



Generación y gestión del conocimiento tecnológico.

El caso de la fábrica argentina de helicópteros Cicaré S.A.

(1956-2015)

TESIS DE MAESTRÍA

Maestrando: Ing. Leandro COLOMBANO

Director: Dr. Diego AGUIAR (CONICET – CITECDE)

Agosto de 2019

“Desearía que algún día se puedan fabricar helicópteros netamente argentinos.

O por qué no, que Argentina pueda volar en su propio cielo”.

Augusto Cicaré.

RESUMEN.

El conocimiento tecnológico generado en una empresa puede definirse como el conjunto de conocimientos provenientes del diseño, análisis, construcción y ensayos de sus productos tecnológicos, sus innovaciones y sus procesos (McGinn, 1991). Este tipo de conocimiento posee características que lo hacen difícil de conservar y transmitir, debido particularmente a su alto componente tácito (Polanyi, 1966). Por ello es importante indagar sus características con el objeto de facilitar su creación, gestión, conservación y transmisión.

El objeto de esta tesis son las actividades asociadas al diseño y fabricación de helicópteros, así como la gestión del conocimiento generado y su evolución en el tiempo en una empresa tomada como estudio de caso. Las prácticas y roles que desempeñan cada uno de los actores dentro de la empresa son además aspectos significativos para analizar el caso. Se ha recurrido al análisis técnico de todos los helicópteros desarrollados por la empresa Cicaré S.A, que particularmente no ha contado con registros de actividades o estados patrimoniales a través del tiempo. Han sido fundamentales las entrevistas con personas relacionadas a la firma actual y su historia.

Cicaré S.A. es una empresa argentina de aeronáutica dedicada al desarrollo y fabricación de helicópteros con reconocimiento internacional. Es considerada un referente en la industria por innovaciones que ha desarrollado sobre este tipo de aeronaves, empleadas hoy en todo el mundo. El primer vuelo vertical en Sudamérica, el desarrollo de uno de los primeros helicópteros ultralivianos y un simulador de vuelo real controlado, son algunas innovaciones que han destacado a la firma.

El presente estudio apunta al particular método de diseño y desarrollo tecnológico en la empresa. El diseño aeronáutico está desde sus comienzos a cargo de su fundador Augusto Cicaré, quien posee una formación de nivel primario sumada a técnicas de herrería y metalurgia. La empresa se encuentra actualmente en un proceso de estandarización de ingeniería dedicada a fabricaciones en serie e innovaciones sobre nuevos productos.

SUMMARY.

The technological knowledge generated in a company can be defined as the set of knowledge coming from the design, analysis, construction and testing of its technological products, its innovations and its processes (McGinn, 1991). This type of knowledge has characteristics that make it difficult to conserve and transmit it, particularly due to its high tacit component (Polanyi, 1966). Therefore, it is important to investigate its features in order to allow its creation, management, conservation and transmission.

The object of this thesis are the activities associated to the design and manufacture of helicopters, as well as the management of the generated knowledge and its evolution in a company that have been taken as study case. The practices and roles performed by each actor of the company are also significant aspects to analyze this case. It has been performed a technical analysis of all the helicopters developed by the company Cicaré S.A h, which particularly has not had records of activities or patrimonial statements over time. It have been fundamental to investigate, repair to interviews of people related to the current company and its history.

Cicaré S.A. is an argentine aeronautical company dedicated to the development and manufacturing of helicopters with international appreciation. It is considered a benchmark in the industry for innovations that it has developed on this type of aircraft, applied today throughout the world. The first vertical flight in South America, the development of one of the first ultralight helicopters and a real controlled flight simulator, are some innovations that have highlighted the company.

The present study points to the particular method of design and technological development in the company. The aeronautical design is from its beginnings in charge of its founder Augusto Cicaré, who has reached a basic education in addition to metallurgical techniques. The company is currently in a process of design standardization in order to reach serial fabrications of new products.

AGRADECIMIENTOS.

Estos agradecimientos van dirigidos a quienes hicieron posible la elaboración de esta tesis, a quienes me entusiasmaron con llevarla a cabo y a todos los que de diferentes maneras aportaron ilusión, afecto y pasión por lograrlo.

El primer agradecimiento especial es para el director de esta tesis Dr. Diego Aguiar, quien no solo me brindó sus conocimientos y formación a una correcta redacción, sino que mantuvo permanentemente mi entusiasmo durante todo el proceso de elaboración de la tesis.

El segundo agradecimiento especial es para Augusto y Fernando Cicaré, quienes me abrieron las puertas de su empresa y me hicieron sentir como si fuera parte de su proyecto. Agradezco además a quienes facilitaron mi trabajo de campo dentro de la fábrica, tanto en entrevistas como en asistencia personal, a Victoria Ugartemendia, Alfonso Cicaré, Ing. Claudio Rimoldi, Luciano Álvarez, Indalecio Sabbioni, Ing. Raúl Oreste e Isabel Ponce. De igual manera agradezco los aportes y el interés constante de Ceferino Castilla en la elaboración del trabajo de campo.

Agradezco profundamente a quienes aportaron correcciones, revisiones e invalorable consejos durante la elaboración de esta tesis: Mg. Martín Quiroga (UNRN), Dr. Facundo Picabea (IESCT-UNQ), Dr. Alberto Lalouf (IESCT-UNQ), Romina Sánchez (UNCo) y Andrés Ruiz Fonseca (UNGS). Un agradecimiento además a quienes aportaron sus conocimientos en aeronáutica: Ing. Carlos Bastías (INVAP) e Ing. Lucio Ibarra (INVAP).

Agradezco a la Universidad Nacional de Río Negro, particularmente a Dr. Francisco Aristimuño, Dr. Manuel Lugones y Sofía Crosta, quienes estuvieron a mi lado ofreciendo su ayuda desinteresada. Incluyo además en este agradecimiento a los docentes y compañeros de maestría que me acompañaron durante el trayecto.

Gracias a la Red Argentina de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología ESCYT por valorar mi trabajo en congresos nacionales y al Centro de Estudios en Ciencia, Tecnología, Cultura y Desarrollo CITECDE por hacerme sentir parte de su proyecto e integrarme a toda actividad de divulgación científica.

Mi agradecimiento a INVAP, especialmente a Ing. Darío Rouillez e Ing. Mauricio Albano, quienes se interesaron y valoraron mi trabajo brindándome siempre todas las posibilidades de asistir a seminarios y congresos académicos.

Esta tesis contó en parte con el financiamiento del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación mediante el Programa de Formación de Recursos Humanos en Política y Gestión de la Ciencia, Tecnología e Innovación. Particularmente agradezco a la gestión de la Dirección Nacional de Políticas y Planificación, parte de la Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva dependiente de la Secretaría de Planeamiento y Políticas.

Mi último agradecimiento especial es a mi compañera de vida Romina y a mi familia, a quienes finalmente dedico estas páginas por brindarme a diario su cariño incondicional.

ÍNDICE DE TEXTO.

RESUMEN.....	2
SUMMARY.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	8
CAPÍTULO 1: Problema de investigación.....	12
CAPÍTULO 2: Objetivos.....	15
2.1. Objetivos generales:.....	15
2.2. Objetivos específicos:.....	15
CAPÍTULO 3: Antecedentes y estado de la cuestión.....	16
CAPÍTULO 4: Marco teórico – metodológico.....	20
4.1. Conceptualización del diseño tecnológico.....	20
4.2. La gestión del conocimiento tecnológico.....	21
4.3. El proceso de diseño tecnológico en la ingeniería.....	23
4.4. La realización de ensayos en el proceso de diseño tecnológico.....	29
4.5. La generación de prototipos en el proceso de diseño tecnológico.....	30
4.6. Síntesis conceptual.....	32
CAPÍTULO 5: La historia del vuelo vertical.....	34
CAPÍTULO 6: Fase I. El desafío de volar. Los modelos CH1 y CH-2 (1956-1965).....	53
6.1. Análisis de Fase I.....	70
CAPÍTULO 7: Fase II. De Polvaredas a Oshkosh. Los modelos CH-3 Colibrí, CH-4, CH-5 y CH-6 (1965-1990).....	75
7.1. Análisis de Fase II.....	89
CAPÍTULO 8: Fase III. Un vuelo por el mercado mundial. Los modelos CH-7 y serie SVH (1990-1993).....	93
8.1. Análisis de Fase III.....	113

CAPÍTULO 9: Fase IV. La industria Cicaré. Los modelos CH-8, CH-11C y CH-12 (1993-2001)	117
9.1. Análisis de Fase IV.	125
CAPÍTULO 10: Fase V. Cicaré y el Estado Argentino. El modelo CH-14 Aguilucho (2001-2015)	128
10.1. Análisis de Fase V.	139
CAPÍTULO 11: Conclusiones.....	142
BIBLIOGRAFÍA.	151
ENTREVISTAS REALIZADAS.	153
PATENTES CONSULTADAS.	153
SITIOS WEB CONSULTADOS.....	153

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Figura 1. Esquema de Método de Diseño Tecnológico Estándar (Mott, 1995).	26
Figura 2. Modelo del proceso de diseño con prototipos (Gero, 1990).....	32
Figura 3. Vuelo experimental de aeroplano a cargo de los hermanos Wright (1903).....	35
Figura 4. Boceto del diseño <i>hélix</i> de Leonardo Da Vinci (1486).....	37
Figura 5. Tornillo de Aire (1852).....	38
Figura 6. Prototipo de Jaques y Louis Breguet (1907).	39
Figura 7. Igor Sikorsky (1989-1972).....	40
Figura 8. Igor Sikorsky sobre uno de sus modelos experimentales (1939)..	41
Figura 9. VS-300 en vuelo de prueba. De pie, Igor Sikorsky realiza ajustes (1939).....	42
Figura 10. Modelo Sikorsky S-47 en la actualidad.	43
Figura 11. Partes de un helicóptero.	44
Figura 12. Sustentación en un perfil alar.....	44
Figura 13. Esquema del ángulo de ataque.	45
Figura 14. Helicóptero ruso Kamov Ka-27 de palas contrarrotativas.	46
Figura 15. Helicóptero británico-italiano Caesar AW-101 con rotor de cola.	46
Figura 16. Esquema de Rotor Principal.	47
Figura 17. Rotor Principal de un helicóptero.	47
Figura 18. Mecanismo Plato Oscilante.....	48
Figura 19. Sistema de Transmisión de Potencia.....	49
Figura 20. Modelos Bell UH-1 Huey (izquierda) y Bell Huey Cobra (derecha).	51
Figura 21. Prototipo Modelo Vertol 107 (izquierda) y su evolución Boeing CH- 46 Sea Knight (derecha).	51
Figura 22. Hughes Modelo AH-64 Apache.....	51
Figura 23. Augusto Cicaré junto a un motor diésel de solamente tres piezas móviles diseñado y construido en su juventud para accionar un generador eléctrico (1960).....	53

Figura 24. A la izquierda, el sistema para creación de engranajes adaptado a torno convencional diseñado por Augusto Cicaré. A la derecha, algunos engranajes y ruedas dentadas creadas con la máquina (1954).	54
Figura 25. Augusto Cicaré durante la construcción del modelo CH-1 en su taller en Polvaredas. En el suelo se observan los moldes de chapa utilizados para fundir las piezas del motor (1959).	56
Figura 26. Augusto Cicaré sentado sobre el modelo CH-1 observando una maqueta a escala construida para estudiar fenómenos físicos (1959).	57
Figura 27. Augusto Cicaré experimentando sobre el fenómeno giroscópico (1960).	58
Figura 28. Augusto Cicaré junto a vecinos colaboradores previo a los ensayos del Cicaré CH-1 en la localidad de Polvaredas (1957).	60
Figura 29. Augusto Cicaré como piloto de pruebas del Cicaré CH-1 (1959).	61
Figura 30. Santiago González Valdés junto a Augusto Cicaré durante los ensayos del modelo CH-2 con sistema de fumigación (1966).	63
Figura 31. Evento de recaudación de fondos para la construcción del modelo CH-2. En la imagen superior, Augusto Cicaré junto al cantante de tango Edmundo Rivero. En la imagen inferior, el diseñador junto a Juan Manuel Fangio (1964).	65
Figura 32. Augusto Cicaré junto al modelo CH-2, en el suelo se aprecian marcas del ensayo del prototipo (1965).	66
Figura 33. Augusto Cicaré junto a uno de sus modelos con rotor a pistones (1965).	67
Figura 34. Prototipo CH-2 al mando de Augusto Cicaré en el banco de pruebas de barra metálica anclada al piso (1996).	68
Figura 35. Publicación en diario local sobre el vuelo del Cicaré CH-2 (1966).	69
Figura 36. Parte de las instalaciones de la fábrica Cicaré S.A. en Saladillo (2014).	76
Figura 37. El modelo CH-3 Colibrí durante su campaña de ensayos (1976).	77
Figura 38. Banner de promoción de diseños Cicaré.	78
Figura 39. El modelo CH-4 durante su campaña de ensayos (1983).	79
Figura 40. El modelo CH-5 en un vuelo para prueba de fuselaje (1986).	81

Figura 41. El modelo CH-6 en un vuelo para prueba de componentes (1987).	82
Figura 42. Dennis Fetters (izquierda) junto a Gustavo Brea (derecha) en Saladillo (1990).	85
Figura 43. Augusto Cicaré (izquierda) junto a Dennis Fetters (derecha) y el modelo CH-6 (1990).	86
Figura 44. Patente 5.163.815 sobre mecanismo de plato oscilante de rotor, fecha en noviembre de 1992 a nombre de Dennis Fetters.	87
Figura 45. Patente 5.165.854 sobre mecanismo de cambio de pitch de rotor, fecha en noviembre de 1992 a nombre de Augusto U. Cicaré (una semana después de la solicitada por Fetters).	88
Figura 46. Prototipo original Cicaré CH-6 en los hangares de Saladillo (2015).	89
Figura 47. Modelos Mini-500 de Revolution Helicopters en exposición.	94
Figura 48. Augusto Cicaré de pie mostrando los comandos del modelo CH-7 a Pierluigi Barbero ubicado en el puesto de comando (1991).	96
Figura 49. Modelo Elisport CH-7 Ángel.	97
Figura 50. Modelo CH-7 Ángel en Italia. Como puede verse en el rotor de cola, fue bautizado por su dueño como "Pirincio" (voz italiana del apodo "Pirincho") en homenaje a su creador (1994).	98
Figura 51. Helisport CH-7 Kompres con piloto y pasajero a bordo.	99
Figura 52. Modelo CH-7B, también denominado CH2000.	101
Figura 53. Fernando Cicaré sobre el modelo CH-6. A su lado, su padre dando instrucciones (1995).	103
Figura 54. Fernando Cicaré (izquierda) junto a su padre (derecha) en la planta de Saladillo (2012).	104
Figura 55. Patente 5.678.999 sobre sistema para entrenamiento de pilotos de helicóptero, fecha en octubre de 1997 a nombre de Augusto Cicaré.	106
Figura 56. Patente EP0872820A1 sobre sistema para entrenamiento de pilotos de helicóptero, fecha en octubre de 1998 a nombre de Augusto U. Cicaré.	107
Figura 57. Simulador SVH-1 durante ensayos (1993).	110
Figura 58. Simulador SVH-2 durante ensayos (1995).	110
Figura 59. Simulador SVH-3.	111

Figura 60. Simulador SVH-4 publicado en la web oficial de la empresa. ...	112
Figura 61. Sistema de control remoto digital para instructores del modelo SVH-4.	113
Figura 62. Fernando y Alfonso Cicaré en un vuelo de prueba del modelo CH-8 con motor Rotax serie 900 (2003).	119
Figura 63. Esquema de giro de rotores contrarrotativos coaxiales.	121
Figura 64. Modelo CH-11C (1998).	122
Figura 65. Augusto y Fernando Cicaré a bordo del modelo Cicaré CH-12 sobre la ciudad de Saladillo, Provincia de Buenos Aires (2002).	124
Figura 66. Ficha técnica del modelo CH-12.	125
Figura 67. Desde la izquierda, Santiago González Valdés, el Presidente de la Nación Juan Carlos Onganía y el Brigadier Jorge Martínez Zuviría junto al modelo CH-1 en la Exposición de Aeronáutica de Palermo (1968).	129
Figura 68. Augusto Cicaré y trabajadores de su fábrica junto a la Gobernadora de la Provincia de Buenos Aires Lic. María Eugenia Vidal y el Presidente de la Nación Ing. Mauricio Macri, durante una visita a la fábrica de Saladillo (2017).	130
Figura 69. Filtro de combustible marca Cicaré.	131
Figura 70. Croquis del prototipo CH-14 Aguilucho.	134
Figura 71. Dos pilotos de las Fuerzas Armadas verifican el habitáculo del modelo CH-14 durante su fabricación, junto a Augusto y Fernando Cicaré (2006).	136
Figura 72. Banner promocional del Cicaré CH-14 Aguilucho.	137
Figura 73. Prototipo modelo CH-14 Aguilucho durante el sobrevuelo de unidades de Aviación de Ejército (2007).	138
Figura 74. Demostración de vuelo del modelo CH-14 Aguilucho durante su presentación en Campo de Mayo (2007).	138

CAPÍTULO 1: Problema de investigación.

En una empresa de alta tecnología, en donde el conocimiento aplicado proviene de campos variados de la ciencia y la tecnología, la gestión del mismo resulta altamente compleja. Más aún, el conocimiento generado a diario por las tareas relacionadas al diseño y la fabricación, posee características y variedades que lo hacen difícil de gestionar. El estudio de caso objeto de esta tesis, la empresa Cicaré S.A., es un claro ejemplo de ese tipo de organizaciones.

Cicaré S.A. es una empresa argentina de alta tecnología dedicada al desarrollo y la fabricación de helicópteros livianos, con una trayectoria de más de 60 años. Es considerada un referente a nivel mundial en relación a innovaciones que ha desarrollado aplicadas a este tipo de aeronaves. A lo largo de su historia ha incursionado en el desarrollo de helicópteros con distintos tipos de estructuras y mecanismos, cuyos conceptos de diseño han sido adoptados además en otras partes del mundo a aeronaves de variadas performances en vuelo y de distintas motorizaciones, tamaños y sistemas de comandos. Los diseños alcanzados han puesto a Cicaré en el centro de atención de esta industria, en particular por alcanzar innovaciones de alto impacto a nivel mundial. El primer vuelo vertical en Sudamérica, el desarrollo de uno de los primeros ultralivianos, el sistema de rotor de vástagos y el primer simulador de vuelo vertical controlado en el mundo, son algunas de las innovaciones que han destacado a la firma en su campo tecnológico y se han transmitido de manera global. La medalla de oro como mejor invento del año de la categoría aeronáutica lograda por el desarrollo de su producto Simulador SVH-3 en el Salón de Ginebra en 1999, da cuenta de la valoración de la empresa a nivel internacional.

Sin embargo, el centro de atención en el estudio de este caso, consiste en conocer cómo se gestiona el conocimiento, partiendo de su particular método de diseño y desarrollo tecnológico. La empresa Cicaré, desde sus inicios y durante sus primeros desarrollos, no contó con ingenieros especialistas ni consultas a laboratorios de I+D, universidades o centros de investigación científicos. La base del diseño en Cicaré, fue desde sus comienzos el diseño mecánico a cargo de un proyectista que alcanzó una instrucción educativa formal de nivel primario, sumada a sus habilidades de herrero y metalúrgico. Este diseñador ha aplicado sus ideas para incursionar en sus primeras construcciones de manera artesanal.

El responsable del proceso de diseño en la empresa, desde 1961 y hasta el día de hoy, ha sido Augusto Cicaré. La empresa cuenta hoy con su propia planta fabril ubicada en Saladillo, Provincia de Buenos Aires, y se compone de un plantel de empleados en gran parte familiar al diseñador. El agregado de cálculo analítico, diseño industrial avanzado, nuevas tecnologías y demás características de la industria aeronáutica, han debido ser particularmente adaptadas al método original artesanal de diseño. Se puede definir que un diseño es artesanal si está basado en procesos manuales continuos, auxiliados por implementos rudimentarios y algunos de función mecánica que aligeran ciertas tareas, en la imaginación, y en la adaptación de medios preconcebidos, sin reparar en análisis matemáticos, físicos, químicos, geométricos y demás provenientes de la ciencia y el conocimiento académico (FONART, 2015).

Es menester detallar que la gestión del conocimiento tecnológico se define como el conjunto de actividades tales como el registro, la conservación y la aplicación de los conocimientos generados o adoptados en el proceso de diseño, a medida que el mismo evoluciona de un producto tecnológico a otro. Este concepto se acerca a la visión de Nonaka (2013), quien describe a la empresa tecnológica como una fuente creadora de conocimiento.

Sin embargo, antes de discernir un método de gestión de conocimiento en una empresa de alta tecnología, es necesario y fundamental entender su proceso de diseño. En base a Layton (1971), se puede presumir que la empresa Cicaré ha mantenido a lo largo de los años una “ideología de diseño”, lo que lleva al diseñador a la adaptación de diferentes medios de manera creativa con el fin de elaborar un diseño determinado. Como se desarrolla también en el marco teórico, esta ideología mantiene una calidad básicamente artística artesanal.

El problema de estudio radica en dos cuestiones fundamentales. En primer lugar, se busca identificar y caracterizar el método de desarrollo tecnológico particular de la empresa Cicaré, que no solamente ha desarrollado diferentes modelos de helicópteros ultralivianos, sino que ha generado innovaciones que han sido valoradas e incorporadas en la industria aeronáutica.

En segundo lugar, se analiza la evolución en la gestión del conocimiento tecnológico a través del tiempo. El mismo incluye sin duda un alto componente

tácito, difícil de ser registrado y plasmado para luego transmitirse entre generaciones. Sin embargo, se observará una mejora continua de modelos que han requerido de una gestión constante, que se pretende analizar y explicar.

CAPÍTULO 2: Objetivos.

Los objetivos de esta tesis se clasifican en objetivos generales y objetivos específicos, como se detalla a continuación:

2.1. Objetivos generales:

- a) Caracterizar el método de generación del conocimiento tecnológico en la empresa Cicaré S.A.
- b) Analizar la metodología de gestión y transmisión del conocimiento durante la trayectoria de la empresa.

2.2. Objetivos específicos:

- a) Identificar la ideología de diseño tecnológico, las técnicas y los métodos adoptados por el diseñador de la empresa para desarrollar soluciones mecánicas y aeronáuticas sin contar con formación específica en estas especialidades.
- b) Caracterizar la gestión del conocimiento tecnológico a lo largo del tiempo.
- c) Analizar la evolución del conocimiento tecnológico a través de sucesivos desarrollos de helicópteros livianos, desde los elementales hasta los avanzados.
- d) Analizar la gestión y la transmisión del conocimiento tácito entre los distintos actores de la empresa a lo largo de su trayectoria en el diseño y desarrollo de aeronaves.
- e) Determinar la función que cumplen los prototipos construidos y los ensayos en el desarrollo de nuevas tecnologías.
- f) Analizar la transformación de la empresa, desde sus inicios de fabricación artesanal hasta el modelo de fabricación en serie.
- g) Analizar las relaciones y los vínculos entre distintos actores de la industria aeronáutica y la empresa Cicaré S.A.

CAPÍTULO 3: Antecedentes y estado de la cuestión.

Puede asegurarse que, en la época del Renacimiento, los primeros tecnólogos de la sociedad fueron asociados con los artesanos, vinculados al arte por su capacidad inventiva (Ferguson, 1992). Con el fin de conseguir apoyo por parte de los gobiernos, los tecnólogos buscaron vincularse a la ciencia para ser aceptados como responsables de la aplicación de la misma en pos de la satisfacción de necesidades del hombre y la obtención de un aumento en la productividad laboral. Establecido este origen, la historia continuó su ciclo manteniendo a la tecnología siempre en un escalón inferior a la ciencia. Sin duda, esta tarea de aplicar ciencia básica a las diferentes necesidades les fue generalmente correspondida a ingenieros y técnicos.

El concepto de la tecnología como aplicación de la ciencia, proviene en gran parte de las afirmaciones que realiza el informe de Vannevar Bush (1945). En aquel documento se identifica al conocimiento nuevo como un producto de la investigación básica, de la que debían valerse los tecnólogos para desarrollar aplicaciones prácticas. En el informe, Bush destaca:

“Las facultades, universidades e institutos de investigación con apoyo público y privado son los centros de la investigación básica. Son los manantiales de conocimiento y comprensión. Mientras sean vigorosos y saludables y sus científicos tengan la libertad de perseguir la verdad, cualquiera sea el lugar al que conduzca, habrá un flujo de nuevos conocimientos científicos para quienes puedan aplicarlos a problemas prácticos en el gobierno, la industria u otros lugares” (Bush, 1945, p.4).

Similar a la postura de Bush, se encuentra más tarde la publicación *Technology and Culture* de Bunge (1974). En su libro, Bunge expresa: “los términos ‘tecnología’ y ‘ciencia aplicada’ serán considerados aquí como sinónimos, aunque pudiera no ser adecuado: De hecho, ‘tecnología’ sugiere el estudio de artes prácticas, a diferencia de una disciplina científica; y ‘ciencia aplicada’ sugiere la aplicación de las ideas científicas en lugar del método científico” (Bunge, 1974, p.329).

Respecto del área tecnológica, y a modo de cuestionamiento de su naturaleza como dependiente de la ciencia básica, aparecen autores del contexto local,

como Sábato (1982). El autor refiere al área tecnológica como basada en un complejo paquete de conocimientos, que involucra aspectos científicos, técnicos y empíricos, entre otros. Singer (1954) amplía estas definiciones dando aparición al concepto de técnica como socia inseparable de la tecnología, definida como el conjunto de artes útiles aplicadas gracias al conocimiento científico. Ampliando aún más las anteriores posturas, Daumas (1962) indica que la tecnología está subordinada a la sociedad, quien solicita de sus avances. Para Daumas, la ciencia sigue indirectamente amparando a la tecnología, pero esta vez desde una comunidad mayor, que incluye a aquellas partes de la sociedad que son o pueden ser afectadas por la tecnología, un concepto similar al de los *stakeholders*, acuñado por Freeman (1984). De todas maneras, la tecnología sigue funcionando armónicamente gracias a los hilos que mueve la ciencia, quien le provee de conocimientos.

Buscando un contraste, Gille (1978) publica el *Ensayo sobre el Conocimiento Técnico*, colocando de alguna manera a la tecnología al mismo nivel que la ciencia básica. Según este ensayo, la técnica utiliza no solo conocimientos científicos, los que se consideran de alta confiabilidad, sino que también emplea una serie de conocimientos inferiores denominados “aproximados”, productos de observaciones de técnicos, empirismo y ensayos.

En divergencia con los anteriores argumentos y más cerca a la actualidad, surgen autores como Staudenmaier (1985). El mismo se apoya en la historia de la tecnología para rechazar la hipótesis de que esta sea identificada como una aplicación de la ciencia básica. Acentuando el contraste, ni siquiera puede ver en el conocimiento tecnológico la teoría de ciencia aplicada. Todo este análisis arroja el parámetro de que la praxis tecnológica debe ser tratada como una forma de conocimiento particular.

Mirror-Image Twins es el nombre de la publicación de Layton (1971), quien participa en el debate para posicionar a la tecnología con igual jerarquía que la ciencia. Se refiere a la ciencia básica y a la tecnología como “mellizos en la imagen especular”. Continúa sosteniendo que la tecnología no es ciencia aplicada, pero reafirma aún más el planteo indicando que la tecnología posee sus propias instituciones, valores y métodos, como complementos de su también propio tipo de conocimiento. Definitivamente Layton trata de incluir un *ethos*

particular de la tecnología, de manera similar al concepto utilizado por Merton (1977), que en este caso se define como aquella cultura y conjunto de prácticas características de los tecnólogos. En su perspectiva, Merton planteaba la existencia de un llamado *ethos* científico, como patrón de conducta centrado en valores, ideales, normas o comportamientos que guían y consolidan el desempeño de los científicos como una comunidad concreta.

Avanzando sobre esa línea de razonamiento, Hall (1991) se alejó de los “mellizos en la imagen especular” que planteó Layton, para verlos más en contexto y observar sus interacciones. Establece una relación estrecha entre la ciencia y la tecnología. Resalta que se debe considerar la contribución de la tecnología a la ciencia a través de la instrumentación y la demanda de investigaciones para resolver problemas, como devoluciones a la provisión que en viceversa la ciencia le hizo a la tecnología con teorías útiles.

Cercano a las posturas de Layton y Hall, se destacan las ideas de Koyré (1973). En este caso, el autor de muchas publicaciones relacionadas al debate, sigue señalando a la tecnología como un caminante paralelo a la ciencia, destacando que la misma constituye un sistema de pensamiento diferente al de la ciencia, pero para nada inferior. Dicho sistema incluye la creatividad y el sentido común del tecnólogo durante su actividad, que a su vez puede recibir influencia de la ciencia, aunque de manera indirecta.

En general, se puede sostener que el conocimiento tecnológico es un elemento fundamental en el diseño y el desarrollo de artefactos y dispositivos. Por ello, es importante indagar en su creación y transmisión. La tarea de examinar este tipo de conocimiento puede ser difícil, en particular porque dentro del mismo existe un alto componente tácito. Acerca de este problema, Arancibia (2006) sostiene:

“El conocimiento tecnológico se ha concebido como un conocimiento que no se puede ‘archivar’ en un manual y al cual no se puede acceder en una biblioteca. De hecho, los manuales de instrucción de ingeniería no contienen información específica ni exhaustiva sobre los métodos involucrados en el ejercicio real de una actividad productiva y, a su vez,

presumen un lector inteligente que posee cierto conocimiento que no se encuentra escrito en esos manuales” (Arancibia, 2006, p.5).

Como se puede apreciar, el componente tácito del conocimiento tecnológico hace que este campo sea complejo de estudiar, analizar su funcionamiento, identificar sus características y, finalmente, poder ser gestionado por parte de una empresa. Así mismo, es difícil de ser comprendido en una investigación como la presente tesis.

En relación al estudio de caso seleccionado, Halbritter (2009) ha publicado un libro acerca de la historia del fundador y diseñador de la empresa Cicaré, aunque sin indagar en el conocimiento tecnológico y su gestión dentro de la empresa, sino en su biografía y desempeño como constructor. En el libro se describen los diseños realizados, las construcciones, los avances y los logros alcanzados por la empresa.

De todas maneras y, más allá de la valoración que puede darse al hecho de haber alcanzado la comercialización de aeronaves partiendo de diseños artesanales, es interesante hacer foco en el desarrollo de innovaciones que han sido aplicadas de manera global en la industria aeronáutica, incluso en algunas de las firmas más destacadas en el mundo.

CAPÍTULO 4: Marco teórico – metodológico.

El presente estudio de caso puede ser enmarcado como un ejemplo de la generación de conocimiento a partir de proyectos de tecnología compleja. Particularmente, se expone un caso en donde la tecnología se ha desarrollado y evolucionado con cierta carencia de bases científicas en sus inicios. Esto se ha dado no solamente alcanzando resultados valorados en la industria y el mercado, sino creando innovaciones aplicadas a nivel mundial en la industria aeronáutica. La evolución del diseño a partir de los prototipos se ha ido retroalimentando de manera continua, y es precisamente el diseño el generador de conocimiento tecnológico en el presente estudio.

4.1. Conceptualización del diseño tecnológico.

Ciapuscio (1996) sostiene que todo proceso cognitivo en la tecnología se genera por la adaptación de medios a una función preconcebida. Esta expresión se refiere al diseño ingenieril como actividad central en el tecnólogo. El diseño parte de una concepción en la mente del diseñador, que luego es trasladado a una configuración detallada a fin de ser concebido. Posteriormente a ser plasmado en croquis, planos, o diferentes medios de transferencia, la técnica se emplea a fin de convertir el diseño en artefacto, material, dispositivo o mecanismo.

Simplificando la visión de Ciapuscio, puede decirse que la tecnología es el empleo del diseño para, a partir de las ideas, obtener soluciones mediante la técnica. Esto puede entenderse como el proceso básico del diseño ingenieril. A través de análisis de retroalimentación, puede obtenerse un diseño nuevo partiendo de la interpretación de un artefacto o mecanismo ya concebido, sabiendo que la tecnología posee, al igual que la ciencia, una capacidad de autoabastecerse de conocimientos. Esto es evaluar el comportamiento de los artefactos o dispositivos mediante ensayos y modificarlos para obtener mejoras, básicamente una evolución en el diseño.

Retomando las diferencias entre la ciencia básica y la tecnología como fuentes de conocimiento, Layton (1971) diferencia los trabajos de las dos áreas alegando que la ciencia se refiere a la naturaleza mientras que la tecnología trata sobre el artificio humano. El científico tiene la capacidad de investigar, el

tecnólogo la capacidad de diseñar. La ciencia ayuda al hombre a entender el universo, la tecnología lo ayuda a diseñar. Layton (1976) concluye su estudio acerca del conocimiento tecnológico haciendo una interesante clasificación de las ideologías que guían a la ciencia y la tecnología por caminos paralelos:

- Ideología de ciencia básica, que interpreta a la tecnología como usuaria de las herramientas provistas por la ciencia.
- Ideología de ciencia ingenieril, característica de los ingenieros, quienes desarrollan invenciones para la satisfacción de necesidades.
- Ideología de diseño, la adaptación de los medios de manera racional para alcanzar un fin determinado. Esta nombrada capacidad de adaptar los medios, aunque está formada con una naturaleza artesanal, muchas veces requiere de capacidades técnicas.

4.2. La gestión del conocimiento tecnológico.

Introduciéndose en el conocimiento tecnológico, McGinn (1991) asocia este tipo de conocimiento con una gran carga de pensamiento no verbal. Menciona una cantidad de expresiones de este pensamiento como clasificaciones del conocimiento tácito tecnológico. McGinn menciona que los tecnólogos cuentan con observaciones directas y experimentos de primera mano, relacionados a la técnica y el oficio. Hace un pasaje por métodos experimentales, como agregado formador de pensamientos. Por último, destaca entre los anteriores un tipo de conocimiento con fuente elusiva, de inspiración intuitiva e imaginativa, propia de los ingenieros diseñadores, y contrastado de alguna manera con la actividad de los artistas. McGinn destaca este último tipo de conocimiento como fundamental en los tecnólogos, y de naturaleza tácita, implícita y difícil de codificar.

Sobre conocimiento tácito, Polanyi (1966) expresa que hay cosas que se pueden saber, pero no son posibles de expresar. Uno de los ejemplos clásicos empleados para mostrar un conocimiento tácito es la habilidad de andar en bicicleta. Dicho conocimiento, puede ser transmitido entre personas, aunque no mediante instrucciones explícitas o verbales, sino a través de diferentes acciones como compartir pruebas, mostrar movimientos, corregir ensayos, etc. A estos mecanismos de transferencia de conocimiento tácito, Polanyi los ha denominado:

“Definiciones ostensivas, las cuales (...) siempre ocultan una brecha (gap) que tiene que ser saldada por el aprendiz con un esfuerzo de su propia inteligencia. Si logra saldar la brecha, él habrá descubierto por sí mismo algo que no hemos sido capaces de decirle” (Polanyi, 1962, p.602).

Acerca del conocimiento tecnológico, se ha observado que existen en él componentes tácitos, combinados con demás elementos que pueden ser de orígenes científicos, técnicos, lógicos, etc.

En complemento al conocimiento tácito, se debe mencionar también la existencia del conocimiento explícito, como aquellas características del conocimiento que pueden ser plasmadas de manera detallada en diversos documentos gráficos. Acerca de esto se refiere Mackenzie (1996), quien plantea una visión alternativa de la ciencia, sosteniendo que esta se compone de un conjunto de conocimientos explícitos y conocimientos tácitos. El conocimiento explícito se refiere a todo aquel aprendizaje capaz de ser representado por la escritura o los símbolos, factible de ser archivado en documentos. Además, el conocimiento científico cuenta con un componente tácito, el cual ha sido mencionado anteriormente. El autor destaca que, por sus características, el conocimiento explícito no puede ser perdido, mientras que el conocimiento tácito sí puede desaparecer en tanto no sea transferido entre personas de manera correcta. De esta manera, en esta visión alternativa de la ciencia, al contar con componentes explícitos posibles de documentar y componentes tácitos compartidos por personas, el conocimiento se convierte en avances, a medida que va siendo ampliado. Los avances son nuevos estados del arte que difícilmente puedan ser perdidos u olvidados. Sería necesaria toda una generación de personas que no practiquen la experimentación para poder perder los componentes tácitos del conocimiento y, con ellos, el avance tecnológico.

Acerca de esta visión alternativa de la ciencia, en su publicación “*Knowing Machines: Essays on Technical Change*” (1996), Mackenzie ejemplifica con el caso del desarrollo de armas nucleares y sobre si existe la posibilidad de desaprender a construirlas:

“Supongamos que la visión alternativa de la ciencia era cierta para el caso de las armas nucleares. En particular, que el conocimiento específico, local y tácito era crucial para su diseño y producción. Entonces habría un sentido en el cual, el conocimiento relevante podría ser desaprendido, y estas armas podrían ser “desinventadas”. Si hubiera un hiato suficientemente extenso en el tiempo (por ejemplo, dos generaciones) sin su producción, ese conocimiento tácito podría efectivamente desaparecer. Sin embargo, las armas nucleares aún podrían ser recreadas, pero no con la simple copia de viejos artefactos, diagramas e instrucciones explícitas remanentes. En cierto sentido, deberían ser reinventadas” (Mackenzie, 1996, p.217).

Acerca de los tipos de conocimientos tácitos, desarrolla su clasificación Collins (2010). El autor señala que existen tres tipos de conocimientos tácitos. En primer lugar, se encuentra el de carácter relacional, consistente en relaciones sociales, radicado entre personas que se transfieren una a otra un conocimiento mediante la instrucción y el aprendizaje. En segundo lugar, existe uno de carácter somático, relacionado a las diferentes maneras de resolver situaciones mediante la acción. En tercer y último lugar, existe un conocimiento tácito colectivo, reconocido como aquel que conforma una construcción social, un aprendizaje adoptado por un grupo de personas que comparten ese conocimiento de carácter tácito y que pueden actuar a partir de comprender el mismo. Destaca Collins, además, que el aprendizaje del conocimiento tácito será posible en tanto sea exitosa la experimentación sobre un artefacto. Es decir, los ensayos, las pruebas, los experimentos, toman aquí un rol fundamental en el avance tecnológico, ya que son un medio de transferencia de componentes tácitos del conocimiento tecnológico.

4.3. El proceso de diseño tecnológico en la ingeniería.

El medio más adecuado para aplicar el conocimiento tecnológico en el desarrollo de artefactos o dispositivos, es la ingeniería. El conocimiento ingenieril es, en definitiva, la especialización del conocimiento tecnológico a partir de ciertas áreas de la ciencia. Entre estas especializaciones podemos observar la ingeniería mecánica civil, química, electrónica, aeronáutica, entre otras.

Sobre el conocimiento ingenieril se expresa Vincenti (1990). En su publicación “*What engineers know and how they know it*”, el autor identifica un comportamiento evolutivo en el desarrollo de aeronaves a medida que van siendo fabricadas, probadas, corregidas y nuevamente fabricadas; incluso en comparación con la evolución de las especies naturales. Vincenti plantea además categorías del conocimiento tecnológico, que pueden ser detalladas de la siguiente manera:

- Ingeniería conceptual: Derivan de los conocimientos básicos respecto del tipo de tecnología a desarrollar, en este caso aeronaves. Para este ejemplo particular los ingenieros aplican criterios elementales de diseño aeronáutico y mecánico. Por un lado, se diseñarán los mecanismos de funcionamiento y operación de la aeronave, mientras que, por otro lado, se tendrá en cuenta la configuración física de todos los componentes (*layout de unidades*).

- Análisis de requerimientos: Se refiere a orientar la ingeniería conceptual de acuerdo a las especificaciones detalladas por el interesado en el artefacto. Un *set* de requerimientos contempla diferentes niveles de especificación, desde los generales (o de alto nivel) referidos a las misiones que cumplirá la aeronave o artefacto a diseñar, hasta los particulares (de bajo nivel) que determinan funciones específicas a incluir en el desarrollo.

- Análisis teórico: Los ingenieros cuentan con innumerables herramientas teóricas, derivadas de la matemática y la física, que establecen reglas y criterios para verificar un diseño previo a su fabricación. Esto contempla el diseño de ensayos, análisis estructurales, de frecuencias de vibración, de resistencia mecánica, entre otras variables. Estas herramientas son generales para la mecánica, con adaptaciones para el caso de áreas específicas como las ingenierías en aeronáutica, naval, civil, o demás relacionadas.

- Análisis de ensayos: Los análisis teóricos deben ser validados mediante ensayos prácticos que arrojan resultados, y que luego son contrastados con las verificaciones obtenidas en dicho análisis teórico. De esta manera se puede realizar un diagrama de cumplimiento de las distintas especificaciones y requerimientos por medio de la validación empírica.

Ampliando el estudio sobre el conocimiento en la ingeniería, Lalouf (2004) compara los abordajes de Vincenti con los de Petroski (1992). En su publicación

"To engineer is human", Petroski se ocupa del rol que han cumplido reconocidas fallas de la ingeniería (incluso algunas de ellas catastróficas) en posteriores mejoras para un diseño. Plantea que esta evolución del diseño, de la misma manera que Vincenti, surge como punto de partida de la observación de problemas ocurridos en artefactos en funcionamiento. Esta característica recorre todas las áreas de la ingeniería, como civil, aeronáutica, aeroespacial, naval, automotriz, industrial, entre otras.

Claramente los conceptos que se vienen desarrollando pueden ser identificados como elementos de la ingeniería. En definitiva, la ingeniería emplea como recursos la técnica, la ciencia básica y el conocimiento tecnológico para obtener la solución de problemas que, por lo general, se tratan de una nueva tecnología. El proceso para abordar esa solución es el diseño. Para el estudio de caso de esta tesis, el diseño puede ser especificado como mecánico-aeronáutico.

La palabra diseño proviene del latín *designare*, que significa señalar o marcar. En el manual *"Diseño de Maquinaria"* de Norton (2000) para estudiantes de ingeniería, se define al diseño ingenieril como "el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso, o un sistema con detalles suficientes que permitan su realización" (Norton, 2000, p.38). Partiendo de esta definición, es posible especificar el concepto hacia el área de interés de esta tesis, señalando que el diseño mecánico-aeronáutico es el diseño aplicado como procedimiento específico de esta especialidad. Es decir, esta especialidad de diseño mantiene métodos que les son propios a la mecánica y a la aeronáutica.

La ingeniería, en su especialidad mecánica, está destinada al cálculo y diseño de máquinas. A su vez, las máquinas son dispositivos, artefactos o aparatos capaces de realizar un trabajo determinado. Por otra parte, puede definirse a la aeronáutica como la especialidad que se ocupa del cálculo y diseño de artefactos o aparatos capaces de volar. El método de diseño tecnológico ha sido abordado por muchos autores a lo largo de la historia. Muchos de ellos han coincidido en partes fundamentales que han logrado una base de alguna manera consensuada y estandarizada en la industria, incluso en distintas orientaciones de la ingeniería

como la mecánica y la aeronáutica. Esto está detallado en el manual de diseño de Mott (1995) como puede observarse en el siguiente esquema (Figura 1).

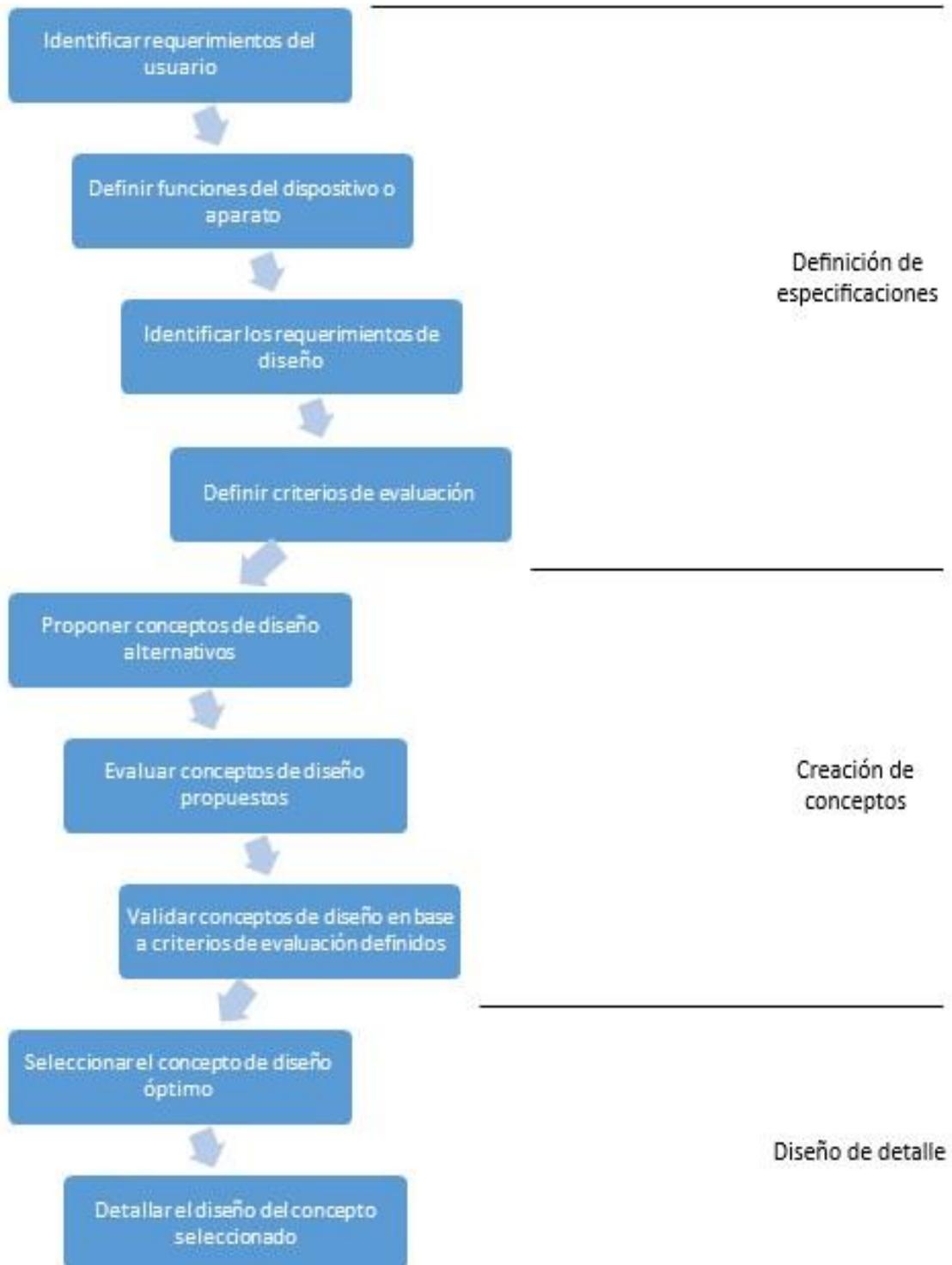


Figura 1. Esquema de Método de Diseño Tecnológico Estándar (Mott, 1995).

Las funciones señalan lo que debe hacer el artefacto, como por ejemplo la capacidad de volar para una aeronave. Los parámetros de diseño son por lo general declaraciones cuantitativas sobre los valores esperados de

funcionamiento (potencia, autonomía, velocidad, etc.). Finalmente, los criterios de evaluación son características cualitativas pretendidas del diseño. Como complemento a la metodología para el diseño de productos, Mott especifica además un listado de funciones a cumplir por parte de diseñadores para poder obtener un producto de calidad. Denomina estas funciones como Proceso de Realización de Producto (PRP). Dentro de este proceso se encuentran las siguientes funciones:

- Funciones de mercadotecnia.
- Investigación para determinar la tecnología disponible que puede usarse en el producto.
- Disponibilidad de materiales y componentes que pueden incorporarse al producto.
- Diseño y desarrollo del producto.
- Pruebas de funcionamiento.
- Documentación de diseño.
- Relaciones de vendedores y funciones de compradores.
- Consideración de suministro global de materiales y de ventas globales.
- Conocimientos de la fuerza de trabajo disponible.
- Planta e instalaciones físicas disponibles.
- Capacidad de los sistemas de manufactura disponibles.
- Sistemas de planeación de la producción y personal.
- Requisitos de los sistemas de calidad.
- Operación y mantenimiento de la planta física disponible.
- Sistemas de distribución disponibles.
- Operaciones y programas de venta.
- Objetivos de costo y demás asuntos de competencia.
- Requisitos de servicio al cliente.
- Problemas ambientales posibles de ser causados durante la fabricación, funcionamiento y disposición del producto.
- Requisitos legales.
- Disponibilidad de capitales financieros.

De esta manera el autor ubica al diseño como sólo una parte de un proceso más amplio. Sin embargo, destaca al diseño como parte fundamental del mismo. Se aborda de esta manera a una definición que es la “ingeniería actual”, que significa la consideración simultánea del diseño del producto y el proceso de manufactura. Es decir, el diseñador debe, además de diseñar un producto acorde a los requerimientos, considerar que el mismo que se adapte a sus capacidades de fabricación. Finalmente, debe destacarse del manual de Mott, su listado de cualidades y conocimientos que el autor considera fundamentales y necesarias para todo diseñador:

- Trazado, dibujo técnico y asistido por computadora.
- Propiedades de los materiales, procesamiento de materiales y procesos de manufactura.
- Aplicaciones de la química, como protección contra la corrosión, galvanoplastia, pintura, entre otras.
- Estática, dinámica, resistencia de materiales, cinemática y mecanismos.
- Comunicación oral, atención, redacción técnica y trabajo en equipo.
- Mecánica de fluidos, termodinámica y transferencias de calor.
- Máquinas hidráulicas, fundamentos de fenómenos eléctricos y controles industriales.
- Diseño de experimentos y pruebas de funcionamiento de materiales y sistemas mecánicos.
- Creatividad, solución de problemas y gestión de proyectos.
- Análisis de esfuerzos.
- Conocimientos especializados del comportamiento de elementos de máquinas, como engranajes, transmisiones, ejes, cojinetes, etc.

Finalmente, se propondrá durante esta tesis el concepto de *interpretación primitiva del diseño*, lo que puede definirse como el cuestionamiento del estado del arte de una tecnología, el retroceso a etapas de indagación de sus principios de funcionamiento, y el diseño de nuevas soluciones para dar inicio a una tecnología alternativa que cumpla la misma función de manera más eficaz o eficiente a partir de su conocimiento elemental, en términos de McGinn (1991).

Se trata de reinventar una solución, en este caso mecánica-aeronáutica, para evaluar nuevas características, capacidades, funciones o comportamientos de una tecnología.

4.4. La realización de ensayos en el proceso de diseño tecnológico.

Hasta aquí es fácil apreciar que, la mayoría de los autores, más allá del concepto que cada uno tenga respecto del proceso de producción de tecnología, coinciden en que la ingeniería requiere de un proceso previo a la fabricación. Es decir, antes de fabricar un modelo, es necesario realizar cierto trabajo, ya sea diseño conceptual, planimetría, análisis, ensayos, interpretación de requerimientos, etc. Sin embargo, es un hecho en la práctica que, sobre todo en la producción de tecnologías complejas, surgen tempranas fabricaciones de modelos que ayudan a los diseñadores a comprender el funcionamiento del producto que más tarde obtendrán, sin necesidad de llegar hasta la instancia de fabricación definitiva del mismo. Esto es lo que se conoce como prototipos, ejemplares similares, comparables o iguales al producto final, que se fabrican generalmente con el fin de ser sometidos a pruebas.

Respecto de esta valoración de los aspectos teóricos y los aspectos experimentales que, de alguna manera, pueden ser emparentados con la ciencia y la tecnología respectivamente, se expresa Peter Galison en uno de los capítulos de la publicación de Mario Biagioli *"The Science Studies Reader"* (1999). Allí, Galison se refiere a lo que denomina "la zona de negociación", como la instancia de un desarrollo o una investigación en donde teóricos y experimentales tratan de comprender un fenómeno o comprobar una hipótesis, de manera positivista o antipositivista, reduciendo el fenómeno a una teoría o a un experimento, dependiendo el caso. De la misma manera se puede analizar este comportamiento en la ingeniería, en donde la zona de negociación se traduce en la etapa en donde teóricos y experimentales tratan de comprender el funcionamiento de un artefacto a través de análisis o a través de ensayos de prototipos, respectivamente. Esto es, se pueden desarrollar distintas tecnologías con mayor enfoque teórico, o bien con una predominancia del criterio experimental. Dependerá del tipo de tecnología o del proyecto específico, el criterio a seguir. Galison explica:

“Para caracterizar la interacción entre las subculturas de la instrumentación, el experimento y la teoría, quiero seguir con la idea de que realmente son subculturas de una cultura más amplia. Al igual que dos culturas, distintas pero que viven lo suficientemente cerca para negociar, pueden compartir algunas actividades mientras se desvían de muchas otras. En particular, las dos culturas pueden aportar a lo que llamaré la zona de intercambio. Lo que es crucial es que, en el contexto altamente local de la zona de intercambio, a pesar de las diferencias en clasificación, importancia y estándares de demostración, los dos grupos pueden colaborar. Pueden llegar a un consenso sobre el procedimiento de intercambio, sobre los mecanismos para determinar cuándo los bienes son ‘iguales’ entre sí. Incluso pueden comprender que la continuación del intercambio es un requisito previo para la supervivencia de la cultura más amplia de la que forman parte” (Galison, 1999, p.803).

Dentro de quienes se inclinan mayormente por la experimentación como base para la generación de conocimientos, existe una valoración especial por la temprana fabricación de estructuras o mecanismos modelos para ser ensayados durante el desarrollo. Esto puede ser parte de lo que será el producto final o directamente un modelo igual al que se busca obtener para poder evaluar, lo que se denomina prototipo.

4.5. La generación de prototipos en el proceso de diseño tecnológico.

Un prototipo es un primer ejemplar de un artefacto, empleado para realizar ensayos, calificar su uso en el contexto en que será utilizado, aplicarle correcciones y evaluar su funcionamiento. Un prototipo calificado y aceptado, puede servir además como referencia para fabricar una serie. Acerca de esto se refiere Gero (1990), quien sostiene que el propósito de un diseñador es transformar una función denominada en un detalle de diseño, que describe cómo será el aparato que cumplirá esa función. Por ejemplo, diseñando ventanas, las funciones pueden ser permitir el ingreso de luz exterior a un cuarto, regular la ventilación o poder ver al exterior. La descripción del diseño será un texto o croquis o plano que detalle las dimensiones de la ventana a construir. Finalmente, el artefacto será la ventana. De esta manera, se podrá obtener un primer ejemplar prototipo que tendrá un comportamiento particular.

Posteriormente, se deberá realizar una comparación entre el comportamiento de ese prototipo y el comportamiento esperado por el diseñador. Esta comparación no es más que la evaluación del prototipo. A partir de la evaluación, se realizarán luego sucesivas modificaciones en el prototipo hasta lograr que este se comporte de una manera más adecuada al comportamiento esperado. Gero denomina a este proceso como “síntesis” (Figura 2).

Cuando el prototipo se encuentra sintetizado, tiene un comportamiento propio que además es el que esperaba el diseñador en un principio. Cuando el comportamiento esperado o deseado resulta ser inalcanzable o difícilmente alcanzable por el prototipo, puede que el diseñador modifique su requerimiento, denominándose este proceso como “reformulación”. Finalmente, Gero concluye en que existen dos grandes aspectos en la construcción de prototipos:

- La representación del diseño en un prototipo, es decir modelar un prototipo que sea una fiel reproducción del diseño esperado, y
- La apropiación de conocimiento a través del prototipo, que significa obtener conocimientos a partir de la evaluación del prototipo que puedan reformular el diseño o generar uno nuevo.

Este segundo aspecto, que incluye la posibilidad de obtener un funcionamiento del prototipo distinto al esperado, puede resultar en el descubrimiento de una innovación. Es decir, se obtiene un comportamiento del prototipo distinto al buscado por el diseñador, pero que puede ser valioso. Dependerá del diseñador el hecho de poder identificar esas características no esperadas pero valiosas para luego transformarlas en innovaciones.

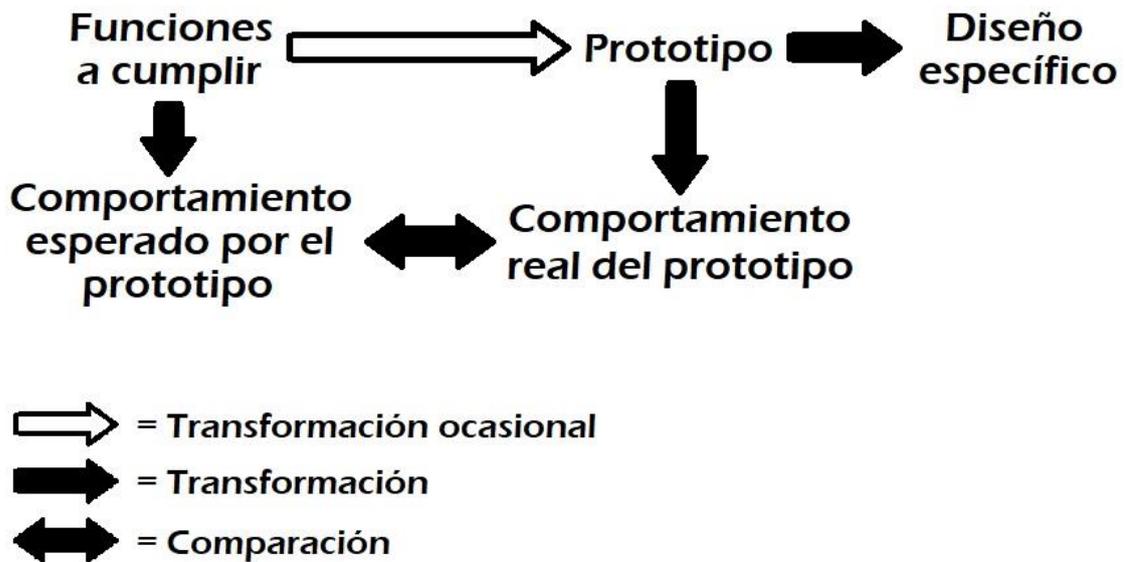


Figura 2. Modelo del proceso de diseño con prototipos (Gero, 1990).

4.6. Síntesis conceptual.

Durante el estudio de esta tesis se propondrá el concepto de *interpretación primitiva* en el diseño para detallar aquellas definiciones de soluciones tecnológicas desarrolladas a partir del análisis elemental de una funcionalidad a cumplir, sin tener en cuenta otras soluciones tecnológicas ya existentes. Así mismo, se considerará de Ciapuscio (1996) la adaptación de medios a una función preconcebida para definir la aplicación de técnicas y prácticas con que cuenta un diseñador para la resolución de un problema tecnológico. Se empleará el concepto de ideología de diseño de Layton (1976) para analizar la aplicación de técnicas y prácticas de manera racional en el diseño de soluciones tecnológicas.

Se acercarán en este estudio de caso dos definiciones similares acerca de las características de los tecnólogos. En primer lugar, se tendrán en cuenta las observaciones directas y los experimentos de primera mano detallados por McGinn (1991) como herramientas fundamentales de la técnica y el oficio. En segundo lugar, se tratará el concepto de conocimiento tácito desarrollado por Polanyi (1966) como característica de ciertos conocimientos con los que cuentan los tecnólogos. Se apelará además al enfoque sobre el conocimiento tácito que detalla Mackenzie (1996), con el fin de comprender las maneras en que se dan diversos aprendizajes durante el desarrollo de tecnologías en la empresa. A su vez, se incorporará el concepto de conocimiento tácito colectivo mencionado por

Collins (2010) para entender esa clase de conocimientos no documentables compartidos de manera colectiva por el plantel de la empresa.

Se empleará en el desarrollo de este trabajo el análisis del proceso de diseño ingenieril realizada por Vincenti (1990), respecto a las etapas de ingeniería conceptual, requerimientos, análisis teórico y análisis de ensayos. Además, se referirá al comportamiento evolutivo del diseño tecnológico planteado por el mismo autor y por Petroski (1992), como característica común en la ingeniería mecánica y la aeronáutica.

Se considerarán en esta tesis las definiciones de Norton (2000) respecto a las diferentes especialidades de la ingeniería que requieren de particulares características de diseño para su desarrollo, como por ejemplo el diseño aeronáutico aplicado en artefactos como helicópteros, aviones, etc. El detalle específico de cada una de las etapas del proceso de diseño ingenieril especialista será considerado a partir de lo planteado por Mott (1995), además de su definición de Proceso de Realización de Producto (PRP) como el detalle de funciones a cumplir en todo proceso de diseño y las capacidades de conocimiento de los tecnólogos.

Se realizará el estudio del rol de los ensayos en el proceso de diseño a partir del planteo de Galison (1999), en donde el autor detalla una interacción entre los análisis teóricos y las experimentaciones, que generalmente es definida de distintas maneras de acuerdo a las diferentes especialidades de la ingeniería.

Finalmente, se empleará en este estudio el proceso cíclico de diseño a partir de prototipos desarrollado por Gero (1990), en donde los modelos físicos de ensayo no solamente sirven como verificadores de la funcionalidad de los artefactos desarrollados, sino como modelos de prueba en los que se pueden descubrir nuevas funcionalidades, muchas veces innovadoras.

CAPÍTULO 5: La historia del vuelo vertical ¹.

El conocimiento tecnológico, como se ha abordado anteriormente, puede partir de la observación, el empirismo y los ensayos (Gille, 1978). Estas fuentes de conocimiento tecnológico aplican para los casos en donde el conocimiento se genera a partir de una tecnología, la observación de la misma, la deducción de su naturaleza y su reproducción; de una de sus partes, de otra tecnología similar, etc. Es decir, a partir de la observación y el análisis de un artefacto, se puede llegar a otro similar, en lo que comúnmente se define como ingeniería inversa.

Para llevar a cabo una reproducción de una tecnología, es necesaria no solamente la observación del ejemplar a reproducir, sino de la posibilidad de examinarlo, probarlo y analizar su funcionamiento. Mientras menor sea la disponibilidad física del ejemplar original, más difícil será el proceso de creación del artefacto a reproducir.

De manera similar funciona la creación de una tecnología a partir de una necesidad de alta complejidad. Ejemplos de estos procesos son los llevados a cabo en distintas partes del mundo de manera contemporánea por distintos inventores cuando una necesidad surgía de manera global.

Un ejemplo de estas creaciones tecnológicas es la aeronáutica. La historia del vuelo humano llevó muchos años a cargo de gran cantidad de técnicos experimentales que, en distintas partes del mundo y durante la misma época, ensayaban variadas alternativas mecánicas para obtener la capacidad de volar, generalmente a partir de la observación y el estudio de las aves en la naturaleza.

A diferencia de los aviones, cuyo desarrollo puede ser claramente analizado empezando por las participaciones de Otto Lilienthal, Samuel Langley y los hermanos Orville y Wilbur Wright a principios del siglo XX (Figura 3), el origen del primer vuelo en helicóptero ha sido discutido a lo largo de los años y resulta menos claro. Incluso, analizando los primeros experimentos, es difícil saber cuáles prototipos pueden ser considerados helicópteros y cuáles no. Para ello es necesario definir a esta aeronave tal como hoy es conocida.

¹ La redacción de este capítulo está basada principalmente en las publicaciones de Federal Aviation Administration (2012), Halbritter (2009), Leishman (2000) y Vincenti (1990).

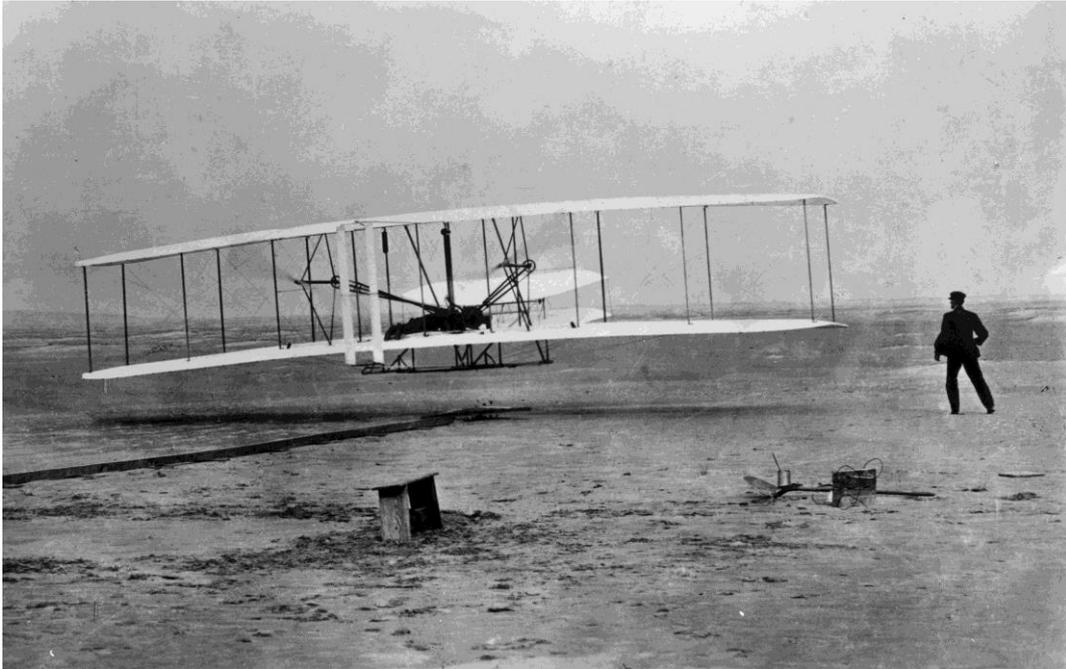


Figura 3. Vuelo experimental de aeroplano a cargo de los hermanos Wright (1903).

Un helicóptero puede ser definido como una nave capaz de elevarse de manera vertical mediante alas rotantes (dispuestas sobre un rotor que gira alrededor de un mástil) que le proveen sustento, propulsión, y control de fuerzas que le permitan desplazarse respecto del suelo sin necesidad de volar hacia adelante para generarlas. De manera práctica, la nave debe ser capaz de ascender verticalmente desde el suelo, volar en cualquier dirección, trasladarse a velocidad y, finalmente, a partir de un vuelo estacionario, descender hasta el suelo.

Puede decirse que, a diferencia del principio de vuelo de los aviones inspirados en los pájaros, el del helicóptero puede haber sido observado previamente en la naturaleza en los colibríes o las libélulas. La naturaleza a inspirado a la humanidad por cientos de años antes que las máquinas voladoras sean una realidad. Una característica a destacar de estas aeronaves es que la capacidad para realizar todas estas exigentes maniobras de manera segura y eficiente bajo el control total de un piloto demandan una alta complejidad mecánica y aerodinámica.

En Francia, hacia junio de 1783, los hermanos Joseph y Etienne Montgolfier exponían mediante un experimento que un globo lleno de aire caliente podía elevarse llevando consigo grandes cargas. Tal fue la revolución causada por la observación de aquel fenómeno que, ya en octubre del mismo año y en el mismo

país, Francois Pilatre de Rozier dejaba por primera vez la superficie de la tierra para elevarse utilizando un globo lleno de gas inerte caliente. Estos hechos son un claro ejemplo de la generación del conocimiento tecnológico a partir de la ciencia básica, la interpretación ingenieril de la misma y el ulterior desarrollo mecánico.

Desde variados experimentos y ensayos de la época, se pueden distinguir dos ramas fundamentales del desarrollo aeronáutico, como la de vuelo con despegue a carreteo y la de vuelo vertical. Para este estudio de caso, nos ocuparemos del segundo grupo.

El objetivo estaba identificado con el surgimiento de los aviones, definitivamente era necesaria otra aeronave alternativa que pudiera prescindir de una larga pista plana de despegue y aterrizaje para poder llegar a más lugares con menor despliegue de movimientos. Además, el vuelo debía ser ilimitado, con capacidad de flotar estáticamente en el aire y poder realizar cualquier tipo de movimiento en el espacio.

Mientras que los aviones solo pueden volar en direcciones que describen pequeños ángulos de la horizontal, el helicóptero tiene la capacidad de comenzar y finalizar un vuelo en vertical. Los aviones generan su sustentante a través del movimiento de todo el volumen de la nave, mientras el helicóptero lo produce moviendo sus palas a través del aire sin necesidad de mover todo el volumen de la nave. El rotor principal de un helicóptero, puede decirse es el mecanismo que cuenta generalmente con un par de alas largas y delgadas que generan su propio viento relativo.

Para ello, los helicópteros tienen que lidiar con una compleja cantidad de fuerzas intervinientes, algunas de ellas son:

- Fuerza centrífuga.
- Precesión giroscópica.
- Torques masivos en múltiples ángulos.
- Peso y balanceo.
- Vibraciones.

Hacia el siglo XV, se conocieron los primeros diseños teóricos de Leonardo Da Vinci relacionados al vuelo vertical a partir del denominado "hélix" (Figura 4), que ha perdurado a lo largo de los años como un adelanto de lo que más tarde

sería el helicóptero. Se trataba de un habitáculo de madera para una persona, elevado por un mecanismo con velamen superior en forma de helicoide, que era girado por la fuerza muscular de un piloto. El conflicto básico del hélix era su inconveniente relación entre el peso del artefacto sumado al de la persona, y la fuerza disponible para accionar el mecanismo. Más allá de esto, el hélix anticipó el nombre helicóptero, que surge del latín *hélix* (hélice) y *pteron* (ala).

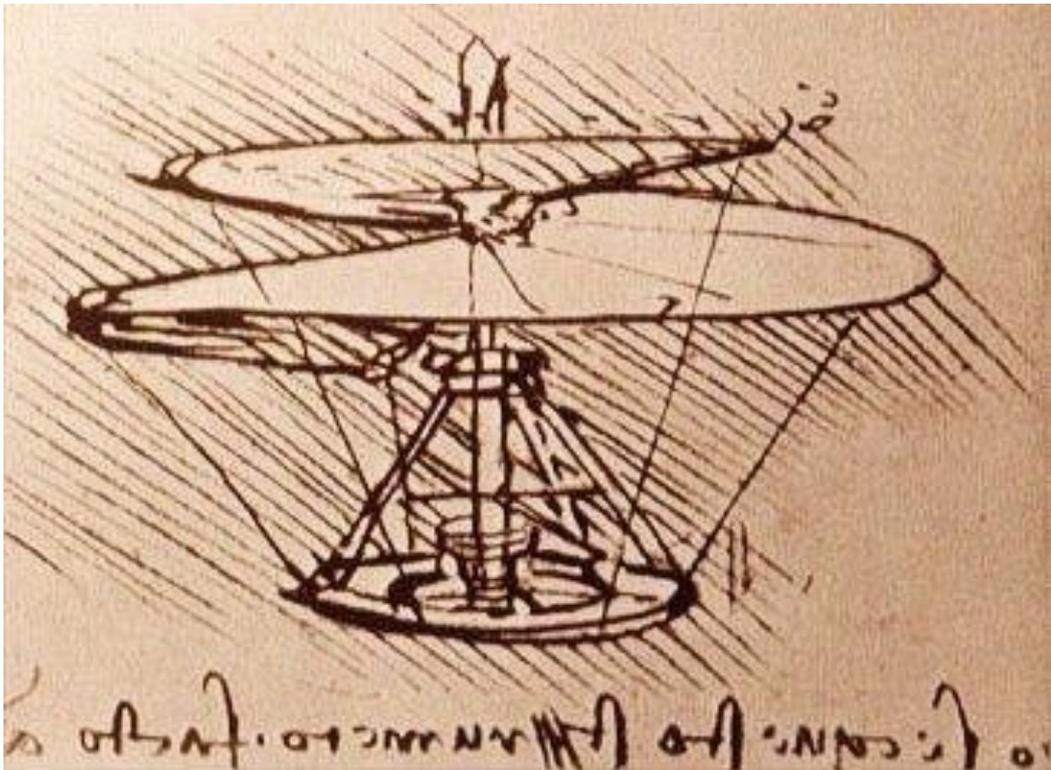


Figura 4. Boceto del diseño *hélix* de Leonardo Da Vinci (1486).

Entre los primeros experimentos a escala se destaca el tornillo de aire, un juguete chino de época desconocida. Se trata de un cuerpo hecho de alfileres de madera con plumas dispuestas en forma de hélice en cada extremo, e hilado por una cuerda retorcida tirante por un pequeño arco de madera (Figura 5).

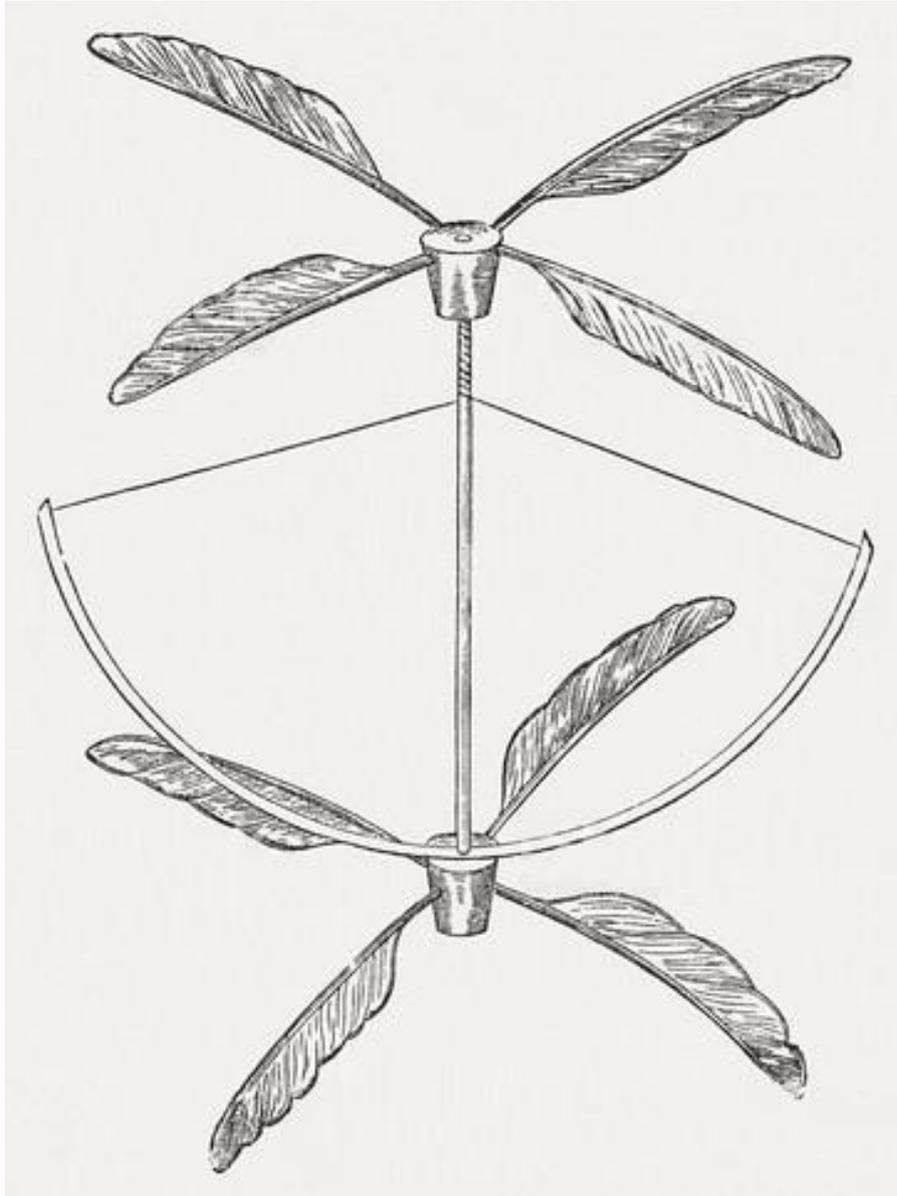


Figura 5. Tornillo de Aire (1852).

El británico George Cayley, reconocido investigador de la aeronáutica durante el siglo XIX, construyó algunos tornillos de aire a escala gigante que llegaron a elevarse a aproximadamente veinticinco metros, demostrando prácticamente la factibilidad del vuelo vertical mediante palas contrarrotantes. Muchísimas variaciones del tornillo de aire se construyeron por esa época, reemplazando la cuerda retorcida por propulsores de vapor, resortes o aire comprimido, aunque ninguno con la capacidad de elevar una carga considerable, como por ejemplo una persona. De manera contemporánea, con un artefacto similar al tornillo de aire, pero propulsado por un motor a vapor, el italiano Enrico Forlanini logró volar hasta unos doce metros y mantenerse a esa altura por aproximadamente veinte segundos.

Anteriormente, y en distintos lugares del mundo, habían surgido alternativas al tornillo de aire. A mediados del siglo XVIII, Mikhail Vassilevich Lomonosov realizaba experimentos de elevación vertical de un artefacto autopropulsado. De la misma manera, innovadores contemporáneos como el francés Paucton en 1768, o sus compatriotas Launoy y Bienvenu en 1784, llevarían a cabo experimentos de similar naturaleza con resultados considerables, aunque no demasiado concretos. Avanzando desde el Siglo XVIII al Siglo XX, innumerables prototipos fueron definiendo el helicóptero con funcionamiento semejante al que hoy es conocido, siempre limitados por un factor determinante: el motor. Recién en el Siglo XX, la necesidad de una fuente de poder para la propulsión sería satisfecha.

En el año 1876 fue iniciado el perfeccionado del motor de combustión interna del alemán Nicolás Augusto Otto, que luego de dos décadas, pudo adaptarse a fin de ser lo suficientemente compacto y liviano como para ser aplicado a una aeronave de vuelo vertical.

En 1907, los franceses Jaques y Louis Breguet, de profesión relojeros, construyeron un gigante artefacto que constaba de una especie de montante que sujetaba cuatro enormes rotores con múltiples palas similares a molinos de viento, todas propulsadas por un motor central (Figura 6).



Figura 6. Prototipo de Jaques y Louis Breguet (1907).

A pesar de sus cualidades de rudimentario y artesanal, el prototipo de Jaques y Louis Breguet era el primer helicóptero capaz de transportar personas y controlarse en el aire. El 19 de septiembre del mismo año se logró volar la nave y mantenerla en el aire por efecto suelo (el choque del flujo de viento generado

contra el piso), siendo controlada con sensores desde la superficie de despegue. Los ensayos posteriores para perfeccionar el vuelo llevaron a frustrar a los inventores que más tarde abandonarían el diseño avocándose a los aviones.

Una vez alcanzados estos avances tecnológicos y, contando con los motores de combustión interna compactos, surgirían los primeros helicópteros en distintas partes del mundo y a cargo de muchos inventores reconocidos, entre los que se destacan Igor Sikorsky (Ucrania, 1910), William Denny (Gran Bretaña, 1914), Etienne Oemichen (Francia, 1924), entre otros. Precisamente el ingeniero ucraniano Igor Sikorsky (Figura 7) es generalmente reconocido como el inventor del helicóptero tal como hoy se lo conoce, logrando su primer vuelo estable en 1939, luego de veinticinco años de diseño y experimentos. Puntualmente ha sido destacado por ser el primero en finalizar ensayos hasta lograr un diseño definitivo, funcional y eficiente.



Figura 7. Igor Sikorsky (1899-1972)

Sikorsky estudió ingeniería aeronáutica en París, en el momento en que la ciudad nucleaba la mayoría de los avances en la aviación. Inicialmente había

diseñado un helicóptero en mayo de 1909, aunque más tarde se determinó que nunca volaría. Después de la Primera Guerra Mundial, Sikorsky emigró a los Estados Unidos, donde en 1919, con el apoyo de oficiales militares rusos, formó la compañía de fabricación Sikorsky. Continuó trabajando en este proyecto, y en 1931 patentó un diseño para una nave con un solo rotor grande y uno pequeño antitorsi3n de cola. Sería de alguna manera el origen del dise1o aeronáutico del helic3ptero actual.

Su creaci3n (Figura 8) dio inicio a la primera fábrika de helic3pteros y en consecuencia a la industria del vuelo vertical en el mundo.



Figura 8. Igor Sikorsky sobre uno de sus modelos experimentales (1939).

El modelo dise1ado por Sikorsky fue rÁpidaente reproducido en distintas partes del mundo. Fue denominado VS-300 (Figura 9) y vol3 por primera vez el 14 de septiembre de 1939. En 1942, una evoluci3n llamada Sikorsky S-47 fue entregada al cuerpo a3reo del Ej3rcito de EE.UU. y se convirti3 en el primer prototipo de helic3ptero de producci3n masiva en el mundo (Figura 10). El concepto de dise1o de Sikorsky result3 ser el formato mÁs popular y, hasta la actualidad, sigue siendo el mÁs utilizado en la producci3n de helic3pteros.



Figura 9. VS-300 en vuelo de prueba. De pie, Igor Sikorsky realiza ajustes (1939).

La evolución de la aeronave la ha convertido en una parte integral de la aviación civil y militar en todo el mundo. La misma ha sido desarrollada hasta transformarse en la aeronave por excelencia en el rescate de víctimas de accidentes, desastres naturales o situaciones de combate durante las guerras. La compañía que fundó el ingeniero ucraniano, Sikorsky Aircraft, continúa centrándose en productos de aviación y ha incorporado distintas tecnologías avanzadas e innovaciones de diseño.



Figura 10. Modelo Sikorsky S-47 en la actualidad.

El concepto iniciado por Sikorsky en 1939 es el que hoy en día se conoce como diseño básico de un helicóptero y sus partes son fácilmente identificables. Entre ellas se encuentran componentes principales que definen el funcionamiento básico del artefacto, como lo son el rotor principal, el rotor de cola, el motor, la transmisión, el fuselaje, la estructura y los patines de aterrizaje (Figura 11).

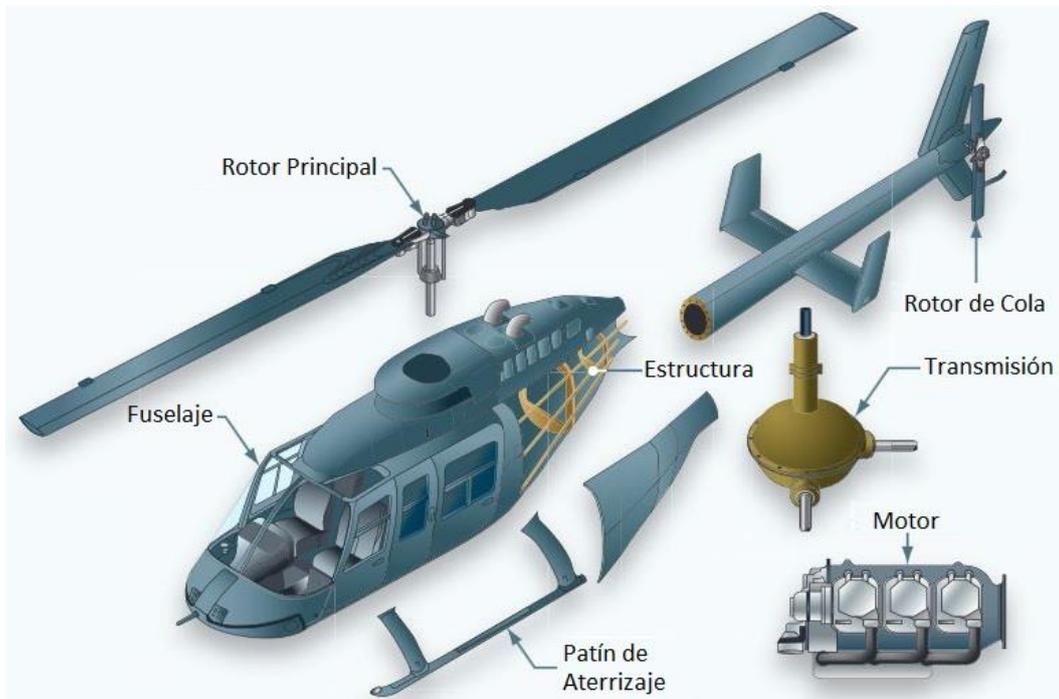


Figura 11. Partes de un helicóptero.

El rotor principal de un helicóptero consta de dos o más palas diseñadas con perfil alar (Figura 12), de la misma manera que las alas de un avión, lo que le dan a la aeronave la sustentación.

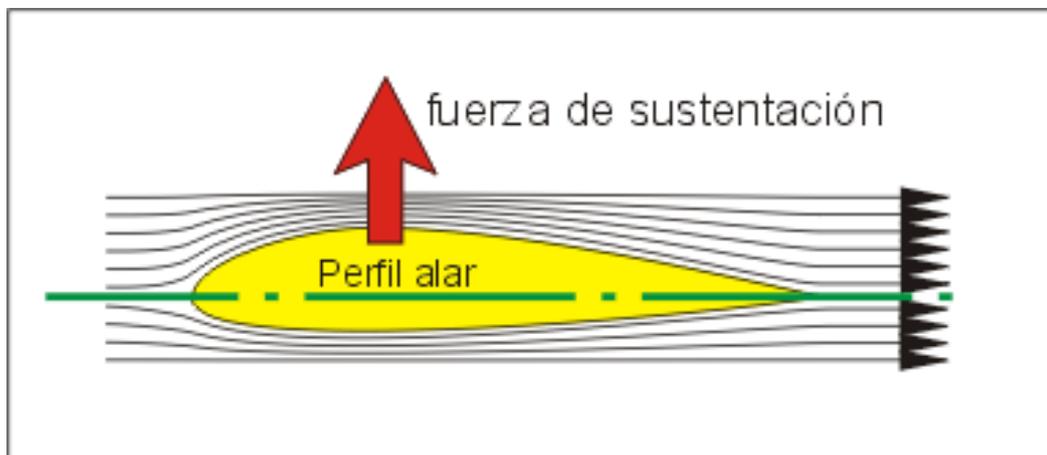


Figura 12. Sustentación en un perfil alar.

Esta curvatura en el perfil, al incidir en una masa de aire, genera una diferencia de presiones entre sus superficies inferior y superior, generando un empuje vertical de abajo hacia arriba dando así la sustentación. Dicho empuje se transmite a lo largo de la pala elevando al helicóptero. Durante el vuelo de la aeronave la velocidad del rotor principal es constante, por lo que los movimientos

de ascenso y descenso en altura se logran variando lo que se denomina ángulo de ataque de la pala (Figura 13).

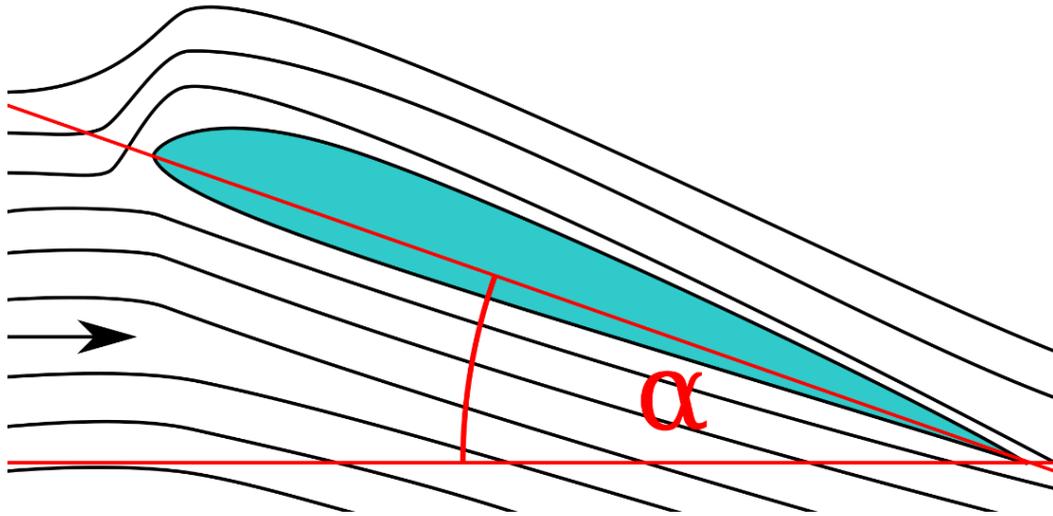


Figura 13. Esquema del ángulo de ataque.

La fuerza de sustentación crece directamente proporcional al ángulo de ataque empleado. Finalmente, los movimientos laterales en un helicóptero se logran modificando este ángulo en ciertos sectores del disco según vayan pasando por él las palas.

El giro de las palas de un helicóptero genera por el principio físico de acción y reacción una fuerza de rotación en sentido contrario al fuselaje. Este movimiento se puede contrarrestar mediante dos métodos de diseño de rotores: el rotor de palas contrarrotativas (Figura 14) o el rotor de cola (Figura 15). El rotor de palas contrarrotativas consta de dos pares de palas (pueden ser coaxiales o no) que giran a igual velocidad y en sentido contrario una de otra, contrarrestando de esta manera la fuerza que provocaría el giro del fuselaje. El rotor de cola consta de una hélice dispuesta en plano vertical ubicada en la cola del helicóptero, empujando a esta de manera tal de generar un momento que contrarreste el giro del fuselaje.



Figura 14. Helicóptero ruso Kamov Ka-27 de palas contrarrotativas.



Figura 15. Helicóptero británico-italiano Caesar AW-101 con rotor de cola.

El rotor principal (Figura 16) es el mecanismo más importante en un helicóptero. El sistema de rotor es la parte giratoria de la aeronave y es la que genera el movimiento que permite que ésta se eleve.

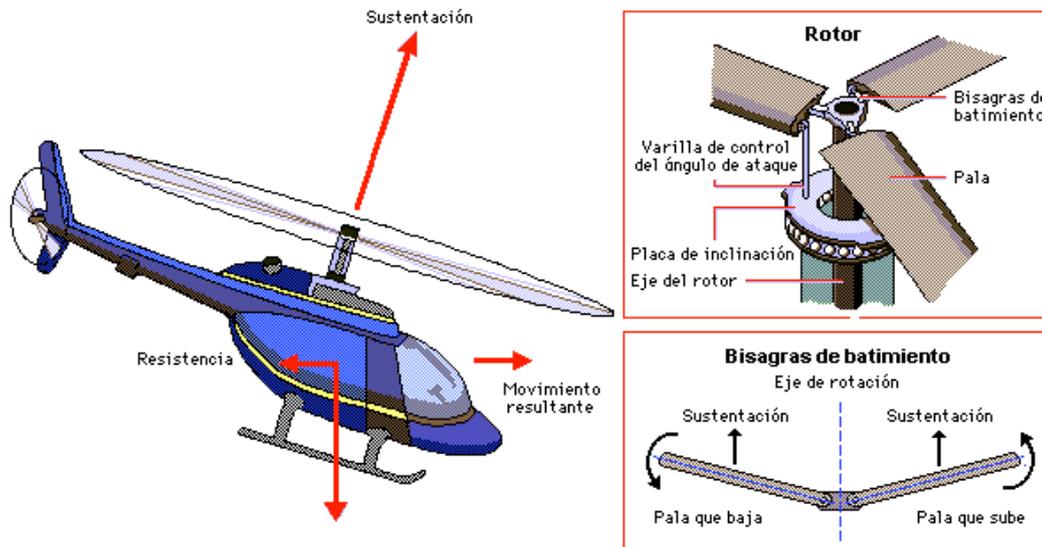


Figura 16. Esquema de Rotor Principal.

El rotor consiste en un mástil, un plato oscilante, un cabezal, cubos o pivotes y palas. El mástil es un eje hueco de metal cilíndrico que se extiende hacia arriba desde la transmisión, que a su vez genera su impulso. La parte superior del mástil se vincula con el cabezal de rotor, cuya función es la de sujetar las palas. Las palas del rotor pueden estar unidas al cabezal por distintas formas mecánicas (Figura 17).

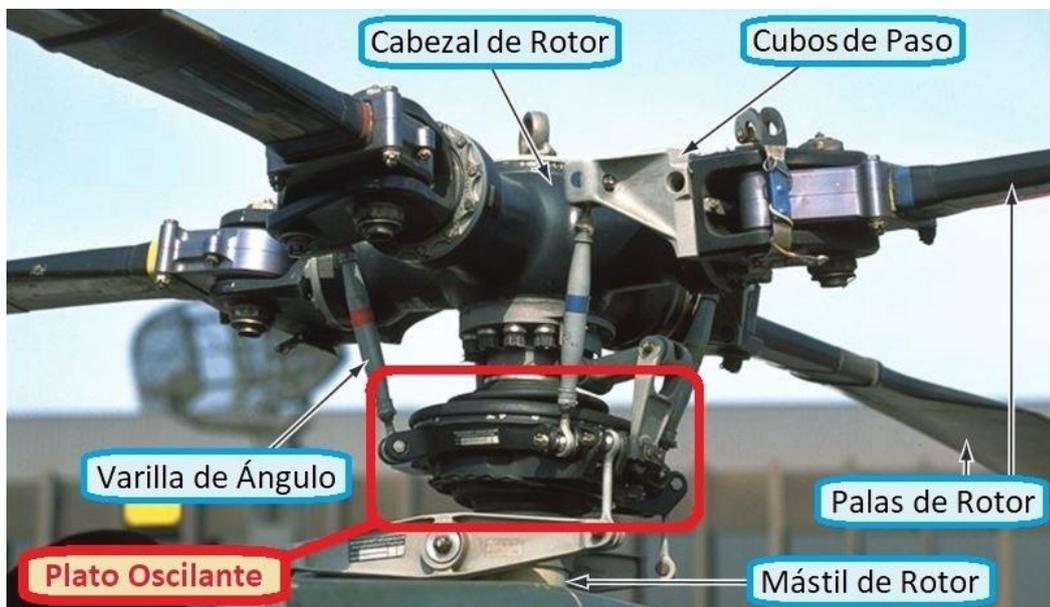


Figura 17. Rotor Principal de un helicóptero.

Los sistemas de rotor principal se pueden clasificar de acuerdo a cómo las palas del rotor están unidas al cabezal y se mueven con relación al mismo.

Existen tres clasificaciones básicas de cabezales: semirrígido, rígido, o completamente articulado. Algunos sistemas de rotor modernos, como el sistema de rotor sin cojinete, utiliza una combinación de los tres tipos.

El plato oscilante es el mecanismo encargado de convertir los accionamientos de comando estacionarios del piloto en movimientos giratorios que son transmitidos a través de varillas a las palas del rotor. Un plato oscilante normal consiste de dos partes principales: la placa oscilante estacionaria y la placa oscilante rotatoria (Figura 18).

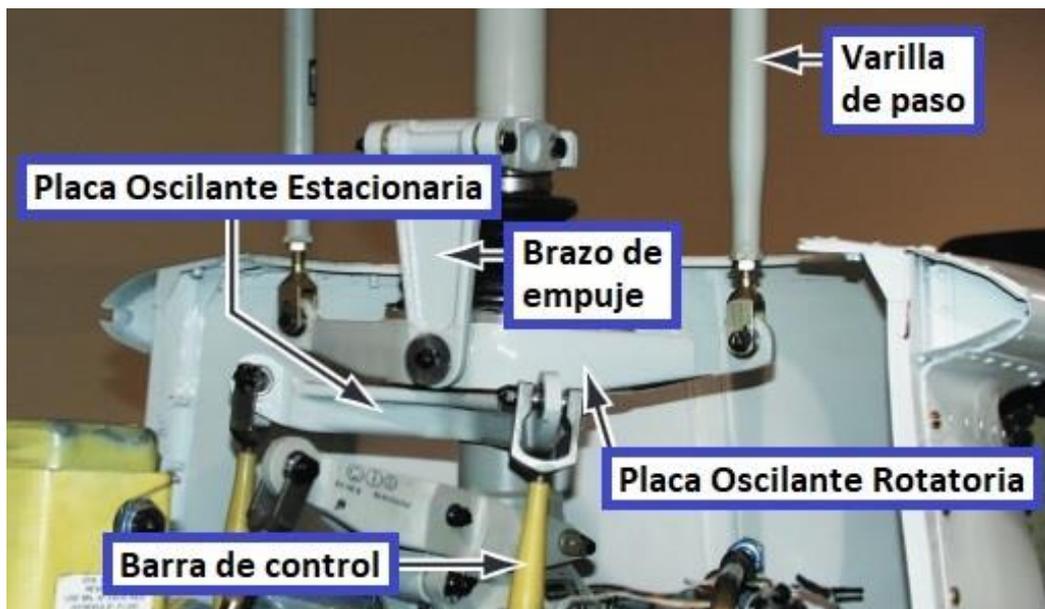


Figura 18. Mecanismo Plato Oscilante.

La placa oscilante estacionaria está montada alrededor del mástil y conectada a los controles cíclicos y colectivos por una serie de varillas de empuje. Esta placa tiene restringido el movimiento de rotación, pero puede inclinarse en todas las direcciones y moverse de forma vertical.

La placa oscilante giratoria está montada sobre la placa estacionaria por medio de un anclaje esférico. A su vez, está conectada al mástil por el brazo de empuje y debe rotar en relación constante con el mástil principal del rotor. Ambas placas oscilantes se inclinan y se deslizan hacia arriba y abajo como una unidad. La placa oscilante giratoria está conectada a los cubos de paso a través de las varillas de paso.

Como es sabido, la potencia total necesaria para el vuelo del helicóptero es generada por el motor. Sin embargo, el torque y la potencia ejercida por el eje del motor debe ser enviada al rotor principal y el de cola a través de un complejo

sistema de engranajes denominado sistema de transmisión. El sistema de transmisión (Figura 19) transfiere la potencia del motor al rotor principal, al rotor de cola y a otros accesorios durante el vuelo. Los principales componentes del sistema de transmisión son el accionamiento del rotor principal, el accionamiento del rotor de cola, el embrague y la unidad de rueda libre. La unidad de rueda libre permite el acoplamiento del rotor principal con el rotor de cola durante la auto rotación, que es el movimiento de descenso total y auto controlado que pueden llevar a cabo los helicópteros en caso de una falla de potencia. Los sistemas de transmisión de helicópteros son normalmente lubricados y enfriados con un circuito de aceite integrado.

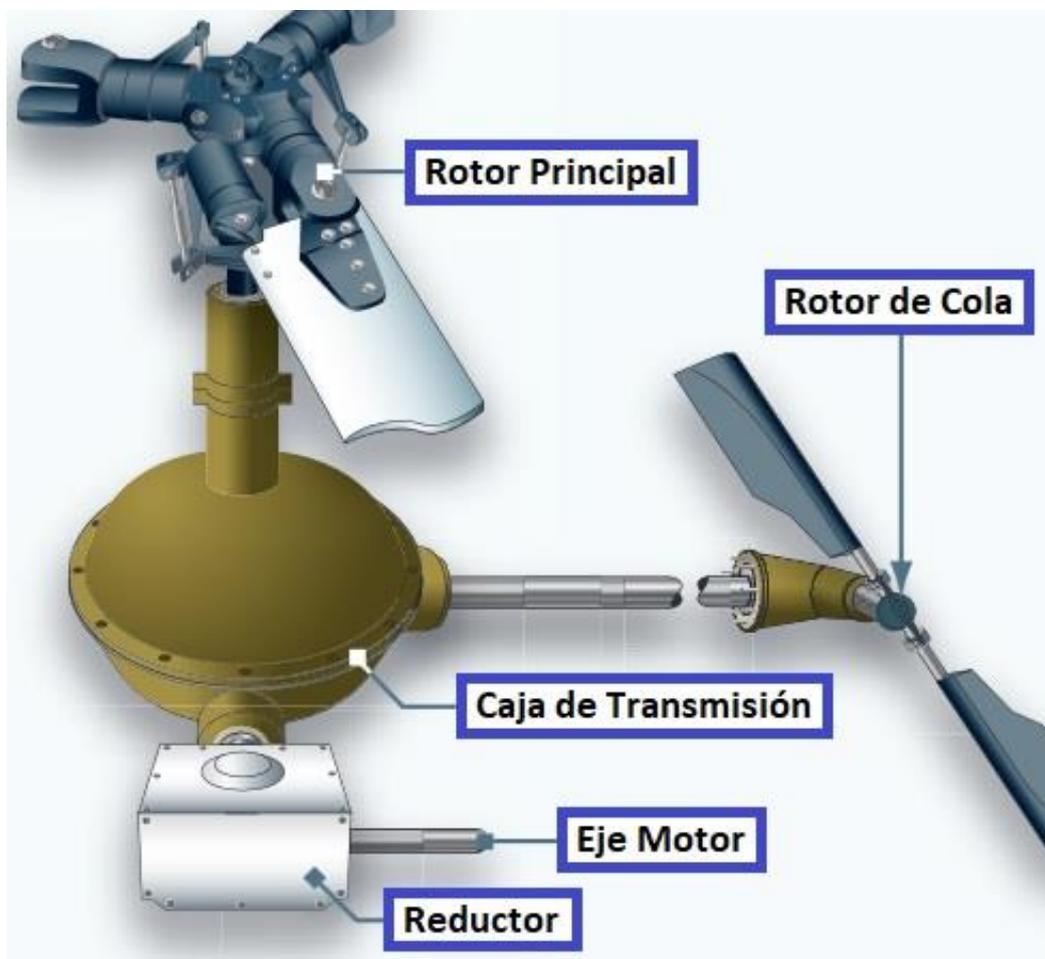


Figura 19. Sistema de Transmisión de Potencia.

Todos los sistemas que se describen como de aplicación general en la industria, son reconocidos como parte del diseño actual de los helicópteros. Puede destacarse que estos alcances tomaron lugar durante la década de 1950, ya que en esa época se dio la primera producción en masa de estas aeronaves.

Los modelos fabricados en dichas producciones mostraban claros avances en seguridad, eficiencia y aceptación por parte de pilotos y tripulantes. Los modelos S-55 y S-58 de Sikorsky fueron distribuidos en todo el mundo, tanto para usos civiles como militares. Por aquella época se destacarían otras industrias como la estadounidense Bell fundada en 1935, con su modelo UH-1 Huey fuertemente basado en el exitoso diseño del Sikorsky S-47. La adopción del diseño básico de Sikorsky por parte de Bell, llevaría a esta última a desarrollar innumerables innovaciones en su industria que la convertirían en la principal competidora del mercado.

Los modelos Bell 212, UH-1D y Huey Cobra (Figura 20) son pruebas concretas del fortalecimiento de Bell como empresa innovadora en el área, a pesar de no haber sido quien desarrolló el helicóptero desde sus conceptos iniciales sino adoptando y desarrollando el diseño básico de Sikorsky. En el año 1956 uno de los pioneros estadounidenses en vuelos verticales Franck Piasecki convirtió su emprendimiento original Piasecki's Corporation en The Vertol Company, desarrollando en ese momento el modelo Vertol 107 de uso civil y de venta masiva. Además fueron producidos dos exitosos modelos de aplicación militar como los CH-46 y CH-47 (Figura 21). Esta empresa finalmente sería convertida en lo que actualmente es Boeing.

Hughes Helicopters fue otro protagonista importante durante la década de 1950. La empresa había sido fundada en 1947, y se impuso años más tarde con diseños orientados al uso militar como el TH-55 o los modelos Hughes-500 Series, además de uso civil. Sin embargo, el diseño que llevaría a esta empresa a posicionarse entre las líderes mundiales llegaría finalmente en 1976 con el lanzamiento del AH-64 Apache (Figura 22).



Figura 20. Modelos Bell UH-1 Huey (izquierda) y Bell Huey Cobra (derecha).



Figura 21. Prototipo Modelo Vertol 107 (izquierda) y su evolución Boeing CH-46 Sea Knight (derecha).



Figura 22. Hughes Modelo AH-64 Apache.

El masivo surgimiento de fábricas y diseños de helicópteros detallados durante la década de 1950 incluye también muchas otras marcas que fueron fortaleciéndose hasta hoy. Pueden destacarse fabricantes americanos como

Robinson, Schweizer, Enstrom, entre otros. En el continente europeo también son reconocidas muchas firmas, entre las que se encuentran Aerospatiale, Agusta, MBB o Westland.

Si bien puede establecerse cierto paralelismo entre el desarrollo de los helicópteros y el de los aviones, la ingeniería mucho más lenta y compleja de los primeros puede atribuirse al mayor conocimiento tecnológico requerido para poder solucionar todos los problemas mecánicos y aeronáuticos que iban surgiendo en el vuelo vertical. Además de la necesidad de comprender la aerodinámica básica del vuelo vertical y de mejorar su eficiencia, otras barreras técnicas fueron el desarrollo de las fuentes de potencia (motores) con óptimas relaciones de peso y potencia, así como también los materiales de alta resistencia y bajo peso para la construcción del fuselaje y los distintos mecanismos. A medida que las tecnologías claves han ido madurando durante los últimos ochenta años, el helicóptero ha pasado de ser un artilugio de altas vibraciones que apenas podía elevar su propio peso a una aeronave eficaz, imprescindible para ciertas tareas particulares y de alta eficiencia aerodinámica. El helicóptero es considerado una de las más destacadas obras de la ingeniería mecánica y aeronáutica de todos los tiempos.

CAPÍTULO 6: Fase I. El desafío de volar. Los modelos CH1 y CH-2 (1956-1965) ².

A principios de la década de 1950, Augusto Cicaré (Figura 23) se desempeñaba como ayudante en la metalúrgica de su padre. Sus conocimientos técnicos provenían de labores en herrería, soldadura y mantenimiento mecánico aplicado a maquinaria agrícola de la zona, en los alrededores de la localidad de Polvaredas, provincia de Buenos Aires³.



Figura 23. Augusto Cicaré junto a un motor diésel de solamente tres piezas móviles diseñado y construido en su juventud para accionar un generador eléctrico (1960).

² La redacción de este capítulo está basada principalmente en entrevistas a Augusto Cicaré e Indalecio Sabbioni realizadas por el autor de la tesis.

³ Polvaredas es un pueblo ubicado en la región central de la Provincia de Buenos Aires. Se encuentra sobre las Rutas Provinciales N°63 y N°205, a 29 kilómetros de la ciudad de Saladillo y a 180 kilómetros de Capital Federal. Cuenta con una población de 392 habitantes según censo del año 2010. Su actividad económica se basa principalmente en la agronomía y la ganadería, y su población se compone principalmente de familias dedicadas a estos rubros. La calle central de la localidad se llama Avenida Cicaré y atraviesa el pueblo en toda su extensión (Sitio Oficial Polvaredas, "Historia", sitio web Polvaredas (BA) <http://polvaredasba.com.ar>, 2019)

Sus tareas puntuales dentro del taller mecánico eran el manejo del torno para modelado de piezas, la fundición artesanal de metales, la soldadura y demás. El conocimiento en materiales se limitaba al acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, madera, y ocasionalmente algún otro tipo de metales (Figura 24).

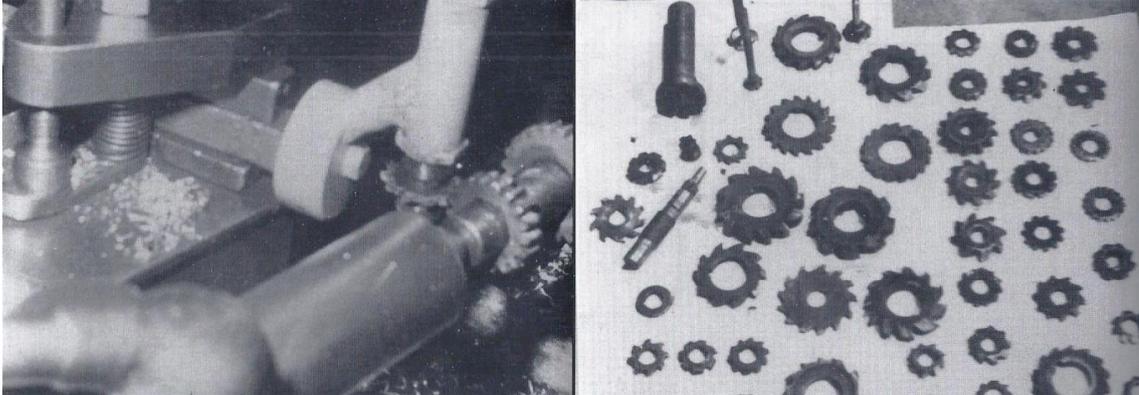


Figura 24. A la izquierda, el sistema para creación de engranajes adaptado a torno convencional diseñado por Augusto Cicaré. A la derecha, algunos engranajes y ruedas dentadas creadas con la máquina (1954).

Por aquel entonces era frecuente en talleres mecánicos y gente aficionada a la mecánica la suscripción a los ejemplares de la revista llamada *Mecánica Popular*, que recopilaba y publicaba artículos sobre avances tecnológicos en distintas ramas de la mecánica en todo el mundo. En una de estas publicaciones, Cicaré durante su infancia había apreciado la figura de un artefacto que había provocado su asombro. En una breve nota, se detallaban exposiciones y demostraciones del inventor Sikorsky y su aeronave de vuelo vertical, el helicóptero.

Aquella imagen que había permanecido durante años en la memoria del joven Cicaré, se convertiría poco tiempo después en idea de desarrollo al alcanzar su adolescencia, tenía entonces 17 años. El plan para diseñar y fabricar un primer prototipo fue el de ocupar tiempos ociosos del taller de mantenimiento, días no laborales, y el empleo de piezas sobrantes o *scrap* del propio taller. Además, vendió el motor de una motocicleta para comprar algunos materiales que consideraba necesarios. De esta manera, el presupuesto necesario se reducía a un mínimo y el desempeño habitual del taller, único sustento económico familiar, no se veía afectado. Todo este trabajo mecánico y metalúrgico anterior a la idea de fabricar un helicóptero, se puede considerar le dieron a Augusto Cicaré aquellos “medios preconcebidos” mencionados por Ciapuscio (1996), los

que luego el diseñador adaptaría para obtener soluciones mecánicas-aeronáuticas.

El mayor conflicto del proceso de desarrollo de una aeronave sería la falta de conocimiento tecnológico aeronáutico, Cicaré contaba sólo con sus estudios formales de nivel primario, sus habilidades de mecánico en el taller mecánico y una fotografía extraída de una revista en donde se observaba un helicóptero Sikorsky experimental con su creador de pie a un costado. Sabía que en distintas partes del mundo esta tecnología había sido ya desarrollada, pero no tenía manera de acceder a información sobre ella. Este conflicto se refiere a lo reflexionado por Norton (2000), existe evidentemente un conocimiento tecnológico específico de la aeronáutica que no es fácilmente dominable por personas especialistas en otras áreas similares como la mecánica general o la metalúrgica. Fue allí cuando el joven inventor decidió dedicarse a la búsqueda de datos técnicos sobre aquellos mecanismos que permitían elevar y controlar una nave en vuelo vertical.

A mediados de la década de 1950, en Argentina, existían algunos ejemplares de helicópteros, tales como los modelos Bell 47 o algunos Sikorsky S-51, entre los privados y los de propiedad del Estado. Augusto Cicaré averiguó por la posibilidad de observar directamente uno de ellos, lo que lo llevó a acercarse a las instalaciones de la Base Oficial de Aviación Civil (BOAC)⁴, ubicada por aquel entonces en el actual partido de Moreno, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Allí se encontraban los helicópteros del Estado, lo que le permitiría estar en contacto con las aeronaves, contemplar sus mecanismos y funcionamiento. Pese a su intención, las autoridades de la institución le negaron el ingreso al predio, y su oportunidad de observar los helicópteros se vio frustrada.

La idea inicial de Cicaré era fabricar de manera artesanal un chasis monoplaza similar al que podía observarse en aquella fotografía de revista, tomando como medidas y formas geométricas las comparaciones entre el tamaño de la aeronave, tal como se apreciaba en la imagen, y el propio diseñador parado a

⁴ La Base Oficial de Aviación Civil (BOAC), actualmente Aeropuerto Mariano Moreno, fue una base de operaciones de la Fuerza Aérea Argentina activa entre los años 1959 y 1968. Actualmente es un aeropuerto y helipuerto donde tiene su base la VII Brigada Aérea. Sus instalaciones son empleadas desde sus inicios como base de helicópteros de la Fuerza Aérea Argentina (Fuerza Aérea, "Guarniciones y Unidades", sitio web Aeromilitaria Argentina <http://aeromilitaria.gacetaaeronautica.com>, 2011).

su lado, considerado como patrón de referencia. Esto resultó en una estructura alcanzada con soluciones mecánicas poco ortodoxas en la aeronáutica (Figura 25). Es evidente que se trata de una manifestación de “ideología de diseño” (Layton, 1976), en donde el único objetivo de la obtención del producto es la producción misma en sí, sin la existencia de requerimientos exigidos por un tercero y simplemente con funciones básicas a cumplir, en este caso deseadas por el diseñador. En definitiva, la motivación de Cicaré era desarrollar la capacidad de diseñar y fabricar un helicóptero.

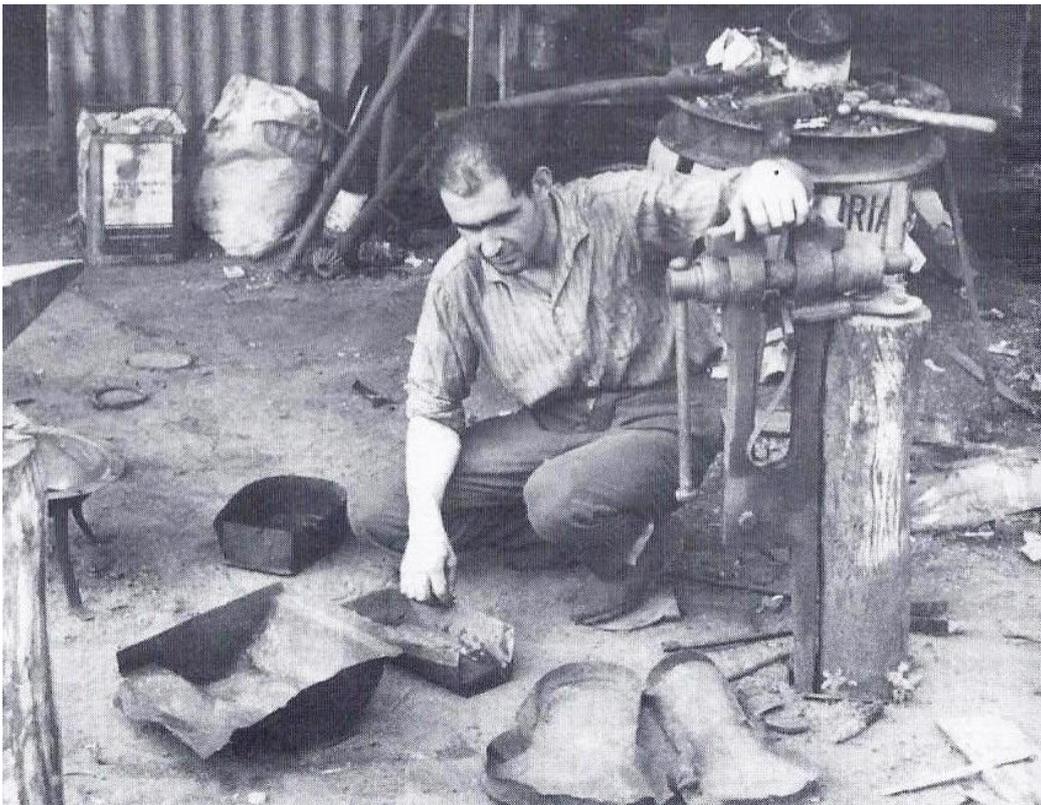


Figura 25. Augusto Cicaré durante la construcción del modelo CH-1 en su taller en Polvaredas. En el suelo se observan los moldes de chapa utilizados para fundir las piezas del motor (1959).

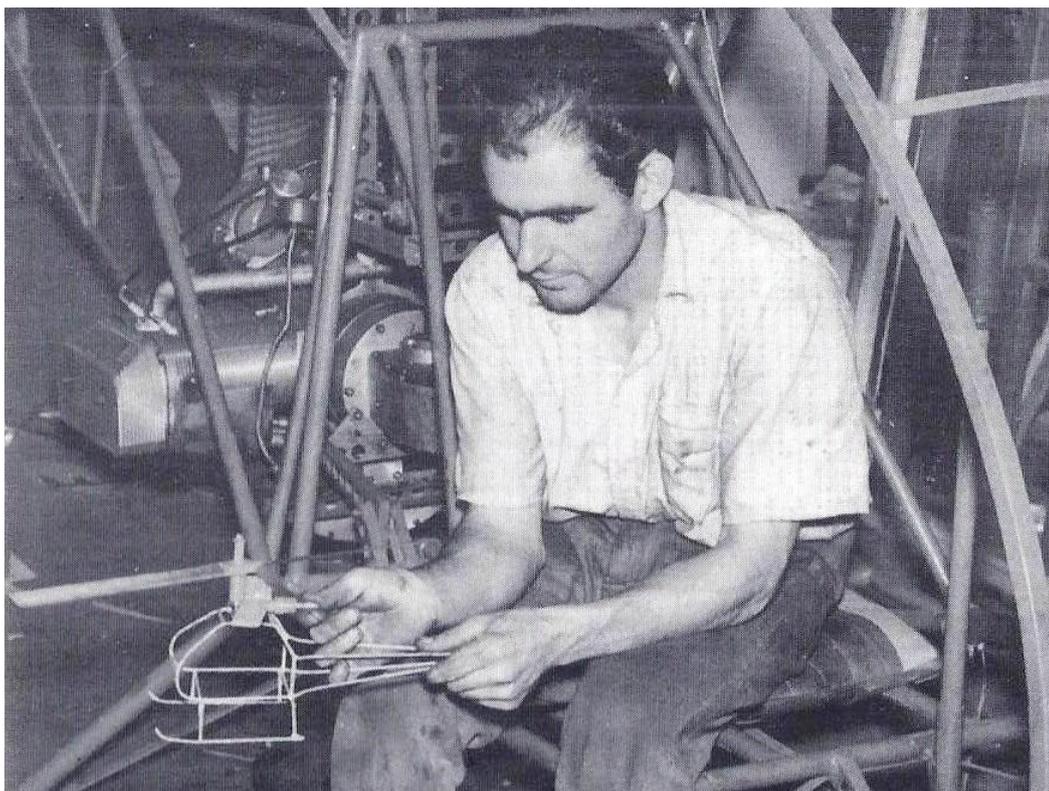


Figura 26. Augusto Cicaré sentado sobre el modelo CH-1 observando una maqueta a escala construida para estudiar fenómenos físicos (1959).

La motorización de la nave fue otro de los conflictos a resolver. Por aquellos años, Cicaré había construido ya un motor diésel mono cilíndrico de dos tiempos, con una potencia de 6hp. Este motor contaba con un novedoso sistema de lubricación, el que años más tarde se convertiría en su primera patente de invención, de manera que ya poseía conocimiento relacionado con motores. Se planteó entonces proyectar el diseño y la fabricación de un motor especial para el helicóptero, aunque esto le llevaría más tiempo e inversión. Finalmente decidió instalar sobre la aeronave un motor de motocicleta marca Gilera de cilindrada 150cm³ con transmisión incluida.

Es válido en este momento hacer un enfoque en el proceso. Los requerimientos que el diseñador contaba para comenzar su diseño provenían de su propio pensamiento lógico:

- El aparato se sustenta en el aire por el empuje generado por palas giratorias.
- El dispositivo debe contar con un habitáculo para su piloto.

- Debe existir un par extra de palas que gire en sentido contrario a las principales o un rotor de cola, impidiendo así el giro descontrolado del habitáculo.
- Debe existir un sistema de comandos que permita elevar, descender, avanzar y dirigir el artefacto, según la decisión de su piloto.

Es claro aquí apreciar la conjugación de estos requerimientos básicos con sus destrezas de construcción mecánica. Se trataba de un diseñador que contaba con herramientas y técnicas necesarias para dar forma a los objetos, aunque no poseía conocimiento alguno sobre el estado del arte en el diseño aeronáutico.

En definitiva, esta falta de vínculo entre el diseñador y los avances alcanzados en la industria por aquel entonces en materia de helicópteros, conformaban de alguna manera ese hiato de conocimiento que menciona Mackenzie (1996). Esto imposibilitaba a Cicaré nutrirse del desarrollo de helicópteros ya existentes, pues carecía del conocimiento explícito y tácito referido a este tipo de aeronaves y a la aeronáutica en general. De manera que, como señala Mackenzie, la única alternativa con la que contaba el diseñador para alcanzar el desarrollo de un helicóptero, era la de reinventarlo.

Durante sus primeros pasos en la fabricación del prototipo de vuelo se haría valer de observaciones y experimentos de primera mano (Figura 26 y Figura 27) relacionados gracias a su técnica y oficio como menciona McGinn (1991).



Figura 27. Augusto Cicaré experimentando sobre el fenómeno giroscópico (1960).

Avanzando en el proyecto, Cicaré se dedicó al diseño y fabricación del rotor de la aeronave, definitivamente uno de los mecanismos más complejos para este tipo de artefactos. El sistema contrarrotativo fue diseñado e instalado sobre el artefacto, lo que evitaba desarrollar el complejo sistema de transmisión que requiere un rotor de cola. El rotor principal fue complementado con una estructura de paralelogramo deformable que permitía mover el centro de gravedad de la aeronave, lo que hacía suponer permitiría maniobrar el vuelo accionando este mecanismo por medio de un sistema de palancas. Este principio de funcionamiento con contrapesos no era empleado en ningún helicóptero por aquel entonces, ni lo ha sido hasta el presente por su falta de eficacia. Se trató de uno de los tantos sistemas reinventados por el diseñador ante su entonces falta de conocimiento sobre aeronáutica.

En cuanto al diseño de aspas, Cicaré había observado por fotografías que el cuerpo era de terminación biconvexa, de manera que una visita al Aeroclub de Saladillo para observar las hélices de los aviones bastó para fabricar palas de perfil similar, con la ayuda de un proveedor de modelado en madera. Las aspas fueron desarrolladas de madera recubierta con chapa de metal. El escalado dimensional de las mismas fue calculado a través de la observación de la fotografía de la revista, pues de allí dedujo el ancho de una cabeza humana para el ancho de las palas y una longitud total seis veces mayor al mismo patrón de medida. De esta manera, todos los mecanismos del helicóptero habían sido completados para el año 1956.



Figura 28. Augusto Cicaré junto a vecinos colaboradores previo a los ensayos del Cicaré CH-1 en la localidad de Polvaredas (1957).

En el año 1957 Augusto Cicaré iniciaría una serie de ensayos de su aeronave prototipo construida con materiales de uso común en metalúrgica agroindustrial y tornillería convencional (Figura 28). Aunque no ha realizado un registro de las pruebas, se sabe que las primeras pudieron comprobar que las aspas giraban de manera correcta, pero la baja potencia hacía evidente que no se experimentaría el vuelo vertical. Así fue que Cicaré se avocó completamente al diseño y construcción de un nuevo motor. El resultado fue un motor artesanal de diseño propio con block fundido en aluminio, de cuatro tiempos, dos cilindros opuestos y 1050cm^3 de cilindrada, ofreciendo una potencia de 30hp.

Los ensayos con la nueva motorización demostraron que la aeronave lograba el despegue del piso, aunque luego de unos segundos caía por su propio peso debido a la falta de potencia del motor (Figura 29). En este ensayo Cicaré observó que una aceleración en la velocidad angular del rotor generaba un incremento en la inercia que alargaba el tiempo de vuelo del helicóptero, aunque nunca pudo superar el minuto de acción. Seguidamente, decidió repetir el ensayo sin el tripulante a bordo, y accionando los comandos él mismo parado sobre el piso a un costado de la nave. Desde el piso mantenía también el equilibrio de la misma, contando con la ayuda de dos personas más, lo que demuestra a las claras el rústico método de ensayos empleado. Sin embargo, estas pruebas le permitieron mejorar notablemente el sistema de comandos. Es necesario apreciar aquí la relación entre el aprendizaje y la experimentación a la que se

refiere Collins (2010), Cicaré recurrió inevitablemente a la experimentación del vuelo para poder comprender los fenómenos físicos que lo condicionaban. El conocimiento sobre el vuelo de aeronaves se compone en gran parte de aspectos tácitos.

Fue aproximadamente en el año 1959 que una falla en la coordinación de las tres personas que ejecutaban el ensayo derivó en el descontrol del helicóptero, que terminó soltándose de las manos de quienes lo sostenían para volar y estrellarse a pocos metros sobre el piso. El primer prototipo llamado Cicaré CH-1 había sido completamente destruido. Vale aquí destacar que existió una primera evolución en la motorización, debida a la falta de potencia inicial, que permitió que el diseño se aproxime a la posibilidad de experimentar el vuelo vertical. En segundo lugar, esa evolución provocó de alguna manera aquella pérdida de control y posterior accidente durante los ensayos. Estas dos apreciaciones se acercan al análisis realizado por Lalouf (2004), en donde se combinan de alguna manera la evolución de modelos (Vincenti, 1990) y las fallas desencadenantes de cambios de diseño (Petroski, 1992). Fue claro para Cicaré apreciar que era necesario mejorar la metodología de ensayos y el control de la aeronave luego de aquella grave falle.



Figura 29. Augusto Cicaré como piloto de pruebas del Cicaré CH-1 (1959).

El diseño de la segunda unidad del modelo CH-1 comenzó a principios de la década de 1960, replicando la construcción anterior, aunque considerando esta vez algunas modificaciones. Algunos de estos cambios fueron por ejemplo la ampliación de la cabina, la construcción totalmente metálica de las aspas y la mejora en el sistema de paralelogramo deformable que permitía el avance del helicóptero. En cuanto a la motorización, diseñó y fabricó un nuevo motor de dimensiones duplicadas del anterior, ofreciendo una potencia de 60hp, lo que paliaría las pérdidas de inercia observadas en los ensayos del primer prototipo. El objetivo de Cicaré en aquel momento era continuar las tareas de mejoras en la aeronave que había evidenciado falta de potencia durante su vuelo.

Los ensayos del nuevo modelo CH-1 fueron llevados a cabo por Cicaré sobre un precario banco de pruebas, que consistía simplemente en el anclaje del helicóptero al piso por medio de cuatro cadenas que le impedían tomar altura considerable de vuelo, lo que podría ocasionar un accidente. Cabe aclarar que el diseñador no poseía habilidad para pilotear con total control la aeronave. Los ensayos fueron exitosos, considerando que pudo alcanzar más de cinco horas de vuelo, aprendiendo además a controlar el helicóptero. Esto le sirvió como punto de partida para salir a campo abierto a realizar nuevos ensayos de vuelo, esta vez sin las cadenas de anclaje.

Los vuelos en campo abierto mostraron muchas fallas en el sistema de comando, luego de completar unas quince horas de pruebas. En conclusión, el vuelo de la aeronave dependía mucho de las condiciones de viento, aunque demostraba que el diseño era viable y funcional. Se puede hacer una conexión aquí con la comparación entre el comportamiento real y el comportamiento esperado, antes mencionada por Gero (1990). Cicaré contaba con un prototipo que cumplía las funciones de vuelo vertical que buscaba, aunque el comportamiento en general no resultaba valorable. En ese caso el diseñador asignaría nuevas funciones al vuelo vertical como requerimiento, tales como la estabilidad en condiciones de viento, la maniobrabilidad, entre otras.

Durante una exposición industrial realizada en la localidad de Saladillo en 1963, Augusto Cicaré conoció al fotógrafo Santiago González Valdés (Figura 30), quien se desempeñaba como fotógrafo oficial de la Presidencia de la Nación Argentina. Interesado por el desarrollo tecnológico de Cicaré, González Valdés utilizó sus contactos personales para proveer al diseñador un paquete de libros

y revistas sobre aeronáutica más una ayuda económica, a fin de colaborar con los gastos del nuevo prototipo que Cicaré comenzaba a desarrollar, el modelo CH-2. Más allá de aquel acercamiento, González Valdés informó en el mismo año de la exposición a un oficial de la Fuerza Aérea Argentina⁵ sobre los prototipos de aeronaves Cicaré. Se trataba de Ildefonso Durana, quien además era técnico mecánico y piloto de helicópteros.



Figura 30. Santiago González Valdés junto a Augusto Cicaré durante los ensayos del modelo CH-2 con sistema de fumigación (1966).

En el año 1963, Ildefonso Durana decidió conocer a Augusto Cicaré y sus desarrollos, por lo que realizó un vuelo hacia el taller ubicado en la localidad de Polvaredas, provincia de Buenos Aires, empleando un helicóptero Sikorsky S-51 de la BOAC. Esta visita fue más que importante para Cicaré, pues por primera vez podía observar un helicóptero de construcción industrial empleado en vuelos profesionales. Más tarde Cicaré visitaría, gracias al permiso obtenido por Durana, las instalaciones de la BOAC. Allí revisaría en profundidad los mecanismos de la aeronave para mejorar así su conocimiento en estructuras y

⁵ La Fuerza Aérea Argentina es uno de los tres organismos que conforman las Fuerzas Armadas Argentinas, junto con el Ejército Argentino y la Armada Argentina. Surgida de la Escuela de Aviación Militar en 1945, su objetivo principal en la actualidad es el de llevar a cabo operaciones de defensa de la soberanía en el medio aéreo, además de colaborar en misiones de paz y brindar servicios de logística en el territorio nacional en caso de desastres naturales o catástrofes. Cuenta además con centros de investigaciones y escuela de formación de oficiales, entre otras dependencias (Fuerza Aérea Argentina, "Historia de la FAA", sitio web Fuerza Aérea Argentina <https://www.faa.mil.ar>, 2016).

mecanismos aeronáuticos. Incluso pudo acompañar a uno de los pilotos de la Fuerza Aérea Argentina en un vuelo de prueba. Augusto Cicaré tomaba en este momento por primera vez contacto con el diseño específico aeronáutico, tal como lo mencionara Norton (2000), pudiendo comparar este conocimiento con el mecánico general aplicado en sus primeros prototipos elementales.

Luego de obtener estos agregados a su conocimiento tecnológico, Cicaré emprendió el diseño del segundo prototipo CH-2, que proyectó con soluciones aeronáuticas más avanzadas y empleando materiales de uso corriente en estructuras de aeronaves. Definitivamente, este desarrollo demandaría de una cantidad de dinero que el constructor no poseía.

Por aquel entonces, y por iniciativa de Santiago González Valdés, se formaría una agrupación de interesados en obtener financiamiento económico para los desarrollos de Cicaré. Este grupo social se llamó Asociación Amigos de Augusto Ulderico Cicaré. La agrupación se encargó de difundir en diversos medios de comunicación los avances tecnológicos obtenidos por el joven diseñador, lo que llevó a formar más tarde mediante una asamblea municipal la Comisión de Saladillo de la Asociación de Amigos de Augusto Ulderico Cicaré. Esta última comisión realizaría una serie de eventos benéficos que obtendría los recursos económicos necesarios para la construcción del prototipo CH-2. Muchas personalidades asistieron a estos eventos, quienes además generarían un contacto con Cicaré que sería fundamental en su futuro, entre ellos el piloto de automovilismo Juan Manuel Fangio, el vice comodoro Luis Alberto Varisco y muchos oficiales y pilotos de la Fuerza Aérea Argentina (Figura 31).



Figura 31. Evento de recaudación de fondos para la construcción del modelo CH-2. En la imagen superior, Augusto Cicaré junto al cantante de tango Edmundo Rivero. En la imagen inferior, el diseñador junto a Juan Manuel Fangio (1964).

Finalmente en el año 1964 comenzó la construcción del Cicaré CH-2 (Figura 32), un helicóptero biplaza lado a lado con cabina cerrada, tren de aterrizaje con patines, un motor de aeronaves Lycoming O-360⁶ provisto por la Fuerza Aérea Argentina, rotor principal de tres palas y rotor bipala de cola. El mecanismo de transmisión a la cola fue diseñado y construido por Cicaré empleando correas y una caja de engranajes. La estructura principal del helicóptero constaba de un reticulado también ideado por el diseñador.

⁶ El modelo O-360 de la firma estadounidense Lycoming es un motor de pistón de cuatro cilindros opuestos horizontalmente, con refrigeración por aire y transmisión directa, que en diferentes versiones se encuentra disponible desde 145 hasta 225hp (Avco Corporation, "Products", sitio web Lycoming <http://www.lycoming.com>, 2016).



Figura 32. Augusto Cicaré junto al modelo CH-2, en el suelo se aprecian marcas del ensayo del prototipo (1965).

Vale la pena observar lo sucedido con la construcción del rotor. En primera instancia, Cicaré optó por basarse en los diseños de Sikorsky, aunque no pudo conseguir la efectividad de aquellos y decidió descartarlos para crear un nuevo sistema de diseño propio. Se puede volver a destacar en este episodio lo que antes se ha denominado como interpretación primitiva de un problema, es decir cuestionar los principios básicos del diseño existente de un mecanismo. El rotor propio de Cicaré contaba de una torreta de accionamiento hidráulico mediante pistones y resortes, los que permitían direccionar las aspas para maniobrar la aeronave (Figura 33). Este particular diseño sin precedentes, fue característico del CH-2 y completamente diferente de los sistemas empleados en modelos industrializados al momento como Sikorsky o Bell, y sería más tarde ampliamente difundido en la industria aeronáutica.



Figura 33. Augusto Cicaré junto a uno de sus modelos con rotor a pistones (1965).

Por aquel entonces, y gracias a sus colaboradores, Augusto Cicaré pudo obtener acceso a un curso de piloto de aviación en el Aero Club de Saladillo, lo que le permitiría ampliar aún más sus conocimientos en aeronáutica.

En el año 1965 finalizó la construcción del CH-2, iniciando inmediatamente su campaña de ensayos, esta vez diseñando y construyendo un nuevo e innovador banco de pruebas sin precedentes. Constaba de una barra metálica estructural anclada al piso que capturaba el helicóptero para limitar su altura de vuelo, pero permitía la libertad suficiente como para realizar desplazamientos a lo largo de la estructura (Figura 34). Esta versión superaba ampliamente al anterior arreglo de anclajes mediante cadenas metálicas.



Figura 34. Prototipo CH-2 al mando de Augusto Cicaré en el banco de pruebas de barra metálica anclada al piso (1996).

Las conclusiones de los ensayos en aquel novedoso banco de pruebas fueron óptimas, el vuelo del helicóptero CH-2 era correcto y su maniobrabilidad muy eficaz. Agregaría en aquel entonces además un pequeño banco de pruebas de materiales que consistía en una traccionadora de probetas. En un soporte se podía colocar un objeto de peso conocido, sostenido mediante un sistema de sogas y poleas que se vinculaba a una probeta del material a analizar. La idea contemplaba ir agregando pesos conocidos al soporte hasta romper la probeta, lo que arrojaba información sobre la resistencia mecánica del material de la que estaba fabricada la misma. Esta incursión en el estudio de materiales, definitivamente tan rudimentario y elemental como los primeros ensayos de vuelo, puede ser analizado con la perspectiva de Galison (1999). Aquí el diseñador comienza a dar lugar al estudio de fenómenos físicos como la resistencia de materiales o el efecto giroscópico, dada su falta de conocimiento en ciencias básicas. Sin dudas, contaba allí además con sus observaciones y experimentos de primera mano, como especifica McGinn (1991).

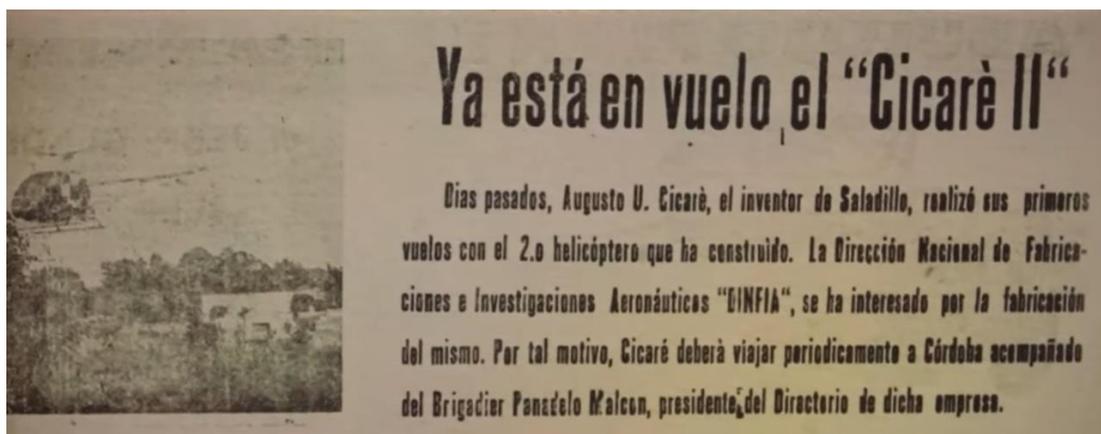


Figura 35. Publicación en diario local sobre el vuelo del Cicaré CH-2 (1966).

La importancia que Cicaré le otorgó a este dispositivo de pruebas es otro de los innumerables ejemplos del nivel de relevancia de los ensayos en su proceso de diseño. Definitivamente se necesitaba de la experimentación para poder desarrollar, debido a la escasa destreza del diseñador para la realización de análisis estructurales teóricos.

Los excelentes resultados obtenidos en las pruebas permitieron que en el año 1965 Cicaré instalara bajo la aeronave un sistema de fumigación con agroquímicos, realizando pruebas de vuelo sobre campos de la zona. El diseño fue enviado a la Dirección Nacional de Fabricaciones e Investigación Aeronáutica (DINFIA)⁷ para su evaluación, con el fin de que la fábrica pudiera proyectar su construcción en serie. Luego de esto, el prototipo CH-2 fue transportado a la ciudad de Córdoba, donde se llevaron a cabo nuevas pruebas por gestión de DINFIA. Allí además Cicaré brindaría conferencias explicando el desarrollo a técnicos e ingenieros de la fábrica, los que tiempo más tarde redactarían informes aprobando el diseño del helicóptero. Finalmente, y en el contexto de una complicada situación política en el país, DINFIA expresó que no se llevaría adelante la producción en serie de la aeronave.

⁷ En 1952, bajo la presidencia de Juan Domingo Perón, se crea Industrias Aeronáuticas y Mecánicas del Estado (IAME), en reemplazo del anterior Instituto Aerotécnico, con la intención de producir aviones, tractores, motocicletas y automotores. La empresa se edificó y comenzó a desarrollar investigaciones y tecnologías dentro del ámbito de la Fábrica Militar de Aviones, en la Provincia de Córdoba. En 1956 IAME se dividió en dos institutos. Por un lado, la Dirección Nacional de Fabricaciones e Investigaciones Aeronáuticas (DINFIA), dedicado al desarrollo aeronáutico. Por el otro lado, Industrias Mecánicas del Estado (IME), dedicado al desarrollo automotriz (Club IAME Argentina, "Historia de la Fábrica IAME", sitio web Club IAME Argentina <http://www.lycoming.com>, 2004).

El helicóptero Cicaré CH-2 se mantuvo activo varios años acumulando aproximadamente sesenta horas en vuelos experimentales, utilizándose además como modelo de pruebas de posteriores diseños de Cicaré. Sería desactivado finalmente en el año 1983.

6.1. Análisis de Fase I.

Es posible destacar que, con el prototipo CH-1, Cicaré obtuvo sus primeros conocimientos en aeronáutica. Comenzó allí a adquirir los conocimientos específicos mencionados por Norton (2000), lo que lo llevó posteriormente a desarrollar innovaciones durante las pruebas del CH-2. Los ensayos permitieron al diseñador experimentar distintos comportamientos físicos de vuelo en la aeronave a medida que iba aplicándole modificaciones mecánicas, lo que a su vez le otorgó cierta capacidad ingenieril, aun sin poseer conocimientos sobre ciencia básica. El desafío del constructor era acudir a este aprendizaje y su creatividad, realizar una interpretación primitiva del artefacto, y de alguna manera reinventarlo. No existían referencias de una aeronave a su alcance, no se contaba con fuentes de información, no había podido acceder a observar de cerca un helicóptero, por lo que se dispuso a fabricarlo para poder experimentar. Esta reinención por la falta de conocimiento explícito y tácito con la que contaba el diseñador se acerca al ejemplo planteado por Mackenzie (1996), en donde la reinención de un artefacto es la única posibilidad ante la pérdida de un componente del conocimiento (en su ejemplo, el tácito) por parte de una generación.

Esta cualidad de reinención se denominó en esta tesis interpretación primitiva del diseño. Esto puede parecer una absurda recreación de una tecnología que ya se considera madura. Sin embargo, es destacable el ejercicio de cuestionar esa madurez e indagar de manera integral si no existen nuevas definiciones, nuevas adaptaciones, nuevos métodos que puedan alcanzar el mismo objetivo de manera más eficiente y eficaz. Podría ubicarse la interpretación primitiva como un recurso que permite la transformación ocasional descrita anteriormente por Gero (1990) entre las funciones a cumplir y el comportamiento de un prototipo realizado (Figura 1). Para el caso de Cicaré, la

necesidad de acudir a la interpretación primitiva quizás provino de su falta de conocimiento en aeronáutica, sumado a la imposibilidad de tomar contacto con un helicóptero proveniente de la industria para poder observar y analizar. Sin embargo, esta característica podría ser aplicada a todo tipo de diseño tecnológico, incluso cuando se cuente con conocimientos sobre una especialidad en particular.

En esta fase se puede apreciar que no existe lugar para la zona de negociación entre teóricos y prácticos a la que se refiere Galison (1999), debido a que quien analiza y evalúa los diseños, en este caso Augusto Cicaré, no posee formación teórica alguna (ni en física ni en aeronáutica), por lo que se recurre a las tareas de ensayos como etapa única de evaluación y calificación de diseño.

En esta fase Cicaré dio inicio a un proceso no ortodoxo de desarrollo, a través de la construcción de prototipos de primera mano para corregir y reconstruir. De hecho, los bancos de pruebas agilizaron esa metodología y le permitieron no solo abocarse al diseño de helicópteros, sino a sus partes. Además, le sirvieron para comprender los fenómenos físicos que participan del vuelo vertical. En este proceso experimental realizaría ensayos sobre distintos tipos de aspas, transmisiones, comandos, materiales, instrumental, entre otros.

Es fundamental profundizar aún más durante esta fase en la importancia que Cicaré asignó a la construcción de bancos de pruebas y a la realización de ensayos. Este sistema de experimentación permitía no solamente evaluar el vuelo de la aeronave, sino el comportamiento de piezas y componentes como partes del modelo. Básicamente, los ensayos se transformarían aquí en la base de producción y gestión de conocimiento para el diseñador, debido a que no solamente empleaba el banco para probar el diseño de nuevos desarrollos, sino que además iba almacenando y conservando en depósitos todos sus prototipos, tanto de helicópteros como de partes y componentes. Definitivamente existía una predominancia de los experimentos para completar el aprendizaje sobre el vuelo vertical, como menciona Collins (2010). Esta cualidad de conservar en físico las construcciones, suplantaba de alguna forma la falta de documentación (conocimiento explícito), de manera que por ejemplo podía probar partes viejas en diseños nuevos, o viceversa, con el fin de evaluar comportamientos y solucionar mecanismos en base a desarrollos anteriores. Sería posible así

transferir los conocimientos hacia el futuro y a su vez conservarlos como avances tecnológicos.

Esta fase representa los inicios en la especialidad aeronáutica del constructor, proveniente de la metalúrgica y las máquinas agrícolas. Esto se refleja en la adaptación de técnicas y materiales de herrería artesanal (Ciapuscio, 1996) a la aeronáutica, a pesar de no conocer sobre las particularidades de esta rama (Norton, 2000). Se trataba de una incursión poco común, ya que las aeronaves demandan de materiales optimizados en peso y resistencia. Vale la pena destacar también que algunas adaptaciones de soluciones comunes en la industria agrícola o automotriz serían novedosas para la aeronáutica, aunque al momento no innovadoras. Se trataban de rudimentarios diseños conceptuales provenientes de su interpretación primitiva de las soluciones, que se propuso optimizar en el futuro.

Entre el primer modelo CH-1, y el segundo denominado CH-2, Augusto Cicaré tomó contacto con el primer helicóptero proveniente de la industria para poder observar y revisar, un Sikorsky S-51 producido en serie. Sin embargo, lo relevante en este hecho es tener en cuenta que no todas las soluciones mecánicas específicas que presentaba aquel helicóptero fueron valoradas por el constructor. Es cierto que muchas de ellas le parecieron complejas, pero aun así es interesante su observación, ya que luego de aquella revisión siguió prefiriendo algunos de sus diseños propios por sobre los estándares industriales ahora conocidos. En definitiva, estaba rechazando algunos conocimientos provenientes del área específica que detalla Norton (2000) a cambio de sus concepciones surgidas en la práctica de la mecánica general (Ciapuscio, 1996). Al respecto, Augusto Cicaré detalla:

“Yo no podía creer lo que era esa máquina, no sabía por dónde empezar a mirar. Todo me parecía muy complejo, pero después de un tiempo revisando y moviendo algunas partes le empecé a agarrar la mano. Vi que las partes generales yo las tenía, algunas me gustaron mucho y otras las seguí haciendo a mi manera, porque algunas partes del Sikorsky eran muy difíciles de fabricar o no me gustaban” (Entrevista a Augusto Cicaré, 2016).

El constructor mantenía hasta aquí un proceso que puede detallarse de la siguiente manera:

1. Propuesta de requerimientos (generalmente propios del diseñador),
2. desarrollo y diseño elemental idealizado, sin registros (planos o croquis),
3. construcción del prototipo,
4. ensayos,
5. corrección del prototipo (modificación mecánica).

Cabe aquí resaltar que el diseño no se llevaba a cabo de manera estándar, el constructor no realizaba planos ni croquis, simplemente imaginaba las formas de sus objetos y los iba construyendo a medida que iban siendo necesarios. Existía allí un alto componente de conocimiento tácito como lo detalla Polanyi (1966). Cicaré siempre se apoyó en sus altas capacidades para la fabricación, dejando de lado su baja preparación en el cálculo y la representación gráfica. Esta es la característica principal de aquel método poco ortodoxo de diseño propio del diseñador, que podría ser considerado una etapa del proceso de diseño detallado por Gero (1990), como parte de la transformación entre el estudio de las funciones a cumplir y la construcción de un prototipo.

Esta metodología no estandarizada de diseño sería todo un obstáculo para el funcionamiento futuro de una empresa que, por ejemplo, proyectara realizar fabricaciones en serie, pues el diseñador nunca documentaba sus desarrollos, ensayos y resultados. En entrevista con Indalecio Sabbioni, diseñador industrial de Cicaré S.A., se puede apreciar claramente esta característica. Allí cuenta cómo fueron las consultas que realizó a Augusto Cicaré previo a su ingreso a la empresa. A mediados del año 2001, el joven se encontraba diseñando un vehículo innovador para discapacitados, que constaba de una especie de coche de paseos a pedales que pudiera ser comandado por personas con inmovilidad en sus piernas, denominado Tórax. Sabbioni relata:

“Le pedí ayuda a Pirincho (Cicaré) para definir el producto, nos sentamos en esta misma mesa y yo le traía un motón de ideas que se me habían ocurrido y de cosas que había encontrado en Internet. Le dije que necesitaba que el hombre pueda pedalear, pero a la vez que se pueda subir y bajar del coche, y que la cadena no le moleste al momento de subir o bajar. Enseguida se le ocurrían mil soluciones. Sin embargo, no sabía cómo ayudarme, se sentía atado de manos al principio del trabajo en el que yo durante un mes tenía que definir el producto, pero en papel, todavía sin construir el prototipo. Él quería ayudar, pero decía: ‘¿Cómo

vamos a lograrlo si todavía no lo estamos haciendo?'. Él sentía que no teníamos nada todavía. Yo tenía que seguir todo un proceso estándar de diseño y de corrección para construir luego un prototipo, mientras que él quería fabricar un prototipo primeramente para después corregir su diseño" (Entrevista a Indalecio Sabbioni, 2016).

Efectivamente, Augusto Cicaré se encontraba imposibilitado de desarrollar un artefacto de la manera estándar detallada por Mott (1995), y común en muchos manuales de ingeniería, sin construir en primer lugar un prototipo para observar, ensayar y corregir.

Por último, es necesario destacar que, en esta etapa inicial, Augusto Cicaré comprendió rápidamente la necesidad de contar con un apoyo en financiamiento económico para su desarrollo tecnológico. El proceso de generación de los conocimientos iniciales, construcción de prototipos, realización de ensayos y demás actividades asociadas al diseño, tal como describe en su método Gero (1990), requerían de un sustento económico con el que no se contaba al momento, además de que sus investigaciones no generaban ganancia alguna. Respecto de los eventos realizados por la época para financiar sus construcciones, Cicaré cuenta:

"Creo que lo más importante que uno tiene que cumplir es ser una buena persona, ese es el mensaje que yo quiero dar. Si yo no hubiera sido una buena persona, nadie me hubiera ayudado. Por eso estoy tan agradecido. Todo el pueblo no paraba de trabajar para que yo pudiera hacer los helicópteros" (Entrevista a Augusto Cicaré, 2016).

CAPÍTULO 7: Fase II. De Polvaredas a Oshkosh. Los modelos CH-3 Colibrí, CH-4, CH-5 y CH-6 (1965-1990) ⁸.

A fines de la década de 1960, Cicaré se encontraba nuevamente en su taller de Polvaredas analizando cómo continuar la evolución de su diseño luego de la oportunidad frustrada de la fabricación en serie. En los años siguientes se vería involucrado en distintos emprendimientos ajenos al proyecto de helicópteros que le dieron mayor reconocimiento a nivel nacional, aunque sin conseguir por ello el financiamiento que requería la construcción de un tercer modelo de vuelo.

En el año 1972 formaría junto a Idelfonso Durana y a Antonio Raúl Mantel, dos comandos retirados de la Fuerza Aérea Argentina, la sociedad Cicaré Aeronáutica Sociedad en Comandita. La idea inicial era elaborar y presentar un plan de negocios para la fabricación de un helicóptero producto de la evolución del CH-2 al Consejo de la Industria Aeronáutica, organismo perteneciente al Comando de Regiones Aéreas (CRA), lo que actualmente es la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC)⁹, que se dedicaba a promocionar e impulsar la aeronáutica civil. De aquella iniciativa obtendrían una subvención económica en el año 1973.

Augusto Cicaré junto a sus socios se disponía a diseñar y construir un nuevo helicóptero, esta vez con financiación estatal. Para ello consiguió previamente la donación por parte del municipio de un terreno en la localidad de Saladillo¹⁰, Provincia de Buenos Aires, donde sería mucho más factible la instalación de un taller hangar (Figura 36), contando esta vez con los servicios públicos básicos

⁸ La redacción de este capítulo está basada principalmente en entrevistas a Augusto y Fernando Cicaré realizadas por el autor de la tesis y las patentes 5.163.815 (Estados Unidos de América) y 5.165.854 (Estados Unidos de América).

⁹ La Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) es un organismo descentralizado dependiente del Ministerio de Transporte de la Nación, que funciona como máxima autoridad en regulación aeronáutica en el país. Se dedica a normar y fiscalizar la aviación civil además de instruir a profesionales del rubro. Funciona como parte de lo que antiguamente se denominaba Comando de Regiones Aéreas (CRA), que dependía de la Fuerza Aérea Argentina (Administración Nacional de Aviación Civil, "Institucional", sitio web ANAC Argentina <http://www.anac.gov.ar>, 2017).

¹⁰ La ciudad de Saladillo es la cabecera del partido homónimo y se encuentra a 180 kilómetros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, al sureste de esta, sobre la Ruta Nacional N°205. Cuenta con una población estimada de 34000 habitantes según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Económicamente constituye un polo de comercios, proveedores y prestadores de servicios relacionados a la agronomía, la agricultura y la apicultura, entre otros. La industria ocupa además un lugar en las actividades de la localidad. La calle que conecta la Ruta Nacional N°205 con el Aeródromo de Saladillo lleva el nombre de Augusto Cicaré (Ciudad Saladillo, "Historia", sitio web Municipio de Saladillo <https://www.saladillo.gob.ar>, 2019).

que la localidad de Polvaredas no tenía disponibles. Una vez radicado en la nueva locación, se daría inicio al proyecto del modelo denominado CH-3 Colibrí, un nombre que dejaba en claro la idea definitiva de dedicarse a la línea de helicópteros livianos (Figura 37). Se trataba de un biplaza de habitáculo flexible que permitía la inclusión de una plaza extra, con rotor principal de cuatro palas y rotor de cola bipala con motor estadounidense Chrysler V8¹¹. Se puede destacar en este momento que la característica principal evolutiva (Vincenti, 1990) hasta este modelo había sido la potencia de motor.



Figura 36. Parte de las instalaciones de la fábrica Cicaré S.A. en Saladillo (2014).

El año 1973 fue muy crítico para el país a nivel social, político y económico, lo que derivó en la suspensión del aporte económico por parte del Estado, que a su vez obligaría a Augusto Cicaré a avocarse de nuevo al taller mecánico de reparación de maquinaria agrícola para sostener sus ingresos familiares junto a sus hermanos. Nuevos proyectos surgirían junto a sus socios, quienes transformarían su sociedad en Aerosaladillo Sociedad Anónima, aunque esto no demandaría un protagonismo esencial de Augusto Cicaré, quien prefirió sustentar su proyecto Colibrí a pesar de las dificultades para avanzar hasta completar la construcción, aun sin la subvención económica.

¹¹ Los modelos Chrysler V8 de la firma estadounidense, son potentes motores de gasolina, con pistones dispuestos en “V” en ángulo recto, empleados principalmente en vehículos de pasajeros, camiones, utilitarios, marina e industria general. Dependiendo del modelo, la potencia varía entre 125 425 hp. Fueron producidos en serie principalmente en las plantas fabriles de Estados Unidos, Canadá y México entre los años 1964 y 2003 (Sessler, 2010).



Figura 37. El modelo CH-3 Colibrí durante su campaña de ensayos (1976).

En el año 1976 el helicóptero Colibrí sería inscrito en el Registro Nacional de Aeronaves, comenzando entonces las pruebas de vuelo a cargo de su constructor. Los ensayos incluían modificaciones sobre la nave de manera de poder soportar cargas, lo que podría posiblemente abrir nuevos horizontes de comercialización.

Un año más tarde se emprendería por primera vez la exposición de un modelo Cicaré a nivel internacional. Aerosaladillo Sociedad Anónima se presentaría con el modelo Colibrí en los Estados Unidos, precisamente en la Convención de Vuelo de la Experimental Aircraft Association (EAA) de 1977 en Oshkosh¹². Allí recibiría la mirada curiosa de expertos en aeronáutica de todo el mundo y

¹² La convención de Oshkosh es una reunión anual de entusiastas, empresarios e industriales de la aviación, que se celebra cada verano en el Aeropuerto Regional de Wittman en Oshkosh, Wisconsin, Estados Unidos. El espectáculo aéreo está patrocinado por la Experimental Aircraft Association (EAA), una organización internacional con sede en Oshkosh, la más grande de su tipo en el mundo. Durante muchos años, el nombre oficial del evento fue Convención Anual de EAA. En 1998, el nombre fue cambiado a AirVenture Oshkosh. EAA AirVenture tiene actualmente cerca de mil foros y talleres, siendo considerada la convención de aviación más importante del mundo. La EAA estimó la asistencia en 2018 a más de 600000 personas de noventa naciones. Hubo aproximadamente 10000 aviones, 2979 aviones de exhibición y 976 representantes de medios de comunicación, junto con 867 expositores comerciales (EEA, "AirVenture", sitio web EEA Aviation Center <http://www.eaa.org>, 2019).

cosecharía excelentes críticas, sobre todo respecto a sus mecanismos de comando y control.

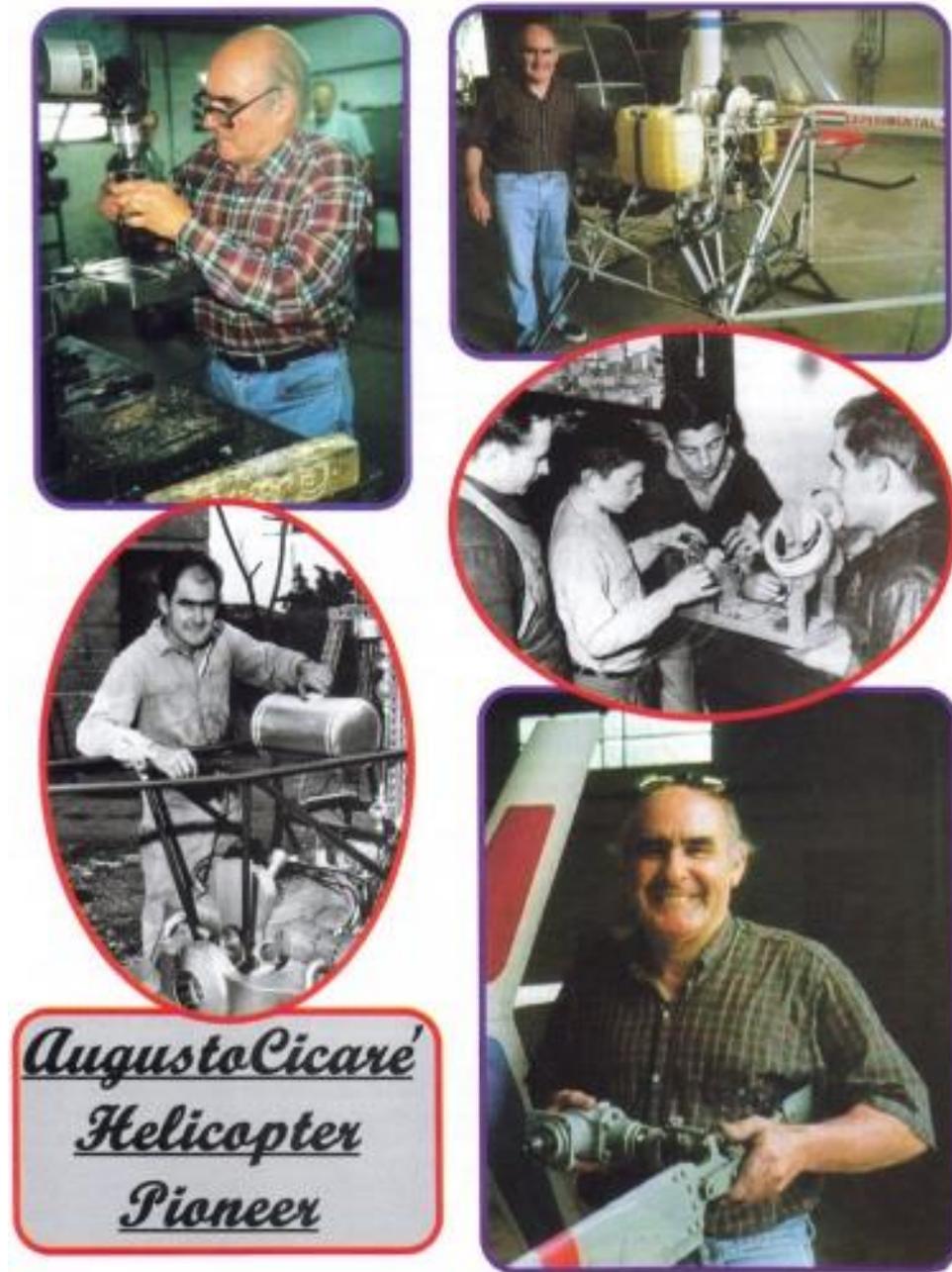


Figura 38. Banner de promoción de diseños Cicaré.

Al regreso a la Argentina, la empresa se enfrentaría a la cancelación de la homologación para vuelo del Colibrí por parte de la Dirección Nacional de Aeronavegabilidad. Desde este organismo rechazaban el empleo en la aeronave de un motor no certificado para aeronáutica, además de otras soluciones mecánicas que no poseían los estándares requeridos. Estos rechazos jamás pudieron ser negociados, por lo que el proyecto Colibrí vería su fin, ocasionando además la disolución de Aerosaladillo Sociedad Anónima en 1978. Una nueva

crisis económica en el país mantuvo a Augusto Cicaré dedicado a sus proyectos no aeronáuticos por unos años junto a sus hermanos.

En el año 1982 el constructor retomaría la actividad avocada a helicópteros con el diseño del Cicaré CH-4, aprovechando esta vez el auge internacional de las aeronaves livianas (Figura 39). La Dirección Nacional de Aeronavegabilidad, administración dependiente de la ANAC, y que se dedica específicamente a la homologación de diseños aeronáuticos, había establecido estándares para la certificación de helicópteros livianos, por lo que Cicaré podría diseñar esta vez de acuerdo a normativas que le aseguraran el ingreso del proyecto al mercado. La nave era monoplaza, con rotor principal bipala (palas metálicas) y rotor de cola bipala. El motor sería de diseño y construcción propia de Cicaré, en ciclo de dos tiempos y 550cm³ de cilindrada. El proyecto fue financiado bajo la firma Industrias Cicaré S.A., empresa formada para la producción y comercialización de productos varios del emprendimiento familiar.



Figura 39. El modelo CH-4 durante su campaña de ensayos (1983).

La evolución en el diseño de partes derivó en el empleo de un innovador sistema de refrigeración de motor, sumado a un novedoso mecanismo sin precedentes para el rotor principal, que reemplazaba el plato oscilante utilizado en la industria general por una estructura con forma de araña. La solución de problemas y la implementación cotidiana de mejoras en diferentes partes de los sucesivos helicópteros, fueron siempre generando innovaciones que caracterizaron los diseños Cicaré, quien empleaba en muchos casos su

interpretación primitiva de requerimientos para construir estructuras y mecanismos particulares.

Luego de un ciclo de intensos ensayos y pruebas de vuelo, la aeronave sería oficialmente homologada por la Dirección Nacional de Aeronavegabilidad en el año 1983. El año de aprobación coincidiría con el comienzo de un nuevo gobierno en el país, y a su vez momentos de gran inestabilidad económica. Si bien no sería posible la fabricación en serie de la aeronave, el proyecto fue muy representativo para Cicaré, ya que el prototipo mostraba un desempeño excelente, valorado incluso por varios pilotos profesionales que habían participado de la campaña de ensayos.

El frustrado proyecto de fabricación en serie llevó a Industrias Cicaré a poner esfuerzos nuevamente a sus proyectos en el área automotriz, diseñando por ejemplo una bomba de inyección de combustible para motores a nafta sin precedentes, por lo que obtendrían una patente e incluso un premio a la innovación por parte del sector privado. Se puede observar mediante este evento que la capacidad de analizar de manera primitiva los innumerables problemas de la mecánica le dieron a Cicaré la posibilidad de generar continuamente innovaciones en cada área en donde se proponía realizar una mejora. La capacidad de análisis de sistemas mecánicos y la resolución de los mismos, generalmente le generó resultados óptimos.

Por aquel entonces, el reconocimiento internacional de Cicaré logró vincular a la empresa con un organismo estatal, en este caso de Perú. Se trataba de una licitación internacional que la Fuerza Aérea de Perú lanzó para la compra de bancos de pruebas de componentes, con el fin de realizar tareas de mantenimiento en su flota de helicópteros de origen soviético. La licitación fue ganada por una empresa argentina denominada SOINCO S.A, quien subcontrató gran parte del trabajo a Cicaré, encargado de desarrollar y fabricar bancos de prueba para sistemas hidráulicos, motores, amortiguación, entre otros.

Sería en 1985 cuando nuevamente Cicaré volvería al trabajo de diseño y fabricación de helicópteros, esta vez sobre un interés de la Fuerza Aérea Argentina en trabajar en conjunto con la fábrica de Saladillo. Se trataba en este caso de las primeras asignaciones económicas surgidas del Plan Austral durante el gobierno del Dr. Ricardo Alfonsín. Partiendo de todos sus diseños anteriores, Augusto Cicaré se propuso fabricar un helicóptero monoplaza bipala con rotor

de cola y motorización Lycoming O-320-A2C¹³ de origen estadounidense, nació el Cicaré CH-5 (Figura 40). Vale la pena aclarar que la elección de este tipo de aeronave no respondía a requerimientos externos sino a la necesidad del diseñador de desarrollar y homologar este tipo de helicópteros, básicamente una “ideología de diseño” como la que define Layton (1976).



Figura 40. El modelo CH-5 en un vuelo para prueba de fuselaje (1986).

El diseño fue aceptado por la Fuerza Aérea Argentina en 1986, quien además le dio un plazo de dos años a Cicaré para la construcción de un prototipo para ensayos. De ser aprobado, se proponía la fabricación de una flota a definir con provisión de motorización y fondos económicos por parte del organismo, y la fabricación de estructuras y mecanismos en Saladillo. Halbritter (2009) relata:

“Aunque la Fuerza Aérea se comprometió a gestionar la compra del motor en forma inmediata, era evidente que no podría obviar el lento ritmo burocrático de todo organismo dependiente del Estado, de manera que era previsible una considerable demora en el suministro del motor, que a su vez podría provocar el atraso de todo el programa. Ante esta situación, en el acto de firma del contrato, Augusto Cicaré sugirió ampliar

¹³ Los motores O-320 de la firma estadounidense Lycoming poseen cuatro cilindros horizontales contrapuestos, refrigerados por aire, y de transmisión directa. Son principalmente empleados en aeronaves livianas. Dependiendo de la versión, varían entre 150 y 160hp de potencia (Avco Corporation, “Products”, sitio web Lycoming <http://www.lycoming.com>, 2016).

su alcance para cubrir la fabricación de un banco de pruebas experimental, que a muy bajo costo permitiría ganar tiempo y perfeccionar aspectos técnicos del proyecto” (Halbritter, 2009, p.69).

Ese banco de pruebas se transformaría básicamente en otro helicóptero similar amuleto y de dimensiones algo menores, que sería denominado CH-6 (Figura 41).

Para el desarrollo del proyecto en conjunto con la Fuerza Aérea, que consistía en la construcción de dos helicópteros a la vez (el CH-5 y su versión experimental CH-6), Cicaré contó con la colaboración del Comodoro Antonio Mantel, quien anteriormente fuera su socio, y además del ingeniero aeronáutico Carlos Cevasco.



Figura 41. El modelo CH-6 en un vuelo para prueba de componentes (1987).

Es importante entrar en el detalle de aquel prototipo experimental, que representaría tiempo después mucho más que un dispositivo de pruebas para la empresa. El CH-6 era, al igual que el CH-5, un monoplaza bipala con rotor de cola, aunque con dimensiones reducidas a escala del principal, con motor extraído de un prototipo anterior. Lo novedoso de este aparato estaría en el sistema de rotor. Los rotores que emplean los helicópteros del mercado poseen un mecanismo denominado plato oscilante, cuya función es la de dar inclinación a las palas del helicóptero desde la cabina del piloto, variando de esta manera el empuje entregado por las mismas (véase Capítulo N°5). Aunque estaba

aceptado en todos los modelos del mercado la ubicación del plato oscilante en la cabeza del rotor, Augusto Cicaré decidió trasladar el mecanismo a la parte inferior de la caja de engranajes, que distribuye la potencia entregada por el motor a los rotores principal y de cola, simplificando así la fabricación del mismo. La novedad llegaría durante las primeras pruebas del prototipo, el helicóptero poseía una maniobrabilidad y sensibilidad en sus movimientos nunca antes vistas, incluso según la apreciación de pilotos asiduos a comandar aeronaves líderes en el mundo, como Bell o Sikorsky. Más tarde, en el año 1992, este sistema sería patentado en Estados Unidos por Cicaré con registro número 5.165.854 (Figura 45).

Las pruebas sobre el prototipo CH-6 se extendieron más de lo normal para chequear de manera completa las nuevas prestaciones descubiertas. Para esta etapa fue fundamental contar con la colaboración de un piloto profesional, tal es el caso de Gustavo Brea, que desde hacía tiempo se venía manteniendo cercano a los avances de Cicaré. Sin embargo, esta vez Brea se convertiría en un actor fundamental para completar los ensayos, pues podía lograr calificar maniobras de vuelo de alta complejidad que el propio Augusto Cicaré no sabía realizar. En medio de la campaña fue necesario agregar modificaciones en el sistema de refrigeración del motor, ya que la demanda de control térmico era mayor que la inicialmente estipulada. Augusto Cicaré adaptó para aquella modificación un sistema de refrigeración usado proveniente de un automóvil Fiat 600¹⁴. De manera inesperada, las innovaciones desarrolladas por Cicaré para el modelo de pruebas estaba desviando el interés de los expertos por el CH-5 a su versión reducida CH-6. Los mismos comenzaron a evaluar la posibilidad de adaptar aquel prototipo a una versión apta para homologación de vuelo, permitiendo así una potencial fabricación en serie. La maniobrabilidad alcanzada por la innovación de Cicaré permitía incluso realizar acrobacias de vuelo sin precedentes en helicópteros.

¹⁴ El Fiat 600 fue un modelo de Fiat diseñado por la marca italiana y producido desde el año 1955, también fabricado y comercializado en Argentina entre los años 1960 y 1982. Es un vehículo de turismo, de tamaño reducido, de bajo consumo y de bajo costo de compra y mantenimiento. Durante más de 20 años, el Fiat 600 (y todas sus variantes) fue un éxito de ventas en Argentina, convirtiéndose en un vehículo de popularidad siendo de adquisición accesible incluso para la clase obrera. Se estima que se produjeron alrededor de 5 millones de unidades totales, originales de Italia, Yugoslavia, España, Argentina y Chile (Franco, "Historia del Fiat 600", sitio web Autos de Culto <https://www.autosdeculto.com.ar>, 2015).

El prototipo principal CH-5 fue finalizado en tiempo y forma por Cicaré, quien lo entregó a la Fuerza Aérea en el año 1988 según lo establecido, habiendo sorteado incluso la demora del motor provisto por el organismo estatal. Luego de una cantidad excesiva de horas de vuelo de prueba, el modelo fue presentado en la localidad de Saladillo, en un acto formal de gobierno llevado a cabo frente a los hangares de la fábrica.

Llegaría el año 1989, en donde Argentina enfrentaría una de sus crisis económicas hiperinflacionarias más destacadas, provocando incluso la renuncia del entonces Presidente Dr. Raúl Alfonsín, que dio lugar a la asunción prematura del recientemente electo Dr. Carlos Saúl Menem. Una vez más la empresa recibiría la noticia que tanto se repetía en su historia, el proyecto de fabricación en serie sería suspendido y nuevamente frustrado. El prototipo CH-5 se mantendría en operación intermitente por parte de la Fuerza Aérea por diez años más, dándose de baja más tarde.

Si bien en Industrias Cicaré lamentaban la discontinuidad del proyecto principal, mantenían su esfuerzo abocado al prototipo innovador CH-6, que además ya había sido homologado para vuelo por el Registro Nacional de Aeronaves, luego de la inclusión de su motor aeronáutico Rotax 582¹⁵. En aquel entonces, Augusto Cicaré formaría una nueva sociedad denominada Aeronaves Saladillo Sociedad Anónima, con el fin de fabricar de manera seriada el ultraliviano.

Las innovaciones introducidas en el modelo CH-6 fueron de interés para muchos expertos en tecnología aeronáutica, tal fue el caso de un piloto estadounidense excombatiente en Vietnam llamado Dennis Fetters (Figura 42). Fetters era dueño de una empresa dedicada a la construcción de autogiros¹⁶, y, por medio de un intermediario argentino, tomó conocimiento de los diseños

¹⁵ El modelo 582 de la firma austríaca Rotax es un motor de relativo bajo costo, que posee dos cilindros en ciclo de dos tiempos, refrigerado por agua, y con transmisión reducida. Ha sido diseñado principalmente para aeronaves livianas experimentales o no homologadas. Genera una potencia de 65hp (BRP-Rotax GmbH & Co KG, "Products", sitio web Rotax Aircraft Engines <http://www.flyrotax.com>, 2019).

¹⁶ Un autogiro es una nave especial de vuelo que conceptualmente conforma un híbrido entre helicóptero y avión. Al igual que muchos aviones, se propulsa mediante una hélice en plano vertical, aunque cuenta además con rotor como los helicópteros. El rotor de giro en plano horizontal no se encuentra vinculado con el motor de la nave, por lo que gira de manera libre (de ahí el nombre de "autogiro") impulsado por el aire y generando fuerzas de sustentación (Avión y Piloto, "El autogiro: diferencias con un ala fija", sitio web Avión & Piloto <http://www.avionypiloto.es>, 2013).

Cicaré, lo que lo trajo de visita a la Argentina en el año 1990. Aquí conoció todos los diseños de la empresa y tuvo la oportunidad de volar el modelo CH-6, además de observar los ensayos del piloto de pruebas Gustavo Brea, lo que causó en él un asombro por su funcionalidad y capacidad de maniobras.



Figura 42. Dennis Fetters (izquierda) junto a Gustavo Brea (derecha) en Saladillo (1990).

Fetters le propuso a Cicaré la firma de un preacuerdo para la fabricación del modelo en Estados Unidos, posteriormente a la exposición del prototipo en una nueva Convención de la Experimental Aircraft Association en Oshkosh (Estados Unidos) de ese año. Pocos meses después, el modelo estaría siendo exhibido y probado en la exposición norteamericana (Figura 43). Previo al traslado del mismo, Cicaré inició trámites de patentamiento de su sistema de rotor sin plato oscilante. No obstante, se decidió ocultar con cobertores el sistema mecánico durante la exhibición. Durante la convención, Cicaré recibió varias propuestas de

distintas empresas del mundo para realizar acuerdos para la fabricación del helicóptero, las cuales fueron denegadas por el constructor argentino, debido a los avances en compañía a Dennis Fetters.



Figura 43. Augusto Cicaré (izquierda) junto a Dennis Fetters (derecha) y el modelo CH-6 (1990).

Durante la convención estadounidense, Augusto Cicaré advertiría que el manejo de la información en la exposición por parte de Dennis Fetters confundía a parte de los visitantes de la muestra sobre los orígenes de la innovación, que definitivamente estaba siendo un éxito de la convención en aquella edición. Por tal motivo, se decidió ampliar la patente a registro estadounidense. Al lograr el ingreso de la misma a las oficinas de propiedad intelectual norteamericana, Cicaré tomó conocimiento de que una patente de características muy similares había sido presentada pocas semanas antes a nombre de Dennis Fetters (Figura 44). A su vez, sabía que además el estadounidense había fundado ya una empresa propia denominada Revolution Helicopters para la construcción de un modelo denominado Mini 500, que se basaba en la tecnología recientemente desarrollada por Cicaré. La noticia generó la ruptura inmediata de la relación entre el inventor argentino y el empresario estadounidense hacia el final de la convención, produciendo además el inicio de un juicio por parte del primero al segundo. Finalmente, Cicaré presentó poco después su propia patente algo diferenciada de la obtenida por Fetters, centrada principalmente en el mecanismo de cambio de pasos del rotor (Figura 45).



US005163815A

United States Patent [19]

[11] Patent Number: **5,163,815**

Fetters

[45] Date of Patent: **Nov. 17, 1992**

[54] ROTOR BLADE CONTROL MECHANISM

[76] Inventor: **Dennis L. Fetters**, 8109 N. Hickory #235, Kansas City, Mo. 64118

[21] Appl. No.: **737,193**

[22] Filed: **Jul. 29, 1991**

[51] Int. Cl.³ **B63H 1/06**

[52] U.S. Cl. **416/164; 416/168 R;**

416/114

[58] Field of Search **416/163, 164, 168 R,**

416/147, 108, 98, 114

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,499,314	2/1950	Hunt	
2,511,687	6/1950	Andrews	
2,810,443	10/1957	Doman	416/114
2,946,390	7/1960	Pozgay	
3,109,496	11/1963	Ellis, III et al.	416/98
3,577,616	3/1971	Ullisnik	416/98
3,637,321	1/1972	Nekrasov et al.	
3,756,743	9/1973	Robertson	416/108
3,885,887	5/1975	Desjardins	
4,432,696	2/1984	Stephan et al.	
4,534,704	8/1985	McArdle	416/98
4,681,511	7/1987	Glatfelter	

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

888158	12/1943	France	416/114
171641	8/1965	Sweden	416/98

Primary Examiner—Thomas E. Denion
Attorney, Agent, or Firm—Wm. Bruce Day

[57] ABSTRACT

A rotor blade control mechanism includes a transmission driving a hollow rotating drive shaft, extending through the transmission. A rotor head is attached to a top end of the drive shaft and includes rotor blade shafts of variable pitch and having control arm and lengths for cyclic and collective variation of the rotor blade shafts. A control regulates the rotor head control and lengths and includes at least a pair of rods extending through the hollow drive shaft with upper ends operably connected to the rotor head control arm and links and lower ends terminating substantially at a drive shaft bottom end. The control includes a fork with spaced fingers at the drive shaft bottom end and a yoke with spaced arms positioned in opposed relation to the fork. The yoke has a mounting block extending between the arms with the control rod lower ends swingably connected to the mounting block. A swing pin extends perpendicular to the yoke, through the mounting block, and is retained in the fork by the spaced fingers. The control extends from the drive shaft at the bottom end and swings perpendicular to the rotation of the drive shaft, imparting a mutually variable push-pull effect to the control rods for cyclic variation. Guide channels in the spaced fingers and slide blocks mounted in the guide channels to which the swing pin is connected for up and down sliding movement of the yoke impart a unitary push-pull effect to the control rods for collective variation of the rotor blade shafts.

1 Claim, 2 Drawing Sheets

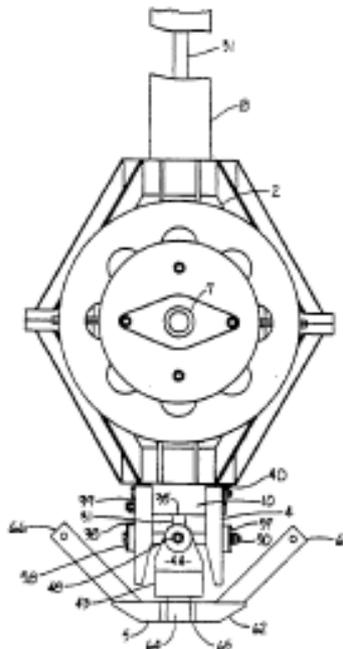


Figura 44. Patente 5.163.815 sobre mecanismo de plato oscilante de rotor, fechada en noviembre de 1992 a nombre de Dennis Fetters.



US005165854A

United States Patent [19]
Cicare

[11] **Patent Number:** **5,165,854**
[45] **Date of Patent:** **Nov. 24, 1992**

[54] **MECHANISM FOR CONTROLLING PITCH CHANGE IN HELICOPTER BLADES**

[75] **Inventor:** **Augusto U. Cicare**, Buenos Aires, Argentina

[73] **Assignee:** **Industrias Cicare S.R.L.**, Buenos Aires, Argentina

[21] **Appl. No.:** **726,867**

[22] **Filed:** **Jul. 8, 1991**

[30] **Foreign Application Priority Data**

Jul. 12, 1990 [AR] Argentina 317-354

[51] **Int. Cl.⁵** **B63H 1/06**

[52] **U.S. Cl.** **416/147; 416/114; 416/148; 416/168 R; 244/17.25**

[58] **Field of Search** **416/147, 114, 98, 168 R, 416/148; 244/17.25, 221, 220, 234, 232**

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,799,695 3/1974 Yamakawa 416/114 X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

1009222 5/1952 France 416/114

439165 9/1948 Italy 416/148

Primary Examiner—Edward K. Look

Assistant Examiner—Todd Mattingly

Attorney, Agent, or Firm—Bachman & LaPointe

[57] **ABSTRACT**

Mechanism for controlling pitch changes in helicopter blades, related to the helicopter mast and connected to a lever assembly mounted into the structure, having a pair of command arms, the assembly comprising first and second bars, related by rocker arms, for selective transmission of cyclic and collective pitches.

14 Claims, 5 Drawing Sheets

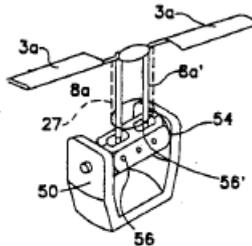


Figura 45. Patente 5.165.854 sobre mecanismo de cambio de pitch de rotor, fechada en noviembre de 1992 a nombre de Augusto U. Cicaré (una semana después de la solicitada por Fetters).

El regreso a la Argentina de Cicaré y su prototipo CH-6 (Figura 46) luego de la muestra estuvo marcado por la frustración de otro proyecto que concluía y el inicio de litigios judiciales por patentamiento que serían resueltos años más tarde. El diseño argentino sería todo un éxito, aunque Aeronaves Saladillo S.A. no se beneficiara del mismo. Pues el modelo Mini 500 de Revolution Helicopters se comercializó en más de quinientas unidades, luego de una extensísima serie de pruebas sobre los primeros modelos y la aplicación de varias modificaciones mecánicas debido a la falta de asesoramiento del creador del diseño original y la incertidumbre de Dennis Fetters ante la diferencia de comportamientos de vuelo de su versión aeronáutica. Si bien el Mini 500 fue exitoso, definitivamente las características del CH-6 que habían sido novedad en la convención, no habían podido ser del todo replicadas en el diseño adaptado por el estadounidense.



Figura 46. Prototipo original Cicaré CH-6 en los hangares de Saladillo (2015).

7.1. Análisis de Fase II.

En esta fase es posible visibilizar los primeros frutos de lo que, anteriormente en esta tesis, ha sido definido como interpretación primitiva del diseño. Las soluciones provenientes de esta metodología de Cicaré habían sido novedosas en los primeros modelos. En esta etapa, aquellos diseños fueron optimizados, convirtiéndose de novedades a innovaciones en los modelos CH-5 y CH-6. Puede observarse que, en esta fase, se parte del logro ya obtenido del vuelo vertical para introducirse en el diseño de funcionalidades y performances de vuelo específicas. Es decir, no se busca durante esta etapa lograr el vuelo y comando de un helicóptero, sino caracterizar y mejorar el mismo, obteniendo además nuevas funcionalidades, como por ejemplo la implementación de cargas útiles como un sistema de fumigación agrícola. Existía un conocimiento básico de aeronáutica ya había aprendido por Augusto Cicaré, quién a partir de ello se proponía investigar, mediante la experimentación de modelos de ensayos, nuevas capacidades en sus aeronaves.

Un claro ejemplo de la búsqueda de nuevas características aeronáuticas es, en primer lugar, el caso del rotor principal en la base de la transmisión, que emplea eficaces caminos de carga (elementos por donde se transmiten las

fuerzas durante el vuelo) que dan al helicóptero nuevas prestaciones, nuevas cualidades en sus movimientos y comportamientos diferentes a los conocidos en la industria. En este caso, Cicaré optó por esta novedosa solución, en gran parte, por la simpleza que el diseñador observó de este mecanismo en comparación al reconocido sistema de plato oscilante difundido en la industria. Buscando una característica de simplicidad, surgió una funcionalidad no esperada, se trata de la agilidad de maniobras en vuelo. Sin embargo, es necesario destacar aquí el rol cumplido por Gustavo Brea, un piloto experto que logra descubrir y valorizar esta funcionalidad no esperada (Gero, 1990). Es posible que existieran en Brea ciertos conocimientos tácitos asociados a la respuesta del helicóptero a los comandos que Cicaré tal vez no poseía. Como plantea Gero, es necesaria cierta capacidad de quien desarrolla un ensayo para poder detectar estas funcionalidades durante una prueba, pudiendo así transformarlas luego en innovaciones.

En segundo lugar, se desarrolla durante los ensayos del mismo modelo CH-6 un sistema de refrigeración inédito y de alto rendimiento propuesto por Cicaré, que surge de su conocimiento sobre automóviles. El diseñador considera una tecnología automotriz conocida para ser adaptada a un nuevo sistema aplicado a la aeronáutica. Nos encontramos aquí nuevamente con la interpretación primitiva, en este caso, de la necesidad de refrigeración de motor en una aeronave para adoptar una solución ya disponible en otra tecnología diferente. Muchos de estos avances fueron desarrollándose y alcanzando su madurez durante las pruebas del modelo CH-6, que básicamente fue diseñado y fabricado como modelo de ensayos, el método de generación de conocimiento más afín a Augusto Cicaré, quien siempre había sorteado otras vías de diseño tales como el dibujo técnico o el cálculo estructural.

En esta fase también se mencionan casos en donde el diseñador apelaba a su interpretación primitiva de soluciones mecánicas para obtener nuevos diseños innovadores, es el caso de las bombas de inyección de combustible que sirvieron de sustento económico a Cicaré en épocas en donde no surgían fondos para el desarrollo aeronáutico. Allí el diseñador descubrió performances superiores a las conocidas en las bombas de combustible típicas de la época, mediante un diseño innovador cuya patente hoy lleva su nombre.

Es posible destacar que el modelo CH-6, por su grado de innovación y desde el punto de vista tecnológico, fue de los más importantes diseños de Cicaré. Se trata de la evolución definitiva de los modelos anteriores (Vincenti, 1990) que llevó a la marca a ser reconocida a nivel mundial. De cierta manera puede interpretarse como el resultado del aprendizaje del diseñador a través de la extensa experimentación de vuelo. Además, este aprendizaje iba incluyendo nuevos actores alrededor de Cicaré que ya no trabajaba en solitario, como el antes mencionado Gustavo Brea, Antonio Mantel o Carlos Cevasco. De alguna forma se iba generando un conocimiento tácito colectivo (Collins, 2010) a partir del vuelo de los modelos Cicaré que aportaba nuevos enfoques de acuerdo a la especialidad de los distintos colaboradores, ingenieros, mecánicos, modelistas, pilotos, entre otros. Fueron de vital importancia los actores nombrados, en tanto que guiaron a Augusto Cicaré a poder diseñar aeronaves que se insertaran en normativas vigentes de organismos reguladores, como la ANAC. Hasta el momento, organismos como este venían significando para el diseñador un conflicto que no podía superar, por ejemplo, en el caso del modelo CH-3. Estas personas con conocimientos de distintas áreas provenían de la industria aeronáutica, y aportaron conocimientos que resultaron en la homologación de productos que Cicaré no había podido obtener previamente, entre otros avances.

En esta fase el constructor se propuso salir de su característica de solitario inventor de tiempos libres en un taller para máquinas agrícolas, para pasar a trabajar en un taller laboratorio pensado para el diseño y la fabricación de helicópteros, valiéndose para esto de la ayuda de los antes mencionados pilotos, ingenieros y técnicos especializados en aeronáutica. Es cierto que no lograría afianzar durante esta etapa un plantel estable y una fábrica dedicada, pero su acercamiento a la industria, otras marcas y otros diseñadores, lo harían valorar las ventajas de la ingeniería y de las tecnologías de producción. Desde el punto de vista de mercado, Cicaré comprendió, con las desventuras del proyecto de comercialización en conjunto con Dennis Fetters, el potencial de sus diseños, y que un emprendimiento propio sería posible merced a las virtudes de sus productos. Existe aquí la oportunidad de complementar, dentro de la clasificación detallada por Layton (1976), la ideología de diseño, que había sido hasta aquí la adoptada por Cicaré, con la ideología de ciencia ingenieril. Es decir, desarrollar helicópteros que no sólo cumplan las funciones que el diseñador quiere alcanzar,

sino aquellas que posibles clientes pudieran solicitar. Fue esta característica el caso de los modelos CH-3 Colibrí, CH-4, CH-5 y finalmente CH-6.

CAPÍTULO 8: Fase III. Un vuelo por el mercado mundial. Los modelos CH-7 y serie SVH (1990-1993) ¹⁷.

Los inicios de la década de 1990 fueron momentos de transición entre la hiperinflación de la moneda de finales del gobierno del Presidente Dr. Raúl Alfonsín y la etapa de deflación y principios de convertibilidad monetaria bajo la gestión del Presidente Dr. Carlos Ménem. A pesar de las reformas, en esta época se mantuvo la crisis económica y social en el país.

En el año 1991 Augusto Cicaré estaba de regreso en Saladillo luego de la frustrada negociación con Dennis Fetters en Oshkosh intentando encontrar acciones judiciales para resolver el conflicto de las patentes. Inicialmente, con el convencimiento de que el modelo CH-6 era una innovación de muy alto potencial luego de los elogios recibidos por parte de expertos y, por consejos de pilotos e idóneos en aeronáutica, realizaría una apuesta al modelo. Por aquel entonces aplicaría unas modificaciones menores al prototipo a fines de afianzar aún más las prestaciones de vuelo. Inmediatamente comenzó la fabricación de un nuevo modelo optimizado que finalizó hacia finales del mismo año para ser ensayado. Los ensayos estuvieron a cargo del antes mencionado piloto de helicópteros Gustavo Brea, quien ya era considerado un asesor permanente para la empresa en la optimización de distintos modelos. Cicaré recurrió varias veces a pilotos expertos para pruebas de vuelo de sus aeronaves de manera que pudieran llevar a cabo maniobras que el mismo diseñador no estaba calificado para realizar, inclusive acrobacias o acciones de emergencia, como el descenso en autorrotación.

Si bien el nuevo diseño era igual al CH-6, con la sola modificación por motivos de seguridad de la estructura, fue renombrado, y por secuencia correspondía ser llamado CH-7. Al igual que su antecesor, se trata de un monoplaza bipala con rotor de cola y motor canadiense Rotax 582 de 65hp. Es necesario notar aquí la ya mencionada decisión de incorporar, como en otros modelos, asesoramiento de terceros, a veces expertos, que modifiquen o agreguen requerimientos de entrada al proceso de diseño, tal como lo detalla Gero (1990). Estos aportes

¹⁷ La redacción de este capítulo está basada principalmente en entrevistas a Augusto y Fernando Cicaré realizadas por el autor de la tesis.

serían fuentes de conocimiento que Cicaré tendría en cuenta a la hora de evaluar sus construcciones.

Mientras se desarrollaba el modelo CH-7, Revolution Helicopters, propiedad del antes mencionado Dennis Fetters, en aquella época en conflicto con el inventor argentino, ultimaba ensayos y puesta a punto del modelo Mini 500 (Figura 47). El ultraliviano presentaba, como se mencionó anteriormente, muchos inconvenientes, quizás ante la falta de asesoramiento de su creador en Argentina. Las pruebas estaban tomando mucho más tiempo de lo esperado y algunos mecanismos no funcionaban tal cual lo hacían en el Cicaré CH-6, por lo que el futuro de la comercialización se veía comprometido. Muchos fabricantes y concesionarios internacionales habían recibido referencias de la performance del modelo, por lo que el interés surgía de distintos países. Un ejemplo de ello fue el contrato por venta de varios modelos Mini 500 a cargo de la compañía Elisport, radicada en la ciudad italiana de Turín, a cargo del empresario aeronáutico Pierluigi Barbero. Aquel acuerdo luego sería ampliado a una representación de Revolution Helicopters en Europa a cargo de Elisport. Sin embargo, durante la muy extensa campaña de puesta a punto del Mini 500, Elisport empezó a recibir reclamos por la extensión de los plazos de entrega por parte de sus clientes europeos, lo que generó la ruptura de la representación.



Figura 47. Modelos Mini-500 de Revolution Helicopters en exposición.

Por esta época, el inventor argentino Hugo Zucarelli, reconocido por patentar el sistema holofónico de grabación y reproducción de audio¹⁸, recurre a Cicaré. Anteriormente, ya siendo amigo personal de la familia Cicaré, había establecido el primer contacto entre el emprendimiento argentino y Dennis Feters. Esta vez Zucarelli se había enterado de la discontinuidad de la representación de Revolution Helicopters en Europa y se puso en contacto con Pierluigi Barbero. De esa manera, el empresario italiano tomó conocimiento de que el diseño original de Feters correspondía en realidad a un inventor argentino. Zucarelli se convirtió por ofrecimiento propio en el nexo entre Augusto Cicaré y la empresa extranjera, en este caso Elisport de Italia.

A pocos meses de la ruptura del contrato con Revolution Helicopters, Pierluigi Barbero viajó a la Argentina junto a uno de sus principales asesores técnicos para encontrarse con el creador del modelo que lo había interesado (Figura 48). Una vez allí, el italiano pudo corroborar que el diseño original del Mini 500 provenía en realidad del CH-6 de Cicaré. Luego de unas pruebas de vuelo en el CH-7 recientemente homologado y patentado, pudo verificar además la superioridad de prestaciones y la flexibilidad de maniobras que el modelo argentino mostraba respecto de la aeronave de Feters. La propuesta del empresario italiano fue la de fabricar bajo licencia el modelo CH-7 en su fábrica de Turín, y con el apoyo de Augusto Cicaré como asesor técnico.

¹⁸ La holofonía es una tecnología creada por el inventor argentino Hugo Zucarelli. Consiste en una técnica de grabación y reproducción de audio que gestiona el sonido en el espacio, no solo distribuyendo entre derecha e izquierda los espectros, sino en todas las direcciones. El sistema permite reproducir sonidos considerados tridimensionales, ya que el cerebro humano los interpreta en distintas posiciones de espacio, creando una sensación realista de estar inmerso en una escena.



Figura 48. Augusto Cicaré de pie mostrando los comandos del modelo CH-7 a Pierluigi Barbero ubicado en el puesto de comando (1991).

Luego de un tiempo de negociaciones, en marzo del año 1992 Augusto Cicaré viajó a Turín. Treinta días antes había sido despachado el prototipo CH-7, que además había sido adquirido por el mismo Pierluigi Barbero. Inmediatamente Cicaré comenzó a trabajar en el armado del helicóptero recientemente comprado por el gerente de Elisport, finalizando días después la puesta a punto. En ese momento la empresa recurrió a un reconocido piloto con miles de horas de vuelo de experiencia, quien valoró el comportamiento del modelo e informó sobre su potencial a Elisport. Poco tiempo más tarde, el modelo sería presentado en una

convención internacional de ultralivianos llevada a cabo en la localidad de Bassano de Grappa, Italia¹⁹.

Finalizada la convención, Barbero contrató a un importante diseñador industrial para que diera forma a una cabina estilizada que daría la identidad final al producto comercializado por Elisport denominado CH-7 Ángel (Figura 49). Finalmente se firmó un acuerdo de fabricación bajo licencia entre Elisport y Augusto Cicaré que posibilitó la puesta en marcha de la producción en serie del helicóptero en Turín (Figura 50). En junio del mismo año, el modelo ítalo-argentino sería expuesto en la convención que dos años antes lo había presentado como novedad organizada por la Experimental Aircraft Association nuevamente en Oshkosh, Estados Unidos. Curiosamente, en aquella convención, los visitantes podían visitar, en diferentes salas de exposición, los modelos Mini 500 de Dennis Fetters y CH-7 Ángel ofrecido por Elisport, ambos conceptos provenientes del Cicaré CH-6.



Figura 49. Modelo Elisport CH-7 Ángel.

¹⁹ Recuerda Augusto Cicaré en entrevista, que, en aquella convención, Eugenio Roero, piloto de pruebas de Elisport, realizó una excelente exhibición de vuelo, generando ovación en el público. Aquella reacción de los presentes se debió particularmente a una maniobra de descenso en auto rotación de adelante hacia atrás realizada por el piloto, que fue posible gracias a la agilidad de la aeronave, aunque hasta ese entonces ni siquiera Cicaré creyera factible realizar tal destreza con su aeronave.

La fabricación en serie del ultraliviano CH-7 Ángel distribuyó más de 300 unidades en todo el mundo. En el año 1996 la empresa italiana desarrolló una variación del modelo que lo transformaba en biplaza en tándem, y que además contaba con un motor más potente. El mismo sería comercializado como CH-7 Kompres (Figura 51), y sumaba una variante al modelo anterior, que de todas maneras siguió produciéndose por muchos años. Una vez que Augusto Cicaré regresó a la Argentina, la empresa Elisport, ahora convertida en Helisport S.R.L, comenzó un reclamo al diseñador argentino sobre una falla técnica que no correspondía al modelo original y con ciertos aspectos referidos al contrato de fabricación bajo licencia, lo que llevó a que la firma italiana retenga los pagos de las regalías. Augusto Cicaré iniciaba en aquel momento el segundo litigio contra un fabricante extranjero, esta vez por el pago de cánones que finalmente jamás podría percibir de los cientos de unidades vendidas en todo el mundo. Pierluigi Barbero acudió a Dennis Fetters, que aún se mantenía en conflicto judicial con Cicaré, y se basó en su patente para seguir fabricando helicópteros sin pago de regalías hasta bien fueran concluidos todos los litigios internacionales.

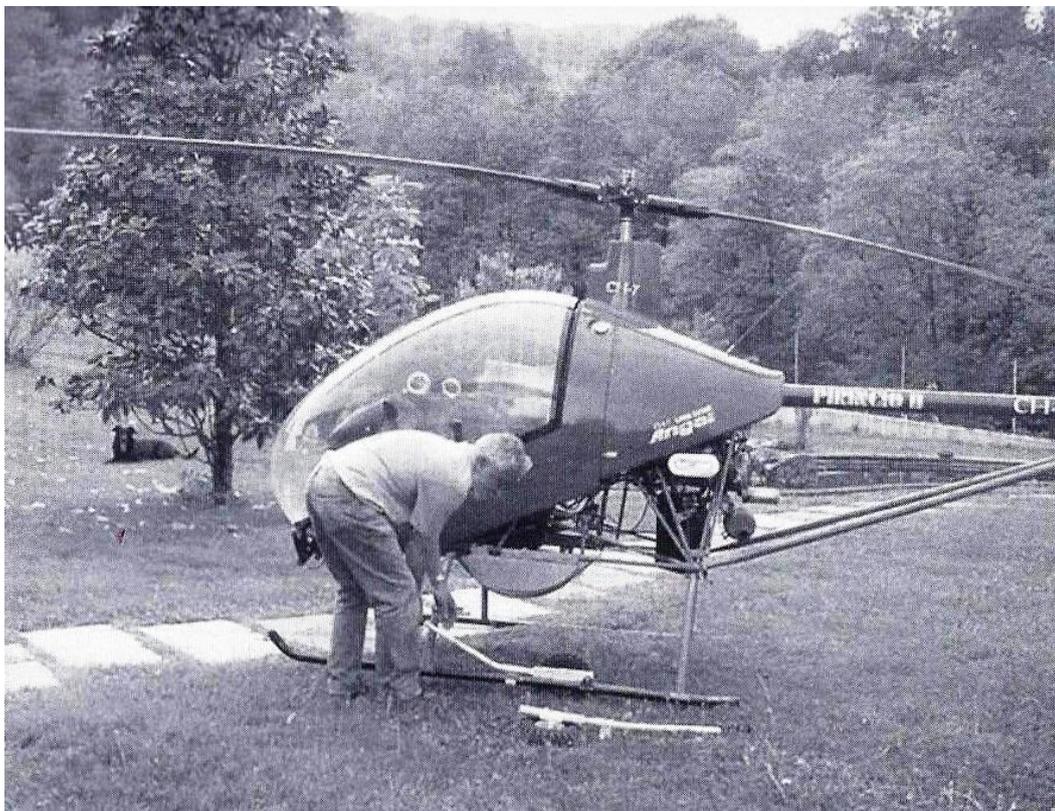


Figura 50. Modelo CH-7 Ángel en Italia. Como puede verse en el rotor de cola, fue bautizado por su dueño como "Pirincio" (voz italiana del apodo "Pirincho") en homenaje a su creador (1994).



Figura 51. Helisport CH-7 Kompress con piloto y pasajero a bordo.

En el año 1992, en Argentina se presentaba cierta reactivación de la economía. En un escenario de ajuste fiscal, el gobierno decidió recortar todas las subvenciones para desarrollos tecnológicos, por lo que la fábrica de Saladillo solo podía acudir a la venta del modelo CH-7 a compradores particulares y privados. Por aquellos días comenzaría una campaña de difusión y presentación del modelo que se promocionaba como ultraliviano de envío exprés para ser ensamblado en destino. Con esta característica, se abría la posibilidad de encontrar nuevos clientes en Argentina y Sudamérica. Se iniciaba aquí la formación de la empresa Cicaré Helicópteros S.A, firma que continúa hasta estos días, y que en 1993 se disponía a comercializar el modelo CH-7 que ya era de venta exitosa en Europa, además de ser reconocido como Mini 500 en Estados Unidos.

Años más tarde, a principios de la década del 2000, la empresa se basaría en el diseño original CH-7 para construir un nuevo modelo con cabina estilizada y una modernización del instrumental electrónico. Sería denominado CH-7B (Figura 52), o también CH2000 para las ventas surgidas durante el cambio de milenio. El mismo sería fabricado y comercializado hasta enfrentar la crisis económica en Argentina hacia el año 2001, durante el gobierno del Dr. Fernando

De la Rúa. Superada la crisis, sería ofrecido hasta la actualidad como CH7-B. En el sitio web de la empresa se detalla de la siguiente manera:

“Un helicóptero monoplaza experimental de uso deportivo, evolución de nuestros diseños CH-6 y del CH-7 de los años 90. En este helicóptero se han introducido optimizaciones como el motor Rotax 912 ULS de 100hp²⁰, una nueva caja de transmisión principal diseñada para mayor potencia, un sistema de embrague centrífugo que permite un arranque suave y silencioso, y un sistema antivibratorio en la caja de transmisión que nos permiten reducir al mínimo las vibraciones naturales de los rotores bipala. Además, se ha introducido un Governor de rpm que controla automáticamente las revoluciones por minuto del motor durante la operación del helicóptero, y un sistema de freno de rotor que permite al piloto frenar el mismo de manera más rápida para reducir el tiempo de parada. El CICARÉ CH-7B está fabricado íntegramente con materiales aeronáuticos y las palas son fabricadas en materiales compuestos. La cabina tiene excelente visibilidad, lo que permite disfrutar al máximo la sensación de volar. Su configuración monoplaza y su óptima relación peso-potencia nos brindan un helicóptero con excelente maniobrabilidad y performance, lo que sumado a su bajo costo operativo nos permite ofrecer el mejor producto en su categoría. Precio de referencia U\$95.000 sin motorización” (Cicaré S.A, “Productos”, sitio web Cicaré, 2016).

²⁰ El modelo 912 ULS de la firma austríaca Rotax es un motor aeronáutico de cuatro cilindros horizontales opuestos, refrigerados de manera mixta (aire y agua), con una potencia de 100hp. Se emplea principalmente en aeronaves livianas comerciales de homologación internacional (BRP-Rotax GmbH & Co KG, “Products”, sitio web Rotax Aircraft Engines <http://www.flyrotax.com>, 2019).



Figura 52. Modelo CH-7B, también denominado CH2000.

Como puede verse, el CH-7 generó por primera vez un mercado factible en la empresa. Sin embargo, su variación CH2000 (CH-7B) no fue la única alternativa de venta. La empresa ofrece hoy al mercado el CH-7B antes descrito y un modelo similar denominado CH-7T, detallado en el mismo sitio web de la siguiente manera:

“Un helicóptero biplaza en tándem, evolución del helicóptero monoplaza CH-7B. Este helicóptero está equipado con un motor Rotax 914UL de 115hp²¹ que le permite operar con un peso máximo de 480kgs. El sistema de transmisión de potencia se realiza a través de un embrague centrífugo que permite un arranque muy suave del helicóptero. La performance y seguridad del helicóptero es similar al CH-7B, con mejores prestaciones en altura gracias al motor turbo. El CICARÉ CH-7T (Spirit Tandem para el mercado europeo) ya se encuentra Homologado en Francia en la Clase 6 como helicóptero ultraliviano.

²¹ El 914 UL es un modelo de motor marca Rotax canadiense, de cuatro cilindros de cuatro tiempos, de disposición horizontal opuesta, de refrigeración mixta (aire y agua) y transmisión reducida. Se emplea principalmente en aeronaves livianas homologadas como aeromodelos no tripulados, autogiros y aeronaves ultralivianas de construcción única particular. Dispone de una potencia de hasta 115hp (BRP-Rotax GmbH & Co KG, “Products”, sitio web Rotax Aircraft Engines <http://www.flyrotax.com>, 2019).

Precio de referencia kit para armar U\$S100.000 sin incluir el motor” (Cicaré S.A, “Productos”, sitio web Cicaré, 2016).

A principios de la década de 1990 se incorporaba a las tareas de fabricación el mayor de los hijos de Augusto Cicaré, Fernando (Figura 54). En esta época, el joven de alrededor de quince años se interesó en formarse como piloto, además de empezar a trabajar como colaborador de su padre. Para el aprendizaje de pilotaje, en el año 1993 Augusto Cicaré retomó la idea de desarrollar un simulador de vuelo optimizado, una evolución del helicóptero prisionero con cadenas empotradas al piso que le había dado a él la posibilidad autodidacta de aprender a volar en la década de 1960. Sin dudas, el diseñador apostaba a la experimentación como método de aprendizaje completo (incluido el componente tácito), como destaca Collins (2010). Esta alternativa, además, surge ante la falta de un biplaza, donde el instructor puede acompañar al aprendiz dándole lecciones prácticas durante el vuelo. Al contar solamente con monoplazas, el instructor solo puede aleccionar en tierra y librar al piloto en formación a un vuelo en solitario (Figura 53). Al respecto Fernando Cicaré relata:

“Le dije a mi padre que quería aprender a volar y él aceptó. Le pusimos dos caños cuadrados atravesados al helicóptero, y en las puntas de los caños cuatro ruedas. Esos tubos iban anclados a los patines del helicóptero, con unas U que agarraban los patines, donde el helicóptero estaba parado sobre ruedas, lo cual me permitía girar. Para que no se vuela, mi padre lo empezó a lastrar, entonces a potencia máxima daba el paso para dar un saltito, lo que me permitía coordinar pedales sin mucho cíclico. A saltitos fui aprendiendo sobre lastrada hasta que se fundió el motor del CH-4. Una vez que logré hacer el estacionario, podía trasladarme un poco, pero no me mantenía mucho tiempo en el aire. Entonces mi padre me dice ‘ya estás listo para ir al 6’ (CH-6). No me acuerdo si le hizo alguna modificación o lo dejó como estaba. En el CH-6 los vuelos fueron de más tiempo” (Entrevista a Fernando Cicaré, 2016).



Figura 53. Fernando Cicaré sobre el modelo CH-6. A su lado, su padre dando instrucciones (1995).

Transitando esta experiencia, en la empresa se dan cuenta de que el simulador les permitiría formar a potenciales clientes. Esto les permitiría ofrecer, además de productos, la formación de pilotos. Se intentaba lograr un producto accesible a clientes particulares, siendo la falta de formación de vuelo un inconveniente para ofrecerlo al mercado. Por ejemplo, un chacarero podría supervisar lotes de siembra o de ganado pilotando un ultraliviano monoplaza, el desafío además de venderle el producto era incentivarlo a tomar clases de vuelo. Al margen de esta posibilidad, la optimización del sistema ideado para la formación de Fernando Cicaré dejaba un concepto de producto que muchos pilotos cercanos a la empresa recomendaron patentar y producir para su comercialización.



Figura 54. Fernando Cicaré (izquierda) junto a su padre (derecha) en la planta de Saladillo (2012).

Entre algunas de las ventajas del sistema que se estaba desarrollando, según estimaban en la empresa, se encontraban las siguientes características:

- Seguridad total para el piloto, sin importar la falla que pueda cometer, no sufrirá lesiones físicas.
- Seguridad total para la aeronave, que no sufrirá daños estructurales sea cual sea la falla del aprendiz.
- Bajos costos de uso, debido a que la aeronave consume baja cantidad de combustible por sus limitados movimientos.
- No demanda infraestructura aeronáutica, el simulador puede ser instalado en cualquier superficie plana sin necesidad de contar con un helipuerto ni grandes extensiones de espacio.
- Mayor realismo de vuelo en comparación con sistemas confinados de realidad virtual, el piloto en formación experimenta condiciones reales de sonido, vibraciones, ambiente, entre otras.
- Permite realizar todos los movimientos típicos del aprendizaje convencional de vuelo en helicóptero, incluso las maniobras de emergencia.

Según información de la empresa en los medios de difusión del producto, se cuenta además con las siguientes virtudes:

- Se reducen entre un 60% y un 80% los costos de la hora de vuelo durante las primeras 10 horas de un curso estándar.
- Se ajustan las lecciones según el nivel de *stress* de cada etapa, optimizando el aprendizaje.
- Permite a las Fuerzas Armadas y de Seguridad agilizar la selección de aspirantes a pilotos con mayores habilidades para continuar con la instrucción.

El proyecto que había empezado a gestarse se denominó Simulador de Vuelo de Helicóptero SVH-1 (Figura 57), y se eligió el modelo denominado CH-6 para emplear de nave cautiva. Al principio solamente permitía el control de acelerador, paso colectivo y pedales. Prontamente se decidió evolucionar el diseño a un SVH-2, hacia fines de 1993 (Figura 58), que también contaba con una nave CH-6 en este caso anclada a una pista compuesta por una larga barra estructural, que permitía además el giro y el traslado del aparato en vuelo. El diseño ya presentaba resultados óptimos, aunque de todas maneras se decidió estandarizar la fabricación empleando como helicóptero cautivo un modelo CH-7, que ya se encontraba en producción. Finalmente, el diseño de detalle fue denominado SVH-3 (Figura 59), y cuenta con un monoplaza CH-7 con motor Rotax 582 de 64hp. Está sujetado por dos columnas estructurales a sus lados de extensión variable, lo que permite el ascenso y descenso de la aeronave a través de un sistema neumático.

Este diseño sería patentado por Cicaré en primer lugar en Estados Unidos bajo registro número 5.678.999 (Figura 55), y luego en Europa con identificación EP0872820A1 (Figura 56). Como se puede apreciar, la experiencia del frustrado proyecto en conjunto con Fetters llevó a Cicaré en este momento a otorgarle la importancia necesaria a la protección de su propiedad intelectual para conservar su potencial de mercado.



US005678999A

United States Patent [19]
Cicare

[11] **Patent Number:** 5,678,999
[45] **Date of Patent:** Oct. 21, 1997

[54] **SYSTEM FOR TRAINING HELICOPTER PILOTS**

[76] **Inventor:** Augusto Ulderico Cicare, Bartolomé Mitre 3224, Saladillo - Provincia de Buenos Aires, Argentina

4,120,099	10/1978	Fett	434/33
4,601,663	7/1986	Allison et al.	434/33
5,490,784	2/1996	Carmein	434/55
5,533,935	7/1996	Kast	434/55

Primary Examiner—Paul J. Hirsch
Attorney, Agent, or Firm—Bachman & LaPointe, P.C.

[21] **Appl. No.:** 511,966

[22] **Filed:** Aug. 7, 1995

[30] **Foreign Application Priority Data**

Aug. 8, 1994 [AR] Argentina 329014

[51] **Int. Cl.⁵** G09B 9/46

[52] **U.S. Cl.** 434/33; 434/55

[58] **Field of Search** 434/32, 33, 55

[57] **ABSTRACT**

The invention relates to a system for training helicopter pilots, more particularly to a system to be used as a highly efficient means for complementing present methods for training pilots. The object of the invention is avoiding the stress to which the trainee is subjected during the first flights and providing understanding of the helicopter behavior easily and without risk. The invention proposes a system basically comprised by a structure and a conventional helicopter permitting simulating stationary or translational actual flight without separating from the ground. The structure comprises a shiftable base having a support for free rotation of a frame from which the helicopter is suspended, so that it may raise and lower within set limits and also that it may be tilted to the sides in a restricted way. This giving the possibility of practicing various maneuvers, also considerably reducing the training cost.

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,825,462	9/1931	Link, Jr.	434/55
2,711,594	6/1955	Hickey	434/33
3,137,500	6/1964	Stensager	434/33
3,246,403	4/1966	Vaughen	434/33
3,279,096	10/1966	Emigh	434/33
3,818,612	6/1974	Myles	434/33
3,818,613	6/1974	Julian et al.	434/33

15 Claims, 5 Drawing Sheets

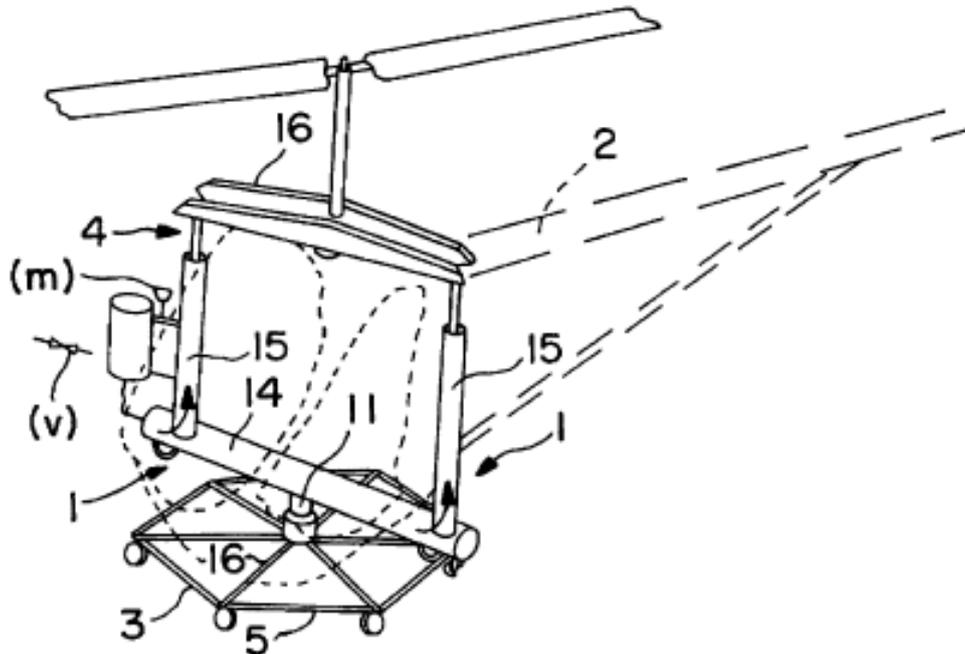


Figura 55. Patente 5.678.999 sobre sistema para entrenamiento de pilotos de helicóptero, fechada en octubre de 1997 a nombre de Augusto Cicaré.



(19)

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 872 820 A1

(12)

EUROPEAN PATENT APPLICATION

(43) Date of publication:
21.10.1998 Bulletin 1998/43

(51) Int. Cl.⁶: G09B 9/46, G09B 9/14

(21) Application number: 97500069.6

(22) Date of filing: 18.04.1997

(84) Designated Contracting States:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE
Designated Extension States:
AL LT LV RO SI

(71) Applicant:
Ulderico Cicare, Augusto
Saladillo, Buenos Aires (AR)

(72) Inventor:
Ulderico Cicare, Augusto
Saladillo, Buenos Aires (AR)

(74) Representative:
Lopez Marchena, Juan Luis
Pascual y Genis No. 11,
Apartado Postal 121
46080 Valencia (ES)

(54) **System for training helicopter pilots**

(57) The proposed system allows simulating, without raising from the floor, the behavior of helicopters during actual flight and also simulating different operating conditions thereof without any risk for the users. These operating conditions, similar to actual ones, may be stationary flights or low speed moving flights, commanding the helicopter at all times in a manner identical to that of a true flight.

The system of the invention is a combination comprised by a structure (1), having means for suspending a helicopter (2) in several positions as selected; and by a conventional helicopter (2) to which some modifications have been introduced, in order to adapt it to said structure, without substantially changing its conventional features. The assembly so formed gives the helicopter a series of freedom levels.

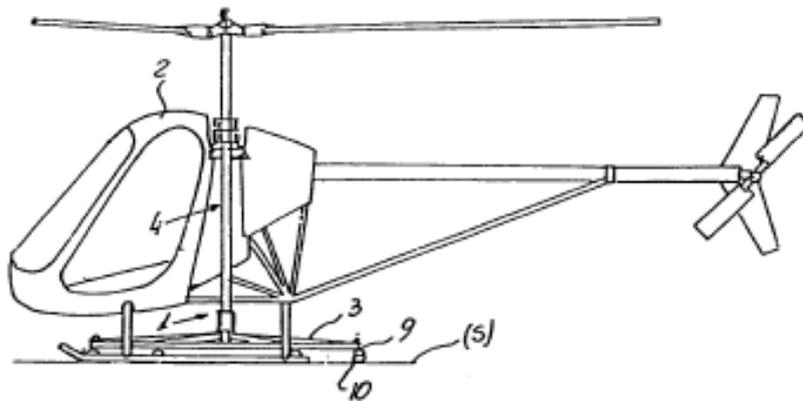


Figura 56. Patente EP0872820A1 sobre sistema para entrenamiento de pilotos de helicóptero, fechada en octubre de 1998 a nombre de Augusto U. Cicaré.

Por esta época se acercó a Augusto Cicaré un joven ingeniero aeronáutico llamado Ceferino Castilla, nativo de la ciudad de Saladillo y conocido de la familia emprendedora. Castilla, ya egresado de su carrera de formación, aunque aún sin experiencia laboral en la industria, se convirtió en un colaborador de Cicaré. Se dedicaba principalmente a asistir al constructor adaptando los desarrollos de éste a la normativa estándar de la aeronáutica. En primer lugar, se avocó a la documentación que la empresa necesitaba, sobre lo que relata:

“La idea en principio era hacer los manuales, tanto del CH-7 como del simulador. Algunos cálculos a mano también hice. Empecé a mandar cosas a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata para que analicen, porque nosotros no teníamos el ANSYS (software para diseño y análisis mecánico), y ellos me los devolvían procesados. Puede ser que ahí empezó el vínculo de Cicaré con la Universidad” (Entrevista a Ceferino Castilla, 2017).

No solamente Castilla acercó el recurso de investigación calificada a la empresa, sino que encontró la manera de adaptarse a ciertas prácticas artesanales de Augusto Cicaré. Por primera vez Cicaré empezó a dar lugar al cálculo y análisis aeronáutico, e interactuar con el proceso a través del joven ingeniero; de alguna manera habían establecido una manera de comunicarse que facilitaba el trabajo. Esta transición llevaba a adaptar el método inicial de diseño basado en la construcción directa de prototipos a un nuevo proceso más complejo, y con mayor similitud a la metodología clásica detallada por Mott (1995). Sobre esta asociación de tareas Ceferino Castilla detalla:

“No se cómo habrán sido los demás, yo no lo podía invadir. Si a mí Pirincho (Cicaré) me decía ‘este fierro anda’, y a mí los cálculos no me daban, yo me ponía a revisar los cálculos, porque lo primero que pensaba es que estaban mal hechos. Después, cuando se me ocurría algún diseño, se lo proponía a él. Si a él le gustaba se tomaba, sino yo no insistía” (Entrevista a Ceferino Castilla, 2017).

En definitiva, el profesional valoraba la metodología no ortodoxa propia de Cicaré, y trataba de evaluarla bajo los conceptos de la metodología clásica, sin imponer esta última sobre la primera. Respecto de la valoración del método clásico de diseño y del trabajo con nuevos profesionales, Augusto Cicaré cuenta:

“Yo a Ceferino lo valoraba muchísimo, porque él me entendía. Me explicaba qué habría que hacer para respetar los cálculos, pero no me acorralaba, yo podía seguir trabajando como siempre, pero sabía que él revisaba todo para que los cálculos dieran bien. Ahí me di cuenta de lo importante que es estudiar y saber de aeronáutica. Si yo hubiera sabido

todo lo que necesitaba en los primeros años me hubiera sido todo mucho más fácil” (Entrevista a Augusto Cicaré, 2016).

Sobre la generación de nuevos conocimientos, Ceferino Castilla cuenta:

“Por lo general él (Augusto Cicaré) venía con una idea, pero ya la tenía toda resuelta. A veces hasta traía las piezas hechas porque se había quedado hasta tarde el día anterior. Lo charlábamos un rato, nosotros si podíamos aportábamos algo, y después nuestro trabajo era acompañarlo a probarlo, tratar de pensar cómo ensayarlo para saber si serviría o no. La mayor parte de las veces, él buscaba en nosotros una aprobación, él sabía que iba a funcionar, pero necesitaba que otro le diga que sí. El único problema que se generaba es que muchas veces tenía que frenarlo con las mejoras porque él siempre quería hacer algo nuevo, y en Inglaterra (compradores de simuladores de vuelo) ya nos habían reclamado que necesitaban que tuviéramos repuestos que se puedan adaptar, que paráramos de hacer piezas nuevas todo el tiempo. Una vez llegué a decirle ‘basta de mejorar el SVH-3, si quieres hacemos un SVH-4, pero el SVH-3 no se toca más’. Creo que ahí entendió lo que pasaba” (Entrevista a Ceferino Castilla, 2017).

Esta característica fue fundamental para la confianza y la comodidad que Augusto Cicaré construyó para el trabajo en equipo con Castilla. Aquí se acentúa esta intención de Cicaré de compartir el conocimiento, acudiendo al carácter relacional del mismo, como destaca Collins (2010). Una manera de conservar el conocimiento era compartiéndolo y convirtiéndolo en colectivo, sobre todo incluyendo personal que contara con capacidad de aprenderlo para luego poder documentarlo, siendo esta última una cualidad que Cicaré no poseía.



Figura 57. Simulador SVH-1 durante ensayos (1993).



Figura 58. Simulador SVH-2 durante ensayos (1995).

A principios del año 1995 el producto había sido completado, y la Escuela Federal de Aviación, dependiente del Cuerpo Federal de Aviación de la Policía Federal Argentina, recibió la novedad con entusiasmo, por lo que rápidamente acudieron representantes del instituto a la fábrica de Saladillo con el fin de supervisar el simulador. Un año más tarde, los cursos oficiales de pilotos ya contaban con la tecnología Cicaré para formar a sus alumnos. A poco tiempo de

comenzar la instrucción de pilotos, la escuela adquirió dos unidades más y las repartió en su dependencia de Campo de Mayo. Por aquella época, la Fuerza Aérea Argentina trasladó sus clases prácticas al simulador instalado en la fábrica Cicaré en Saladillo, por lo que la tecnología también era aprobada por las Fuerzas Armadas Argentinas. En el año 1997, el Ejército de Brasil también adquirió el simulador y comenzó a dictar los cursos de vuelo aplicando la tecnología recientemente desarrollada por Cicaré.



Figura 59. Simulador SVH-3.

Sobre el diseño del simulador, Halbritter destaca:

“A esta altura de los hechos el SVH-3 ya era una especie de celebridad mundial. Esto indujo a presentarlo, en noviembre de 1998, en el concurso Ladislao José Biro, auspiciado por el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI) y la Asociación Argentina de Inventores, donde obtuvo el primer premio en la categoría mecánica y fue seleccionado como el mejor invento del año. También obtuvo el reconocimiento de la Federación Internacional de Inventores (IFIA) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), galardones que le permitieron representar a la Argentina en la Exposición Internacional de Inventos en Ginebra, Suiza, entre el 30 de abril y el 9 de mayo de 1999. La originalidad de la idea, la calidad del diseño y su

eficiencia operativa fueron así reconocidos por el mundo entero, pues el SVH-3 recibió la Medalla de Oro en la categoría aeronáutica” (Halbritter, 2009, p.100).

En el año 2001, el simulador que ya había sido presentado en varias exposiciones recibió la certificación por parte de la Federal Aviation Administration de Estados Unidos, lo que permitía el empleo de la tecnología en la formación de pilotos de aquel país. Años más tarde, el simulador ya era empleado para instrucción de vuelo en Argentina, Estados Unidos, Brasil, Inglaterra, Suiza, Australia, Chile, Austria y Marruecos. En una oportunidad, el simulador fue presentado en Inglaterra, y sobre aquella experiencia Ceferino Castilla relata: “Realmente no lo podían creer, por eso ganó tantos premios. Yo hacía las tareas de expositor y la impresión que daba el invento era muy buena” (Entrevista a Ceferino Castilla, 2017). En la actualidad se ofrece como producto una última evolución de performance denominado SVH-4 (Figura 60).



Figura 60. Simulador SVH-4 publicado en la web oficial de la empresa.

En la página web oficial de la empresa se describe este modelo de la siguiente forma:

“Con una nueva cabina, un motor más confiable y un sistema electrónico de seguridad, el Entrenador de Vuelo de Helicóptero CICARÉ SVH-4 es

renovado para una experiencia de entrenamiento más segura y entretenida. Al igual que su exitoso antecesor, el SVH-3, es básicamente un helicóptero convencional cautivo en una estructura especialmente diseñada que le permite realizar todas las maniobras de vuelo estacionario y de translación hasta un metro de altura sin perder contacto con el piso. Precio de referencia U\$S163.000 sin incluir el motor” (Cicaré S.A, “Productos”, sitio web Cicaré, 2016).

El modelo SVH-4 actual cuenta con un control remoto con pantalla digital (Figura 61), cuyo encargado de operación es el instructor. Además de monitorear el funcionamiento del simulador, el instructor participa activamente de la práctica desde tierra introduciéndole al simulador diferentes situaciones de emergencia posibles cuando lo crea conveniente. A su vez, tiene la posibilidad de abortar el entrenamiento cuando el alumno haya cometido algún error.



Figura 61. Sistema de control remoto digital para instructores del modelo SVH-4.

8.1. Análisis de Fase III.

Se alcanza en esta fase el modelo que acumula todas las innovaciones principales realizadas por Cicaré, se trata del ultraliviano CH-7. Sin dudas se trata además del desarrollo más importante en cuanto a comercialización en la historia de Cicaré. Al respecto Augusto Cicaré relata:

“Con el CH-7 ya quedaron funcionando perfectamente todos los mecanismos y todo lo que habíamos hecho para el CH-6, yo siempre

quise seguir mejorándolo, pero me retaban porque me decían ‘primero fabriquemos y vendamos éste que ya vuela bien, y después vemos qué mejoramos’. Todas las mejoras que se me iban ocurriendo las pusimos en otros modelos que vinieron después” (Entrevista a Augusto Cicaré, 2016).

Más allá que desde el punto de vista aeronáutico el CH-7 ofreció las mejores prestaciones respecto de sus antecesores, se trata del modelo que derivó en nuevos productos como la serie SVH, o algunos que serán detallados más adelante. Desde el punto de vista epistemológico, el CH-7 es el resultado de todo el conocimiento adquirido por la empresa y su constructor a lo largo de cuarenta años, un punto de madurez en la evolución de modelo a modelo, tal como lo afirma Vincenti (1990). Sin embargo, lo más importante para destacar es que el CH-7 es en sí una especie de contenedor de conocimiento, gran parte de él de naturaleza tácita (Polanyi, 1966). En su diseño se encuentran los conocimientos tecnológicos desarrollados por la empresa que hasta el momento no habían sido documentados mediante planos ni instructivos. La aeronave es una fuente importante de conocimiento tecnológico para el futuro de la organización. Por ello se tomó la decisión de elaborar, posterior a su fabricación, su documentación correspondiente según estándares.

El aprendizaje durante esta etapa, tanto del diseñador como del resto del personal, se concretó en base a la experimentación. En esta fase surgió el interés y la valoración de las nuevas generaciones de la empresa en conservar el conocimiento tecnológico alcanzado por su diseñador original para ser transmitidos al presente y a futuro, transformándose en colectivo, como señala Collins (2010).

Durante esta fase y, a diferencia de la anterior, Augusto Cicaré conformaba un plantel de pares de confianza. Quizás estos poseían menor experiencia específica que los de las anteriores organizaciones, pero en este caso se trataba de un grupo de jóvenes de confianza y cercanía, con los que podría finalmente adaptarse a trabajar. En definitiva, las experiencias anteriores lo llevaron a trabajar con profesionales altamente especializados pero que de alguna manera condicionaban su capacidad inventiva y de interpretación primitiva. Esta transformación y el objetivo de fabricar productos en serie incorporó a la empresa

un método de diseño y construcción mucho más parecido al clásico mencionado anteriormente por Mott (1995).

En esta fase se desarrolló una comunicación entre Augusto Cicaré y los nuevos colaboradores, a pesar del conocimiento tácito con el que el inventor contaba (Polanyi, 1966). Existió sin dudas aquí una adopción de conocimiento tácito colectivo por parte del personal de la empresa, como también detalla Collins (2010). Esto le permitió a la organización adaptarse a las metodologías básicas de la ingeniería, aunque aún restara armonizar el proceso de fabricación en serie. No era natural en el diseñador original la fabricación de productos estándar, sino la constante búsqueda de nuevos desarrollos. El desafío al final de esta etapa es poder separar ambas actividades, de producción por un lado e investigación y desarrollo por el otro, establecer una relación coordinada entre ambas, y lograr finalmente que entre ellas se realimenten. El objetivo era mantener a Augusto Cicaré liderando un grupo de desarrollo basado en la experimentación de prototipos tal como lo describe en su proceso Gero (1990), mientras en paralelo el plantel de trabajadores producía helicópteros en serie bajo una metodología más clásica y similar a la de Mott (1995).

Finalmente, se destaca el desarrollo de lo que fue el primer *spin off* de un helicóptero, es decir un producto relacionado a la aeronáutica de vuelo vertical pero que no se trata en sí de un helicóptero, la serie de simuladores SVH. Es valorable aquí la oportunidad observada por la empresa de convertir en producto algo que para Augusto Cicaré había sido una herramienta. El simulador de vuelo parte al fin y al cabo de otra interpretación primitiva, es la de crear un helicóptero para poder ser ensayado aun por pilotos inexpertos, de manera que pudiera minimizar los riesgos de accidentes. La idea de anclar el helicóptero al piso es claramente más primitiva que la que emplean los simuladores virtuales, que complementan un habitáculo móvil reemplazando ventanillas por pantallas de alta definición y softwares que recrean distintas condiciones de vuelo. Sin embargo, el realismo de los modelos SVH es difícil de superar, ya que el vuelo que se experimenta no es ficticio, y existe un desplazamiento vertical y en direcciones horizontales más allá de que las distancias sean acotadas. Esto puede ser interpretado también desde la visión de Gero (1990), en donde se observa una nueva función a cumplir por un diseño a partir de la evaluación de

prototipos, como la de instruir pilotos. De hecho, la serie misma representa una mejora continua de prototipos desde el modelo SVH-1 hasta el SVH-4.

Finalmente, respecto del simulador, es fundamental destacar el rol que jugaron los jóvenes profesionales incorporados a la empresa. Ellos, gracias a sus conocimientos de electrónica e informática, impulsaron la idea de incorporar al simulador el control de tierra que permite al instructor someter al piloto a condiciones adversas de vuelo mediante comandos a distancia, otorgando virtudes al producto que hicieron que sea valorado e implementado por algunos de los centros de formación de pilotos más prestigiosos del mundo.

CAPÍTULO 9: Fase IV. La industria Cicaré. Los modelos CH-8, CH-11C y CH-12 (1993-2001) ²².

Durante la experiencia en el diseño y la construcción de los modelos CH-6 y CH-7, la empresa había podido capitalizar avances de un prototipo a otro evolucionando diseño a diseño (Vincenti, 1990). Habían surgido innovaciones que se aplicaban de manera general en la industria de los ultralivianos de vuelo vertical a nivel mundial. Augusto Cicaré era ya considerado un referente en el área tecnológica, incluso reconocido por los actuales directivos de la empresa Sikorsky, descendientes familiares del reconocido inventor y pionero de la aeronáutica. Finalmente, se contaba con un capital en conocimiento que reunía toda la experiencia transitada durante más de treinta años, y de alguna manera se encontraba acumulado en el modelo CH-7. Este modelo principal era ya un éxito en comercialización a través de sus versiones, tanto como el Mini 500 en Estados Unidos o como los CH-7 Ángel y CH-7 Kompres en Europa. El desafío era impulsar las ventas del CH-7 original, pero esta vez desde la empresa de su creador, además de continuar con el desarrollo de nuevos helicópteros que mantuvieran sus ventajas técnicas.

En la búsqueda de nuevas alternativas y variaciones que pudieran ampliar el mercado del modelo CH-7, Augusto Cicaré comenzó una campaña de experimentación sobre el mismo. Las ventas de los SVH, que al momento eran de alrededor de quince unidades, significaban un fuerte indicio del potencial del diseño. La primera aplicación que suponía una mejora era la ampliación de la potencia de vuelo, por lo que se comenzó a analizar la opción de agregar un motor más a una nueva versión, convirtiendo al helicóptero liviano en bimotor. Este nuevo producto era considerado de alto potencial de comercialización por la opción de permitir el vuelo de un pasajero acompañante o de alguna carga útil definida por el cliente, segmento no disponible en la línea Cicaré. La actividad que se desarrollaba aquí no era más que, desde la óptica de Gero (1990), asignar nuevas funciones a cumplir como requerimiento en el proceso de diseño.

La construcción del modelo fue fluida debido a que estaba íntegramente basado en el CH-7, con la sola modificación de la instalación de una nueva

²² La redacción de este capítulo está basada principalmente en entrevistas a Alfonso Cicaré y Raúl Oreste realizadas por el autor de la tesis, y en el sitio web Cicaré (2016).

motorización alternativa, por aquellos momentos seleccionada como doble Rotax 618 de 75hp²³. El helicóptero denominado CH-8 (Figura 62) era un biplaza lado a lado con cabina extendida, con rotores principal y de cola bipalas. Una vez superadas las modificaciones de diseño del CH-7 para ubicar dos motores donde antes existía sólo uno, comenzó la campaña de ensayos a principios de 1993 con Augusto Cicaré como piloto de pruebas. Durante aquellas actividades, se encontraron serios problemas de coordinación entre los dos motores, las que causaban fuertes vibraciones, condiciones de inseguridad y dificultades de maniobra. Existió aquí un proceso de mejora basado en fallas obtenidas en ensayos, algo similar al paralelismo que anteriormente mencionara Lalouf (2004) entre la evolución natural de modelos (Vincenti, 1990) y el estudio de fallas (Petroski, 1992). Sumado a estos problemas, en la fábrica, la producción de modelos SVH demandaba alta cantidad de recursos y tiempo, lo que rápidamente pausó la campaña de ensayos del modelo recientemente desarrollado, aunque la propuesta siempre siguiera siendo de interés por su potencial. De hecho, hacia el año 2015, se había logrado que el producto sea comercializado, pero con la inclusión de motorización EPA Rotax 917 Ti (edición limitada de 135hp), manteniendo aun la característica de piloto y pasajero lado a lado, y siendo ofrecido como kit para ensamblar en destino. En el sitio web de la empresa se encuentra detallado un precio de referencia de U\$S121.500 sin motorización (Cicaré S.A, “Productos”, sitio web Cicaré, 2016).

²³ Los motores austríacos Rotax modelo 618 en ciclo de dos tiempos, poseen dos cilindros refrigerados por agua y de transmisión reducida. Fue diseñado para uso en aeronaves livianas y su producción es baja, ya que se emplea en pocos modelos de aeronaves. Posee una potencia de 75hp (BRP-Rotax GmbH & Co KG, “Products”, sitio web Rotax Aircraft Engines <http://www.flyrotax.com>, 2019).



Figura 62. Fernando y Alfonso Cicaré en un vuelo de prueba del modelo CH-8 con motor Rotax serie 900 (2003).

Continuando con la búsqueda de derivados del versátil modelo CH-7, que ya estaba siendo comercializado junto al simulador basado en su diseño, la empresa Cicaré Helicópteros S.A. avanzó en nuevos desarrollos siempre encabezados por Augusto Cicaré, que pasaron por las versiones CH-9 y CH-10 que no serán analizadas aquí por su bajo impacto en la trayectoria de diseño de la empresa y su discontinuidad en el tiempo. Sin embargo, es necesario detenerse en otra de las alternativas que se perseguían además del bimotor, se trata de la opción del rotor de palas contrarrotativas. Esta tecnología ya detallada en el Capítulo 5, había sido el principio de diseño del modelo CH-1 que dio inicio a la trayectoria del emprendimiento, siendo además el único modelo que hasta ahora lo había empleado. Su evolución CH-2 había sido el primero de un diseño sucesivo de modelos con rotores principal y de cola. Para entender el interés de la empresa en esta tecnología es necesario detallar las diferencias en prestaciones entre una y otra disposición.

El rotor principal con rotor de cola es el sistema más empleado en la industria de los helicópteros debido a que resulta más simple su diseño y fabricación. Sin embargo, los rotores coaxiales (Figura 63), algo más complejos, mantienen algunas características apreciables que se detallan a continuación:

- El diseño de palas contrarrotativas emplea un cíclico similar a los convencionales (de rotor principal más rotor de cola), con la diferencia de que ambos rotores coaxiales se complementan uno a otro. Esto es debido a que el rotor inferior es quien transmite el movimiento al superior en cualquier dirección que la aeronave se dirija (arriba, abajo, a los costados, al frente o atrás). De esta manera, con rotores coaxiales, es innecesario un rotor de cola para definir el giro del helicóptero.
- El sistema de palas contrarrotativas posee simetría de sustentación. Cuando un helicóptero de sistema convencional avanza se experimenta una asimetría respecto de la incidencia de su rotor principal. Pues mientras una pala viaja en contra del avance del helicóptero, la otra lo hace de manera favorable, lo que genera una tendencia a la desviación del curso hacia adelante. Este comportamiento no se manifiesta en un sistema de rotores coaxiales, ya que las incidencias de las palas en solidario y en contra al avance se complementan.
- Existe un mayor rendimiento de la motorización de los helicópteros de palas contrarrotativas. Esto se debe a que toda la potencia del motor se emplea para el sistema de rotores de elevación y movimiento, sin ser repartida entre dos rotores distantes y vinculados por una caja de transmisión, como lo son un rotor principal y uno de cola del diseño convencional. Este último, además, consume potencia considerada no útil, ya que no es empleada para mover el helicóptero sino para mantener su control.
- Finalmente, los rotores contrarrotativos generan menor ruido, menores vibraciones y menor batimiento de aire (inconveniente en aterrizaje sobre superficies de polvo) que un sistema convencional, debido a sus interferencias entre el flujo generado por ambos rotores distantes.

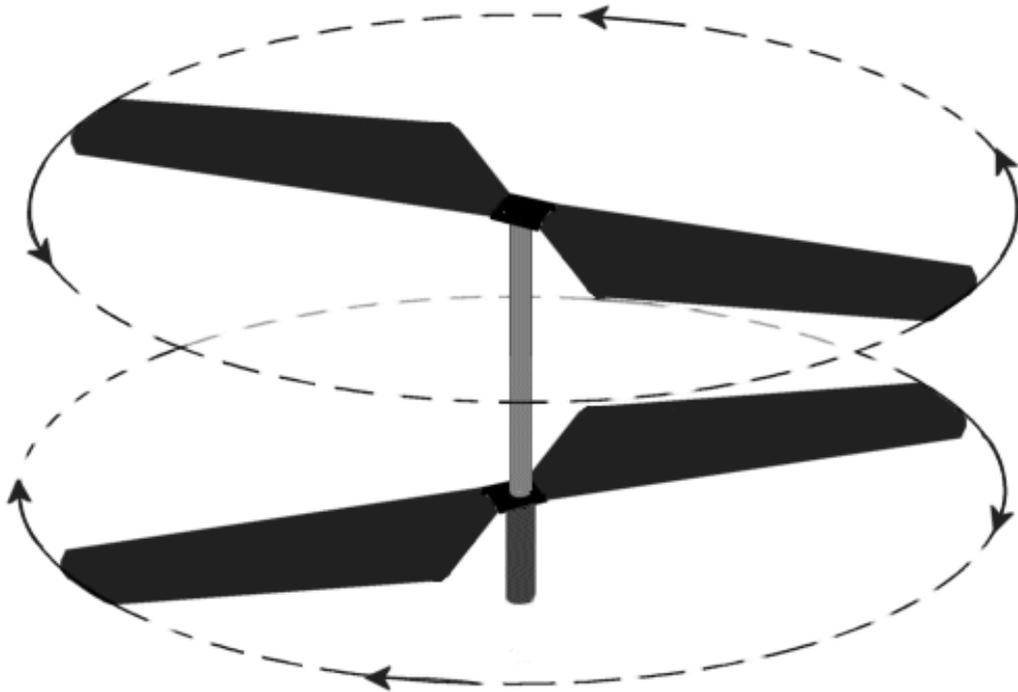


Figura 63. Esquema de giro de rotores contrarrotativos coaxiales.

Durante el año 1997 comenzó la construcción de una nueva aeronave basada en el diseño CH-7, con la diferencia de la ausencia del rotor de cola, y con el agregado del sistema de rotores coaxiales. Fue seleccionada una motorización ya conocida por Cicaré como el Rotax 618 de 75hp, dando origen a un modelo interesante por su tamaño y peso reducido respecto de su antecesor CH-7. Además, contaba con una gran capacidad de carga estimada en un 15% mayor en comparación al anterior. La denominación para el modelo fue CH-11C (Figura 64), con el agregado de una letra a la nomenclatura típica de Cicaré señalando su cualidad de contrarrotativo.



Figura 64. Modelo CH-11C (1998).

El helicóptero cuenta con una buena maniobrabilidad y reducido tamaño, lo que llevó a considerar en su diseño la posibilidad de agregar un sistema de control remoto, pudiendo transformar la nave en Vehículo No Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle, UAV). Esto significó la apertura de un nuevo mercado en competencia con los actuales modelos de tipo *dron*, aunque en este caso de superior capacidad de carga. Entre los usos a los que puede aplicar esta aeronave, la empresa destaca:

- Transporte de personas.
- Transporte de cargas ligeras.
- Aplicaciones agrícolas.
- Apoyo a trabajos en áreas de difícil acceso y despeje reducido.
- Operaciones de observación, relevamiento y reconocimiento.

Se nota aquí claramente una apuesta por la ideología de ciencia ingenieril (Layton, 1976), en donde se da especial valoración a nuevos requerimientos provenientes de necesidades conocidas, no considerados en diseños anteriores, con el objetivo de expandir la empresa a un mayor mercado.

Como se dijo anteriormente, durante el año 1999 la Argentina comenzaba a ingresar a un estado de recesión económica y desempleo que finalmente

desembocaría en una fuerte crisis social pocos años más tarde. En la empresa se había empezado a trabajar en una nueva opción de biplaza como complemento del modelo CH-8 antes descrito. El motivo de buscar una nueva alternativa radicaba en que el anterior había sido desarrollado con el objeto de dominar la tecnología del helicóptero bimotor, pero además era necesario retomar el intento de lograr un biplaza lado a lado funcional, con tecnología convencional, y otra vez basado en las virtudes del modelo CH-7.

Por aquellos años se habían acercado algunos jóvenes colaboradores a la empresa, ya sea como pasantes, tesistas o empleados de tiempo parcial, como son los casos de Hugo Cicaré e Indalecio Sabbioni. Es importante destacar en primer lugar al joven familiar del creador de la empresa. Hugo Cicaré fue, de alguna manera, quien introdujo a la empresa el diseño industrial, un aspecto fundamental para la comercialización de los productos, y de baja relevancia en la línea de Cicaré hasta su llegada. Respecto de este proceso de adaptación y del trabajo compartido con Hugo Cicaré, Sabbioni destaca:

“Con los documentos de diseño lo empezamos a condicionar mucho a Pirincho (Cicaré). Tenía que construir respetando el diseño previo, que en definitiva de alguna manera lo había hecho. Por ejemplo, a veces él ya tenía desarrollado el chasis y hacía algo para adaptar a ese chasis. Él nunca lo hizo con medidas, con planos, él iba y comparaba si la nueva pieza entraba o no entraba en el chasis; si no entraba la cortaba un poquito. El paso de los planos para Cicaré era un paso innecesario, un obstáculo, algo redundante que no tenía sentido. Una de las cosas que vi por primera vez en él y me encantó ver es tomar el calibre, medir una pieza, no mirar la medida, usar el calibre como comparador, apoyarlo sobre otra pieza, y rayarla con el mismo calibre, obteniendo así la medida que necesitaba” (Entrevista a Indalecio Sabbioni, 2016).

En esta etapa de adaptación del proceso de diseño original de Cicaré a la ingeniería estándar, se destaca el desarrollo del modelo CH-12 (Figura 65), que consiste en el primer biplaza lado a lado entre los productos de la empresa, con rotor principal y de cola bipalas. Los primeros vuelos de este prototipo se habían llevado a cabo en realidad en 1999 con la aeronave equipada con motor de competición de automóvil Volkswagen Polo de 1.8 litros, aunque se observó en

la campaña de pruebas que su potencia era insuficiente. Posteriormente se experimentaría en reemplazo del motor Volkswagen una turbina Labala GFL 200 que entregaba casi 100hp más que su antecesor, obteniendo resultados óptimos. Como el producto ofrecía una nueva alternativa, y además la única biplaza lado a lado, se dio mucha importancia a este proyecto desarrollando su documentación. El fin de este proyecto era lograr su producción en serie, teniendo en cuenta además que sería necesaria la certificación de la turbina de industria nacional que aún no contaba con los avales necesarios para vuelo.



Figura 65. Augusto y Fernando Cicaré a bordo del modelo Cicaré CH-12 sobre la ciudad de Saladillo, Provincia de Buenos Aires (2002).

Meses más tarde, Hugo Cicaré, recientemente incorporado a la empresa, modelaría una cabina estilizada para el modelo CH-12, cuyo desarrollo además le sería facilitado para ser empleado como proyecto de trabajo en su tesis de diseño industrial. Esta modificación estética dio además al modelo el nombre de CH-2002. Posteriormente a este trabajo, Hugo Cicaré partió hacia Europa renunciando a la empresa, momento en que se incorpora el antes mencionado Indalecio Sabbioni para mantener la documentación y el rol de diseñador industrial que la organización necesitaba. Retomado el proyecto, finalmente se adaptaría a este una nueva motorización modelo Lycoming O-360 con la que cuenta aún hasta el día de hoy (Figura 66).

Actualmente, sobre el modelo CH-12, en la plataforma web de la empresa se detalla:

“Es un helicóptero liviano biplaza de uso civil que se comercializará en kit. En este producto se resumen la experiencia de Augusto Cicaré y la creatividad de un equipo de diseño vanguardista. El resultado es un helicóptero estéticamente impactante, tanto en sus líneas exteriores como en su interior, lo que nos brinda como resultado un diseño sin precedentes en este tipo de aeronaves. En las premisas de diseño se destacó la comodidad interior, por lo que podemos afirmar que nuestra cabina es una de las más confortables del segmento” (Cicaré S.A, “Productos”, sitio web Cicaré, 2016).



Figura 66. Ficha técnica del modelo CH-12.

9.1. Análisis de Fase IV.

En esta fase es claro apreciar que los métodos de diseño y producción artesanal basados en las experiencias iniciales del diseñador, comparables a las

menciones de Ciapuscio (1996) en la metodología de diseño y en McGinn (1991) en la metodología de experimentación, se iban convirtiendo paulatinamente en una fábrica típica y funcional con características de diseño más similares a las clásicas detalladas por Mott (1955). No solamente se contaba en esta etapa ya con la infraestructura y algunas tecnologías de fabricación necesarias para la producción aeronáutica, sino que también se había conformado un *staff* mínimo de trabajadores, que además comprendían los diseños y aportaban sus conocimientos. El conocimiento iba progresivamente tomando carácter colectivo (Collins, 2010). Si bien se ha considerado que Ceferino Castilla ha sido uno de los actores relevantes en esta complementación de los conocimientos tácitos de Augusto Cicaré a los procesos básicos de diseño y producción ingenieril, Hugo Cicaré e Indalecio Sabbioni fueron quienes en principio empezaron a relacionar al diseñador original de la empresa con la documentación estándar en la ingeniería, tales como planos, croquis, bocetos, entre otros. Los últimos dos jóvenes mencionados enriquecieron lo que, en perspectiva de Gero (1990), es el proceso de transformación entre las funciones a cumplir por un artefacto y la fabricación de prototipos o modelos del mismo.

La incorporación de nuevos profesionales a la empresa, particularmente de Fernando Cicaré, van dando además a la organización una identidad de emprendimiento familiar. Evidentemente nació aquí la necesidad de buscar nuevos productos a partir de la maduración del modelo CH-7; por ejemplo, transformando la base de aquel ultraliviano en vehículo no tripulado o biplaza. En definitiva, se comenzó con la búsqueda estratégica de nuevos mercados que le permitieran a la empresa incrementar su producción, obteniendo así cierta estabilidad económica que haga a la organización sustentable y permanente en el tiempo. La participación del hijo mayor de Cicaré en la dirección de los proyectos tecnológicos, otorgaba siempre una visión de empresa económicamente sostenible a lo que, hasta el momento, era una organización dedicada al desarrollo de nuevas tecnologías.

Es destacable en esta etapa el empleo del conocimiento tecnológico sobre rotores contrarrotativos, que había sido desarrollado en el primer modelo Cicaré CH-1, para ser adaptado al vehículo no tripulado CH-11C. Durante el diseño y los ensayos de este modelo, se recurrió a la experimentación con el prototipo

CH-1 que aún se conservaba en la empresa. Es valorable notar durante este desarrollo que, a falta de documentación estándar como planimetría, memorias de cálculo o resultados de ensayos, el conocimiento haya sido de alguna manera gestionado mediante el empleo de un prototipo característico conservado de un modelo anterior. El conocimiento sobre palas contrarrotantes podía regenerarse mediante el estudio y las pruebas del antiguo modelo desarrollado con esa misma tecnología. En definitiva, la conservación de prototipos se había consolidado como una estrategia fundamental en la empresa, aunque poco ortodoxa, para mantener y proteger el conocimiento tecnológico en el tiempo.

Finalmente, se debe remarcar que se comenzaron a dar durante esta fase desarrollos e invenciones dentro de la empresa que ya no contaban con Augusto Cicaré como constructor autodidacta, sino como líder de un equipo de trabajo que aportaba conocimientos específicos, como los que destaca Norton (2000), provenientes de la especialidad aeronáutica, además de la mecánica metalúrgica. El equilibrio de este grupo de trabajo sin dudas no fue logrado fácilmente. Sin embargo, según cuenta el mismo Augusto Cicaré, se comprendió aquí la necesidad de establecer vínculos y comunicación entre él y los jóvenes profesionales asistentes, quienes le aportaban todo el conocimiento que él no dominaba, como el análisis teórico estructural o aerodinámico.

CAPÍTULO 10: Fase V. Cicaré y el Estado Argentino. El modelo CH-14 Aguilucho (2001-2015) ²⁴.

Como se ha detallado anteriormente y a lo largo del avance de las diferentes fases, hubo distintos acercamientos entre el emprendimiento de Augusto Cicaré y distintos actores del Estado argentino. Si bien diferentes organismos del Estado como la Fuerza Aérea Argentina, la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), la Policía Federal Argentina, la Fábrica de Militar de Aviones (actualmente FADEA), entre otros, han colaborado numerosas veces con la empresa desde sus comienzos, también le han causado conflictos y contratiempos. Estas dificultades han sido generadas por varios motivos como desfinanciamiento, burocracia en la ejecución de los proyectos, trabas en la homologación de productos, o conflictos de distinta naturaleza. Puede destacarse que, desde la comunidad y el Municipio de Saladillo, ha habido un respaldo regular y constante desde el surgimiento del emprendimiento. Las distinciones y homenajes a la empresa y su creador son incontables, incluso han surgido de la población local organizaciones dedicadas exclusivamente al apoyo del emprendimiento, como por ejemplo la Asociación Amigos de Augusto Cicaré (ya explicada en el Capítulo 6).

Sin embargo, las tecnologías de alta complejidad que demanda el diseño de aeronaves, requieren de mayor capacidad de financiación y más sólidas garantías al momento de emprender desarrollos, ensayos, diseños o fabricaciones. Al margen de los acuerdos y desacuerdos con distintos actores del Estado, el emprendimiento a lo largo de los años también ha sufrido altibajos debidos a la inestabilidad política, social y económica. Vale la pena aclarar que, aquellas primeras sociedades de respaldo a Cicaré, permitían al diseñador mantener su ideología de diseño (Layton, 1976). Esto refiere al hecho de que no se demandaban requerimientos de ingeniería al diseño de los helicópteros, sino que se apuntaba al desarrollo profesional del inventor por encima del producto.

²⁴ La redacción de este capítulo está basada principalmente en entrevistas a Fernando y Alfonso Cicaré, Luciano Álvarez y Claudio Rimoldi, realizadas por el autor de la tesis.

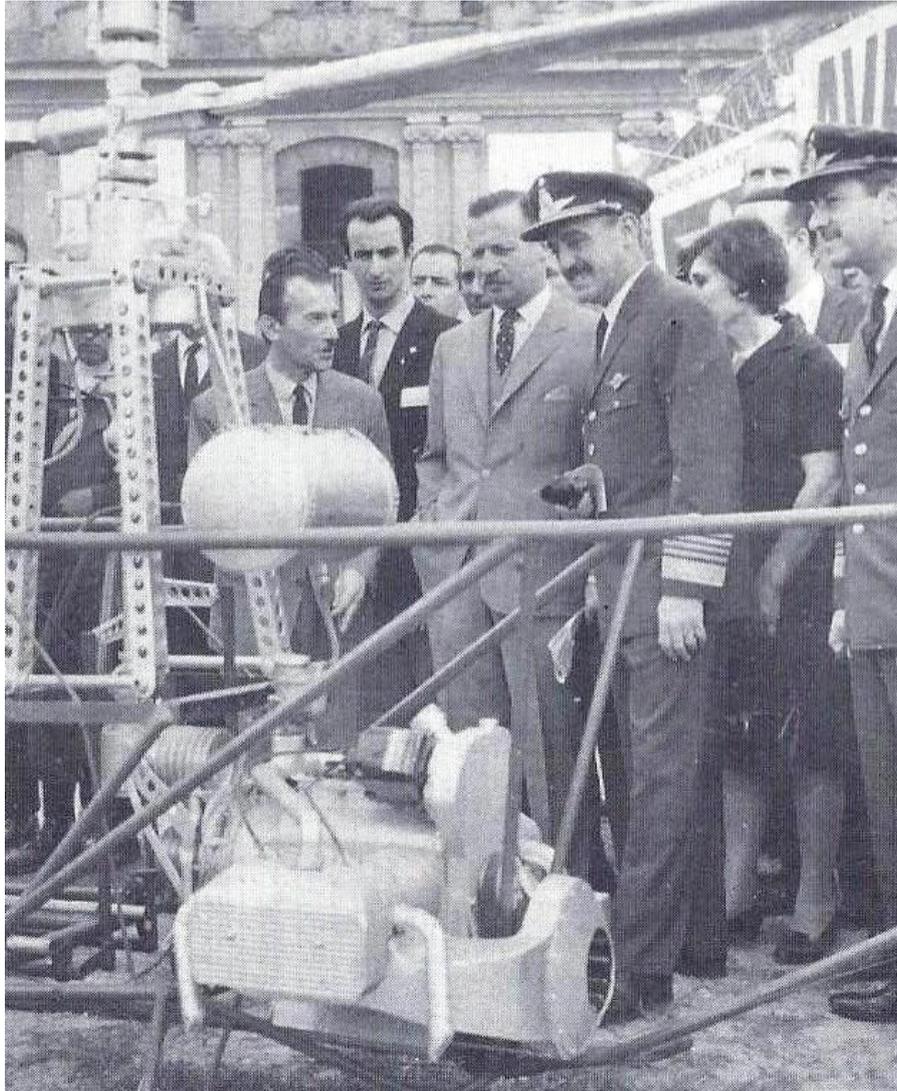


Figura 67. Desde la izquierda, Santiago González Valdés, el Presidente de la Nación Juan Carlos Onganía y el Brigadier Jorge Martínez Zuviría junto al modelo CH-1 en la Exposición de Aeronáutica de Palermo (1968).



Figura 68. Augusto Cicaré y trabajadores de su fábrica junto a la Gobernadora de la Provincia de Buenos Aires Lic. María Eugenia Vidal y el Presidente de la Nación Ing. Mauricio Macri, durante una visita a la fábrica de Saladillo (2017).

Luego de la crisis social y económica del año 2001 que obligó a la renuncia del entonces Presidente de la Nación Dr. Fernando De La Rúa, varios cambios de presidentes provisionales y la posterior asunción del Dr. Eduardo Duhalde al máximo cargo ejecutivo hasta finalizar con el período incompleto, la empresa debió dedicarse a la fabricación de partes industriales y a otros proyectos no vinculados con la aeronáutica (Figura 69) para su sustento económico. Tal es el caso del kit GNC-Diésel, que consiste en un dispositivo patentado por la empresa que sirve para convertir el sistema de combustión para automotores de tecnología diésel en gas natural comprimido. El joven profesional Ceferino Castilla antes mencionado fue precisamente quien llevó adelante los trámites para obtener la patente del sistema. Por aquellos años se llegó a fabricar el kit en serie, comenzando con una partida de mil unidades exportadas a Tailandia, además del abastecimiento al mercado local. Mientras tanto, Fernando Cicaré, con formación en marketing comercial, se dedicaba a la preparación de proyectos a fin de conseguir financiación que pudiera sostener nuevamente la industria de los helicópteros. Finalmente, los socios de la empresa Cicaré Helicópteros S.A. dejaron de aportar a la actividad y se produjo el cierre de la misma. Varios de los colaboradores de Cicaré, entre ellos Ceferino Castilla, se

alejaron de la organización. En contraposición a lo detallado anteriormente, se puede observar que, para esta época, y a diferencia de sus comienzos, el diseñador había logrado gestionar de manera eficaz su ideología de ciencia ingenieril (Layton, 1976) desarrollando productos que respondan a requerimientos de clientes con la intención de generar ingresos económicos.

En el año 2003, luego de las elecciones presidenciales, asumió el cargo el Dr. Néstor Kirchner. Durante esta transición se dio un proceso de reactivación de la economía impulsada por el gobierno, en parte por el apoyo a ciertas instituciones y organismos del Estado. Además, según cuenta Wainer (2018), ocurrió una evolución favorable en términos de intercambio, una inicial contracción de las importaciones debido al desenlace de la crisis de la convertibilidad (devaluación y recesión), un aumento de las exportaciones, y una reestructuración de deuda pública. Estas medidas causaron una pronta recuperación social y un fortalecimiento de la industria local.



Figura 69. Filtro de combustible marca Cicaré.

En el año 2005 y con este marco favorable, se llevó a cabo una reunión entre el Jefe del Estado Mayor del Ejército Tte. Gral. Roberto Bendini y Augusto Cicaré, en donde el primero manifestó el interés del organismo en el desarrollo de un

helicóptero ligero experimental biplaza con turbina para uso civil, militar y de fuerzas de seguridad. En relación al proyecto, Fernando Cicaré cuenta:

“El encuentro se da porque intentamos mantener contacto político para tener financiamiento. Hubo reuniones en el año 2003 con la asunción de Kirchner. El Ejército estaba interesado en desarrollar un helicóptero y, preparándonos para el proceso, hicimos un anteproyecto. Armamos la empresa familiar Cicaré S.A en el año 2005 y comenzamos a tener las primeras reuniones con el Ejército. Ya por agosto o septiembre firmamos el convenio con ellos para el desarrollo del CH-14. Fue un desafío para todos. Me acuerdo que en un momento se tuvo que dibujar la silueta del helicóptero sobre una pared para entender las dimensiones de las que se estaba hablando” (Entrevista a Fernando Cicaré, 2016).

La función civil del helicóptero modelo denominado CH-14 Aguilucho (Figura 70) sería la de entrenamiento y observación, mientras que el rol militar y de fuerzas de seguridad apuntaba al control de objetivos terrestres. El uso potencial de la aeronave se proyectaba como se detalla a continuación:

- Uso Civil.
 - Trabajo e investigación agrícola.
 - Instrucción y entrenamiento de pilotos.
 - Prevención y combate de incendios.
 - Fotografía y filmación aérea.
 - Revisión de obra pública (líneas de alta tensión, gasoductos, etc.).
 - Transporte personal y actividades recreativas.
- Uso Militar.
 - Instrucción y entrenamiento de pilotos.
 - Entrenamiento IFR (Instrument Flight Rules, Reglas de Vuelo Instrumental) y VFR (Visual Flight Rules, Reglas de Vuelo Visual) de pilotos.
 - Operaciones de exploración y reconocimiento.
- Uso de Fuerzas de Seguridad.
 - Control fronterizo.

- Control de tránsito.
- Patrullaje.
- Operaciones de guardacostas.

El ofrecimiento fue recibido con entusiasmo y preocupación por parte de la empresa. Si bien se trataba de un proyecto importante y con proyecciones del alto interés para cualquier empresa, se debía lograr en un corto plazo el diseño de una aeronave de alta complejidad, algo diferente a los helicópteros desarrollados hasta el momento (por sus prestaciones, su tamaño y su peso). Existía además el compromiso de fabricación de varias unidades. Se debía afrontar un proceso de desarrollo de alta complejidad, que generalmente demandan de un método típico para este tipo de proyectos, como describe Mott (1995) y fue detallado en el Capítulo 4. Para la revisión, confección de documentos, investigación, diseño, análisis y estudios que demandan programas de este tipo, era necesaria la conformación de un equipo de profesionales no disponible en la empresa por aquellos años.

El programa planteado constaba de tres etapas. En la primera se detallaban las características del prototipo surgidas de la discusión entre los requerimientos del Ejército y las propuestas de Cicaré. Una vez aprobado el diseño bajo especificaciones del prototipo, se pasaba a la segunda etapa, que consistía en la fabricación y los ensayos del mismo a cargo de la empresa *prime contractor*. Finalmente, el proyecto concluiría en una tercera etapa, que específicamente consistía en un proceso de certificación de calidad. El Departamento Técnico del Comando de Aviación del Ejército y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata aportaron asesoramiento a la empresa, mientras que el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF)²⁵ y el Batallón de Abastecimiento y Mantenimiento de Aeronaves 601 proveyeron algunos materiales y partes. Puede considerarse aquí que se debía

²⁵ El Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) fue creado en el año 1941 como Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA). Dependiente de la Subsecretaría de Investigación, Política Industrial y Producción para la Defensa (Ministerio de Defensa Argentina), este organismo se dedica a generar actividades para la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la seguridad y la defensa nacional, más precisamente tecnologías como el armamento y los artefactos de combate (Dirección Nacional de Servicios Digitales de la Secretaría de Gobierno de Modernización, "Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la defensa – CITEDEF", sitio web Argentina.gob <https://www.argentina.gob.ar>, 2019).

necesariamente dejar de lado el método de diseño basado en prototipos que dio origen a la trayectoria de diseño de Cicaré. Aquella metodología similar a la planteada por Gero (1990) contemplaría mayores riesgos de incumplimiento de requerimientos, lo que no sería admitido por el cliente o generaría apreciables costos en la empresa responsable del diseño y la fabricación. Es decir, realizar innumerables ensayos de prueba y error, erosionaría las ganancias obtenidas por la empresa de Saladillo. De manera que aquí el plantel de jóvenes profesionales y la metodología clásica de diseño (Mott, 1995) conformaban la apuesta central para el desarrollo, que además estaba dividido en etapas características para proyectos de productos complejos, como las que detalla Vincenti (1990). Está claro que se contaba además con el invaluable conocimiento aeronáutico de Augusto Cicaré para asistir durante la etapa de diseño.

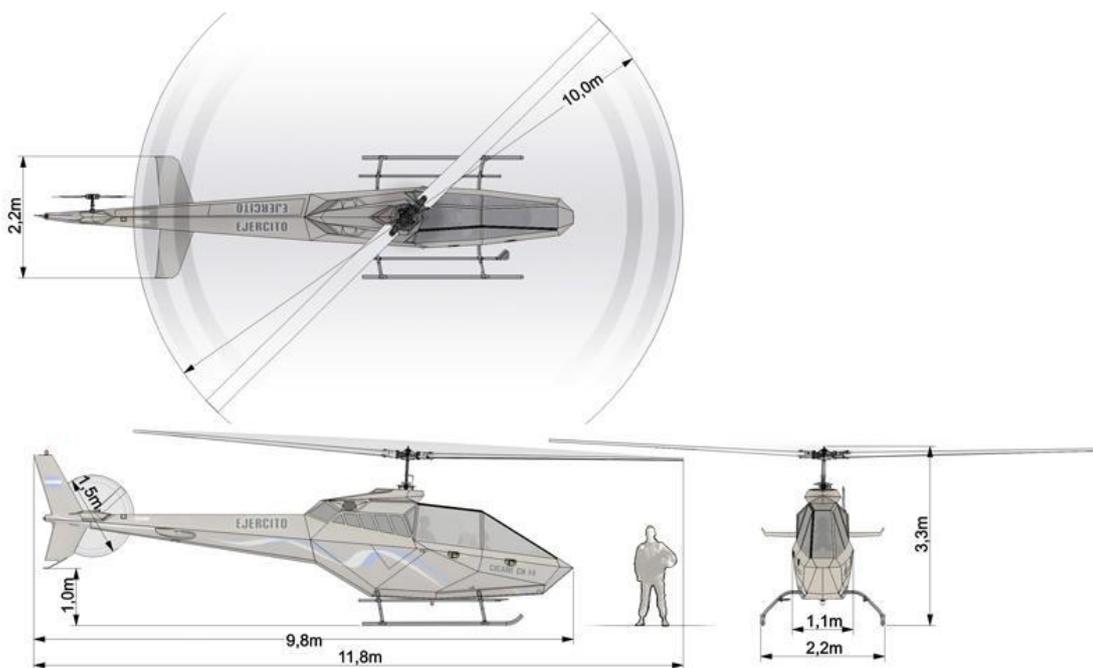


Figura 70. Croquis del prototipo CH-14 Aguilucho.

En un principio, la nueva empresa Cicaré S.A. con Fernando Cicaré como responsable, recurrió al anteriormente mencionado Hugo Cicaré. En aquel momento, el joven que se encontraba estudiando la carrera de diseño industrial, se dedicó a confeccionar las primeras documentaciones. Esto se dio hasta su partida a otro país, cuando asumió su función el también diseñador industrial Indalecio Sabbioni. En este contexto, se incorporó para trabajar a tiempo

completo el hijo menor de Augusto Cicaré, Alfonso Cicaré, quien en ese momento se encontraba cursando la carrera de ingeniería aeronáutica en la Universidad Nacional de La Plata. Alfonso además se estaba formando como piloto, y fue un actor importante para realizar contactos entre la empresa y algunos estudiantes y profesores de la Universidad Nacional de La Plata. De allí surgiría la participación de Emmanuel Fea, estudiante de la misma carrera que colaboró con el diseño y el análisis estructural. Finalmente, se incorporó para las tareas de construcción y ensamblaje el técnico mecánico Luciano Álvarez, también cercano a la familia Cicaré.

Si bien está claro que Augusto Cicaré llevaba adelante el diseño aeronáutico del helicóptero, se decidió delegar en los jóvenes profesionales el desarrollo del fuselaje, de las capacidades aerodinámicas y de la estética de la nave. Sobre las tareas de aquella época Luciano Álvarez cuenta:

“En el taller había que cumplir con un plazo y llegar a una fecha determinada. No recuerdo que haya habido grandes problemas, aun teniendo en cuenta que se desarrolló toda la transmisión completa, estaba todo sustentado por Emmanuel Fea que tenía una muy buena dinámica de trabajo. Los primeros vuelos de prueba los hizo Fernando. Con Pirincho (Augusto Cicaré) tomamos los grados de rotor del CH-6, que es el padre de toda la serie CH-7, para traspasar la información al CH-14. Para nosotros el proceso fue muy satisfactorio” (Entrevista a Luciano Álvarez, 2016).



Figura 71. Dos pilotos de las Fuerzas Armadas verifican el habitáculo del modelo CH-14 durante su fabricación, junto a Augusto y Fernando Cicaré (2006).

El desarrollo del nuevo helicóptero y su primer prototipo comenzó en enero del año 2006 y terminó de construirse hacia noviembre del mismo año, bajo un régimen de trabajo que incluía horas extra y jornadas laborales la mayoría de los fines de semana. El Cicaré CH-14 Aguilucho Experimental (Figura 72) es un biplaza en tándem propulsado con turbina Rolls Royce Allison 250, desarrollado bajo Normas FAR 27. La estructura cuenta con esqueleto metálico cubierto por un fuselaje de superficies facetadas fabricadas en materiales compuestos. El rotor es característico de los modelos Cicaré, tanto el rotor principal como el de cola son bipalas, de materiales compuestos y comandos hidráulicos. Posee una potencia de despegue de 420hp y una potencia máxima de servicio de 370hp, lo que le permiten elevar cargas de hasta 700kg a alturas de 4500 metros.



Figura 72. Banner promocional del Cicaré CH-14 Aguilucho.

La campaña de ensayos del helicóptero transcurrió de manera normal con Fernando Cicaré como piloto principal de pruebas, finalizando las mismas a mediados del año 2007 (Figura 71).

El 23 de noviembre del mismo año, se realizó la presentación oficial del helicóptero Cicaré CH-14 Aguilucho en el predio del Comando de Aviación en Campo de Mayo, en un acto protocolar encabezado por el Jefe del Estado Mayor del Ejército Tte. Gral. Roberto Bendini. Participaron además el Presidente de la Comisión de la Tropa Técnica de Aviación de Ejército Gral. Arturo Grandinetti, el Comandante de Aviación de Ejército Cnel. Gustavo Seraín y otras autoridades militares, civiles, religiosas e invitados, con la presencia también del *staff* y los directivos de la empresa Cicaré S.A. En entrevista a la agencia de noticias Télam, el Tte. Gral. Bendini definiría sobre la presentación:

“Es un orgullo para el Ejército y un orgullo nacional. Este aparato es un paso muy importante para el desarrollo de una industria nacional de helicópteros y un aporte para que nuestro país recupere una posición de liderazgo en el campo aeronáutico” (Roberto Bendini, “Camino de un talento”, sitio web Hangar 57, 2007).

La ceremonia concluyó con un desfile de tropas a pie y el sobrevuelo de helicópteros de las unidades de Aviación del Ejército de Campo de Mayo, Neuquén, Paraná y Posadas (Figura 73 y Figura 74).



Figura 73. Prototipo modelo CH-14 Aguilucho durante el sobrevuelo de unidades de Aviación de Ejército (2007).



Figura 74. Demostración de vuelo del modelo CH-14 Aguilucho durante su presentación en Campo de Mayo (2007).

En el año 2008 comenzó la tercera etapa de certificación del helicóptero a cargo del Ejército, aunque luego de la renuncia del Tte. Gral. Roberto Bendini y la asunción al cargo de Jefe del Estado Mayor del Ejército del Tte. Gral. Luis Alberto Pozzi, el proyecto entraría en una pausa de varios meses siendo finalmente discontinuado. En entrevista con Fernando Cicaré, él señala:

“Se había planteado un programa de tres etapas, donde el Ejército podía tomar compromiso en la primera. Una vez aprobado el prototipo, se pasaba a la etapa de ensayos en vuelo. La última etapa era el proceso de certificación, donde quedó interrumpido el proyecto. Había que alcanzar un lote de 50 unidades. Para el Ejército era un lote de 20 unidades, luego había que buscar los restantes en otras Fuerzas Armadas. Cuando sale Bendini sabíamos que el proyecto se iba a parar. Son cuestiones políticas, que están al margen nuestro” (Entrevista a Fernando Cicaré, 2016).

En la actualidad el modelo CH-14 se encuentra publicado en la página web de la empresa Cicaré S.A. como helicóptero en desarrollo, y se describe como el primer diseño de una familia de aeronaves que tienen como objetivo dar soluciones a los requerimientos de fuerzas armadas, de seguridad, y al mercado civil.

10.1. Análisis de Fase V.

Puede considerarse esta fase como la prueba final con rigor de desafío que necesitaba la empresa y su grupo de trabajo para madurar su adaptación a la metodología clásica de diseño anteriormente mencionada por Mott (1995). En definitiva, apostar a un proceso que permita la producción en serie era lo que los jóvenes líderes de la empresa como Fernando y Alfonso Cicaré tenían como objetivo. Agregado a esto, sabían que podían contar con un departamento de desarrollo de innovaciones liderado por Augusto Cicaré, en donde se proyectaran nuevos diseños con su metodología tradicional basada en la producción de prototipos, y similar a lo mencionado por Gero (1990). Es decir, se contaba con una configuración de empresa con un valioso potencial

totalmente reforzado por la voluntad de sus integrantes, además de conformar ya para esta época una marca reconocida y respetada en la industria. En relación a esto, Alfonso Cicaré relata:

“Tenemos una responsabilidad social como propietarios de una empresa donde sabemos que podemos pensar en expansión y demás, pero también se puede hacer un buen trabajo y de calidad. O sea, tener un lugar donde no se falte el respeto, que a la gente le guste trabajar y poseer un salario acorde a lo que se hace. No sé si pensar una producción en cantidades tan altas, realmente el grado de locura al que te puede llevar eso es no disfrutar ciertas cosas. No le pondría un techo, pero tiene que ser algo razonable y lógico para el país en el que estamos. Veo que Cicaré debe fortalecerse en el exterior, ser una pata fuerte en países como proveedores estratégicos de transmisiones, de cabinas, de cosas importantes. Prefiero hacer algo por ahí, que cierren los números y que sea constante, solido. Es lo que se está buscando, tener un salvavidas en el exterior para que Cicaré este fuerte ante los vaivenes de la industria local.

Puedo decir que nuestra fortaleza es el producto, tenemos muchos vuelos y las transmisiones andan muy bien, el corazón del helicóptero es eso. Pero más allá de todo análisis, sabemos que tenemos al mejor diseñador, el desafío es rodearlo de gente que pueda asistirlo” (Entrevista a Alfonso Cicaré, 2016).

La formación y consolidación de un plantel profesional dentro de la empresa, capaz de responder a desafíos ingenieriles, es la característica principal de esta fase. El conocimiento para esta etapa se encontraba en gran parte en el colectivo del plantel (Collins, 2010). Como relata Alfonso Cicaré, el trabajo desde aquí y al futuro era fortalecer esta capacidad de producción seriada y desarrollo de innovaciones mediante dos métodos diferentes, la teoría y el ensayo. Practicados ambos con éxito, se podría alcanzar una producción local y de exportación, no solo en comercialización de helicópteros, sino además como proveedores de partes y sistemas para la industria aeronáutica en general.

Otra importante característica de esta etapa, y desde el punto de vista de desarrollo de diseños, es que la zona de negociación mencionada anteriormente por Galison (1999) toma un rol preponderante, y se establecen etapas de análisis teórico previas a los ensayos liderados por Augusto Cicaré. Tal es el caso de los análisis estructurales, cálculos físicos y verificaciones por software. Es decir, la teoría de la aeronáutica empieza a tomar parte en los diseños Cicaré como un complemento fundamental para las campañas de ensayos.

CAPÍTULO 11: Conclusiones.

Esta tesis fue iniciada con el planteo de dos preguntas principales. En primer lugar, se buscaba la identificación y caracterización del método de desarrollo tecnológico de la empresa Cicaré S.A, lo que le había permitido, a pesar de la ausencia de formación técnica e ingenieril, alcanzar innovaciones valoradas a nivel mundial por la industria aeronáutica. En segundo lugar, se planteaba analizar la evolución de la gestión del conocimiento tecnológico generado a lo largo del desarrollo de distintos modelos de helicópteros.

Durante este capítulo se desarrollan conclusiones generales y específicas, haciendo enfoque en cada una de las fases de la trayectoria del desarrollo tecnológico de los modelos Cicaré. Estas distintas etapas, fueron diferenciadas teniendo en cuenta los avances tecnológicos que significaron cada una de acuerdo a sus modelos, y las características de las diferentes organizaciones que de alguna manera gestarían lo que hoy es la empresa Cicaré S.A. Las fases analizadas fueron las siguientes:

- Fase I: Desde 1956 hasta 1965. Contempla los modelos CH1 y CH2. En esta fase, Augusto Cicaré investiga sobre los principios de la tecnología aeronáutica mediante prototipos de ensayos, alcanzando el vuelo vertical de una aeronave y el control de la misma.
- Fase II: Desde 1965 hasta 1990. Contempla los modelos CH-3 Colibrí, CH-4, CH-5 y CH-6. Durante esta etapa, Augusto Cicaré se acerca a distintos actores relacionados a la industria aeronáutica, quienes lo guiaron en la búsqueda de modelos de vuelo homologables, innovadores, y con características valiosas para el mercado de los ultralivianos.
- Fase III: Desde 1990 hasta 1993. Contempla los modelos CH-7 y serie SVH. Con la obtención de un modelo de helicóptero liviano de alto potencial comercial, en este ciclo comienza a formarse una empresa dedicada a la producción de aeronaves con una visión global de mercado local y exterior.
- Fase IV: Desde 1993 hasta 2001. Contempla los modelos CH-8, CH-11C y CH-12. Con la consolidación de un plantel técnico y profesional en la empresa, esta fase refleja la búsqueda de nuevos nichos de

mercado a partir de un modelo ya exitoso a nivel comercial, desarrollando helicópteros derivados del mismo con prestaciones alternativas a las anteriormente alcanzadas.

- Fase V: Desde 2001 hasta 20015. Contempla el modelo CH-14 Aguilucho. Durante esta etapa final se analiza el diseño y construcción de un helicóptero solicitado por el Estado, que particularmente debía responder a una exigente serie de requerimientos tecnológicos específicos y un proceso estándar de certificación.

En la fase I, entre los años 1956 y 1963, se puede apreciar que Cicaré consolidó un proceso no ortodoxo de desarrollo, que contaba con el diseño a través de la construcción de prototipos para corregir y reconstruir. Es decir, el prototipo comenzó a ser construido sin planimetría, croquisados ni análisis previos. De hecho, el banco de pruebas agilizó esa metodología y le permitió no sólo abocarse a la construcción de helicópteros como sistema, sino a sus partes. Mediante esta metodología experimental realizaría ensayos sobre distintos tipos de aspas, transmisiones, comandos, materiales, instrumental, entre otros. La actividad ingenieril a partir de la construcción conformaba el total de las actividades llevadas a cabo por el diseñador, comparable a la metodología detallada por Ciapuscio (1996).

Esta fase conforma los inicios en la tecnología aeronáutica del constructor, proveniente de la metalúrgica y las máquinas agrícolas. Esto se refleja en la adaptación de técnicas y materiales de herrería artesanal a la aeronáutica, relación poco común, ya que las aeronaves demandan materiales optimizados en peso y resistencia. Se trató de un largo proceso de aprendizaje para el diseñador. Se destaca también que aquella adaptación de soluciones comunes en la industria agrícola o automotriz serían novedosas para la aeronáutica, aunque al momento no innovadoras. Puede apreciarse aquí la técnica y el oficio detallado anteriormente por McGinn (1991). Sin embargo, estas soluciones novedosas serían rudimentarios diseños conceptuales provenientes de la interpretación primitiva del diseñador, metodología que optimizaría en un futuro. En definitiva, se irían formando pequeños nuevos paradigmas sobre soluciones aeronáuticas que la industria en general y a nivel mundial ya consideraba maduras.

Podría asegurarse que, esta primera etapa, se caracterizó por la necesidad de reinventar un desarrollo tecnológico debido al desconocimiento del estado del arte sobre el vuelo vertical, como destaca Mackenzie (1996). Cicaré no contaba con el conocimiento sobre la aeronáutica del vuelo vertical, ni en sus aspectos explícitos (manuales, instructivos) ni en los tácitos (maniobras de vuelo, comando). Dado esto, el diseñador avanzó en la generación de estos conocimientos para sí mismo. Por su falta de formación en ciencia básica, Augusto Cicaré recurrió a la experimentación de prototipos como método central de aprendizaje, tal como lo describe Collins (2010). Además, era para él prácticamente la única posibilidad ante la falta de formación académica.

En 1963, entre los desarrollos de los modelos CH-1 y CH-2, Augusto Cicaré tomó contacto con el primer helicóptero para observar y revisar, un Sikorsky S-51. Aquí de alguna manera se rompió esa barrera que menciona Mackenzie (1996) y se tomó contacto con un artefacto que, en definitiva, conformaba un avance tecnológico tangible. Sin embargo, lo relevante en este hecho, es tener en cuenta que no todas las soluciones mecánicas que presentaba aquel helicóptero fueron consideradas interesantes por el constructor. Es cierto que muchas de ellas le parecieron complejas, pero es relevante su observación, ya que luego de aquella revisión siguió prefiriendo algunos de sus diseños artesanales por sobre los industriales ahora conocidos. Sin lugar a dudas, el diseñador realizó una valoración de la evolución natural del segundo diseño sobre el primero, tal como fue analizado por Vincenti (1990).

Corresponde aquí aclarar que el diseño no se llevaba a cabo de manera estándar, el constructor no realizaba planos ni croquis, simplemente imaginaba las formas de sus objetos y los iba construyendo de esta manera. Siempre se apoyó en sus altas capacidades para la fabricación, dejando de lado su baja preparación para el cálculo y la representación gráfica. Esta característica fue todo un obstáculo para la formación de una empresa que apuntaba a fabricar en serie, pues Cicaré nunca documentó sus desarrollos, ensayos ni resultados.

Respecto de la fase II, que se extendió entre los años 1963 y 1990, es posible destacar que el modelo CH-6, por su grado de innovación, fue de los más importantes diseños de Cicaré. Desde el punto de vista tecnológico, conformó la evolución definitiva de los modelos anteriores, lo que llevó a la marca a ser

reconocida a nivel mundial. Este modelo recopila de alguna manera todos los aprendizajes obtenidos en la fase I, en donde el diseñador había solucionado aspectos de vuelo y de comandos. En definitiva, se alcanzó aquí una maduración del conocimiento adoptado a través de la experimentación (Collins, 2010).

Los aspectos de vuelo desarrollados durante este periodo fueron iniciales y básicos de la aeronáutica, tales como potencia de motorización, desplazamientos y aerodinámica. Los mecanismos de comando fueron los de mayor desarrollo, definitivamente empezaron a caracterizar a los modelos Cicaré como helicópteros de gran flexibilidad de maniobras, ágiles, precisos, e incluso posibles de aplicar en acrobacias. Había existido allí una transmisión de conocimiento desde los modelos CH-1, CH-2, CH-3, CH-4 y CH-5, con muy alto componente tácito, como menciona Polanyi (1962). Esto puede observarse ya que la relación entre las soluciones mecánicas adoptadas en los diferentes modelos y el comportamiento posterior del helicóptero, demostraba el uso de aquellas definiciones ostensivas que el autor menciona, y que requieren de la inteligencia de quien intenta aprender para ser asimiladas. Es importante destacar aquí cómo fue posible esta transmisión en el tiempo. Es que, de alguna manera, los conocimientos habían sido acumulados intrínsecamente en los prototipos de aquellos modelos, ya que muchos de esos dichos conocimientos, por su carácter tácito, no eran posibles de archivar como documentación (Arancibia, 2006).

Puede reconocerse aquí un método de transmisión de conocimientos que contiene, además de lo explícito, un alto componente tácito, como menciona Mackenzie (1996). Cicaré intercambiaba piezas y sistemas entre sus nuevos desarrollos y los anteriores para experimentar los cambios en vuelo y corregir diferentes aspectos de manera continua. Los prototipos de todos sus desarrollos son conservados como fuente de conocimiento explícito en cuanto a piezas y mecanismos se refiere. Sin embargo, para aprender aspectos tácitos, el diseñador puede probar esos mismos modelos anteriores y experimentar. Al momento de desarrollar nuevas piezas o mecanismos, estos pueden ser ensayados además en aquellos modelos de vuelo y ser interpretado su funcionamiento. A su vez, los prototipos le sirven al diseñador para instruir al

personal de la empresa, que va adquiriendo de manera colectiva un conocimiento compartido, tal como lo detalla Collins (2010).

Finalmente, en esta fase el constructor se planteaba salir de su característica de solitario inventor de tiempos libres en un taller para máquinas agrícolas, para conformar una fábrica pensada para el diseño y la fabricación de helicópteros, valiéndose además de la ayuda de otros actores como pilotos, ingenieros y técnicos especializados en aeronáutica. Es cierto que no lograría afianzar este plantel y un taller dedicado, pero su acercamiento a la industria, otras marcas y otros diseñadores, lo harían valorar las ventajas de la ingeniería y de las tecnologías de producción. Desde el punto de vista comercial, Cicaré comprendió con el interés generado en exposiciones y convenciones aeronáuticas, el potencial de sus diseños, y que un emprendimiento propio sería posible merced a las prestaciones de sus productos.

Finalmente, sobre esta etapa, es interesante cuestionar el surgimiento de innovaciones a partir de un desarrollador aeronáutico considerado *outsider* para la industria hasta entonces. Muchas de las innovaciones fueron simplemente descubiertas por Cicaré, mientras se encontraba realizando ensayos de vuelo para calificar ciertos comportamientos de los helicópteros, continuamente modificando componentes y mecanismos en búsqueda de mejoras. En otros casos, fueron pilotos expertos quienes observaron cualidades únicas en ciertos sistemas de las aeronaves. Estas innovaciones pueden haber sido generadas, en parte, por el hecho de haber interpretado una solución reinventando una tecnología, como menciona Mackenzie (1996). En segundo lugar, el hecho de apostar por la experimentación como método de aprendizaje (Collins 2010) y de diseño, permitió que los mismos prototipos, al ser continuamente modificados, vayan exponiendo nuevas funcionalidades alternativas a las inicialmente buscadas (Gero, 1990). La virtud de Cicaré y sus colaboradores es haber sabido apreciar aquellas características inusuales y valorables de los prototipos capitalizándolas como nuevas tecnologías innovadoras.

Según lo analizado en la fase III, entre los años 1990 y 1993, y a diferencia de la anterior, Augusto Cicaré conformó un plantel de pares de confianza para generar nuevos desarrollos a partir de la concepción del modelo CH-7, que se trató de la maduración definitiva y comercializable del modelo CH-6, donde

alcanzó sus mejores prestaciones desde lo técnico. Se aprecia aquí la experiencia más clara de evolución de diseño planteada por Vincenti (1990), más precisamente a partir de corrección de fallas de modelos predecesores que habían mostrado ciertas fallas (Petroski, 1992). Se puede afirmar, desde el punto de vista de características de vuelo, que el modelo CH-7 es el final de la evolución de los desarrollos de Cicaré. A partir de este diseño, se obtendrían nuevos modelos alternativos de helicópteros de distintas prestaciones y capacidades que permitirían a la empresa ampliar más adelante su gama de productos.

Es cierto que en esta tercera fase el plantel de la empresa contaba con menor experiencia específica que en las anteriores organizaciones. Sin embargo, en este caso, se trataba de un grupo de jóvenes de confianza y cercanía, con los que Augusto Cicaré pudo en definitiva adaptarse a trabajar. Fue allí cuando el proceso de diseño realizó una transformación, adoptando un método comparable al descrito por Mott (1995), en donde la metodología de desarrollo se acerca más a las características típicas del diseño ingenieril que plantea el autor.

Una de las cualidades notorias de esta fase son las dos experiencias de conflictos de patentes que Cicaré experimentó. En primer lugar, con el estadounidense Dennis Fetters y Revolution Helicopters, y, en segundo lugar, con el italiano Pierluigi Barbero y Elisport. Cicaré comprendió allí que sus soluciones eran valoradas en la industria aeronáutica y poseían un gran potencial comercial y tecnológico, por lo que comenzó su proceso de patentamiento de las soluciones más innovadoras. El modelo CH-7, que fue el protagonista de esta etapa de la trayectoria, contiene las mejores características de vuelo de toda la gama de productos de la empresa, fue el de mayor volumen de ventas, y el que evolucionó en nuevos productos que ampliaron aún más el mercado. Esta búsqueda partió desde simples adaptaciones al modelo CH-7 que permitieron pasar de un monoplaza a un biplaza como el CH-7B, alcanzando más complejas transformaciones que llevaron a desarrollar un simulador de vuelo como la serie SVH sin precedentes en la industria.

La serie de simuladores de vuelo SVH ha hecho de la interpretación primitiva del diseño un producto de los más innovadores de la empresa. Esto se refiere a que, a partir de la solución elemental del problema de aprendizaje de comando

de vuelo desarrollada por Cicaré, que constaba de limitar la elevación de los ultralivianos con anclajes al piso, surgió un producto de aplicación a nivel internacional en la instrucción de nuevos pilotos. Esto se acerca además a la búsqueda de nuevas funcionalidades en prototipos de prueba planteada por Gero (1990), definitivamente se aprovechó el potencial de comercialización de un dispositivo que, en un principio, era una herramienta de trabajo para la organización.

En la fase IV, desde el año 1993 al 2001, se analizan los modelos CH-8, CH-11 y CH-12, con la particularidad de que todos ellos fueron desarrollados a partir de la estructura y los mecanismos del antecesor CH-7. Se observa en esta fase la característica evolutiva de los diseños Cicaré, tal como lo detallaran Vincenti (1990) y Petroski (1992). Se ha apreciado en la trayectoria de diseño de Cicaré, que cada prototipo ha derivado, modificaciones de ingeniería mediante, en un nuevo modelo de vuelo mejorado o de distintas capacidades o funcionalidades. Esta fase se caracteriza principalmente por este último aspecto, en donde se había ampliado la gama de productos para cubrir diferentes segmentos de la industria de los helicópteros, mediante la evolución de un modelo de referencia como el CH-7.

Finalmente, en la fase V, que describe la trayectoria entre los años 2001 y 2015, es claro apreciar que los métodos de diseño y producción artesanal se habían ido convirtiendo paulatinamente una fábrica aeronáutica. No solamente se contaba con la infraestructura y algunas tecnologías de fabricación necesarias para la producción, sino que además había sido conformado un *staff* mínimo de trabajadores que comprendían los diseños y aportaban sus conocimientos. Además, empezaron a complementar al diseñador original de la empresa con la confección de documentación estándar en la ingeniería, tales como planos, croquis, bocetos, entre otros. Fue aquí donde se fortaleció la zona de negociación antes mencionada por Galison (1999) y comenzaron a tomar lugar preponderante los análisis estructurales y verificaciones teóricas de diseño, complementados con los ensayos que, en un principio, habían sido la única herramienta de evaluación tecnológica.

Una conclusión final y que abarca el emprendimiento desde sus comienzos hasta hoy, es que Cicaré ha logrado establecer una característica de diseño en

donde conviven dos métodos de desarrollo de alta tecnología que son combinados de manera estratégica. Por un lado, la metodología de Mott (1955) es aplicada para la producción en serie de sus modelos estándares como el CH-7, CH-8, SVH-4 y CH-12. Mientras tanto una producción basada en la metodología de prototipos de Gero (1990), genera innovaciones que apuntan a tres objetivos particulares:

- La mejora continua de los modelos de helicóptero estándares.
- La generación de nuevos desarrollos de helicóptero a partir de los estándares.
- La generación de nuevos componentes, mecanismos y sistemas aeronáuticos innovadores.

La interpretación primitiva (como concepto propuesto en esta investigación) de soluciones mecánicas y aeronáuticas ha sido la característica que, adaptada al proceso de transformación entre las funciones a cumplir por un producto y la generación de prototipos (Gero, 1990), ha permitido a Cicaré implementar definiciones innovadoras provenientes de la mecánica general a la aeronáutica. Esto ha sido posible mediante la adaptación de medios a funciones preconcebidas por Augusto Cicaré de la mecánica general (Ciapuscio, 1996) a la industria aeronáutica. Para esta especialidad, de acuerdo a sus características específicas (Norton, 2000), dichas adaptaciones han resultado ser desarrollos sin precedentes. Vale la pena aclarar que, observaciones de primera mano relacionadas a la técnica y el oficio del diseñador (McGinn, 1991), han permitido fortalecer esta característica de diseño basada en la interpretación primitiva y el estudio exhaustivo de prototipos como característica central de desarrollo.

Quizás una de las características más notorias de la empresa, y que la diferencian de la industria típica de alta tecnología, sea la distribución física de su planta fabril. Cicaré S.A. cuenta con dos grandes edificios en su emplazamiento. En uno de ellos se encuentra el sector de ingeniería acoplado a la sala de producción, y en otro lindero se erige el hangar depósito donde se encuentran todos los prototipos producidos por Cicaré a lo largo de su trayectoria; desde el modelo CH-1 hasta el CH-14, pasando por motores, sistemas aeronáuticos, palas y demás componentes. Este segundo edificio con

cualidades de museo aeronáutico, permite a ingenieros y técnicos de la empresa consultar soluciones adaptadas a modelos anteriores, realizar diferentes ensayos de vuelo, o probar y calificar nuevos componentes y sistemas en prototipos funcionales.

Puede decirse que el conocimiento explícito se acumula en aquellos modelos almacenados, además de sus respaldos en la documentación generada en los últimos años. Además, esos prototipos pueden ser probados en vuelo para aprender de ellos, sobre todo aquel componente tácito que radica en la aeronáutica. Esto permite mantener acumulado todo el conocimiento generado a lo largo de la trayectoria de la empresa, asegurándose de que no sea perdido, de acuerdo a la visión alternativa de la ciencia descripta por Mackenzie (1996). Definitivamente, el estudio de prototipos es la característica principal del método de diseño propio que Cicaré ha desarrollado y fortalecido a lo largo de los años. Es una manera particular y estratégica de gestión del conocimiento, pues los prototipos experimentales son en sí una fuente de conocimiento tecnológico, con alto componente tácito, al que puede acceder el personal de la empresa a través del estudio y ensayo de los modelos.

Mediante desarrollos innovadores que han establecido nuevos paradigmas, por ejemplo, en la formación de pilotos o en el vuelo de modelos ágiles, Cicaré ha logrado una identidad como marca dentro de la industria aeronáutica, que lo valora como uno de los líderes del segmento a nivel internacional. La empresa ha aportado un valor agregado a la industria específica desde el diseño de helicópteros ultralivianos, un concepto poco explorado en la industria. Por medio de valiosos desarrollos innovadores, se han conseguido completos avances tecnológicos, que la empresa logró capitalizar, y que la industria a nivel internacional considera originales de la marca argentina.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arancibia, F. (2006). *Conocimiento Tácito y Conocimiento Tecnológico*. Buenos Aires: IEC-UNQ.
- Bunge, M. (1974). *Technology and Culture*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Bunge, M. (1966). *Toward a Philosophy of Technology*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Bush, V. (1945). *Science: The endless frontier*. Carta de remisión.
- Ciapuscio, H. (1996). *El conocimiento tecnológico*. Buenos Aires: Revista Redes.
- Collins, H. (2010). *Tacit and Explicit Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
- Daumas, M. (1962). *Histoire Générale des techniques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Federal Aviation Administration. (2012). *Helicopter Flying Handbook*. Washington: Flight Standards Service.
- Ferguson, E. (1971). *Technology and Culture: The American-ness of American Technology*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Ferguson, E. (1992). *Engineering: The Mind's Eye*. Cambridge: The MIT Press.
- FONART. (2015). *Manual de Diferenciación entre Artesanía y Manualidad*. Distrito Federal México: SEDESOL.
- Galison, P. (1999). *The Trading Zone: Coordinating Action and Belief*, en Biagioli, M., *The Science Studies Reader*. Abingdon: Routledge.
- Gero, J. (1990). *Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design*. Palo Alto: AI Magazine.
- Gille, B. (1978). *Histoire des Techniques*. Paris: Gallimard.
- Halbritter, F. (2009). *De Saladillo al mundo, Augusto Cicaré y sus helicópteros*. Buenos Aires: Argentinidad.
- Hall, A. (1977). *History of Technology*. Londres: Bloomsbury.
- Koyré, A. (1973). *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*. Paris: Gallimard.

- Layton, E. (1971). *Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-Century America*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Leishman, J. (2000). *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mackenzie, D. (1996). *Knowing Machines: Essays on Technical Change*. Cambridge: The MIT Press.
- McGinn, R. (1991). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Palo Alto: Stanford University Press.
- Merton, R. (1977). *La Sociología de la Ciencia*. Madrid: Alianza.
- Mott, R. (1995). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Buenos Aires: Pearson Educación.
- Nonaka, I. (2000). *La empresa creadora de conocimiento*. Brighton: Harvard Business School Publishing Corporation.
- Norton, R. (2000). *Diseño de Maquinaria*. Nueva York: McGraw Hill.
- Petroski, H. (1985). *To engineer is human: the role of failure in successful design*. New York: St Martin's Press.
- Polanyi, K. (1962). *Tacit Knowing: Its Bearing on Some Problems of Philosophy*. Review of Modern Physics.
- Sábato, J. y Mackenzie, D. (1982). *La Producción de Tecnología*. Distrito Federal México: ILET.
- Sessler, P. (2010). *Ultimate American V-8 Engine Data Book 2nd Edition*. Beverly: Motorbooks.
- Singer, C. (1954). *A History of Technology*. Oxford: Oxford University Press.
- Staudenmaier, J. (1985). *Technology Storytellers*. Cambridge: The MIT Press.
- Vincenti, W. (1990). *What engineers know and how they know it*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Wainer, A. (2018). *Economía y política en la Argentina kirchnerista (2003-2015)*. Distrito Federal México: Revista Mexicana de Sociología.

ENTREVISTAS REALIZADAS.

- Álvarez, Luciano (Departamento de Producción CICARÉ S.A.). Abril de 2016.
- Castilla, Ceferino (ex Ingeniero de Producto CICARÉ S.R.L.). Marzo de 2017.
- Cicaré, Alfonso (Responsable de Departamento de Producción CICARÉ S.A.). Abril de 2016.
- Cicaré, Augusto Ulderico (Responsable de Departamento de Diseño y Desarrollo CICARÉ S.A.). Abril de 2016.
- Cicaré, Fernando (Gerente General CICARÉ S.A.). Abril de 2016.
- Oreste, Raúl (Responsable Departamento de Ventas CICARÉ S.A.). Abril de 2016.
- Rimoldi, Claudio Marcelo (Profesor Adjunto Universidad Nacional de La Plata). Abril de 2016.
- Sabbioni, Indalecio (Departamento de Diseño CICARÉ S.A.). Abril de 2016.

PATENTES CONSULTADAS.

- Cicaré, A. (1992). United States Patent N° 5.165.854. United States of America: Bachman & La Pointe.
- Cicaré, A. (1997). United States Patent N° 5.678.999. United States of America: Bachman & La Pointe.
- Cicaré, A. (1998). European Patent N° EP 0 872 820 A1. España: European Patent Office.
- Fetters, D. (1992). United States Patent N° 5.163.815. United States of America: Wm. Bruce Day.

SITIOS WEB CONSULTADOS.

- Administración Nacional de Aviación Civil. (2017). Licencias Aeronáuticas. República Argentina: *ANAC Administración Nacional de Aviación Civil*. <http://www.anac.gov.ar>

- Avco Corporation. (2016). Products. Estados Unidos: *LYCOMING*. <http://www.lycoming.com>
- Avión y Piloto. (2013). El autogiro: diferencias con un ala fija. España: *Avión & Piloto*. <http://www.avionypiloto.es>
- BRP-Rotax GmbH & Co KG. (2019). Products. Austria: *Rotax Aircraft Engines*. <http://www.flyrotax.com>
- Carlos Ay. (2011). Fuerza Aérea Guarniciones y Unidades. República Argentina: *Aeromilitaria* Argentina. <http://aeromilitaria.gacetaaeronautica.com>
- Cicaré S.A. (2016). Productos. Saladillo, Provincia de Buenos Aires: *Cicaré*. <http://www.cicare.com.ar>
- Ciudad Saladillo. (2019). Historia. Saladillo, Provincia de Buenos Aires: *Municipio de Saladillo*. <https://www.saladillo.gob.ar>
- Club IAME Argentina. (2004). Historia de la Fábrica IAME. República Argentina: *Club IAME*. <http://www.clubiame.com.ar>
- Dirección de Informática FAA. (2016). Historia de la FAA. República Argentina: *Sitio Oficial de la Fuerza Aérea Argentina*. <https://www.faa.mil.ar>
- Dirección Nacional de Servicios Digitales de la Secretaría de Gobierno de Modernización. (2019). Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la defensa – CITEDEF. República Argentina: *Argentina.gob.ar*. <https://www.argentina.gob.ar>
- EEA Aviation Center. (2019). Air Venture. Oshkosh, Wiskonsin, Estados Unidos: *EEA*. <http://www.eaa.org>
- Franco, Alejandro. (2015). Historia del Fiat 600. República Argentina: *Autos de Culto*. <https://www.autosdeculto.com.ar>
- Info Hangar 57. (2007). Novedades. Buenos Aires, Argentina: *Camino de un talento*. <http://www.hangar57.com>
- Polvaredas (BA). (2019). Historia. Polvaredas, Provincia de Buenos Aires: *Sitio Oficial Polvaredas*. <http://polvaredasba.com.ar>
- United States Department of Transportation. (2017). Aircraft Handbooks & Manuals. Estados Unidos: *Federal Aviation Administration*. <https://www.faa.gov>