala específicamente para aeromodelos. Es importante mencionar aquí que el simple hecho de reducir una turbina de gas grande no produce un modelo funcional a escala, ya que la complejidad del diseño y construcción de una turbina grande se multiplica al tratar de reducir los componentes y de cualquier forma, las leyes de la física no lo permiten. Los primeros modelos a escala de turbinas de gas funcionales exitosos se construyeron a partir de los principios básicos y un diseño muy simplificado que por supuesto con el tiempo se han ido mejorando detalles pero a la fecha sigue siendo el mismo diseño básico.

A mediados de la década de los 50's apareció la Baby Mamba o más precisamente la TJD-76C (Fig. 1.7), diseñada y construida por el estadounidense Max Dreher, como fuente de propulsión para planeadores y drones ligeros (aeronaves robóticas no tripuladas). Esta turbina es muchas veces más pequeña que una turbina normal de aviación pero un poquito grande para usarla en aeromodelismo. Con un empuje de 200 Newtons, una construcción compleja y además un compresor poco convencional tipo diagonal, la Baby Mamba no es reproducible a una verdadera escala de aeromodelismo. Sin embargo, actualmente las turbinas de aeromodelismo más potentes son capaces de generar los 200 Newtons de empuje, aunque con una construcción mucho más simple y un peso casi 3 veces menor; así que considerar a la Baby Mamba una turbina de aeromodelismo o no depende del punto de vista personal de cada quien.

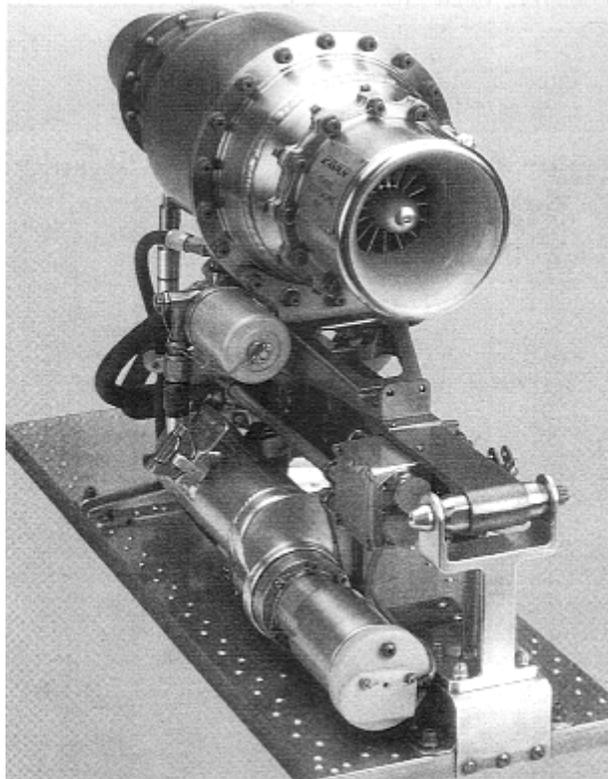


Fig. 1.7 La Baby Mamba

En 1982 los suecos Prisel, Alme y Lyrsell crearon su turbina PAL (fig. 1.8) con un diseño muy ingenioso ya que tenía la cámara de combustión en la parte posterior y su longitud no estaba limitada por la distancia entre el compresor y la turbina, producía un empuje de 120 Newtons, más que suficiente para un aeromodelo y usaba combustible líquido (keroseno), pero no fue usada para volar aeromodelos, al menos no en el periodo en el que fue desarrollada. Posteriormente la firma sueca Turbomin ha mejorado y producido esta turbina con el nombre de TN75, con un enfoque especial en bajo costo, simplicidad y evitando el uso de componentes costosos, por ejemplo usando rodamientos convencionales en lugar de cerámicos que pueden fácilmente costar más de \$50 USD cada uno. Por supuesto que este enfoque ha limitado el rendimiento potencial de la turbina, y la hace una de las más pesadas de su tipo con una masa de 3 kg y 75 N de empuje. El mantenimiento es muy simple y lo puede y lo debe realizar el propio usuario, reduciendo aun más el costo de propiedad y operación de esta turbina.

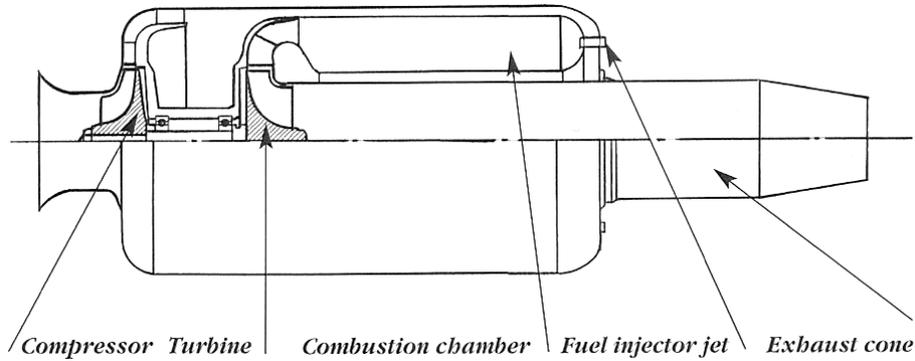


Fig. 1.8 La PAL

Un logro muy notable ocurrió en 1989 cuando un ingeniero alemán aficionado al aeromodelismo, Kurt Schreckling, diseñó, construyó y logró hacer funcionar la primera turbina de gas pequeña, ligera, de combustible líquido y específicamente diseñada para aeromodelismo, y además la fabricó usando solo medios relativamente amateur. La turbina FD2 consistía en un compresor radial tipo ventilador industrial, de madera reforzada con fibra de carbón, y como carcasa un bote de gas propano para campistas (FD = Feuer-Dosen, bote de gas). En 1990 la mejoró con su diseño FD3 con 30 N de empuje que es notable para su bajo peso de solo 750 g. Pero la contribución más importante de Schreckling en este campo, en mi opinión personal, fue en 1994 cuando publicó un libro (ver bibliografía) explicando el diseño su FD3 (Fig. 1.9), su funcionamiento, las ecuaciones y los planos para que otros aficionados pudieran construir sus propias turbinas amateur. Este es el punto que considero como el inicio de la era de las turbinas de aeromodelismo al alcance de muchos aficionados ya que además se empezó a crear toda una comunidad alrededor de estos conocimientos (ver más adelante).

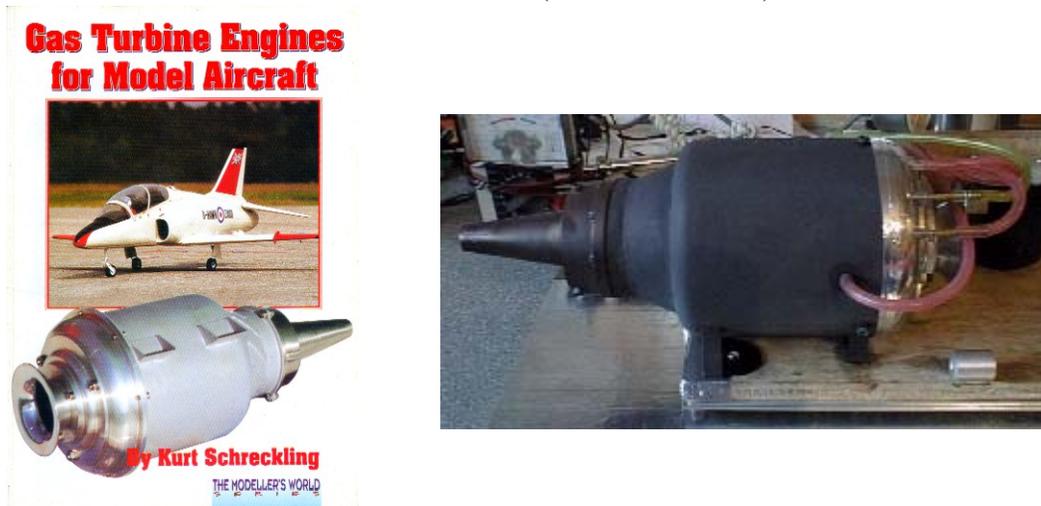


Fig 1.9 Portada del libro de Schreckling y una FD3 casera construida por un aficionado

Ya en 1991, JPX, una compañía francesa, manufacturaba y comercializaba su modelo Turborec T240 basado en los desarrollos del francés Michael Serrier que había trabajado en producir un modelo de turbina desde mediados de los 80's. Esta es la primera turbina de gas para aeromodelismo comercial y producida en serie, y tuvo mucha importancia en el mundo del aeromodelismo, incluso hubo fabricantes de kits de aeromodelos que ofrecían versiones especiales de sus aviones e incluso aviones especialmente diseñados para la T240 o sus sucesores. Desafortunadamente la T240 y sus hermanas mayores tenían tres enormes desventajas:

- Funcionaba sólo con gas propano en lugar de keroseno o algún otro combustible líquido, lo cual generaba un riesgo mayor incendio, es más trabajoso de manejar, el único tipo de tanque de combustible que se puede usar es un recipiente a presión y se necesita una cantidad considerable de equipo auxiliar; un extintor de incendios es absolutamente esencial.
- Usaba una rueda de turbina de flujo radial. Otros diseños contaban con una rueda de turbina de flujo axial, más poderosa y de aceleración más rápida.
- Necesitaba una botella de aire comprimido para arrancar.

Eventualmente JPX hizo una versión para keroseno, la T240K que producía el mismo empuje y algunos propietarios de la T240 pudieron hacer la conversión de sus turbinas cambiando la cámara de combustión original por la que quemaba combustible líquido. La importancia de las turbinas JPX de esta serie fue disminuyendo y actualmente se encuentran fuera de producción.

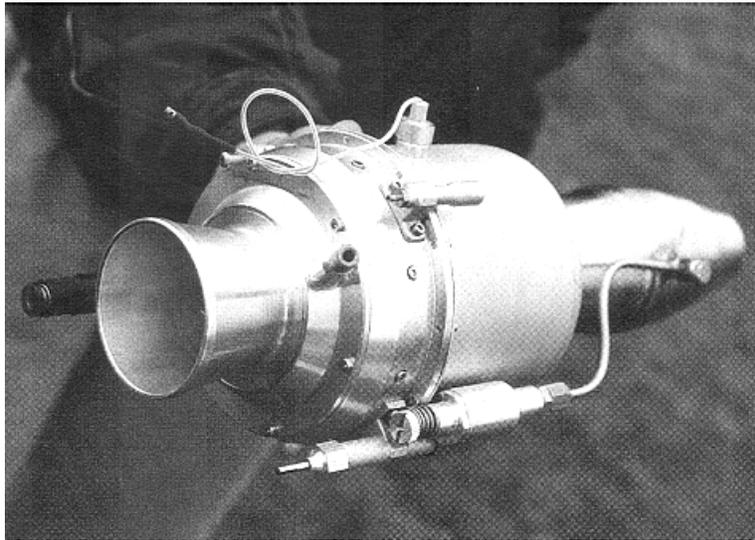


Fig. 1.10 La T240

1.2.3 Turbinas de Aerodelismo Actuales

En los últimos años, estas turbinas se han desarrollado al punto en que están listas para ser producidas en serie. Año con año los fabricantes mejoran las características y aumentan el empuje y algunas ya han llegado a un nivel en que son demasiado poderosas para un piloto amateur. Las mejoras en el rendimiento se deben principalmente al uso de materiales avanzados exóticos (i.e. superaleaciones), y al maquinado de las piezas más importantes con tolerancias muy cerradas (una milésima de pulgada).

También en el campo del control electrónico se ha avanzado considerablemente, lo que ha generado turbinas más confiables y duraderas, ya que por ejemplo, la inyección de combustible controlada compensa en gran medida los errores humanos de operación que podrían causar fallas o dañar permanentemente la turbina como el caso de un sobrecalentamiento o un desbocamiento. Así mismo, el uso de la electrónica ha permitido la mejora del diseño mecánico al poder tomar lecturas de los parámetros de las turbinas como rpm's o temperatura en un display electrónico o en una computadora en tiempo real en el banco de pruebas, o durante el vuelo para su análisis posterior con lo cual se pueden encontrar las causas de alguna falla, posibles errores en el diseño, y hacer

optimizaciones. Incluso existen ya turbinas de aerodelismo con arranque automático, el operador simplemente presiona un botón o mueve una palanca del control y la computadora se encarga de toda la secuencia de arranque y al apagar la turbina el control realiza una secuencia de enfriamiento.

Todo esto ha logrado que hoy en día, tener, operar, y volar una turbina sea muy simple y seguro, siempre que se observen ciertas precauciones elementales de seguridad. El aspecto relativamente negativo es que muchas de estas turbinas de producción de alto rendimiento no deben ni pueden ser reparadas o recibir mantenimiento por parte de los usuarios aficionados. Los fabricantes especifican que para estos fines la turbina debe de ser regresada a la fábrica en donde cuentan con los equipos sofisticados y costos requeridos para construir y mantener estas turbinas en sus niveles óptimos y de alto rendimiento.

Nota sobre esta sección: Aparte del valor histórico de los siguientes párrafos es importante tomarlos como referencia para la sección sobre la competencia comercial, en donde veremos tablas basadas en lo que aquí se describe con más detalle.

En 1993 otro ingeniero aficionado alemán, Thomas Kamps, habiendo trabajado con Schreckling, van de Goor, Jenniskens y otros, creo su propia turbina, la Micro Turbine, basada en un compresor radial de turbo-cargador para motor de 4 tiempos de automóvil. En 1995 Kamps también publicó un libro de su diseño, con sus respectivos cálculos, diagramas e instrucciones de construcción. Podemos decir que su diseño es la versión libre del diseño estándar que usan hoy en día prácticamente todos los fabricantes de turbinas de aerodelismo comerciales.

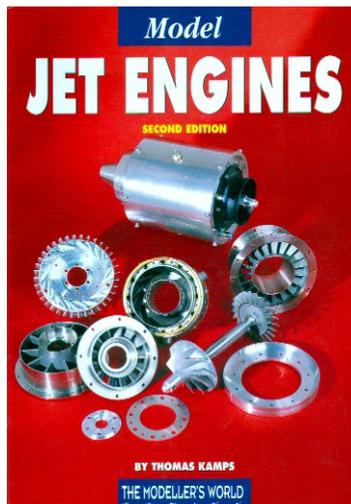


Fig.1.11 Portada del libro de Kamps donde se aprecia la Micro Turbina y sus piezas

La compañía japonesa Sophia Precision lanzó al mercado su modelo J-450 que tanto externa como internamente era muy parecida a la turbina francesa T240, pero usa como combustible una mezcla de keroseno y gasolina y su rendimiento es claramente superior a la de JPX. Desafortunadamente también era similar a la T240 en otros aspectos: usaba también un sistema de aire comprimido para iniciar, necesitaba mucho equipo auxiliar, era complicada de manejar y requería gran conocimiento técnico por parte del operador. El progreso con otros diseños hizo que esta turbina tuviera el mismo destino que la T240 y su presencia es cada vez mas insignificante, aunque todavía se pueden ver algunos ejemplares en la ferias de turbinas de aerodelismo. Actualmente esta compañía sólo vende sus turbinas en bancos de prueba para instituciones educativas (universidades) y centros de investigación.



Fig. 1.12 La J-450

Las turbinas de aerodelismo que también han fijado muchas tendencias han sido diseñadas en Holanda, específicamente por Han Jenniskens y Bennie van de Goor, quienes a principio de los 90's comenzaron a hacer turbinas, ambos eran fabricantes experimentados de pulso-reactores (pulse-jets). Después de muchos cálculos y experimentos fundaron la compañía Advanced Micro Turbines (AMT) y en 1992 comenzaron la producción de su turbina Pegasus Mk-3 que con 100 Newtons de empuje fue la turbina de aerodelismo de producción más potente por varios años. Más adelante diseñaron otros dos modelos basados en la Pegasus: la Olympus de 190 Newtons de empuje que ya está fuera del espectro de aerodelismo normal, y la Mercury de 70 Newtons de empuje con sólo 100 mm de diámetro. Desafortunadamente el equipo de Bennie y Han se separó formando 2 compañías, AMT Holanda y AMT Estados Unidos, legalmente independientes pero con los mismos modelos prácticamente.



Fig. 1.13 Familia de turbinas de AMT. También podemos ver al nuevo y "gigantesco" miembro de la familia

En años más recientes Schreckling abandonó su diseño original y comenzó a desarrollar la KJ 66 (fig. 1.14) junto al español Jesús Artés dentro de la GTBA (ver mas adelante). Esta turbina de alto rendimiento desde su introducción se hizo muy conocida y lo único que tiene en común con la FD3 es que la versión casera sigue utilizando como carcasa un tanquecito de gas propano de campismo. Internamente es básicamente el mismo diseño que la Micro Turbine de Kamps (KJ = Kurt-Kamps-Jesús), lo cual no es de extrañarse ya que ha sido un diseño colaborativo y es gracias al trabajo en equipo y a que se han compartido abiertamente muchos de los conocimientos, ideas y diseños que hoy en día existen las turbinas de aerodelismo, y con los niveles de desempeño que hemos visto. Originalmente la KJ 66 no se produce como una turbina completa, pero están disponibles los planos y

las partes más críticas, como la rueda de la turbina, fabricada profesionalmente y comercializada por el propio Jesús Artés. El diseño básico del KJ 66 ha sido copiado muchas veces y es por eso que es prácticamente el estándar actual incluso de prácticamente todas las turbinas comerciales, a excepción de las de AMT, que aún siguen sobre su propio diseño original.



Fig. 1.14 La KJ 66

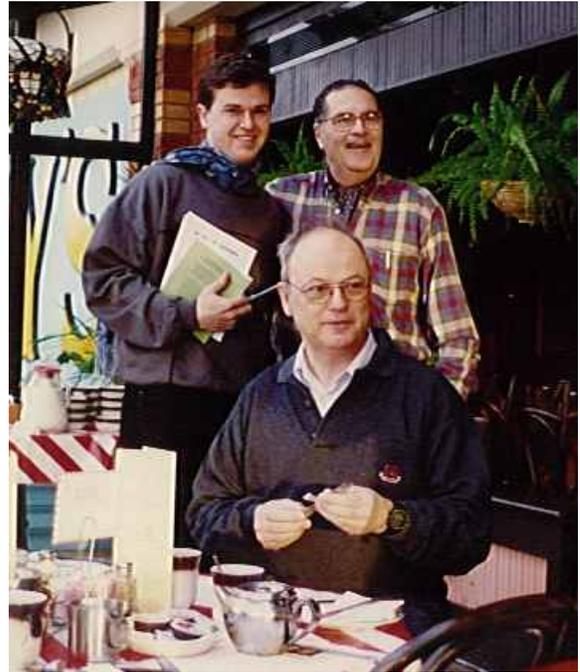


Fig.1.15 Thomas (Izq.), Jesús (Der.) y Kurt (Sentado)

Uno de los miembros del equipo español de Artés es Gaspar Espiell que se ha hecho muy conocido en el mundo de las turbinas de aeromodelismo por sus controladores electrónicos (Fig. 1.16) que se usan en la KJ 66 y en algunas otras turbinas de otros fabricantes. Estos controladores se han hecho populares gracias a que son muy prácticos y versátiles por su tamaño pequeño, simplicidad de operación, bajo consumo de energía y buen desempeño.

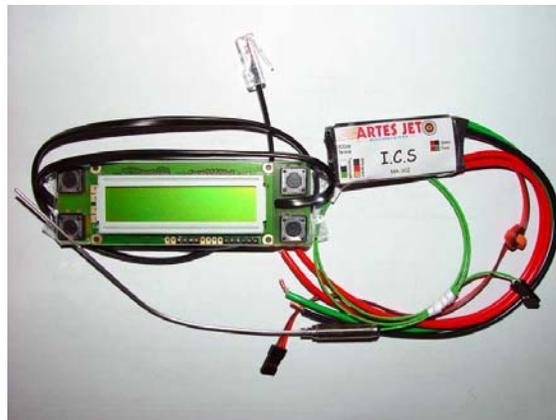


Fig. 1.16 Controladores de Gaspar Espiell

La JG-100 Eagle (Fig. 1.17) representa el esfuerzo por parte de Jesús Artés y Gaspar Espiell por crear su propia turbina (JG = Jesús-Gaspar), mejorando el diseño original de la KJ 66 y agregando algunos componentes con lo que ha logrado duplicar el empuje a 150 Newtons. Se ofrecía a la venta también con arrancadores y controles electrónicos y están disponibles la rueda de turbina y el NGV de fundición. Actualmente se comercializa bajo el nombre JF-100 Falcon.

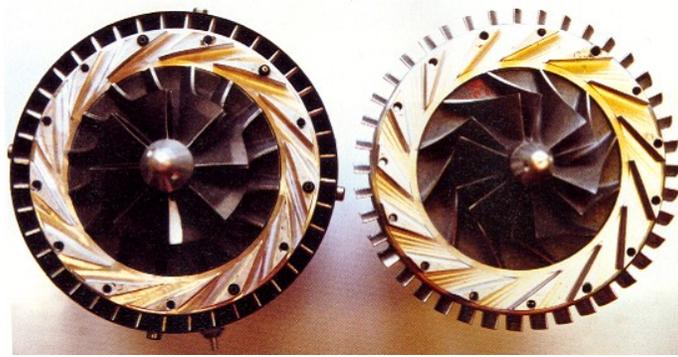


Fig1.17 Comparación de la JG-100 (Izq.) con la KJ66

El desarrollo de Artés de turbinas más pequeñas lo ha llevado a crear junto con Felipe Nieto la JF-50 Bee, con 55 Newtons de empuje y que actualmente se encuentra en producción como la JF50 Super Bee con 63 Newtons (estudio principal de este trabajo) y también se produce la JF120 Super Eagle con 136 Newtons. La importancia de estas turbinas es primordial en este estudio de factibilidad ya que son los modelos en los que está basado. Felipe Nieto y Juan Ramón Ruiz son los mexicanos que se encuentran detrás de la producción de estas turbinas por parte de la empresa mexicana Diseño y Metalmecánica S.A. propiedad de la familia de Felipe Nieto. Ellos ya trabajan con la marca Jet Central, pero legalmente son parte de la misma compañía y se usan sus instalaciones y maquinaria.



Fig. 1.18 Las JF-50 y JF-120 con su nuevo aspecto "Titanium"



Fig. 1.19 Felipe y Juan Ramón

Jet Cat con su modelo P80 (Fig. 1.20) introdujo muchas innovaciones como el arrancador eléctrico y una boca de entrada a la turbina que oculta todos los componentes de control esenciales, y con 80 Newtons de empuje es más que suficiente para volar un modelo 12 kg o más. En términos visuales la turbina luce muy bien y elegante, su peso ligero y dimensiones externas pequeñas hacen que pueda ser utilizada en casi cualquier modelo y se incluyen instrucciones comprensivas y materiales para su montaje. Por estas razones la Jet Cat P80 fue la primera turbina en ser distribuida en las tiendas de modelismo "normales" por Graupner. A la P80 le siguieron sus hermanos mayores, la P120 y la P200 con 200 Newtons de empuje!!! Jet Cat produce actualmente también un motor para helicóptero basado en un diseño turbo-eje (turbo-shaft), es decir, una turbina modificada con ejes y engranes para propulsar el rotor principal del helicóptero.



Fig. 1.20 La P80

Por su parte, los ingleses Mike Murphy y John G. Wright con su compañía WREN Turbines también produjeron su modelo MW 54 (Fig. 1.21) con 54 Newtons de empuje, siendo su característica especial un bajo consumo de combustible y una cámara de combustión corta con muy buen diseño que le permite trabajar a temperaturas de escape bajas. Este motor también se usa como generador de gas para su diseño turbo-hélice (turbo-prop), con una potencia en la flecha de 5 kW y también como turbo-eje para helicópteros. WREN vende los planos, las partes y los kits de turbinas completos. La turbina con la que cuenta la Universidad Iberoamericana es un kit de la MW 54 que nosotros armamos y pusimos en marcha.



Fig. 1.21 El kit de la MW 54 y la turbina ya ensamblada y funcionando

Al popularizarse la construcción de turbinas a nivel amateur, se necesitaba un punto de encuentro para los entusiastas. La Asociación de Constructores de Turbinas de Gas (Gas Turbine Builders Association, GTBA) comenzó en 1995 con el nombre “Gas Turbine Builders Contact Group” para propiciar y fomentar el intercambio de información respecto a la construcción de turbinas por parte de los aficionados, enfocados originalmente en la FD 3 y la Microturbine. Los miembros de todo el mundo aportan ideas, conocimientos, mejoras y nuevos diseños, con lo que se han logrado mejoras significativas en las turbinas originales y se han producido dentro del grupo nuevos diseños como la KJ-66 y la PT75. El presidente de la GTBA es Tom Wilkinson, y por supuesto todas las personalidades del mundo de las turbinas de aeromodelismo mencionadas anteriormente son al menos miembros, si no consejeros técnicos o parte del comité.

Tabla 1.3 Historia y Características de las Turbinas de Gas a Escala

Nombre	Fabricante	Año	Empuje [N]	Masa [kg]	Max. RPM's	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Comentarios
Baby Mamba	Dreher Engineering	Med. 50's	200	6.5	96,000	151	416	¿De aerodelismo?
PAL	Prisel, Alme, Lyrsell	1982	120	4	105,000	150	460	Originalmente no fue usada para aerodelismo
TN 75	Turbomin	Prin. 80's	75	3	100,000	148	425	Versión comercial de la PAL, simple, bajo costo
FD 3	Kurt Schreckling	1990	30	0.75	75,000	110	265	Primer diseño abierto al público de todo el mundo.
T240	JPX	1991	45	1.7	122,000	116	335	Primera turbina comercial de aerodelismo fabricada en serie. Fue muy popular. Usaba gas propano como combustible.
J-450	Sophia Precision	Prin. 90's	60	1.8	130,000	~116 ???	~335 ???	Muy similar a la T240, pero usa combustible líquido y tiene mejor desempeño
Pegasus Mk-3	Advanced Micro Turbines	1992	100	2	105,000	120	270	Turbina innovadora, con mucha potencia, fabricada con gran precisión.
Olympus		Med. 90's	190	2.4	110,000	130	270	Hermana mayor de la Pegasus
Mercury		Med. 90's	70	1.4 ???	145,000	100	225	Hermana menor de la Pegasus
KJ 66	Kurt Schreckling Jesús Artés	Med. 90's	75	0.95	117,000	110	265	Diseño estándar de las turbinas actuales. Planos y partes disponibles.
JG-100	Jesús Artés Gaspar Espiell	Med. 90's	150	???	132,000	108	???	Versión mejorada de la KJ 66
JF-50 Bee	Jesús Artés Felipe Nieto	Fin. 90's	55	???	160,000	80	173	Primer diseño y desarrollo importante con mexicanos involucrados.
P80	Jet Cat	Med. 90's	80	1.3	???	???	???	Primera en incorporar arrancador eléctrico y otras innovaciones.
P200		Fin. 90's	200					La turbina de aerodelismo más poderosa disponible.
MW 54	Wren Turbines	Fin. 90's	54	0.65	160,000	87	150	Consumo de combustible bajo, La UIA cuenta con este modelo para el lab. de fluidos.

1.3 Objetivos

El tema principal es investigar la posibilidad de consolidar una fábrica de turbinas de gas para aerodelismo, dadas ciertas premisas, siguiendo las metodologías de evaluación de proyectos.

Las herramientas a usar incluyen los estudios de ingeniería industrial (procesos, tiempos, y costos), estudio económico y financiero de la empresa, así como el análisis de factores externos como el mercado, la competencia y el entorno político-socio-económico.

Los objetivos últimos de este trabajo son: Sentar las bases de un plan de negocios, proponer las estructuras operativas y organizacionales relacionadas y hacer algunas observaciones y recomendaciones, todo esto con el enfoque de maximizar el patrimonio de los propietarios de la empresa fabricante de turbinas.

Este objetivo a su vez está relacionado con otros objetivos propios de la empresa, que aunque no corresponden directamente a este trabajo, considero oportuno mencionarlos:

- Posicionar fuertemente la marca
- Que la empresa sea líder en el mercado global.
- Contribuir al desarrollo tecnológico de México y mundial.
- Poner el nombre de México dentro de este mercado de élite.

Por razones que explicaré más adelante en los alcances y limitaciones, ciertamente el objetivo de este trabajo NO es hacer una investigación exhaustiva del tema, ni llegar a un plan de negocios totalmente completo y formal con datos exactos. Se trata sólo de una primera aproximación y de proponer una línea sobre la cual, si hay interés, pueda hacer un desarrollo posterior.

1.4 Justificación del proyecto

Como hemos visto, la tecnología de turbinas de gas para aerodelismo es relativamente nueva y los principales jugadores a nivel mundial eran las potencias económicas hasta el año pasado. Felipe Nieto, Juan Ramón Ruiz, y yo, somos unos de los pocos entusiastas mexicanos interesados en las turbinas de gas para aerodelismo desde el punto de vista tecnológico.

Yo las conocí en el 2000 por Internet, y comencé a investigar, compré algunos libros de Traplet Publications y me puse a estudiarlas y compartí mis hallazgos con el Dr. Golden, uno de mis profesores en la Universidad Iberoamericana de las materias relacionadas con ingeniería térmica, fluidos y turbomáquinas. Realmente deseaba construir una, y me emocionaba con el solo hecho de pensarlo, pero no disponía ni del tiempo ni los medios para construirla, así que mis conocimientos de las turbinas así como el de aerodelismo eran totalmente teóricos y nada prácticos. A principios del 2003, el Dr. Golden me sorprendió con la noticia de que la universidad había aceptado comprar un kit de una turbina que el había solicitado (una MW 54). Desafortunadamente en ese momento entre la maestría y mi trabajo de asistente, prácticamente no me quedaba tiempo para dedicarle a la turbina, y fue hasta junio de ese año que junto con Alejandro Martínez, compañero de la maestría con mucha experiencia en máquinas y mantenimiento, comenzamos a conseguir los materiales faltantes y a armar la turbina. La turbina quedó totalmente armada pero estábamos atorados con la parte del control electrónico, comenzamos el diseño pero llego el siguiente semestre y congelamos el proyecto. Por otro lado también teníamos problemas para conseguir el keroseno y algunas piezas.

Durante el siguiente semestre el avance fue mínimo hasta que el Dr. Golden logró obtener referencias de unas personas que también estaban en esto de las turbinas. Los llamamos y junto a unos estudiantes de la licenciatura de IME, fuimos a visitarlos a su “taller” lo que resultó ser la empresa Diseño y Metalmecánica y donde tienen un taller de aerodelismo muy profesional, y fue donde conocimos a Felipe Nieto y Juan Ramón Ruiz quienes nos apoyaron enormemente tanto con conocimientos e información como partes y materiales que necesitábamos para poder arrancar nuestra propia turbina.

*Nota: Para fines de este documento nos referiremos a Diseño y Metalmecánica como D&M.

Por su parte, Juan Ramón y Felipe eran aeromodelistas desde la adolescencia y comenzaron a fabricar turbinas caseras como hobby desde mediados de los noventas, siguiendo los diseños de Schreckling, Kamps y Artés. Ellos también experimentaron mucho y posteriormente junto con Artés lanzaron su propio diseño, la JF-50 Bee, y desde entonces Juan Ramón y Felipe son los únicos fabricando en serie turbinas de aeromodelismo en México. Esto es posible en gran medida gracias a que han estado usando las instalaciones, máquinas, equipos y recursos en general de la empresa D&M para construir muchas de las partes de los prototipos y turbinas de producción. A partir del 2004 la venta de las turbinas comenzó a considerarse como parte de las ventas de la empresa, aunque se comercializan bajo la marca Jet Central. Estas son las premisas a las que se hace referencia en el objetivo del proyecto.

La intención de este trabajo es buscar la separación de Jet Central y D&M en la medida de lo posible, ya que por un lado, la maquinaria necesaria para fabricar algunas de las partes de la turbina es muy especializada, costosa, y muy difícil de justificar para el bajo volumen de ventas, sin embargo D&M ya cuenta con estas máquinas. Lo mismo se puede decir de las instalaciones y servicios. Por otra parte es un hecho conocido en esta industria que las empresas que han iniciado para dedicarse únicamente a la fabricación de turbinas de aeromodelismo han quebrado. Prácticamente todas las empresas que actualmente fabrican estas turbinas tienen un negocio colateral donde usan la mismas máquinas, pero en otro ramo, lo cual les ayuda a justificar la inversión. Este es el mismo caso de D&M que se dedica a la fabricación de auto partes y componentes electrónicos.

Por lo tanto la consolidación a la que se refiere el objetivo, más que separar físicamente a Jet Central o iniciar una fabrica nueva, se refiere al aspecto organizacional, contable, y legal, para que Jet Central opere como una empresa independiente, la cual paga una “renta” por los recursos proporcionados por D&M. Esto evita en principio una inversión inicial fuerte, reduciendo enormemente el riesgo de una quiebra y la gravedad de sus consecuencias. Esto se podría considerar como maquila o “outsourcing” y lo es de alguna forma, sin embargo se tiene la ventaja de que se sigue haciendo todo “in house” pudiendo garantizar la alta calidad de los componentes y el producto final de forma sencilla.

1.5 Alcance y Límites

Este trabajo es un estudio de caso, el cual se pretende que sea estudiado y considerado por los accionistas de la empresa fabricante de turbinas y pretende hacerles una propuesta básica de plan de negocios, de manera que puedan incrementar su patrimonio, a partir del análisis de datos e información tanto al interior como al exterior de la empresa.

El análisis es totalmente enfocado a la empresa fabricante de turbinas (Jet Central) y sus intereses, por lo tanto este estudio no considera los procesos productivos ni requerimientos de la empresa D&M, aunque al hacer las propuestas si se procura tomar en cuenta la conveniencia para ambas partes, ya que esto hace más factible su aplicación real. Y hablando de la aplicación, aunque la intención del trabajo es que se lleguen a aplicar las propuestas y recomendaciones, la aplicación de facto QUEDA FUERA del alcance de este trabajo, así que NO se considera hacer ningún estudio posterior.

Aunque se aplican formalmente las herramientas de ingeniería industrial y económico-financieras correspondientes, este trabajo NO pretende hacer un estudio exhaustivo del mercado y el entorno, sino simplemente hacer las observaciones correspondientes. TAMPOCO se trata de un trabajo técnico sobre el diseño termodinámico y mecánico de las turbinas en sí, por lo cual no se muestran formulas, cálculos, ni diagramas detallados de las turbinas, que además por otra parte, son considerados como INFORMACION CONFIDENCIAL por parte de Jet Central. (Para ver este tipo información recomiendo ver los libros de Schreckling y Kamps). En el aspecto de la manufactura, se ve a grandes rasgos el aspecto de procesos, costos y tiempos, y NO se pretende llegar a diseñar las hojas de procesos, y TAMPOCO entrar en detalles técnicos ni especificaciones de manufactura.

1.6 Metodología

En una primera instancia vamos a definir la empresa, desde su nombre y filosofía hasta su estructura. Esta es una propuesta inicial pero está basada en varios de los elementos ya existentes y busca complementarlos y definirlos explícitamente. Es necesario mencionar que esta sección la escribo en estrecha relación con Felipe Nieto y Juan Ramón Ruiz, quienes deben marcar la pauta en las premisas de la empresa. En este punto utilizaremos metodologías de planeación estratégica y cultura empresarial.

A continuación vamos a estudiar los productos y sus procesos, lo cual nos lleva a mirar hacia adentro de la empresa, específicamente la parte operativa, y obtendremos información muy importante en cuanto a costos, tiempos y capacidad productiva. Para esto vamos a utilizar herramientas clásicas de ingeniería industrial.

Luego vamos a mirar brevemente hacia fuera de la empresa para estudiar el entorno y de nuevo hacia a adentro para analizar la parte económico financiera de la empresa y hacer una proyección de los flujos de caja. Aquí aplicaremos herramientas de técnicas administrativas y de ingeniería económica y financiera.

Finalmente vamos a hacer la propuesta de la base del plan de negocios, recomendaciones y observaciones. Hecho esto sólo queda presentar las conclusiones de este trabajo.