



Los alumnos deben llenar esta hoja y entregarla al supervisor junto con la versión final de su monografía.

Número de convocatoria del alumno

Nombre y apellido(s) del alumno

Número del colegio

Nombre del colegio

Convocatoria de exámenes (mayo o noviembre)

MAYO

Año

2013

Asignatura del Programa del Diploma en la que se ha inscrito la monografía: FISICA

(En el caso de una monografía en lenguas, señale si se trata del Grupo 1 o el Grupo 2.)

Título de la monografía: DE QUÉ FORMA INFLUYE EL TIPO DE ALA DE UN AVIÓN EN LA SUSTENTACIÓN Y VELOCIDAD DE VUELO DEL MISMO?

### Declaración del alumno

*El alumno debe firmar esta declaración; de lo contrario, es posible que no reciba una calificación final.*

Confirmando que soy el autor de este trabajo y que no he recibido más ayuda que la permitida por el Bachillerato Internacional.

He citado debidamente las palabras, ideas o gráficos de otra persona, se hayan expresado estos de forma escrita, oral o visual.

Sé que el máximo de palabras permitido para las monografías es 4.000, y que a los examinadores no se les pide que lean monografías que superen ese límite.

Esta es la versión final de mi monografía.

Firma del alumno

Fecha:

## Informe y declaración del supervisor

El supervisor debe completar este informe, firmar la declaración y luego entregar esta portada junto con la versión final de la monografía al coordinador del Programa del Diploma.

Nombre y apellido(s) del supervisor [MAYÚSCULAS]:

Si lo considera adecuado, escriba algunos comentarios sobre el contexto en que el alumno desarrolló la investigación, las dificultades que encontró y cómo las ha superado (ver página 13 de la guía para la monografía). La entrevista final con el alumno puede ofrecer información útil. Estos comentarios pueden ayudar al examinador a conceder un nivel de logro para el criterio K (valoración global). No escriba comentarios sobre circunstancias adversas personales que puedan haber afectado al alumno. En el caso en que el número de horas dedicadas a la discusión de la monografía con el alumno sea cero, debe explicarse este hecho indicando cómo se ha podido garantizar la autoría original del alumno. Puede adjuntar una hoja adicional si necesita más espacio para escribir sus comentarios.

La monografía es el resultado del esfuerzo del estudiante por comprender más a fondo un tema que sería fundamental en su futuro como piloto: la relación entre la forma del ala de un avión, la sustentación y la velocidad del mismo. Teniendo en cuenta que su padre es piloto, le resultó relativamente fácil acceder a fuentes confiables para su investigación.

Se reconoce el esfuerzo del estudiante dado que el tema no está incluido en el currículo de física del colegio y tampoco es una asignatura del programa de diploma, motivo por el cual su intensidad horaria es reducida.

El supervisor debe firmar esta declaración; de lo contrario, es posible que no se otorgue una calificación final.

He leído la versión final de la monografía, la cual será entregada al examinador.

A mi leal saber y entender, la monografía es el trabajo auténtico del alumno.

He dedicado  horas a discutir con el alumno su progreso en la realización de la monografía.

Firma del supervisor

Fecha:

## Formulario de evaluación (para uso exclusivo del examinador)

Criterios de evaluación	Nivel de logro					
	Examinador 1	Máximo	Examinador 2	Máximo	Examinador 3	
A Formulación del problema de investigación	0	2		2		
B Introducción	1	2		2		
C Investigación	0	4		4		
D Conocimiento y comprensión del tema	1	4		4		
E Argumento razonado	0	4		4		
F Aplicación de habilidades de análisis y evaluación apropiadas para la asignatura	0	4		4		
G Uso de un lenguaje apropiado para la asignatura	1	4		4		
H Conclusión	0	2		2		
I Presentación formal	1	4		4		
J Resumen	0	2		2		
K Valoración global	0	4		4		
Total (máximo 36)	4					

**¿DE QUÉ FORMA INFLUYE EL TIPO DE ALA DE UN AVIÓN EN LA SUSTENTACIÓN  
Y VELOCIDAD DE VUELO DEL MISMO?**

Proyecto de monografía para optar por el diploma IB

ASESOR:

FÍSICA

NUMERO DE PALABRAS: 3995



## RESUMEN

En este trabajo investigativo, se estará realizando una indagación acerca de que tanto afectan el tipo y la forma de ala de un avión en el vuelo del mismo. Para llevar a cabo esta, la investigación se usara el método deductivo el cual permite llegar a una conclusión luego de examinar múltiples pruebas.

Además de lo anterior se determinara por que un avión con ciertas especificaciones no puede tener un tipo de plano cualquiera sino que debe tener el que le corresponde para poder llevar a cabo el vuelo de la forma más segura posible. Lo que se busca con la monografía, es aclarar algunos estereotipos que se tienen en las sociedades actuales que en muchos casos afirman que todos los aviones son iguales lo cual está completamente erróneo. Así que se espera aclarar que ciertos mitos que se tienen acerca de este tema. Para ello se hará un enfoque en tres tipos de plano que representan tres diferentes medidas que ayudaran a comprender de una mejor forma lo anteriormente mencionado.

Los términos que se evaluaran en la investigación, son términos físicos que son de vital importancia al preguntarse acerca del vuelo de una aeronave. Estos términos son: sustentación, coeficiente de sustentación, tamaño del plano, velocidad aérea y densidad del aire.

En esta monografía se estarán evaluando múltiples pruebas que corroboren con los argumentos que se presentaran en las comparaciones que se harán a lo largo de la misma. Para ello se usaran diversas fuentes que sean confiables y que permitan un mejor entendimiento del tema, entre las que se encontraran ciertos libros que fueron hechos especialmente pensando en este tema por lo cual resultara bastante importante una lectura de los mismos.

Así pues se dará conclusión al trabajo investigativo analizando las pruebas y arrojando un resultado satisfactorio.

Numero de palabras: 298



## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>1.PRINCIPIO DE BERNOULLI</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ecuación de Bernoulli.....	5
<b>2.SUSTENTACIÓN</b> .....	<b>6</b>
2.1 borde de ataque .....	6
2.1 Área de baja presión .....	6
2.1 Área de alta presión .....	6
<b>3.TIPOS DE PLANOS</b> .....	<b>8</b>
3.1 Planos Convencionales.....	8
3.2 Ala tipo Delta.....	8
3.3 Biplano .....	8
<b>4.SUSTENTACIÓN DEPENDIENDO DEL PLANO</b> .....	<b>9</b>
2.1 Avión con planos convencionales.....	10
2.1 Avión de ala tipo Delta .....	13
2.1 Avión Biplano .....	15
2.1 Comparación.....	16
<b>5.VELOCIDAD DEPENDIENDO DEL PLANO</b> .....	<b>17</b>
2.1 Avión con planos convencionales.....	17
2.1 Avión de ala tipo Delta .....	18
2.1 Avión Biplano .....	18
2.1 Comparación.....	19
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>21</b>

## INTRODUCCIÓN

El término de aerodinámica, es el término dado a la rama de la mecánica de fluidos que estudia el movimiento de fluidos tales como el aire y un objeto sólido que está en contacto con este. Gracias a este estudio se ha determinado el por qué vuela un avión. Con la comprensión de esta rama se ha dado en concepto la explicación a como se ve la aerodinámica en los planos o alas de un avión.

Lo anteriormente mencionado tiene múltiples usos en la aeronáutica pero para este trabajo de investigación tipo monografía se ha decidido hablar de los principios básicos de la aerodinámica y su aplicación más fundamental en la sustentación de un avión en vuelo y con esto derivar a el segundo aspecto de este estudio que es la velocidad que puede tener una aeronave tipo avión gracias a la sustentación que sus planos puedan tener.

Para realizar lo mencionado anteriormente, se estudiarán tres tipos de planos que representan a las principales tipos de alas usadas en la industria aeronáutica, esto no significa que no se usen mas, pero para facilidad de manejo se hablara solo de estos tres, los cuales comprenden a los planos convencionales, los planos tipo Delta y los aviones biplanos. Cada uno representado en un tipo de avión correspondientemente.

Así pues para lograr entender esto, a lo largo del trabajo se realizarán operaciones matemáticas que servirán de sustento para demostrar cómo se aplican los principios físicos a la aviación universal.

## ¿DE QUÉ FORMA INFLUYE EL TIPO DE ALA DE UN AVIÓN EN LA SUSTENTACIÓN Y VELOCIDAD DE VUELO DEL MISMO?

### 1. PRINCIPIO DE BERNOULLI

El vuelo de un avión se produce gracias a un fenómeno que denominamos sustentación, fundamentalmente este fenómeno se explica con la aparición del teorema de Bernoulli.

“Daniel Bernoulli (1700-1782) fue un matemático, físico, filósofo, astrónomo y botánico nacido en Holanda que realizó varios estudios relacionados a la dinámica de fluidos”<sup>1</sup>, es decir al movimiento de un fluido. Entre sus trabajos más importantes, estuvo un trabajo fundamentado en la hidrodinámica en donde observaba el comportamiento de un fluido dependiendo de la presión, la velocidad y la densidad. Este experimento fue la base para lo que él denominó el teorema de Bernoulli. Este teorema lo que prácticamente nos dice es que cuando hay un fluido que es constante y continuo, aumenta su rapidez al pasar de una parte más ancha a una más angosta, esto sucede cuando hay una disminución de presión<sup>2</sup>. Bernoulli explicó mejor su teorema representado en una ecuación para lograr explicar matemáticamente lo que sucede al haber una alta presión sobre un fluido. La ecuación está representada de la siguiente manera:

$$P + \frac{1}{2} (\rho v^2) + \rho gh = \text{constante} \quad (1)$$

En donde:

$P$  = Presión estática.

$\rho$  = Densidad del fluido

$v$  = Velocidad del fluido

$g$  = Gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

$h$  = Altura sobre un nivel de referencia.

---

<sup>1</sup> N.A.(N.A).(visitado Mayo 25,2012) *Busca biografías*([www.buscabiografias.com](http://www.buscabiografias.com))

<sup>2</sup> Muños.M.A(N.A).(visitado marzo 20,2012) *Manual de vuelo* ([www.manualdevuelo.com](http://www.manualdevuelo.com))





Una de las aplicaciones del principio de Bernoulli también llamado teorema de Bernoulli, es la sustentación que producen las alas de los aviones.

De acuerdo a lo anterior podemos hacer referencia al vuelo de un avión porque para que un avión logre el vuelo y logre una sustentación requiere de ciertos componentes de los cuales se encargan las alas mejor conocidas como planos. Además para que el vuelo se dé, tiene que verse implicados todos los componentes que la ecuación de Bernoulli encierra.

## 2. SUSTENTACIÓN

Los planos son diseñados y colocados pensando especialmente en el avión que los va a utilizar ya que no todos los aviones tienen las mismas capacidades de vuelo ni el mismo desempeño.

Las alas o planos tienen un diseño que debe cumplir con tres aspectos fundamentales para poder producir la elevación.

El primero es que debe tener un borde de ataque, este es el nombre que se le da a parte delantera del plano, en otras palabras lo que se refiere a la superficie que primero está en contacto con el fluido de aire. Lo que hace este borde es partir el fluido en dos para que pase por dos áreas distintas y se pueda producir la elevación. (Ver imagen 1)

El segundo aspecto es el área de de baja presión, esta zona es también conocida como la parte superior del plano, aquí es donde hacemos referencia a el teorema de Bernoulli ya que en esta zona es donde mayor presión existe sobre el fluido, en el caso del vuelo es el aire, es también la zona por donde el aire pasa más rápido y sale por la parte trasera mucho más rápido. (Referirse a imagen 1)

Finalmente esta el área de alta presión, esta zona es la zona baja del ala y es donde se ejerce menos presión sobre el fluido por esta razón el aire fluye mucho más despacio que en la zona superior (área de baja presión) y sale después que la corriente de arriba. (Ver imagen 1)

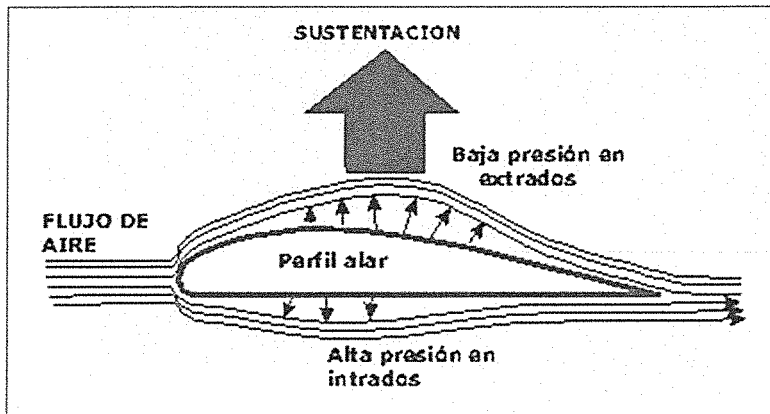


Imagen1

### Explicación de sustentación.

[http://yoreme.files.wordpress.com/2010/01/aerodinamica\\_fig10.jpg](http://yoreme.files.wordpress.com/2010/01/aerodinamica_fig10.jpg)

Teniendo estos tres aspectos claros, podemos hacer referencia una vez más a la ecuación de Bernoulli. El hecho de que nos diga que: “para producir la elevación del avión se necesita que haya un área de alta y baja presión” así pues podríamos afirmar que lo que se explica en el teorema de Bernoulli teóricamente se lleva a la práctica en los planos de los aviones, el área en donde hay menor presión es donde hay más velocidad del fluido y el área donde hay mayor presión es donde hay menor velocidad por lo que hace competencia referencia al teorema. Quedando así explicada la aplicación que tiene este teorema sobre la sustentación y la elevación de los aviones.

A partir de todo lo anteriormente mencionado, analizaremos qué relación existe entre la velocidad y la sustentación de ciertos aviones dependiendo de su tipo de plano que, como mencionábamos anteriormente todos son diferentes dependiendo del avión.

En el mundo existen diferentes tipos de planos para todos los modelos de aviones, existen planos grandes, pequeños, largos, cortos, anchos y delgados pero todos diseñados para un solo modelo de avión, cada uno tiene su avión único y especial. El hecho de que no lo veamos no quiere decir que todos los planos son iguales por ejemplo



el plano de un Jumbo Jet (BJ 747) es completamente diferente al de un avión de combate o una avioneta, no pueden ser iguales, aunque todos en si cumplen la misma función, producir la elevación del avión. Algunos de los componentes que podemos notar que son totalmente diferentes de avión a avión y que son fundamentales para el vuelo y que por esa razón no pueden ser iguales para todos, son la superficie alar, el coeficiente de sustentación y en general su forma, siendo la superficie alar el tamaño del ala con referencia a el área que posee y el coeficiente de sustentación que tiene que ver con su forma y que dependiendo de la misma varia de cada tipo de avión.

### **3. TIPOS DE PLANOS**

Teniendo en cuenta el gran numero de planos que pueden existir en el mundo, en este trabajo solo se hablara de tres tipos en especial, y luego de analizarlos se procederá a realizar una comparación entre los tres, para poder tener un buen rango de comparación, los tres tipos de planos de los que se ha decidido hablar en este trabajo son, planos convencionales, ala tipo Delta y aviones biplano siendo los convencionales los más normales que no son muy raros y que se ven a menudo en los aeropuertos, en otras palabras los planos que tienen los aviones cotidianos en los que montamos normalmente, los tipo Delta que son los que cuando se miran a simple vista tienen una forma triangular y parecen más que cualquier cosa una punta de flecha y los biplano, que son como su nombre lo indica lo que tienen dos planos en lugar de uno solo, este tipo de plano fue usado mucho en los comienzos de la aviación, este fue de los primeros diseños de planos que tuvo la humanidad y que hoy en día todavía se conservan.

De los anteriores tres tipos de planos, se hablara de 3 tipos de avión en específico uno para cada tipo de plano, primero, el avión que se ha elegido para un plano convencional es el avión 767 de la compañía Boeing, para el avión de plano Delta se estará hablando del avión europeo Concorde (avión supersónico) y finalmente para hablar de biplano se va a hacer referencia al avión monomotor PT 17. Cada uno dará un área de comparación dependiendo de su tipo de plano. Aunque en este punto se presenta un inconveniente ya que el avión PT 17 en un avión monomotor que no tiene cabina presurizada, es un avión que no puede ascender a más de 8,000 ft (ocho mil pies sobre el nivel del mar) mientras que el Concorde y el 767 vuelan a mas de 35,000ft (treinta y cinco mil pies sobre el nivel



del mar) por esta razón para darle continuidad a el trabajo investigativo “monografía”, se procederá a hacer la comparación entre el Boeing y el Concorde y se pasara a hacer una relación entre estos y el PT 17.

#### 4. SUSTENTACIÓN DEPENDIENDO DEL PLANO

Para poder entrar a analizar la sustentación que se produce a partir de los planos, hay que entra a hablar de un término que resulta clave para poder entender este comportamiento.

El término que hay que tener en cuenta, es el término “lift” que al traducirlo al castellano se refiere al término sustentación. La sustentación “es el fenómeno que se genera en una superficie alar (plano) debido a una diferencia de presiones bajo y sobre la misma”<sup>3</sup>. Este es el fenómeno que produce la elevación y que puede ser visto mucho mejor en la imagen numero 1. Este término puede ser expresado de una forma matemática con la ecuación de sustentación (2) con la cual se puede saber que tanto “lift” puede producir un cierto tipo de plano.

$$L = \frac{1}{2} R \times V^2 \times S \times CL \quad (2)^4$$

SIENDO:

$L$  = sustentación.

$R$  = densidad del aire.

$V$  = la velocidad del fluido

$S (A)$  = superficie alar.

$CL$  = coeficiente de sustentación.

Aunque con la ayuda de esta ecuación se puede hallar la sustentación que produce cada tipo de plano, primero, hay que encontrar los valores de cada uno de sus componentes,

---

<sup>3</sup> Bristow.G.V.(2002).*The technical pilot interview*.N.A:Mc Graw-Hill

<sup>4</sup> Bristow.G.V.(2002).*The technical pilot interview*.N.A:Mc Graw-Hill



es decir la velocidad, densidad, la superficie alar y el coeficiente de sustentación (que varían de avión en avión).

Como se estará trabajando una comparación entre dos tipos de planos, se va a estar hablando a su vez de valores “absolutos” es decir valores que no van a variar por que los componentes de estos serán iguales para ambos aviones. Este valor es: *la densidad del aire*. Para los otros tres valores (superficie alar, coeficiente de sustentación y velocidad del fluido) ya hay unos valores predeterminados que varían con el plano y su diseño.

#### 4.1 SUSTENTACIÓN AVIÓN PLANOS CONVENCIONALES

El 767 es un avión americano diseñado por la empresa Boeing principalmente para el transporte de pasajeros y el transporte de carga, (como se muestra en la página web de boeing) este avión es un modelo que tiene una autonomía de vuelo de 5621mn (millas náuticas) (10415km) y tiene una capacidad de pasajeros de hasta 375 dependiendo de las modificaciones que le hagan. Este avión, de planos convencionales, tiene una superficie alar de 283.2 m<sup>2</sup> en los mismos. Esta le permite tener un excelente desempeño en vuelo y causar uno de los vuelos más estables en comparación a otros aviones. Esta aeronave en su altura de crucero alcanza una velocidad máxima de 458.96 nudos (k) (850 km/h) y una altura máxima de 12192m lo que equivale a 40000ft sobre el nivel del mar<sup>5</sup>. Teniendo estos datos, podemos comenzar a encontrar la densidad del aire que tiene que soportar este avión y el coeficiente de sustentación que debe tener el mismo, además de la velocidad y final mente la sustentación. Ya conociendo estos datos lo que se pasa a hacer es calcularlos demás componentes de la ecuación entre los que están la densidad del aire, la velocidad del fluido, la superficie alar y el coeficiente de sustentación lo que aparecerá a continuación numerado del uno al cuatro (1-4).

1. Densidad el aire: para poder hallar la densidad del aire, se tiene en cuenta la altura a la que vuela el avión, ya que este vuela a una máxima de 40000 ft sobre el nivel del mar<sup>6</sup>, hay que localizar esta altura en la tabla de densidades creada por la ISA,

---

<sup>5</sup> N.A.(1995).(visitado septiembre 8,2012)Boeing(www.boeing.com)

<sup>6</sup> N.A.(1995).(visitado septiembre 8,2012)Boeing(www.boeing.es)

por sus siglas en ingles (international standar atmosphere) (tabla 1) para poder hallar la densidad que este tiene que soportar.

En el caso del B767, la densidad que soporta volando a una altura de 40000ft en de  $0.2462 \text{ kg/m}^3$

ALTITUDE (Feet)	TEMP. (°C)	PRESSURE			PRESSURE RATIO $\delta = P/P_0$	DENSITY $\alpha = \rho/\rho_0$	Speed of sound (kt)	ALTITUDE (meters)
		hPa	PSI	In Hg				
40 000	- 56.5	188	2.72	5.54	0.1851	0.2462	573	12 192
39 000	- 56.5	197	2.58	5.81	0.1942	0.2583	573	11 887
38 000	- 56.5	206	2.99	6.10	0.2038	0.2710	573	11 582
37 000	- 56.5	217	3.14	6.40	0.2138	0.2844	573	11 278
36 000	- 56.3	227	3.30	6.71	0.2243	0.2981	573	10 973
35 000	- 54.3	238	3.46	7.04	0.2353	0.3099	576	10 668
34 000	- 52.4	250	3.63	7.38	0.2467	0.3220	579	10 363
33 000	- 50.4	262	3.80	7.74	0.2586	0.3345	581	10 058
32 000	- 48.4	274	3.98	8.11	0.2709	0.3473	584	9 754
31 000	- 46.4	287	4.17	8.49	0.2837	0.3605	586	9 449
30 000	- 44.4	301	4.36	8.89	0.2970	0.3741	589	9 144
29 000	- 42.5	315	4.57	9.30	0.3107	0.3881	591	8 839
28 000	- 40.5	329	4.78	9.73	0.3250	0.4025	594	8 534
27 000	- 38.5	344	4.99	10.17	0.3398	0.4173	597	8 230
26 000	- 36.5	360	5.22	10.63	0.3552	0.4325	599	7 925
25 000	- 34.5	376	5.45	11.10	0.3711	0.4481	602	7 620
24 000	- 32.5	393	5.70	11.60	0.3876	0.4642	604	7 315
23 000	- 30.6	410	5.95	12.11	0.4046	0.4806	607	7 010
22 000	- 28.6	428	6.21	12.64	0.4223	0.4976	609	6 706
21 000	- 26.6	446	6.47	13.18	0.4406	0.5150	611	6 401
20 000	- 24.6	466	6.75	13.75	0.4595	0.5328	614	6 096
19 000	- 22.6	485	7.04	14.34	0.4791	0.5511	616	5 791
18 000	- 20.7	506	7.34	14.94	0.4994	0.5699	619	5 406
17 000	- 18.7	527	7.65	15.57	0.5203	0.5892	621	5 182
16 000	- 16.7	549	7.97	16.22	0.5420	0.6090	624	4 877
15 000	- 14.7	572	8.29	16.89	0.5643	0.6292	626	4 572
14 000	- 12.7	595	8.63	17.58	0.5875	0.6500	628	4 267
13 000	- 10.8	619	8.99	18.29	0.6113	0.6713	631	3 962
12 000	- 8.8	644	9.35	19.03	0.6360	0.6932	633	3 658
11 000	- 6.8	670	9.72	19.79	0.6614	0.7156	636	3 353
10 000	- 4.8	697	10.10	20.58	0.6877	0.7385	638	3 048
9 000	- 2.8	724	10.51	21.39	0.7148	0.7620	640	2 743
8 000	- 0.8	753	10.92	22.22	0.7428	0.7860	643	2 438
7 000	+ 1.1	782	11.34	23.09	0.7716	0.8106	645	2 134
6 000	+ 3.1	812	11.78	23.98	0.8014	0.8359	647	1 829
5 000	+ 5.1	843	12.23	24.90	0.8320	0.8617	650	1 524
4 000	+ 7.1	875	12.69	25.84	0.8637	0.8881	652	1 219
3 000	+ 9.1	908	13.17	26.82	0.8962	0.9151	654	914
2 000	+ 11.0	942	13.67	27.82	0.9298	0.9428	656	610
1 000	+ 13.0	977	14.17	28.86	0.9644	0.9711	659	305
0	+ 15.0	1013	14.70	29.92	1.0000	1.0000	661	0
- 1 000	+ 17.0	1050	15.23	31.02	1.0366	1.0295	664	- 305

Tabla1<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Airbus.(2000).Getting to grips with aircraft performance. Blagnac. N.A.

2. Velocidad del fluido: para hallar la velocidad del fluido es decir la velocidad del aire en vuelo, se necesita encontrar una medida de velocidad llamada TAS por sus siglas en ingles ( true air speed) la cual requiere de la velocidad indicada es decir la velocidad que puede alcanzar el avión ( 850km/h) mas la ecuación del TAS (3) que se expresa como:

$$TAS = IAS (1 + 2\% \text{cada } 1000ft)^8 \quad (3)$$

Donde:

$IAS$  = Velocidad indicada y teniendo en cuenta que 1 nudo (K) es equivalente a  $0.51445 \text{ m/s}$

Así que la velocidad a la que realmente vuela el Boeing 767 es de:

$$TAS = 458.96 \text{ k} (1 + 2\% \text{ de } 40)$$

$$TAS = 458.96 \text{ k} (1.08)$$

$$TAS = 494 \text{ k}$$

Teniendo claro esto, podemos ya representar la verdadera velocidad en la ecuación de sustentación (2).

3. La superficie alar, es la superficie en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ ) que mide el plano, cuando se miran las especificaciones del avión, estas nos dicen que su superficie alar es de  $283.2 \text{ m}^2$  por lo que ya podemos utilizar este valor en la ecuación de sustentación (2).
4. El coeficiente de sustentación: se entiende como "la habilidad que tiene una determinada ala para producir sustentación, esta depende de dos cosas tanto de la forma del ala como de la sección de la misma"<sup>9</sup>. el coeficiente en otras palabras da un valor numérico que representa la cantidad de sustentación que dicho avión

---

<sup>8</sup> Martinez.J.F.(1996).*Manual del instructor y técnicas de instrucción 11-217*.N.A:N.A.

<sup>9</sup> Bristow.G.V.(2002).*The technical pilot interview*.N.A:Mc Graw-Hill

puede tener. Cada avión tiene su propio coeficiente de sustentación que esta dado por la compañía que lo creo es decir que ya esta predicho. En el caso de Boeing 767 el coeficiente de sustentación es de:  $0.53m^2$ <sup>10</sup>

Teniendo estos cuatro elementos anteriormente encontrados, podemos entrar a determinar qué tanta sustentación produce el ala del avión Boeing 767:

$$L = \frac{1}{2} R \times V^2 \times S \times CL$$
<sup>11</sup>

$$L = \frac{1}{2} (0.2462 \text{ kg/m}^3) \times (494k)^2 \times 283.2m^2 \times 0.53m^2$$

$$L = (0.1231 \text{ kg/m}^3) \times 24403k \times 283.2m^2 \times 0.53m^2$$

$$L = 4509008.66(N)$$

La anterior es la sustentación que producen estos planos, este es el dato que usaremos para hacer la posterior comparación entre ente avión americano y el siguiente avión ala tipo Delta.

## 4.2 SUSTENTACIÓN AVIÓN PLANO DELTA

El Concorde, fue un avión inventado, diseñado y construido por dos compañías europeas llamadas British aerospace (BAe) y Aerospatale de Gran Bretaña y Francia respectivamente, la meta de estas dos compañías al fusionarse, era crear una aeronave capaz de sobrepasar la velocidad del sonido y de esa forma poder acortar distancias al igual que tiempo. En marzo de 1969 lo lograron, crearon un avión supersónico al cual denominaron Concorde. El diseño del Concorde, es un diseño muy peculiar, ya que cuando vuela se ve como una flecha debido a sus alas que son triangulares que le

---

<sup>10</sup> Lednicer.D.(2003).(visitado septiembre 9,2012) *The Incomplete Guide to Airfoil Usage* (www.southampton.ac.uk.)

<sup>11</sup> Carmona,A.I.(2004).*aerodinámica y actuaciones del avión*.Madrid:THOMSON





permiten alcanzar velocidades de hasta 2 Mach (dos veces la velocidad del sonido). Estas alas tienen una superficie alar de  $358.22\text{m}^2$  la cual está dividida en su forma triangular que le permite alcanzar las altas velocidades a las que vuela. La altura máxima a la que este avión vuela es de  $50000\text{ft}$  pero también puede tener una altura de  $40000\text{ft}$ <sup>12</sup> al igual que el Boeing 767 pero desempeñarse mucho más rápido.

Del mismo modo que con el avión anterior se hará un estudio que compone cuatro aspectos para poder encontrar la sustentación de este aparato. De la misma forma que en el caso anterior estarán numeradas de a uno a la cuatro.

1. Densidad el aire: esta densidad está dada por la ISA (internacional estandar atmosphere) que nos permite hallar la densidad el aire al mirar la altura a la que vuela el avión. Ya que este avión vuela una altura de  $40000\text{ft}$ , nos referimos a la tabla (ver tabla1) y nos podemos dar cuenta que la densidad que soporta este avión es de  $0.2462\text{kg}/\text{m}^3$ . Al igual que el Boeing 767.
2. Velocidad del fluido: teniendo en cuenta que la velocidad a la que vuela este avión es de 2Mach, se deduce que:

$$1\text{mach} \rightarrow 661\text{ k}$$

$$2\text{mach} \rightarrow x$$

$$x = 1322\text{ k}$$

Esa es la velocidad verdadera a la que vuela ese avión, es decir que el TAS para el Concorde es de:

$$TAS = 1322\text{ k} (1 + 2\% \text{ de } 40)$$

$$TAS = 1322\text{ k} (1.08)$$

$$TAS = 1427.76\text{ k}$$

3. La superficie alar que posee este avión como se menciono antes es de  $358.22\text{ m}^2$  es decir que esto es lo que mide el plano de este avión.

---

<sup>12</sup> Meriño.E.E.(2003).(visitado septiembre 22,2012) *el hangar colombiano*([www.themerinos.com](http://www.themerinos.com))



4. Coeficiente de sustentación: este coeficiente ya está dado por las compañías creadoras las cuales nos dicen que el coeficiente de sustentación es de  $0.1228m^2$ <sup>13</sup>

Así que:

$$L = \frac{1}{2} R \times V^2 \times S \times CL$$

$$L = \frac{1}{2} (0.2462 \text{ kg/m}^3) \times 1427.76 \text{ k}^2 \times 358.22 \text{ m}^2 \times 0.1228 \text{ m}^2$$

$$L = (0.1231 \text{ kg/m}^3) \times 2038327.2 \text{ k} \times 358.22 \text{ m}^2 \times 0.1228 \text{ m}^2$$

$$L = 11037739.73 \text{ (N)}$$

Quiere decir que el Concorde tiene esta sustentación, quedando así determinada esta podemos pasar a hacer la comparación entre estos dos aviones (B767 y Concorde).

#### 4.3 SUSTENTACIÓN AVIÓN BIPLANO

La PT-17 fue de los primeros aviones que existieron en el mundo, su principal propósito, fue ser utilizado para la primera guerra mundial pero pronto se quedó atrás y salió de producción y de servicio. Los pocos aviones que aun existen de este tipo, son aviones insignias o aviones de recreación para personas que no tienen experiencia volando, ya que es un avión que no tiene cabina cerrada, no es presurizado, por lo que no puede ascender a más de 15000ft por seguridad de sus tripulantes, además es un avión que tiene una velocidad máxima de 142 nudos (k)<sup>14</sup> y cuenta con una superficie alar de 27.7 (m<sup>2</sup>)<sup>15</sup>. A continuación se realizarán los cálculos de sustentación para este avión pero primero hay que encontrar cuatro componentes que serán enumerados a continuación.

1. Densidad del aire: si nos remitimos a la tabla creada por la ISA (referirse a tabla1), nos damos cuenta que este avión a su altura máxima (15000ft) soporta una densidad de  $0.6292 \text{ kg/m}^3$ .

---

<sup>13</sup> N.A.(1995).(visitado septiembre 8,2012)Boeing([www.boeing.com](http://www.boeing.com))

<sup>14</sup> N.A.(N.A.)(visitado septiembre 23,2012)Fuerza aérea Colombiana([www.fac.mil.co](http://www.fac.mil.co))

<sup>15</sup> N.A.(N.A.)(visitado septiembre 23,2012)Fuerza aérea Colombiana([www.fac.mil.co](http://www.fac.mil.co))

2. Velocidad del fluido: la velocidad se tiene que calcular con la ecuación del TAS y quedaría de la siguiente manera:

$$TAS = 142k (1 + 2\% \text{ de } 15)$$

$$TAS = 142k (1.03)$$

$$TAS = 146.26k$$

Esta es la velocidad máxima y verdadera que tiene la PT17.

3. Superficie alar: la superficie alar como se había mencionado anteriormente es de  $27.7m^2$
4. Coeficiente de sustentación: en el caso de la PT17 es de  $cl = 0.2990m^2$

Así que:

$$L = \frac{1}{2} \rho \times V^2 \times S \times CL$$

$$L = \frac{1}{2} (0.6292 \text{ kg}/m^3) \times 146.26k^2 \times 27.7m^2 \times 0.2990m^2$$

$$L = (0.3146 \text{ kg}/m^3) \times 21391.98k \times 27.7m^2 \times 0.2990m^2$$

$$L = 55739.210(N)$$

De esta forma encontramos la sustentación de este avión para luego poder hacer la relación entre este y los otros dos.

#### 4.4 COMPARACIÓN:

Cuando miramos la sustentación que posee el avión Boeing 767, es considerablemente menor a la que posee el Concorde ya que como se puede notar esta es equivalente a  $4509008.66(N)$  mientras que la del Concorde es de  $11037739.73(N)$ , pero claro está que de esta depende la velocidad, el avión de ala Delta tiene mucha sustentación, debido a su plano tan grande y más que grande ancho que a su vez es el encargado de darle su forma Delta. Pero es una aeronave diseñada para vuelos rápidos, es por esta razón



cuando este avión comienza su proceso de aproximación y aterrizaje, no puede disminuir su velocidad ya que la sustentación que sus alas producen no alcanzan a mantener la estabilidad de este avión, esto se debe a que cuando el avión está en aproximación no hay tanta cantidad de fluido pasando sobre el plano es decir que no hay la cantidad de flujo laminar actuando en el avión lo que puede causar que el avión entre en pérdida. Esto nos indica que el avión no puede sostener a bajas velocidades. Mientras que el Boeing 767 como es un avión diseñado para mantenerse a una velocidad normal entre los estándares y que puede aterrizar con una velocidad menor en una pista, está diseñado para mantener tanto velocidades altas como bajas y la sustentación que poseen sus planos son ideales para este propósito, y el diseño que tienen sus planos son adecuados para permitirle al avión llegar a velocidades mínimas sin entrar en pérdida como pasaría con el Concorde.

## 5. VELOCIDAD DEPENDIENDO DEL PLANO:

Para poder hallar la velocidad que puede mantener una aeronave dependiendo de su plano, se utiliza una ecuación diseñada específicamente con este propósito. Esta es la ecuación de velocidad (4).

$$v = \left[ \frac{(L \times 2)}{(C_L \times R \times S)} \right] \times \frac{1}{2} \quad ^{16}$$

Para esta se tienen en cuenta ciertos componentes al igual que con la de sustentación. Entre ellos están la sustentación, el coeficiente de sustentación, la superficie alar y la densidad del aire dependiendo de la altura en la que se encuentre el avión.

### 5.1 Velocidad del plano convencional:

Teniendo en cuenta los datos usados en la parte referida a la sustentación del avión de planos convencionales (B767), podemos utilizar los mismos para darle solución a esta ecuación (4).

---

<sup>16</sup> Lavallo, L.(N.A.)(visitado junio 20,2012)hangar 57([www.hangar57.com](http://www.hangar57.com))

$$v = \left[ \frac{(L \times 2)}{(CL \times R \times S)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = \left[ \frac{(4509008.66(N) \times 2)}{(0.53m^2 \times 0.2462kg/m^3 \times 283.2m^2)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = 122018k$$

Que la velocidad que puede soportar este plano convencional, es de 122018k para crear a su vez un vuelo estable.

### 5.2 VELOCIDAD PLANO TIPO DELTA:

Al igual que en el anterior se utilizan los datos encontrados en la sección sustentación ala Delta (Concorde) y se procede a solucionar la ecuación (4).

$$v = \left[ \frac{(L \times 2)}{(CL \times R \times S)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = \left[ \frac{(11037739.73(N) \times 2)}{(0.1228m^2 \times 0.2462kg/m^3 \times 358.22m^2)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = 1019163.6k$$

Esta es la velocidad que este avión puede soportar.

### 5.3 VELOCIDAD BIPLANO:

$$v = \left[ \frac{(L \times 2)}{(CL \times R \times S)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = \left[ \frac{(5579.210(N) \times 2)}{(0.2990m^2 \times 0.6292kg/m^3 \times 27.7m^2)} \right] \times \frac{1}{2}$$

$$v = 1070.61k$$

Esta es la velocidad máxima que pueden soportar estos planos que utiliza este monomotor para generar su sustentación.



#### 5.4 COMPARACIÓN:

Al igual que se explicaba en la sustentación el Concorde logra alcanzar una mayor velocidad soportable y verdadera, como se denoto anteriormente esta aeronave alcanza velocidades de hasta  $1019163.6k$  es decir que sus planos no se van a partir en el momento en que una velocidad como esta sea alcanzada. Esto, debido a que la forma de flecha le da un ala más delgada y que corta el fluido (aire) con mayor facilidad causando así un aumento de velocidad de fluido tanto en el área de baja presión como en el área de alta presión. Esto causa que el avión no tenga tanta resistencia al avance y genera un desplazamiento a mayores velocidades.

Pero el 767 no logra llegar a tan alta velocidad. Como nos damos cuenta llega a escasos  $122018k$  (que al compararlo con la velocidad que alcanza el Concorde es muy baja) Todo tiene que ver con el diseño que estos planos proponen. Los planos del 767 son planos largos más no delgados, esto genera que los mismos no fragmenten el aire igual que los Delta si no que en algunos casos se interrumpe esto y se genera una resistencia al avance fuerte que causa una disminución de velocidad y conlleva a un avance más lento pero más estable. También esta velocidad tiene que ver con el empuje de los motores y la aceleración que estos producen pero cada motor a su vez está diseñado para cada plano. Así que todo se resume en la forma de los planos.

## CONCLUSIÓN

De los resultados que este trabajo investigativo arrojó, podemos concluir que:

Los aviones convencionales llegan a tener un mejor desempeño al momento de volar ya que sus planos están capacitado para llegar a bajas velocidades y también a altas y la sustentación que estos ejercen logran que la aeronave, en este caso el 767 se logre mantener en vuelo sin ningún inconveniente esencialmente al momento de hacer una aproximación y un posterior aterrizaje. Esto facilita y economiza el costo operacional de este avión ya que tiene la facilidad de llegar a casi cada aeropuerto del mundo sin necesidad de una infraestructura muy elaborada. Esto se debe a que su sustentación le permite alcanzar velocidades mínimas para entrar a aeropuertos que no tiene pistas muy largas

Los aviones con ala tipo Delta, aunque son muy veloces y tienen una buena sustentación, requieren de una mayor velocidad para ejercerla, es decir que sus planos no están listos para llevarlo a velocidades bajas y poder mantener un vuelo estable a la vez, en este caso se crea y una relación entre velocidad y sustentación, cuando el avión tiene una gran velocidad, tiene una excelente sustentación pero cuando llega a velocidades bajas no. Es por esta razón que aviones como el Concorde solo podían entrar a aeropuertos que tuviesen pistas realmente largas como lo son el JFK de Nueva York o el Charles de Gaulle CDG en París, porque al momento de aterrizar llevaba velocidades verdaderamente altas y requería de mas espacio de frenado todo porque sus alas no le permitían tener una sustentación favorable a altas velocidades. Esto genera un aumento en el costo operacional y genera un disgusto en los consumidores globales.



## BIBLIOGRAFÍA

Airbus. (2000). *Getting to grips with aircraft performance*. Blagnac. N.A.

Bristow.G.V. (2002). *The technical pilot interview*. N.A:Mc Graw-Hill

Carmona,A.I.(2004). *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Madrid: THOMSON

Lavalle,L. (N.A). *Hangar 57* .Disponible en: [www.hangar57.com](http://www.hangar57.com)

Lednicer.D. (2003). *The Incomplete Guide to Airfoil Usage*. Disponible en: [www.southampton.ac.uk](http://www.southampton.ac.uk).

Martinez.J.F. (1996). *Manual del instructor y técnicas de instrucción 11-217*.N.A:N.A.

Meriño.E.E. (2003). *El hangar colombiano*. Disponible en: [www.themerinos.com](http://www.themerinos.com)

Muños.M.A. (N.A). *Manual de vuelo*. Disponible en: [www.manualdevuelo.com](http://www.manualdevuelo.com)

N.A. (1995). *Boeing*. Disponible en: [www.boeing.com](http://www.boeing.com)

N.A. (1995). *Boeing*. Disponible en: [www.boeing.es](http://www.boeing.es)

N.A. (N.A). *Fuerza aérea Colombiana*. Disponible en: [www.fac.mil.co](http://www.fac.mil.co)