

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR TIPO TÚNEL DE  
VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA  
MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE  
Y”**

**POR:**

**CEVALLOS CRUZ LUIS CARLOS**

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del  
Título de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el A/C LUIS CARLOS CEVALLOS CRUZ, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA – MENCIÓN MOTORES.

---

Ing. Wilson Vinueza

Latacunga, Febrero del 2011

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado está dedicado a todas las personas que siempre confiaron en mí; brindándome su cariño y apoyo incondicional en los momentos que más los necesitaba, dándome así fuerzas para seguir adelante con mi sueño.

De manera especial a mis padres y abuela; Francisco Cevallos, Mónica Cruz, Zoilita Betancourt, quienes han sido el pilar principal de mi vida por el gran esfuerzo, sacrificio y paciencia que han tenido conmigo, permitiéndome cumplir con el objetivo de culminar mi carrera profesional.

A mi hermano, quienes con su inocencia y compañía diaria me llenaron de entusiasmo y muchas ganas de seguir por el largo camino, sin decaer y cumplir así mis más grandes propósitos.

A mi novia, quien con su cariño y apoyo me ha dado la fortaleza para continuar en todo momento de la mejor manera, sin importar las dificultades que tuve que afrontar.

Finalmente a mis amigos, profesores y todas las personas que de una u otra manera han sido parte de este proceso educativo; ya sea con su confianza, apoyo, intelecto, etc.

**Luis Carlos Cevallos Cruz**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más profundo y sincero agradecimiento a Dios por su bendición y existencia en este mundo, a mis padres, hermano, familiares y amigos; que con su ayuda y apoyo fueron la guía en el sendero de mi carrera.

Al prestigioso “Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico” y a sus docentes por sus valiosos conocimientos; además de brindarme la oportunidad de dar mis primeros pasos en el apasionante, interesante e inigualable mundo de la aviación.

Y de manera muy especial a mi director de tesis, ya que con sus amplios conocimientos supo dirigirme de la mejor manera para la realización de este proyecto.

**Luis Carlos Cevallos Cruz**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	i
Certificación del director del trabajo de graduación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Resumen.....	xv
Summary.....	xvi

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos:.....	3
1.4. Alcance.....	3

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos Aerodinámicos.....	4
2.1.1. Aerodinámica.....	4
2.1.1.1. Teorema de Bernoulli.....	5
2.1.1.2. Efecto Venturi.....	6
2.1.1.3. Tercera ley de Newton.....	6
2.1.2. Perfiles aerodinámicos.....	7

2.1.2.1.	Secciones de un perfil .....	7
2.1.2.2.	Distribución de presiones .....	8
2.1.2.3.	La pérdida.....	9
2.1.2.3.1.	Capa laminar y capa turbulenta.....	10
2.1.2.3.2.	Diseños que atenúan la pérdida .....	13
2.2.	Túneles de viento.....	15
2.2.1.	Definición .....	15
2.2.2.	Tipos de túneles de viento .....	16
2.2.3.	Partes de un túnel de viento .....	16
2.2.3.1.	Cámara establecimiento .....	16
2.2.4.	Cono de la reducción .....	17
2.2.4.1.	Sección de Prueba .....	17
2.2.4.2.	Difusor .....	17
2.2.4.3.	Sección de paseo .....	17
2.3.	Componentes electrónicos.....	17
2.3.1.	Visualizador .....	17
2.3.2.	Sensores de presión de aire .....	18
2.3.3.	Pulsadores eléctricos.....	18
2.3.4.	Fuente de poder .....	19
2.3.5.	Servomotor .....	19
2.4.	Software “SolidWorks 2010” .....	20

**CAPÍTULO III**  
**DESARROLLO DEL TEMA**

3.1.1.	Descripción de alternativas.....	23
3.1.1.1.	Primera alternativa .....	23

3.1.1.2. Segunda alternativa.....	23
3.1.2. Análisis de factibilidad.....	24
3.1.2.1 Análisis de la primera alternativa .....	24
3.1.2.2. Análisis de la segunda alternativa .....	25
3.1.3. Estudio de parámetros.....	25
3.1.3.1 Funcionalidad: .....	26
3.1.3.2 Mantenimiento: .....	26
3.1.3.3 Proceso de adaptación: .....	26
3.1.3.4 Fiabilidad: .....	26
3.1.3.5 Costo de construcción: .....	26
3.1.3.6 Forma: .....	26
3.1.3.7 Tamaño:.....	27
3.1.4 Evaluación de parámetros .....	27
3.1.5 Selección de la mejor alternativa .....	28
3.2. Diseño.....	29
3.2.1. Programas de diseño 3D (SOLIDWORKS 2010).....	29
3.2.2. Programa de simulación (SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 2010) .....	30
3.2.3. Análisis Aerodinámico.....	30
3.2.3.1 Velocidad aerodinámica.....	30
3.2.3.2 Caudal.....	31
3.2.3.3 Densidad.....	31
3.2.3.3.1. Densidad absoluta.....	32
3.2.3.3.2. Densidad relativa.....	32
3.2.3.4. Ecuación de continuidad.....	33
3.2.3.5. Número de Reynolds.....	34
3.2.3.5.1.1. Flujo Laminar .....	34

3.2.3.5.1.2. Flujo Turbulento .....	35
3.2.3.6. Presión .....	35
3.2.3.6.1. Presión atmosférica.....	36
3.2.3.6.2. Presión dinámica.....	36
3.2.3.6.3. Presión total.....	37
3.2.4. Pesos de los componentes.....	37
3.2.5. Resultados del estudio.....	38
3.3. Construcción .....	40
3.3.1. Descripción del túnel de viento .....	40
3.3.1.1. Partes principales del soporte .....	41
3.3.1.2. Orden de construcción .....	41
3.3.1.2.1. Estructura base .....	42
3.3.1.2.2. Ducto de entrada.....	43
3.3.1.2.3. Ala .....	45
3.3.1.2.4. Ducto de salida.....	48
3.3.1.2.5. Ensamblaje y acabado .....	49
3.3.1.3. Elementos no construidos .....	51
3.4. Diagramas de procesos y diagrama de ensamblaje .....	52
3.4.1. Diagramas de procesos.....	53
3.4.1.1. Estructura base .....	53
3.4.1.2. Ducto de entrada.....	55
3.4.1.3. Ala .....	56
3.4.1.4. Ducto de salida de aire.....	57
3.4.2. Diagrama de ensamblaje.....	58
3.5. Pruebas y análisis de resultados.....	59
3.6. Documento de aceptación del usuario.....	60

3.7. Manuales .....	60
3.7.1. Manual de seguridad .....	60
3.7.2. Manual de operación .....	60
3.7.3. Manual de mantenimiento.....	61

## **CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO**

4.1. Presupuesto.....	62
4.2. Análisis económico .....	62
4.2.1. Materiales y accesorios .....	63
4.2.2. Maquinaria y herramientas .....	64
4.2.3. Mano de obra.....	65
4.2.4. Otros.....	65
4.3. Costo total del proyecto de grado .....	66

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones .....	67
5.2. Recomendaciones .....	68
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>70</b>
<b>SIGLAS .....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Matriz de evaluación .....	27
Tabla 3.2. Matriz de decisión .....	28
Tabla 3.4. Peso de los componentes del simulador usando SolidWorks. 38	
Tabla 3.5. Simbología empleada en los diagramas .....	52
Tabla 3.6. Datos comparativos de los resultados obtenidos.....	59
Tabla 4.1. Materiales y accesorios .....	63
Tabla 4.2. Maquinaria y herramientas.....	64
Tabla 4.3. Mano de obra.....	65
Tabla 4.4. Otros.....	65
Tabla 4.5. Costo total del proyecto de grado.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Teorema de Bernoulli.....	6
Fig. 2.2. Efecto Venturi .....	6
Fig. 2.3. Perfil alar.....	7
Fig. 2.4. Presiones en las superficies de las alas .....	9
Fig. 2.6. Flujo laminar vs. Flujo turbulento .....	11
Fig. 2.7. Entrada en pérdida.....	11
Fig. 2.8. Capa límite.....	12
Fig. 2.9. Ala “ordinaria” y de flujo laminar .....	14
Fig. 2.10. Partes de un túnel de viento .....	16
Fig. 2.11. Visualizador .....	18
Fig. 2.12. Sensor de presión de aire .....	18
Fig. 2.13. Pulsador eléctrico .....	19
Fig. 2.14. Fuente de poder.....	19
Fig. 2.15. Servomotor .....	20
Fig. 2.16. Interfaz de usuario SolidWorks 2010 .....	21
Fig. 3.1. Visualización de flujo en turbocompresor.....	30
Fig. 3.2. Dispositivo que fluye vapor o gas. ....	33
Fig. 3.3. Simulador ensamblado mallado y presentación de presiones ...	39
Fig. 3.4. Presión dinámica .....	39
Fig. 3.5. Presión total del simulador.....	40
Fig. 3.2 Descripción del simulador .....	41
Fig. 3.3. Trazado y corte de la estructura base.....	42
Fig. 3.4. Soldado de la estructura base .....	43
Fig. 3.5. Ventilador y protector .....	43

Fig. 3.6.Protector del ducto de entrada.....	44
Fig. 3.7.Protector del ducto de entrada.....	44
Fig. 3.8. Cono de reducción.....	45
Fig. 3.9. Malla difusora.....	45
Fig. 3.10. Trazado y corte de la estructura alar.....	46
Fig. 3.11. Grapado y montaje de sensores en la estructura alar .....	46
Fig. 3.12 .Montaje de los sensores de presión de aire.....	47
Fig. 3.13. Sellado de la estructura alar .....	47
Fig. 3.14. Eje del ala .....	48
Fig. 3.15. Montaje del ala.....	48
Fig. 3.16. Ducto de salida .....	49
Fig. 3.17. Ensamblaje del simulador .....	49
Fig. 3.18. Utilización del disco de pulir.....	50
Fig. 3.19. Pintado de partes del túnel de viento .....	50
Fig. 3.20. Montaje de componentes eléctricos.....	51
Fig. 3.19. Diagrama de procesos de la estructura base (1/2) .....	53
Fig. 3.20. Diagrama de procesos de la estructura base (2/2) .....	54
Fig. 3.21. Diagrama de procesos del ducto de entrada .....	55
Fig. 3.22. Diagrama de procesos del ala .....	56
Fig. 3.23. Diagrama de procesos del ductos de salida .....	57
Fig. 3.24 Diagrama de ensamblaje .....	58

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	Planos
<b>ANEXO B</b>	Manuales
<b>ANEXO B1</b>	Manual de seguridad
<b>ANEXO B2</b>	Manual de operación
<b>ANEXO B3</b>	Manual de mantenimiento
<b>ANEXO C</b>	Anteproyecto del trabajo de graduación
<b>ANEXO D</b>	ARMFIELD
<b>ANEXO E</b>	Especificaciones del motor
<b>ANEXO F</b>	Diagrama eléctrico
<b>ANEXO G</b>	Estudio estático del simulador en Solidworks Simulation 2010
<b>ANEXO H</b>	Gráficas de resultados obtenidas en el estudio en Solidworks Simulation
<b>ANEXO I</b>	Resultados obtenidas en el estudio en Solidworks Simulation
<b>ANEXO J</b>	Normalización Internacional

## RESUMEN

El objetivo principal de Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ITSA, es formar profesionales aeronáuticos en el país. Cuenta con carreras como Mecánica Aeronáutica, mención Motores y mención Aviones, Telemática, Logística y Transportes, Electrónica mención Instrumentación, Aviónica y Ciencias de la Seguridad mención Aérea y Terrestre.

El presente proyecto se realizó con el fin de aportar con al conocimiento teórico-práctico de la comunidad científica del ITSA; es decir a sus estudiantes, docentes, administrativos, técnicos, etc. Se planteó dos alternativas de acuerdo al criterio, análisis económico, eficiencia, para luego seleccionar la mejor. La construcción del proyecto está basada en un estudio que se realizó con la ayuda de un software informático (SolidWorks 2010), que permitió la selección correcta de materiales, verificación de diseño, factibilidad y simulación.

Sin duda el simulador, brindará las respectivas facilidades para la realización prácticas aerodinámicas, que antes se encontraban limitadas por no contar con el mismo. La integración del simulador será de gran utilidad y motivación para los estudiantes, ya que todavía existe una serie de bancos de pruebas que están destinados a esa área en específico.

## SUMMARY

The main objective of Institute Technological Aeronautical Superior ITSA, is to form Aeronautical professionals in the country. It has careers like aeronautical Mechanics, mention Motors and mention Airplanes, Telematic, Logistics and Transports, Electronic mention Instrumentation, Aviónica and Sciences of the Security Air and Terrestrial mention.

The present project was carried out with the purpose of contributing with to the theoretical-practical knowledge of the scientific community of the ITSA; that is to say to their students, educational, administrative, technicians, etc. thought about two alternatives according to the approach, economic analysis, efficiency, stops then to select the best. The construction of the project is based on a study that was carried out with the help of a computer software (SolidWorks 2010) that allowed the correct selection of materials, design verification, feasibility and simulation.

Without a doubt the pretender, will offer the respective facilities for the realization aerodynamic practices that before were limited by not having the same one. The integration of the pretender will be of great utility and motivation for the students, since still a series of banks of tests that you/they are dedicated to that area in specific exists.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Antecedentes**

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA) ubicado en la provincia de Cotopaxi, ciudad de Latacunga; es la cuna de formación de profesionales aeronáuticos en el país. Con excelencia, ha venido desarrollando esta actividad a raíz de su creación, allá por Noviembre de 1999, desde ese entonces hasta la actualidad, ha entregado al campo técnico aeronáutico ecuatoriano, profesionales civiles y militares en las áreas de: Mecánica Aeronáutica, mención Motores y mención Aviones, Telemática, Logística y Transportes, Electrónica mención Instrumentación y Aviónica y Ciencias de la Seguridad mención Aérea y Terrestre; todo con un alto nivel académico y grandes valores que los ha convertido en líderes en los medios donde se desempeñan.

El profesional graduado en el ITSA, en la carrera de Mecánica Aeronáutica estará en capacidad de realizar distintos tipos de mantenimiento a las Aeronaves según su habilitación legal; por lo cual la Institución se ha empeñado en emprender un mejoramiento continuo de sus labores académicas, que le permita estar al nivel de las exigencias tecnológicas actuales, impartiendo una formación teórico – práctica.

La carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Motores, es la carrera con más demanda en el Instituto; la misma que cuenta con una infraestructura variada para impartir conocimientos a los alumnos, como Bancos de Prueba, Simuladores, Maquetas, Máquinas, Herramientas, etc.; que

permiten la combinación requerida entre la teoría y la práctica para un correcto aprendizaje.

Con lo antes mencionado y tomando en consideración el avance continuo de la tecnología, es necesario la actualización e implementación de nuevos equipos o materiales de apoyo para el aprendizaje en el Instituto, principalmente en el área de Aerodinámica; ya que es la base fundamental para cualquier tipo de estudio en aviación, además el Instituto no cuenta con una amplia gama de este tipo de materiales en los laboratorios de Mecánica Aeronáutica. Por ende el presente proyecto busca contribuir con dicha necesidad.

### **Justificación e importancia.**

El presente proyecto investigativo es concebido con el fin de investigar los agentes externos e internos que intervienen en lo que tiene que ver a material didáctico para el aprendizaje de Aerodinámica en los laboratorios de mecánica del ITSA.

El Tecnólogo Aeronáutico en su carrera profesional se verá enfrentado a retos tanto teóricos como prácticos; por ende se espera contribuir a la mejora de la formación de los individuos para que puedan superar con eficiencia los desafíos nombrados anteriormente en la Ciencia Aeronáutica en este caso y sobre todo, el tecnólogo graduado en el ITSA sea calificado por las empresas de aviación como un profesional capaz, eficiente y honesto.

## **Objetivos**

### **General**

Construir e implementar un Simulador tipo túnel de viento de la variación de presiones según la movilidad de una superficie de control en el eje Y, para el laboratorio de Mecánica Aeronáutica del Instituto.

### **Objetivos Específicos:**

- Indagar información acerca de datos inherentes a la Aerodinámica básica de un perfil alar.
- Proponer alternativas de solución y seleccionar la mejor.
- Diseñar el Túnel de Viento en SolidWorks 2010.
- Construir el Túnel de Viento, mediante el diseño establecido.
- Realizar pruebas de funcionamiento, y elaborar manuales de seguridad, operación y mantenimiento.

### **Alcance.**

El presente estudio se limitará a ser aplicado en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, específicamente en la asignatura de Aerodinámica correspondiente a la carrera de Mecánica Aeronáutica - Motores; para la comunidad científica del ITSA; es decir a sus estudiantes, docentes, administrativos, técnicos, etc. Con el fin de brindar una mejora en el área de Aerodinámica en los laboratorios.

Además será fuente de información y apoyo para todas las personas que estén relacionadas e interesadas con el tema.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Fundamentos aerodinámicos<sup>1</sup>**

##### **2.1.1. Aerodinámica**

La Aerodinámica es la ciencia que estudia los fenómenos que acompañan a todo movimiento entre un cuerpo y el aire que lo rodea. A la importancia propia de la Aerodinámica hay que añadir el valor de su aportación a la Aeronáutica.

De acuerdo con el número de Mach o velocidad relativa de un cuerpo con respecto al aire, la Aerodinámica se divide en Subsónica y Supersónica según que dicho número sea inferior o superior a la unidad; hay ciertas leyes de la Aerodinámica, aplicables a cualquier objeto moviéndose a través del aire, que explican el vuelo de objetos más pesados que el aire. Para el estudio del vuelo, es lo mismo considerar que es el objeto el que se mueve a través del aire, como que este objeto esté inmóvil y es el aire el que se mueve (de esta última forma se prueban en los túneles de viento prototipos de aviones o perfiles).

Es importante tener pleno conocimiento de leyes y principios para entender, analizar y predecir el rendimiento de un aeroplano en cualquier condición de operación.

---

<sup>1</sup>Oñate, Esteban (1994). Aerodinámica Práctica.

### 2.1.1.1. Teorema de Bernoulli

Este teorema manifiesta que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante", es decir que:

$$p + v = k \quad (2-1)$$

Donde:

$p$  = Presión

$v$  = Velocidad

$k$  = Constante

Para que se mantenga la constante ( $k$ ), si una partícula aumenta su velocidad ( $v$ ) será a costa de disminuir su presión ( $p$ ), y a la inversa.

Además el teorema de Bernoulli se suele expresar en la forma:

$$p + \frac{1}{2}d v^2 = k \quad (2-2)$$

Denominándose al factor ( $p$ ) presión estática y al factor ( $\frac{1}{2}d v^2$ ) presión dinámica.

Donde:

$p$  = Presión en un punto dado

$d$  = Densidad del fluido

$v$  = Velocidad en dicho punto

$p_d$  = Presión dinámica

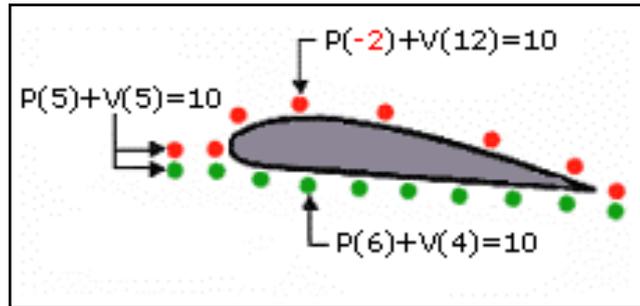


Fig. 2.1. Teorema de Bernoulli  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

### 2.1.1.2. Efecto Venturi

Cuando un fluido pasa por un estrechamiento las partículas del un fluido aumentan su velocidad.

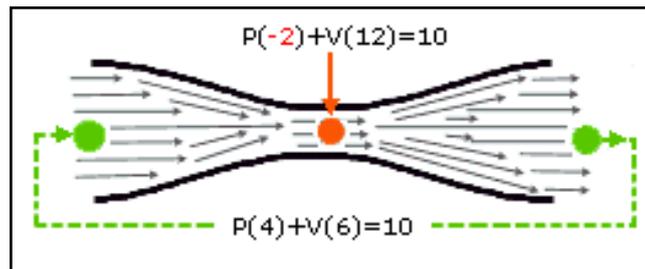


Fig. 2.2. Efecto Venturi  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

### 2.1.1.3. Tercera ley de Newton

Para cada fuerza de acción hay una fuerza de reacción, de igual intensidad pero de sentido contrario.

## 2.1.2. Perfiles aerodinámicos<sup>2</sup>

### 2.1.2.1. Secciones de un perfil

Un perfil aerodinámico, es un cuerpo que tiene un diseño determinado para aprovechar al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando este perfil se sitúa en una corriente de aire. Un ala es un ejemplo de diseño avanzado de perfil aerodinámico.

Los perfiles se pueden dividir en dos grandes tipos: SIMÉTRICOS y ASIMÉTRICOS. Los perfiles simétricos tienen idénticas superficies tanto en la parte superior (extrados) como en la parte inferior (intrados). Un perfil simétrico produce menos sustentación que uno asimétrico, teniendo también características no deseables de pérdida de sustentación, además de tener un bajo costo y fácil construcción con respecto al perfil asimétrico.

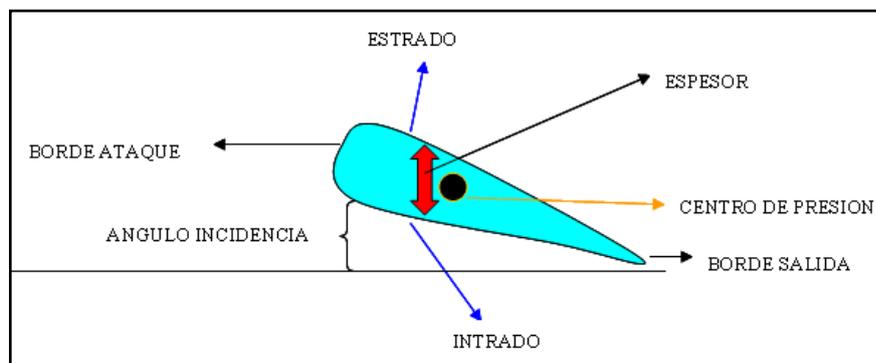


Fig. 2.3. Perfil alar  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

- **Borde de ataque:** Es el borde frontal del ala o delantero y es de forma redondeada.

<sup>2</sup>Oñate, Esteban (1994). Aerodinámica Práctica.

- **Borde de salida:** Parte posterior del ala en forma angosta.
- **Ángulo de ataque positivo:** Ángulo que se da al ala teniendo como referencia el horizonte y que hacia arriba puede ser de 45 grados positivos o abajo 45 grados negativos.
- **Centros de presión:** Los centros que ejercen presión sobre un ala siempre estarán en el centro de ella a través de la cuerda geométrica sin importar el ángulo.
- **Centros de gravedad:** Fuerzas en vuelo recto y nivelado, la sustentación es igual al peso y la resistencia es igual al empuje.
- **Extradós:** Parte superior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.
- **Intradós:** Parte inferior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.

#### 2.1.2.2. Distribución de presiones

Las diferencias de presiones (que actúan como fuerzas) más alta en el intradós y menor en el extradós da como resultante una fuerza de abajo hacia arriba, esta es la fuerza de sustentación (Ver fig. 2.4.).

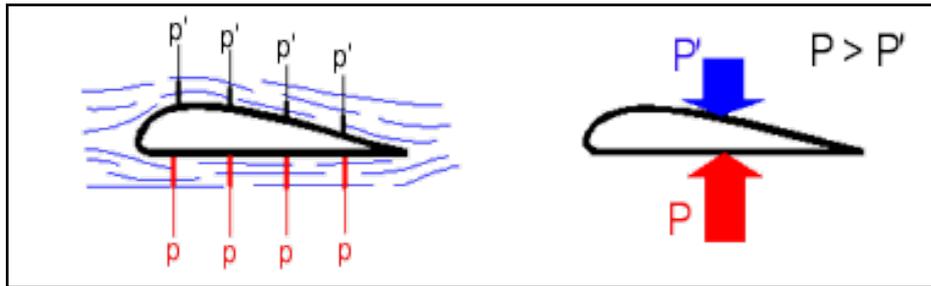


Fig. 2.4. Presiones en las superficies de las alas  
Fuente: www.bsac-vac.tripod.com

La deflexión hacia abajo en la parte posterior del ala incrementa la fuerza de sustentación y esta puede variarse al cambiar la inclinación del ala respecto del viento relativo.

Al ángulo que se forma entre el ala y el viento relativo se lo denomina Ángulo de Ataque, si este se incrementa se lograra aumentar la sustentación (Ver fig. 2.5.).

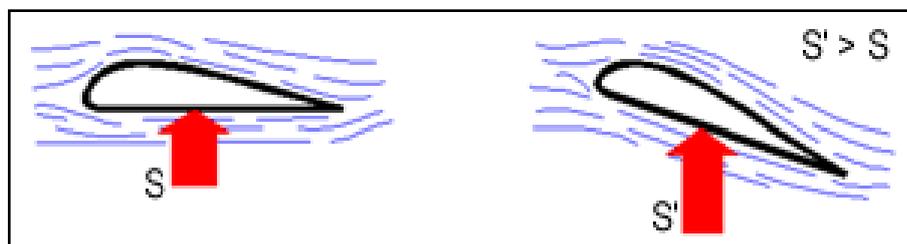


Fig. 2.5. Incremento de la sustentación  
Fuente: www.bsac-vac.tripod.com

El aire al pasar por el ala también genera una resistencia, la que se incrementa al aumentar el ángulo de ataque; a esta se la denomina resistencia inducida.

### 2.1.2.3. La pérdida

La pérdida (en inglés stall) es el efecto provocado por la incapacidad del ala para seguir produciendo sustentación, y se produce cuando se tiene

un ángulo de ataque mayor que el ángulo de ataque crítico. Pasado este ángulo crítico disminuye la sustentación y la resistencia se incrementa dando lugar a la entrada en pérdida.

#### **2.1.2.3.1. Capa laminar y capa turbulenta**

**Flujo laminar:** Es un flujo en el cual el fluido puede ser considerado que es uniforme.

**Flujo turbulento:** En este tipo de flujo las láminas fluyen desorganizadas, tanto en su dirección como en su velocidad. En el espacio libre el flujo no interactúa con los objetos, pero si un objeto está cercano al flujo del fluido, interactúa con el mismo cambiando sus características de velocidad.

El flujo puede permanecer laminar en tanto las láminas no interactúan lo suficiente para causar movimientos secundarios entre ellas, pero en caso contrario la mezcla libre y aleatoria de las láminas hacen el flujo turbulento.

El flujo puede cambiar de laminar a turbulento en base a:

- a) Un cambio en la velocidad del flujo.
- b) Alteraciones del propio flujo.
- c) Rugosidad de la superficie sobre la que fluye.
- d) Los gradientes de presión. Cuando la presión estática decrece con la distancia a lo largo del flujo, las alteraciones en el flujo se amortiguan;

cuando esta presión aumenta, las alteraciones se amplifican. La reducción de presión estática en la sección delantera del ala ayuda a mantener el flujo laminar.

e) Otros factores: densidad del fluido, su velocidad, la longitud, etc.

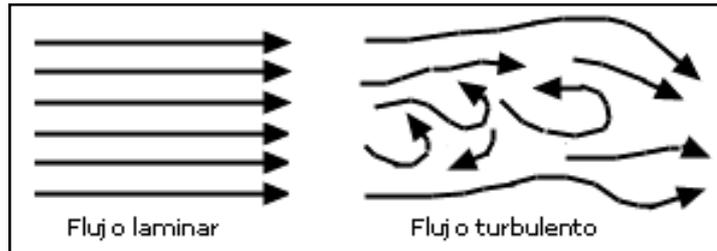


Fig. 2.6. Flujo laminar vs. Flujo turbulento  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

Todo tiene un límite y el ángulo de ataque puede incrementarse mientras no se alcance el ángulo crítico de ataque. Una vez alcanzado, el flujo laminar sobre el ala no podrá seguir el contorno de la misma, despegándose de la superficie para generar turbulencias; reduciéndose rápidamente la sustentación (Ver fig. 2.7.), a este fenómeno se lo conoce como "entrada en pérdida".

Para corregir esta situación basta con reducir el ángulo de ataque por debajo del crítico.

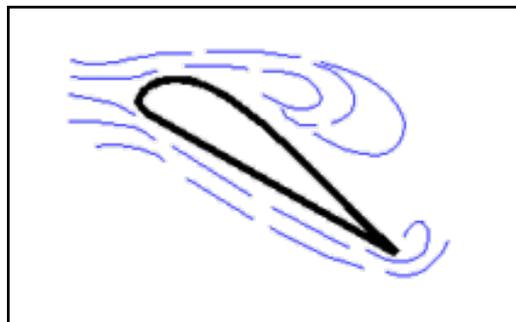


Fig. 2.7. Entrada en pérdida  
Fuente: [www.bsac-vac.tripod.com](http://www.bsac-vac.tripod.com)

El ángulo crítico de ataque no tienen que ver con factores de carga, motores, condiciones climáticas, etc., la entrada en pérdida por alcanzar dicho ángulo es netamente un fenómeno aerodinámico y siempre será el mismo independientemente de la velocidad u otros fenómenos típicos del vuelo.

Cuando un fluido fluye sobre una superficie, debido a la fricción, la capa más cercana a la superficie se detiene completamente. Encima de esta capa se forman otras, cada una de las cuales tiene menos fricción que la anterior y por tanto mayor velocidad. Así hasta que a partir de una capa concreta no hay fricción y las capas tienen la velocidad libre del fluido.

Al conjunto de capas que van desde la que tiene velocidad cero (la más cercana al ala) hasta la que tiene velocidad libre se le llama capa límite, y a la distancia entre la primera y la última espesor de la capa límite.

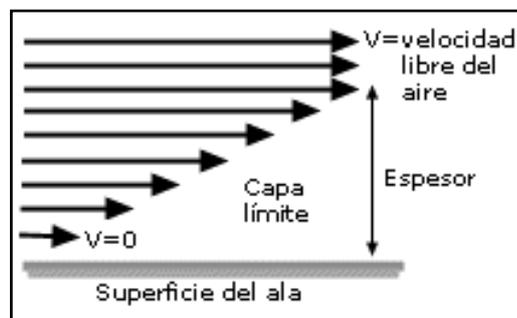


Fig. 2.8. Capa límite  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

El espesor de la capa límite suele aumentar a medida que el fluido se mueve a lo largo de la superficie. La cantidad de este aumento depende de la viscosidad del fluido, la velocidad del flujo, la suavidad/rugosidad de la superficie, y la forma de esta.

A la capa límite cuyo flujo es laminar se le suele llamar capa límite laminar que a veces se abrevia como capa laminar, mientras que si el flujo es turbulento la capa recibe el nombre de capa límite turbulenta, abreviada como capa turbulenta.

Cuando la capa límite comienza a fluir por el borde de ataque del ala lo hace en forma de capa laminar, pegada al ala y muy fina; pero a medida que fluye hacia el borde de salida, más o menos por el centro del ala, comienza a perder velocidad debido a la fricción y se va haciendo capa turbulenta, más separada del ala y con más grosor. Mientras la capa es laminar, se mantiene pegada al ala y produce sustentación, pero al convertirse en turbulenta aumenta su separación del ala y no produce sustentación. El punto en el cual la capa laminar se va convirtiendo en turbulenta e incrementa su grosor se denomina "transición a turbulencia" o "transición de capa límite".

#### **2.1.2.3.2. Diseños que atenúan la pérdida**

Para mantener la capa laminar fluyendo sobre la superficie del ala tanto como sea posible, se ha desarrollado el tipo de ala de flujo laminar. Este diseño está relacionado con el punto de transición.

El ala de flujo laminar es a veces más fina que una convencional, el borde de ataque es más puntiagudo y la sección más cercana al mismo simétrica, pero lo más importante de todo, el punto de máximo espesor está mucho más atrás que en un ala convencional.

La distribución de presiones es mucho más uniforme y el flujo de aire es acelerado muy gradualmente desde el borde de ataque al punto de máximo espesor. Además, esto supone reducir la resistencia

considerablemente, pues el ala laminar exige menos energía para deslizarse a través del aire.

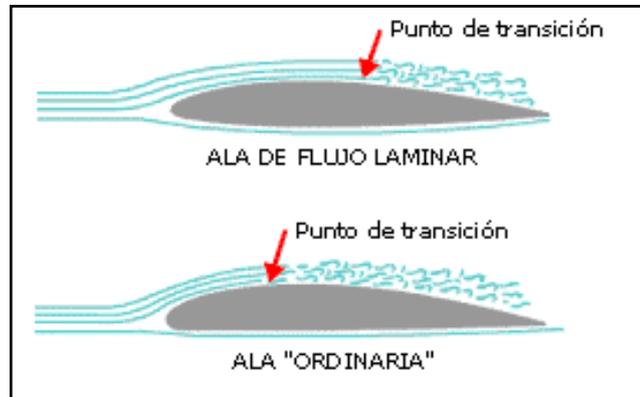


Fig. 2.9. Ala "ordinaria" y de flujo laminar  
Fuente: <http://inicia.es/de/vuelo>

En este perfil sin embargo, en las cercanías de la pérdida el punto de transición a turbulencia se desplaza hacia el borde de ataque más rápidamente que en un ala convencional.

No es deseable que el extremo del ala entre en pérdida lo primero, sobre todo si el extremo de un ala entra en pérdida antes que el otro, lo cual no es infrecuente. En un ala con buena característica de pérdida, la raíz (pegada al fuselaje) debe entrar en pérdida antes que el extremo. Este tipo de pérdida decrece la tendencia al alabeo e incrementa el control lateral en las cercanías de la pérdida.

Para conseguir este efecto se recurre a uno o varios de los siguientes diseños:

- Construir las alas con ángulo de incidencia decreciente desde la raíz hacia el extremo ("torsión") lo que implica menor ángulo de ataque en la

punta del ala y por tanto un retardo a entrar en pérdida respecto a la raíz. Este diseño recibe el nombre de "washout" en inglés.

- Insertar una tira "strip" de metal en el borde de ataque más cercano a la raíz del ala, de forma que cuando se alcanza un determinado ángulo de ataque, la tira rompe el flujo de aire haciendo que la raíz entre en pérdida antes que el extremo del ala.

- Diseñar unas ranuras en el borde de ataque cercano a la punta del ala, de manera que con altos ángulos de ataque se suaviza el flujo de aire en esa parte del ala retrasando su entrada en pérdida respecto a la raíz.

## **2.2. Túneles de viento**

### **2.2.1. Definición**

Es un instrumento creado para el estudio de fenómenos aerodinámicos, en el cual se hace pasar flujo de aire a través de una sección en la cual se coloca un modelo del fenómeno a estudiar y se realizan mediciones y observaciones que pueden ser extrapoladas al fenómeno real (Ver anexo "D").

Aunque se pueden realizar un sinnúmero de pruebas en un túnel de viento, la mayor parte se resumen en tres aplicaciones básicas como: medida de fuerza, medida de presión y estudio de los parámetros del flujo.

## 2.2.2. Tipos de túneles de viento

Existen una variedad extensa de túneles de viento, utilizados para diferentes aplicaciones; pero en general se pueden clasificar en túneles de viento de circuito abierto y cerrado.

En un túnel de viento de circuito abierto se toma aire directamente de la atmósfera y después de hacerlo pasa por la cámara de ensayo y se devuelve nuevamente a ella; mientras que en un túnel de viento de ciclo cerrado el aire circula varias veces por la cámara, recuperando por medio de un difusor su energía fluida antes de llegar de nuevo a la zona donde se encuentra instalado el ventilador.

## 2.2.3. Partes de un túnel de viento

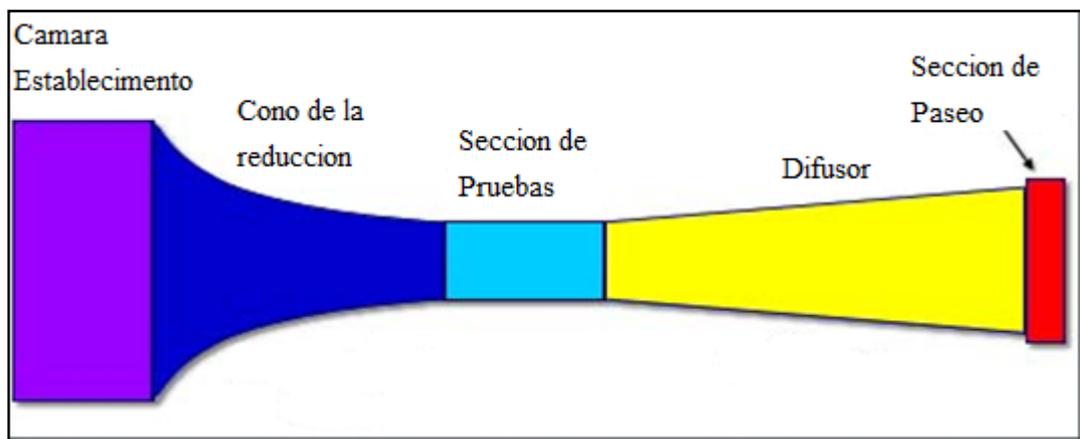


Fig. 2.10. Partes de un túnel de viento  
Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co>

### 2.2.3.1. Cámara establecimiento

El propósito de la cámara del establecimiento es estabilizar el flujo.

#### **2.2.4. Cono de la reducción**

El cono de la reducción toma un volumen grande de aire de baja-velocidad y lo reduce a un volumen pequeño de aire de alta-velocidad sin crear turbulencia.

##### **2.2.4.1. Sección de prueba**

La sección de la prueba es donde se ponen el artículo de la prueba y sensores.

##### **2.2.4.2. Difusor**

El difusor retarda la velocidad del flujo en el túnel del viento.

##### **2.2.4.3. Sección de paseo**

La sección del paseo proporciona la fuerza que causa el aire para mover a través del túnel del viento.

### **2.3. Componentes electrónicos<sup>3</sup>**

#### **2.3.1. Visualizador LCD**

Un visualizador, display en inglés, es un dispositivo de ciertos aparatos electrónicos que permite mostrar información al usuario, creado a partir de

---

<sup>3</sup>[http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=Como\\_trucar\\_un\\_servo](http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=Como_trucar_un_servo)

la aparición de calculadoras, cajas registradoras e instrumentos de medida electrónicos en los que era necesario hacerlo



Fig. 2.11. Visualizador LCD  
Fuente: <http://electrolabo.com>

### 2.3.2. Sensores de presión de aire

Su objetivo radica en proporcionar una señal eléctrica a la presión existente en la tubería de admisión con respecto a la presión atmosférica, midiendo la presión absoluta existente en el colector de admisión.

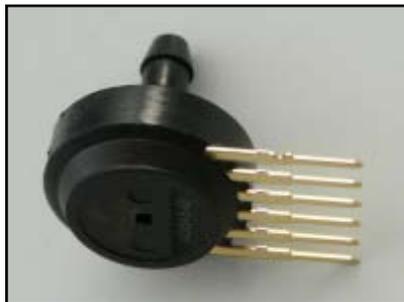


Fig. 2.12. Sensor de presión de aire  
Fuente: <http://shop.tuxgraphics.org>

### 2.3.3. Pulsadores eléctricos

Son operadores eléctricos que sólo permanecen en el estado activo mientras hagamos presión en ellos. Es un elemento que permite el paso o

la interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no actúa sobre él, vuelve a su posición inicial.



Fig. 2.13. Pulsador eléctrico  
Fuente: <http://www.ucontrol.com.ar>

#### **2.3.4. Fuente de poder**

Es un dispositivo que convierte las tensiones alternas de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta.



Fig. 2.14. Fuente de poder  
Fuente: <http://www.capitalvideogames.com>

#### **2.3.5. Servomotor**

Es un dispositivo actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición. Está formado por un motor de corriente

continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa.



Fig. 2.15. Servomotor  
Fuente: <http://www.sevenikmodel.com>

#### **2.4. Software “SolidWorks 2010”**

SolidWorks, un competidor de los programas CAD que se ejecuta en Microsoft Windows, se introdujo al mercado en 1995 con su primera versión SolidWorks 95. Fue desarrollado por Dassault Systèmes SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes, SA (Vélizy, Francia).

El programa como solución de CAD en 3D, ofrece herramientas de análisis y validación integrados fáciles de usar, que permiten simular varias circunstancias en condiciones reales y optimizar los diseños realizados para que pueda mejorar la calidad del producto reduciendo además significativamente los costos de desarrollo y fabricación. Actualmente es utilizado por millones de ingenieros y diseñadores en más de 100000 empresas en todo el mundo.

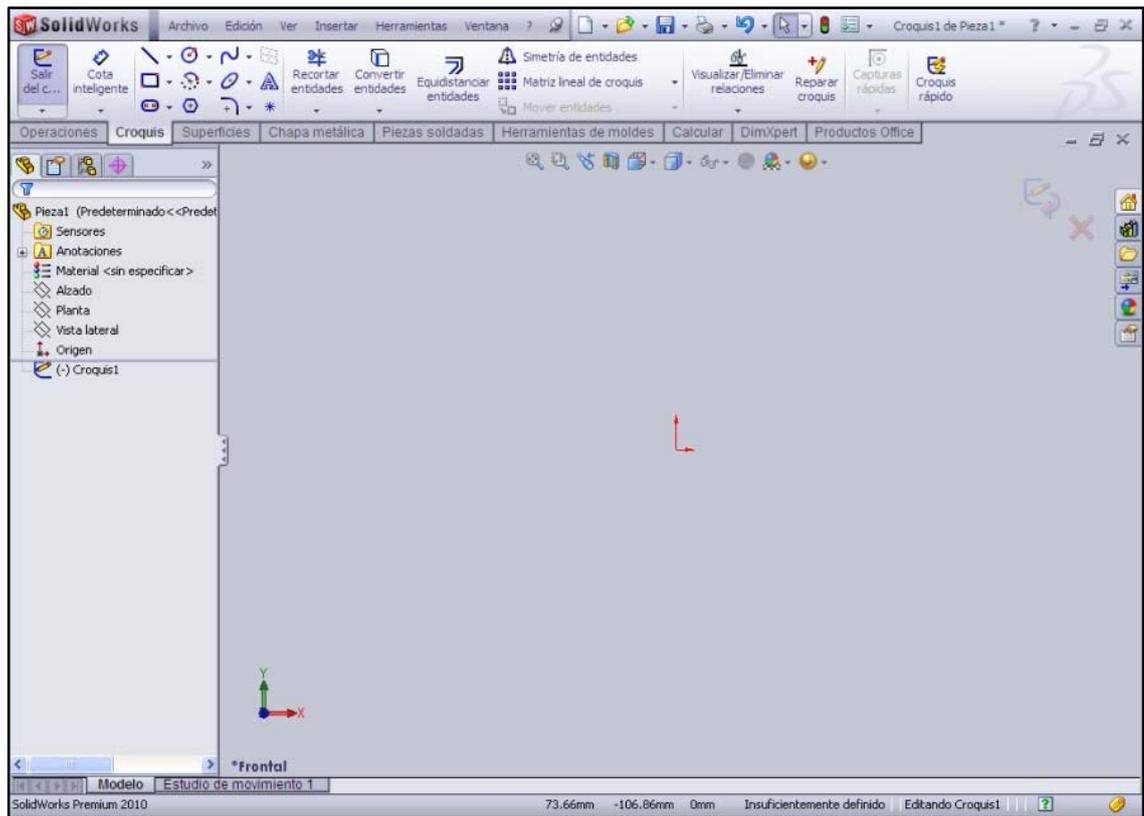


Fig. 2.16. Interfaz de usuario SolidWorks 2010

Fuente: SolidWorks 2010

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Preliminares**

Actualmente el laboratorio de Aerodinámica del ITSA., cuenta con diferentes bancos de prueba, simuladores, maquetas, máquinas, herramientas, etc.; pero es necesario la actualización e implementación de nuevos equipos o materiales de apoyo para el aprendizaje en el instituto, principalmente en el área de aerodinámica; ya que es la base fundamental para cualquier tipo de estudio en aviación, además el Instituto no cuenta con una amplia gama de este tipo de materiales en los laboratorios de mecánica aeronáutica.

Por ende el proyecto **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR TIPO TUNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y”**, espera contribuir con un simulador para el área de aerodinámica, facilitando el aprendizaje en esta área, además que el método de aprendizaje teórico-práctico dictado por los docentes sea más efectivo.

Dadas las características del componente, se tomó como referencia en un simulador de baja velocidad de la empresa ARMFIELD (Ver anexo “D”), fabricante de distintos simuladores para ensayos en túneles de viento.

### **3.1.1. Descripción de alternativas**

#### **3.1.1.1. Primera alternativa**

**Simulador de baja velocidad tipo túnel de viento tubular:** La alternativa consta de una estructura metálica moldeada tanto en el ducto de entrada como en el de salida en una forma tubular, utilizando materiales de fácil adquisición como mica, ventiladores, tol, malla, etc.; que permitirán la visualización tanto física como electrónica del túnel.

Este simulador tendrá el área de visualización en forma tubular constituida por mica transparente.

#### **3.1.1.2. Segunda alternativa**

**Simulador de baja velocidad tipo túnel de viento cuadrado:** Esta alternativa constará igual que la primera de una estructura metálica con la diferencia que el ducto de entrada como en el de salida tiene una forma cuadrada, asimismo, utilizando materiales de fácil adquisición como mica, ventiladores, tol, malla, etc.; que permitirán la visualización tanto física como electrónica del túnel.

Este simulador tendrá una pequeña variación que es el área de visualización en forma cuadrada constituida por vidrio.

Cabe recalcar que se tomó en consideración estas dos alternativas de simuladores; tomando en consideración el criterio de los instructores del área de aerodinámica en foros de internet, criterios basados en facilidades al realizar ensayos más técnicos para la visualización y ventajas que brindan estas dos alternativas.

### **3.1.2. Análisis de factibilidad**

Al contar con la información de las alternativas propuestas y en base a los conocimientos adquiridos en la formación técnica en el instituto; se analizó las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, para así determinar la más factible y conveniente, considerando los requerimientos del componente y de los estudiantes del ITSA., con el fin de brindar las respectivas facilidades y seguridades.

#### **3.1.2.1 Análisis de la primera alternativa**

##### **Ventajas**

- Sencillez de construcción de la estructura del túnel.
- Permitirá contar con un flujo de aire laminar gracias a la forma tubular de la sección.
- Disminución de turbulencia por no existir retorno de aire en la sección tubular.
- Facilidad de instrucción y aprendizaje.
- Permitirá la realización de pruebas con diferentes posiciones del perfil alar.

##### **Desventajas**

- Debido a la forma tubular, los materiales de la sección deben ser moldeables a dicha forma
- Se debe realizar una construcción meticulosa y bien inspeccionada, para que no exista fugas de aire y que coincidan las partes a ensamblarse.

### **3.1.2.2. Análisis de la segunda alternativa**

#### **Ventajas**

- Sencillez de construcción de la estructura del túnel.
- Facilidad de instrucción y aprendizaje.
- Permitirá la realización de pruebas con diferentes posiciones del perfil alar.

#### **Desventajas**

- Aumento de turbulencia por contar con una sección no circular.
- Mayor utilización de materiales, implica un mayor costo.
- Posibles fugas de aire en el túnel debido a su sección no circular.
- Particularidad de diseño, que implicara utilización de materiales extras.

### **3.1.3. Estudio de parámetros**

Para evaluar cada alternativa, se determina un valor ( $X_1$ ) según al criterio de ponderación, a cada uno de los parámetros de selección los cuales se considera son los más importantes en la elección de la mejor alternativa.

La asignación de ( $X_1$ ) estará basada en la importancia y al criterio de ponderación del parámetro, el mismo que deberá cumplir la siguiente función ( $0 < X_1 \leq 1$ ).

Todo esto se realizará en base a las ventajas y desventajas de las dos alternativas, que nos permitirán evaluar cada parámetro individual asignando un valor en escala de 1 a 4, donde 4 es la más alta y 1 es la menor, para así escoger la opción que obtenga mayor puntaje en la sumatoria total, por ende la más apropiada.

- 3.1.3.1 Funcionalidad:** Las dos alternativas son prácticas y utilitarias para la instrucción y aprendizaje de la materia de aerodinámica. Por la importancia de este parámetro se le asigna un valor de (0.7).
- 3.1.3.2 Mantenimiento:** Se necesitan únicamente inspecciones sencillas en las dos alternativas para controlar que no se desgasten pequeños componentes existentes en el túnel, verificar el correcto funcionamiento y manipulación del ventilador. Considerando lo anterior se asigna un valor de (0.1).
- 3.1.3.3 Proceso de adaptación:** Las dos alternativas propuestas requieren de pequeños componentes, ilustraciones y diagramas; que necesitan los respectivos recursos como, programas, etc.; para la realización de los mismos. Su valor es de (0.5).
- 3.1.3.4 Fiabilidad:** Probabilidad de que las dos alternativas funcionen correctamente sujetadas a exigencias de las personas que van a utilizar el túnel. De acuerdo a lo expuesto su valor es de (0.6).
- 3.1.3.5 Costo de construcción:** Está basado en la utilización de materiales; mientras mayor material se utilice, mayor será el costo y viceversa. Las dos alternativas tendrán la misma capacidad y el mismo fin. Su valor es de (0.7).
- 3.1.3.6 Forma:** Está relacionada con la forma que adquirirá la sección del túnel, este valor es muy importante ya que va relacionado directamente con la turbulencia que pudiera existir en el túnel. Por ende su valor es de (0.8).

**3.1.3.7 Tamaño:** Corresponde a las dimensiones y el espacio que ocupan cada una de las alternativas, debe cumplir con los requerimientos del perfil alar, sus medidas y peso. Su valor es de (0.2).

### 3.1.4 Evaluación de parámetros

Los valores que se indican a continuación, están basados de acuerdo a la definición y evaluación de cada uno de los parámetros para las alternativas presentadas.

Tabla 3.1. Matriz de evaluación

Parámetros de evaluación	Factor de ponderación (X1)	1 <sup>ra</sup> alternativa	2 <sup>da</sup> alternativa	Observaciones
Funcionalidad	0.7	3	2	La primera alternativa es un poco más práctica ya que constara de una sección con forma tubular.
Mantenimiento	0.1	2	1	Las dos alternativas tienen un mantenimiento sencillo, aunque la segunda tiene una sección no circular donde se deberá tener un poco de cuidado al ensamblar sus partes.
Proceso de adaptación	0.5	3	3	Se utilizará los mismos recursos en las dos alternativas.
Fiabilidad	0.6	4	2	Al ser la primera alternativa en forma tubular, proporcionara un flujo laminar continuo con menos turbulencia al perfil alar.
Costo de construcción	0.7	4	3	Se utilizará un excedente mínimo de material en la segunda alternativa.
Forma	0.8	3	2	La forma de las dos alternativas es casi idéntica, solo cambia la sección de

				visualización, produciéndose así menor turbulencia en la sección tubular.
Tamaño	0.2	1	1	El tamaño de las dos alternativas es igual ya que deben adaptarse a las medidas y peso del perfil alar.

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Tabla 3.2. Matriz de decisión

Parámetros de evaluación	Factor de ponderación (X1)	(1 <sup>ra</sup> alternativa) * X1	(2 <sup>da</sup> alternativa) * X1
Funcionalidad	0.7	2.1	1.4
Mantenimiento	0.1	0.2	0.1
Procesos de adaptación	0.5	1.5	1.5
Fiabilidad	0.6	2.4	1.2
Costo de construcción	0.7	2.8	2.1
Forma	0.8	2.4	1.6
Tamaño	0.2	0.2	0.2
<b>Total Final</b>		<b>11.6</b>	<b>8.1</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.1.5 Selección de la mejor alternativa

Luego de realizar el estudio y el análisis de los parámetros de cada una de las alternativas propuestas, se llegó a la conclusión que la alternativa

más factible es la primera que consta de un simulador de baja velocidad tipo túnel de viento tubular; ya que presenta mejores características produciéndose menor turbulencia en la sección tubular del túnel de viento.

### **3.2. Diseño**

Para realizar el análisis de los componentes del túnel de viento, se recurrió a la ayuda de un programa de diseño 3D y elementos finitos, el cual facilita el proceso de diseño y análisis. En la realización de este proyecto se utilizó:

- Diseño 3D = SOLIDWORKS 2010
- Programa de simulación = SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 2010

#### **3.2.1. Programas de diseño 3D (SOLIDWORKS 2010)**

Son programas de diseño asistido por computador para modelado mecánico que corre bajo el sistema operativo Microsoft Windows, son programas que mediante herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas como puntos, líneas, arcos, etc.; con los que se puede operar a través de una interfaz gráfica para crear superficies y sólidos en 3D.

El programa permite modelar piezas y conjuntos, además de extraer de ellos tanto planos (Ver anexo "H") como otra información necesaria para la construcción. SolidWorks funciona en base a nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasladar la idea mental del diseñador al sistema CAD "construir virtualmente" un elemento o un conjunto.

### 3.2.2. Programa de simulación (SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 2010)

Es una poderosa herramienta de dinámica de fluidos computacional que permiten simular el flujo de fluidos, transferencia de calor y fuerzas de los fluidos de manera fácil y rápida cuando estas interacciones son de vital importancia para el éxito de su diseño.

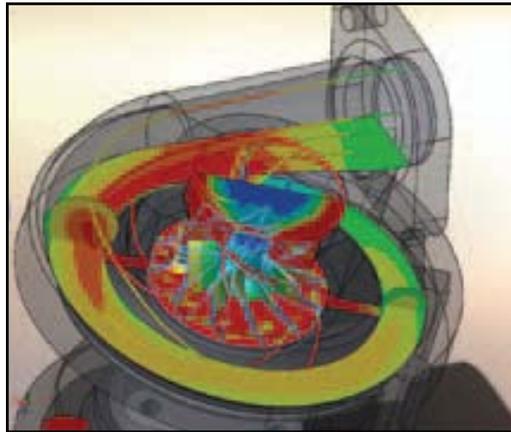


Fig. 3.1. Visualización de flujo en turbocompresor  
Fuente: <http://files.solidworks.com>

### 3.2.3. Análisis Aerodinámico

#### 3.2.3.1 Velocidad aerodinámica

Es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo. Se la representa por  $\vec{v}$ . Su unidad en el Sistema Internacional es el m/s.

De igual forma que la velocidad es el ritmo o tasa de cambio de la posición por unidad de tiempo, la aceleración es la tasa de cambio de la velocidad por unidad de tiempo. Y su fórmula es:

$$\vec{v} = \frac{d}{t} \quad (3-1)$$

Donde:

- $\bar{v}$  = Velocidad ( $\frac{m}{s}$ )
- $d$  = Distancia(m)
- $t$  = Tiempo(s)

### 3.2.3.2 Caudal<sup>4</sup>

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El caudal se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$Q = A\bar{v} \quad (3-2)$$

Donde

- $Q$  Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )
- $A$  Es el área( $m^2$ )
- $\bar{v}$  Es la velocidad lineal promedio( $\frac{m}{s}$ )

### 3.2.3.3 Densidad<sup>5</sup>

La densidad de una sustancia, simbolizada habitualmente por la letra griega ( $\rho$ ), es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

---

<sup>4</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal>

<sup>5</sup>Taylor, Larry, A Gold Thief and Buoyancy..

### 3.2.3.3.1. Densidad absoluta

Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es (kg/m<sup>3</sup>). La densidad es una magnitud intensiva.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3-3)$$

Donde

- $\rho$  = es la densidad ( $\frac{kg}{m^3}$ )
- $m$  = es la masa (kg)
- $V$  = es el volumen (m<sup>3</sup>)

### 3.2.3.3.2. Densidad relativa

La densidad relativa de una sustancia es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia; en consecuencia, es una magnitud adimensional.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (3-4)$$

Donde

- $\rho_r$  = es la densidad relativa
- $\rho$  = es la densidad de la sustancia
- $\rho_0$  = es la densidad de referencia o absoluta.

### 3.2.3.4. Ecuación de continuidad<sup>6</sup>

La ecuación de continuidad o conservación de masa es una herramienta muy útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de tubos o ductos con diámetro variable. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra.

Si se considera un fluido con un flujo estable a través de un volumen fijo como un tanque con una entrada y una salida, la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa.

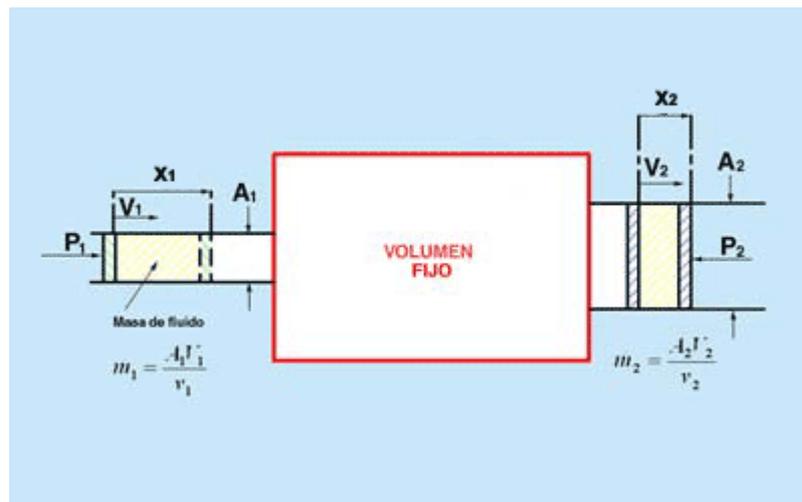


Fig. 3.2 Dispositivo que fluye vapor o gas.  
Fuente: [www.uamerica.edu.co](http://www.uamerica.edu.co)

El flujo de masa  $\tilde{m}$  que sale de volumen está dado por  $\tilde{m} = pQ$ , donde  $p$  es la densidad del fluido y  $Q$  el caudal. Si el área de salida del volumen perpendicular al flujo es  $A$  y el fluido sale a una velocidad  $V$ , entonces el flujo de masa se define como:

<sup>6</sup>Carter, Brandon (1987). Covariant theory of conductivity in ideal fluid or solid media.

$$\tilde{m} = \rho AV \quad (3-5)$$

Como el volumen específico  $v$  es el inverso de la densidad  $\rho$ , el flujo de masa también puede definirse como:

$$\tilde{m} = \frac{AV}{v} \quad (3-6)$$

### 3.2.3.5. Número de Reynolds<sup>7</sup>

El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado para caracterizar el movimiento de un fluido.

#### 3.2.3.5.1. Definición y uso de $Re$ <sup>8</sup>

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

##### 3.2.3.5.1.1. Flujo laminar

Cuando la velocidad es baja, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan pero no rotan, o lo hacen pero con muy poca energía, el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Este tipo de flujo fue identificado por *O Reynolds* y se denomina “laminar”,

---

<sup>7</sup>Clayton, Crowe; Donald, Elger; Roberson, Williams; Roberson, John (2009), Engineering Fluid Mechanics.

<sup>8</sup>[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/laminar\\_turbulento.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/laminar_turbulento.htm)

queriendo significar con ello que las partículas se desplazan en forma de capas o láminas.

Al disminuir la velocidad se encuentra que para números de Reynolds menores de 2100 el flujo es siempre laminar, y cualquier turbulencia que se produzca es eliminada por la acción de la viscosidad.

#### **3.2.3.5.1.2. Flujo turbulento**

Al aumentar la velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido, y estas adquieren una energía de rotación apreciable, la viscosidad pierde su efecto, y debido a la rotación las partículas cambian de trayectoria. Al pasar de unas trayectorias a otras, las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática. Éste tipo de flujo se denomina "turbulento".

Experimentalmente se ha encontrado que en tubos de sección circular cuando el número de Reynolds pasa de 2400 se inicia la turbulencia en la zona central del tubo, sin embargo este límite es muy variable y depende de las condiciones de quietud del conjunto. Para números de Reynolds mayores de 4000 el flujo es turbulento.

El paso de flujo laminar a turbulento es un fenómeno gradual, inicialmente se produce turbulencia en la zona central del tubo donde la velocidad es mayor, pero queda una corona de flujo laminar entre las paredes del tubo y el núcleo central turbulento.

#### **3.2.3.6. Presión**

La presión o presión estática es la magnitud que relaciona la fuerza con la superficie sobre la que actúa, es decir, equivale a la fuerza que actúa

sobre la unidad de superficie (Ver anexo “K”). Cuando sobre una superficie plana de área  $A$  se aplica una fuerza normal  $F$  de manera uniforme y perpendicularmente a la superficie, la presión  $P$  viene dada por:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3-7)$$

#### **3.2.3.6.1. Presión atmosférica<sup>9</sup>**

Es la presión ejercida por el aire atmosférico en cualquier punto de la atmósfera. Normalmente se refiere a la presión atmosférica terrestre, pero el término es generalizable a la atmósfera de cualquier planeta o satélite.

La presión atmosférica en un lugar determinado experimenta variaciones asociadas con los cambios meteorológicos. Por otra parte, en un lugar determinado, la presión atmosférica disminuye con la altitud, a causa de que el peso total de la atmósfera por encima de un punto disminuye cuando nos elevamos. La presión atmosférica decrece a razón de 1 mmHg o Torr por cada 10 m de elevación en los niveles próximos al del mar.

#### **3.2.3.6.2. Presión dinámica<sup>10</sup>**

Se puede decir que cuando los fluidos se mueven en un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento. Esta fuerza se produce por la acción de la presión conocida como dinámica. La presión dinámica depende de la velocidad y la densidad del fluido.

---

<sup>9</sup>Tipler, Paul A. (2000). Física para la ciencia y la tecnología (2 volúmenes). Barcelona-España.

<sup>10</sup>Millan, Salvador. (1999). Automatización.

$$p_d = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3-8)$$

Donde:

- $P_d$  = presión dinámica ( $Pa$ )
- $\rho$  = densidad del fluido ( $\frac{kg}{m^3}$ )
- $v$  = velocidad del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

### 3.2.3.6.3. Presión total

Consiste en la suma de Presión Estática más Presión Dinámica. Esta presión total, en algunos países, se denomina también Presión Pitot.

$$p_t = P + \frac{1}{2} \rho v^2$$

### 3.2.4. Pesos de los componentes

Para la construcción del simulador se empleo ángulos estructurales para la parte del soporte, platinas de acero para la carcasa del túnel y aluminio para el ala.

Mediante el uso de programas de diseño 3D se puede obtener el peso de la estructura base con facilidad, simplificando el trabajo y reduciendo el tiempo de diseño para verificar su precisión; se lo compara a continuación:

Peso de la estructura base (Cálculo manual) = 68.40 Kg

Peso de la estructura base (SolidWorks) = 65.16 Kg

El programa de diseño nos permite conocer el peso de los demás componentes del soporte:

Tabla 3.4. Peso de los componentes del simulador usando SolidWorks

Nº	Descripción	Peso (Kg)
1	Túnel	17,17
2	Ala	4,53
3	Mesa	41,68
4	Motor	1,78
	<b>Peso total del simulador</b>	<b>65,16</b>

Fuente: Propia

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.2.5. Resultados del estudio

Una vez ensamblado virtualmente el simulador, se procedió a realizar un análisis del conjunto del simulador, aplicando a fuerzas externas e internas a las cuales va a estar expuesto el simulador

El peso total de simulador es igual a 667 [N] (150 lbf), por ende se realizo el análisis para que el simulador soporte el doble de este peso.

Se procede mediante la definición del material con el listado de materiales existentes en el programa, se malla el objeto y se analiza posteriormente (Ver fig. 3.3.), después se puede obtener mediante la presentación de un gráfico de colores los sitios de mayor presión, esfuerzo, desplazamiento, factor de seguridad, etc. (Ver anexo "J").

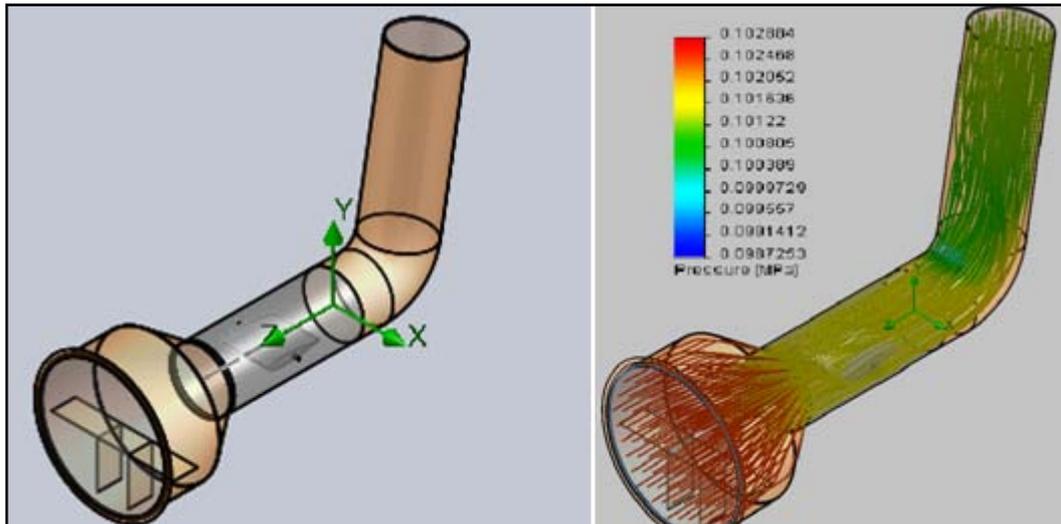


Fig. 3.3. Simulador ensamblado mallas y presentación de presiones  
Fuente: SolidWorks Simulation 2010

Mediante el análisis se puede observar que la presentación de presiones en su punto máximo llega a 0.102884MPa.

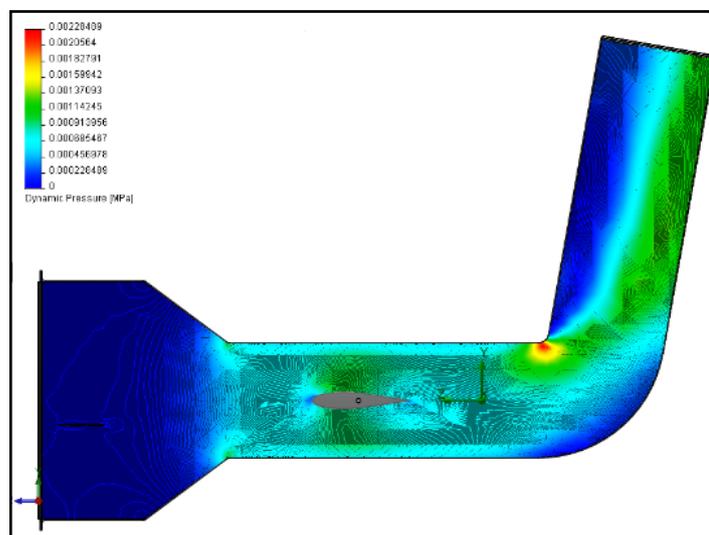


Fig. 3.4. Presión dinámica  
Fuente: SolidWorksSimulation 2010

Igualmente se observa que el desplazamiento máximo de la presión dinámica que se produce se concentra en el tubo horizontal. (Ver fig. 3.4.).

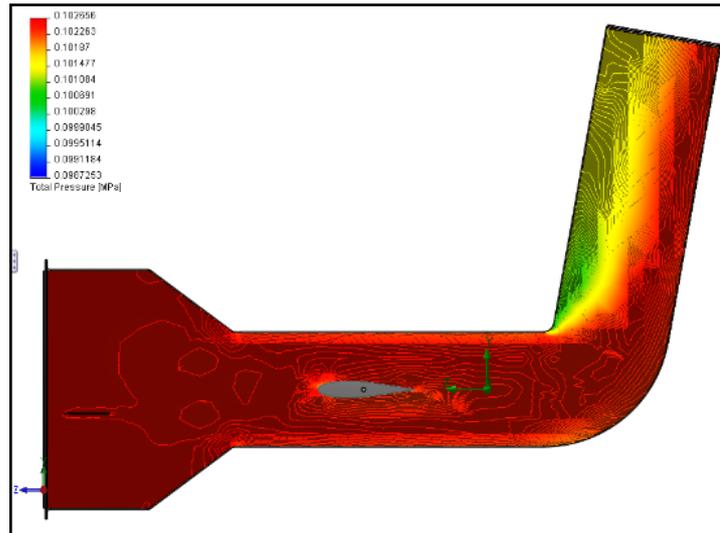


Fig. 3.5. Presión total del simulador  
Fuente: SolidWorksSimulation 2010

Entonces:

Como conclusión podemos manifestar que los materiales seleccionados para el diseño cumplen con las expectativas esperadas soportando las cargas y presiones aplicadas, dando así un resultado factible para la construcción del soporte.

### 3.3. Construcción

#### 3.3.1. Descripción del túnel de viento

El simulador está construido básicamente de:

- (a) Una estructura base.
- (b) Un ducto de entrada de aire.
- (c) Un área de visión del perfil alar.
- (d) El ducto de salida de aire.

Las partes descritas forman un solo conjunto (Ver Foto. 3.1.), todo esto para poder observar la medición de las presiones en el perfil alar.

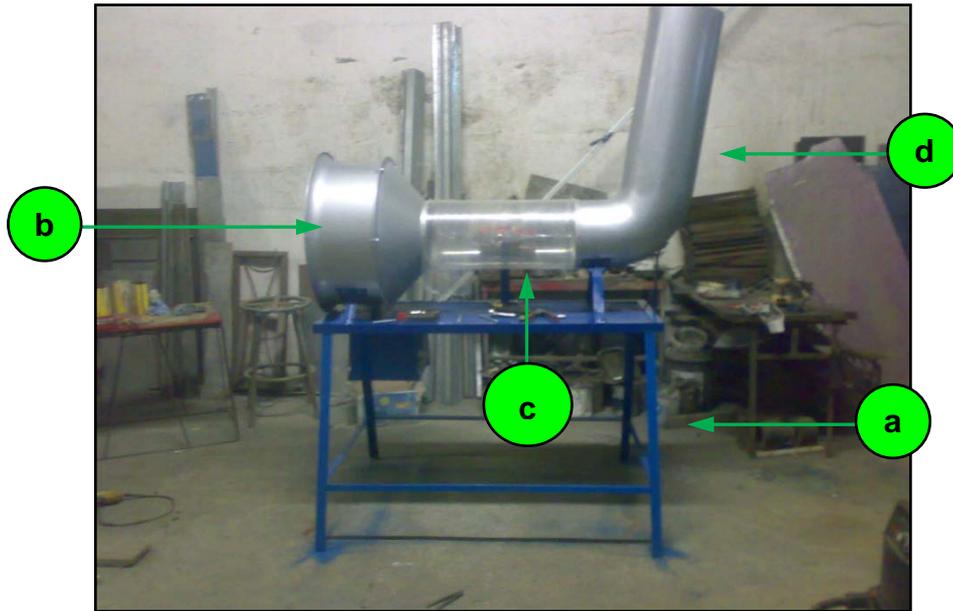


Foto. 3.1 Descripción del simulador  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.3.1.1. Partes principales del soporte

- a) Estructura base
- b) Ducto de entrada de aire
- c) Área de visión del perfil alar
- d) Ducto de salida de aire

### 3.3.1.2. Orden de construcción

Se construyó el soporte paso a paso de una forma ordenada y planificada, para evitar pérdida de tiempo y recursos.

- a) Estructura base
- b) Ducto de entrada
- c) Soportes de los ductos
- d) Construcción del cono de reducción
- e) Ala

- f) Ducto de salida
- g) Ensamblaje y acabado

### 3.3.1.2.1. Estructura base

Como la palabra lo indica sirve de base para soportar a todos los demás componentes, para al final tener el túnel de viento completamente armado. La estructura base está construida con ángulo estructural ASTM A36 (1 1/2" x1 1/2"), de 5 mm de espesor.(Ver anexo "J").

Como primer paso se realizó el trazado y corte de los ángulos según las medidas especificadas en los planos (Ver anexo "A"). En las uniones de 90°, se realizó un corte a inglete de 45°.



Foto. 3.2. Trazado y corte de la estructura base  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

A todos los cortes primero se los sujetó con puntos de suelda, para luego con la ayuda de la escuadra verificar las medidas deseadas para después soldarlos completamente. Cabe recalcar que en el proceso de soldado en toda la construcción se utilizaron electrodos E6011.



Foto. 3.3. Soldado de la estructura base  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.3.1.2.2. Ducto de entrada

Para el ducto de entrada de aire se utilizó un ventilador ya establecido con sus especificaciones (Ver anexo “F”). Para la protección de quien lo manipule se realizó un protector.



Foto. 3.4. Ventilador y protector  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Este protector se construyó con una malla a la medida en la parte del agujero.



Foto. 3.5. Protector del ducto de entrada  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Para los soportes se utilizó la escuadra para verificar las medidas y se realizó perforaciones con la broca 5/16" con pernos de la misma medida.



Foto. 3.6. Protector del ducto de entrada  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

El cono de reducción se realizó en tol compuesto de hierro al carbono de 1.5mm de espesor con medidas del diámetro interior del ventilador y el exterior del área de observación.



Foto. 3.7. Cono de reducción  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Para el flujo de aire sea laminar se montó un difusor que se compone de cuadrados de 1cm de lado y 3cm de espesor.



Foto. 3.8. Malla difusora  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.3.1.2.3. Ala

Se empezó con el trazado del material para proceder al corte según las medidas especificadas (Ver anexo “A”). La realización de uniones se los puede observar en los planos realizados en SolidWords. El corte se realizó con una cizalla.



Foto. 3.9. Trazado y corte de la estructura alar  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Una vez cortado se lo sujeto a la estructura con remaches, para luego con la ayuda de material en un ángulo de  $45^\circ$  para poder unir las estructuras siempre verificando las medidas.



Foto. 3.10. Grapado y montaje de sensores en la estructura alar  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Antes de cerrarlo por completo se realizó el montaje de los sensores de presión de aire una vez ya obtenidos los diagramas eléctricos (Ver Anexo G), los cuales primero se los soldó con alambres y cautín.

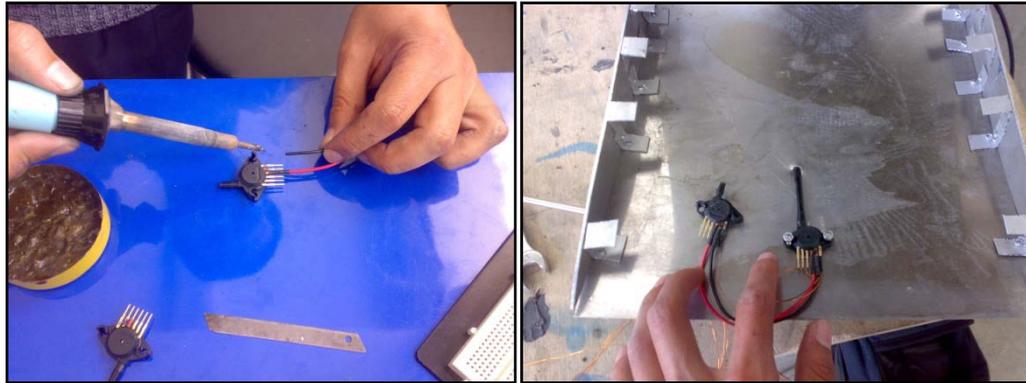


Foto. 3.11. Montaje de los sensores de presión de aire  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Por último se realizó el sellado de los agujeros con la ayuda de un taladro y la broca  $\text{Ø}1/8''$ . A continuación se lo sello con remaches.



Foto. 3.12. Sellado de la estructura alar  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Se construyó el eje que sujeta el ala al área de observación del túnel por la adaptación de cojinetes en sus puntas.



Foto. 3.13. Eje del ala  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Se realizó el montaje del ala en el área de observación del túnel colocándolo con silicona.



Foto. 3.14. Montaje del ala  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

#### **3.3.1.2.4. Ducto de salida**

Una vez colocada el ala se continúa con la salida de aire en un ángulo de  $45^\circ$  para evitar incidentes ocasionados por la salida del aire a alta velocidad, en este se utilizó tol de hierro al carbono de 2mm de espesor.

Luego se efectuó la malla protectora para el ducto la cual fue moldeada a su forma.



Foto. 3.15. Ducto de salida  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.3.1.2.5. Ensamblaje y acabado

Una vez construidos todos los componentes del túnel de viento se realizó el ensamblaje final, uniendo el ducto de entrada al cono y a la vez éste al área de observación sellándolo con silicona y de la misma manera la unión del área de observación al ducto de salida de aire. Teniendo el túnel de viento armado se lo montó en su estructura base.



Foto. 3.16. Ensamblaje del simulador  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Al contar ya con todo el ensamblaje casi completo, fue necesario pulir los cordones de soldadura para que tengan un mejor aspecto, esto se lo realizó con la amoladora y el disco de pulir con las siguientes medidas 115 x 3.0 x 22.2 mm. Hay que tener en cuenta que entre el disco y la superficie a pulir debe existir una inclinación aproximadamente de 30°.



Foto. 3.17. Utilización del disco de pulir  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

A continuación se descartó cualquier tipo de residuos en la estructura con la ayuda de una lima, papel abrasivo y una brocha; para luego eliminar los restos de aceite con gasolina antes del proceso de pintado.

En el proceso de pintado primeramente se aplicó esmalte anticorrosivo negro mate como fondo en toda la estructura para que la proteja de la corrosión.

Para el pintado final se utilizó pintura esmalte azul. Se tomó esta decisión del color, por ser el color dominante en el ITSA se distingue por dicho color.



Foto. 3.18. Pintado de partes del túnel de viento  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Por último se realiza el montaje de los componentes eléctricos con sus debidos acoples como se indica en la Foto. 3.19.



Foto. 3.19. Montaje de componentes eléctricos  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

Para mantener los componentes electrónicos en un lugar protegido de la intemperie, estos se los colocó en una caja metálica protegida por un candado como se observa en la Foto. 3.20.



Foto. 3.20. Montaje de componentes eléctricos  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.3.1.3. Elementos no construidos

- Ventilador eléctrico – 550 w, volúmen de aire 8500 m<sup>3</sup>/h
- Visualizador LCD
- Sensores de presión de aire MPX4115A
- Servomotor

- Pulsadores eléctricos
- Silicona SIKAFLEX -252
- Cojinetes de diámetro interno ½"
- Perilla de cocina
- Cinta de tela ¼"
- Malla metálica
- Tabla triplex 270mm x 110mm x 9mm
- Eje 13" x Ø1/2"
- Acero

### 3.4. Diagramas de procesos y diagrama de ensamblaje

Proporcionan una imagen clara de toda la secuencia de los acontecimientos del proceso de construcción y del ensamblaje final del soporte.

La simbología a emplearse en los diagramas se describe en la tabla 3.3.

Tabla 3.5. Simbología empleada en los diagramas

Actividad	Símbolo	Resultado predominante
Operación		Se produce o se realiza algo
Inspección		Se verifica la calidad o la cantidad del producto
Producto semi elaborado		Se obtiene un producto semi elaborado
Producto terminado		Se obtiene un producto terminado
Almacenaje		Se guarda o se protege el producto

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.4.1. Diagramas de procesos

#### 3.4.1.1. Estructura base

Materiales:

- Ángulos estructurales ASTM A36 (1 1/2" x1 1/2"), de 5 mm de espesor.
- Platinas ASTM A36 de 5 mm

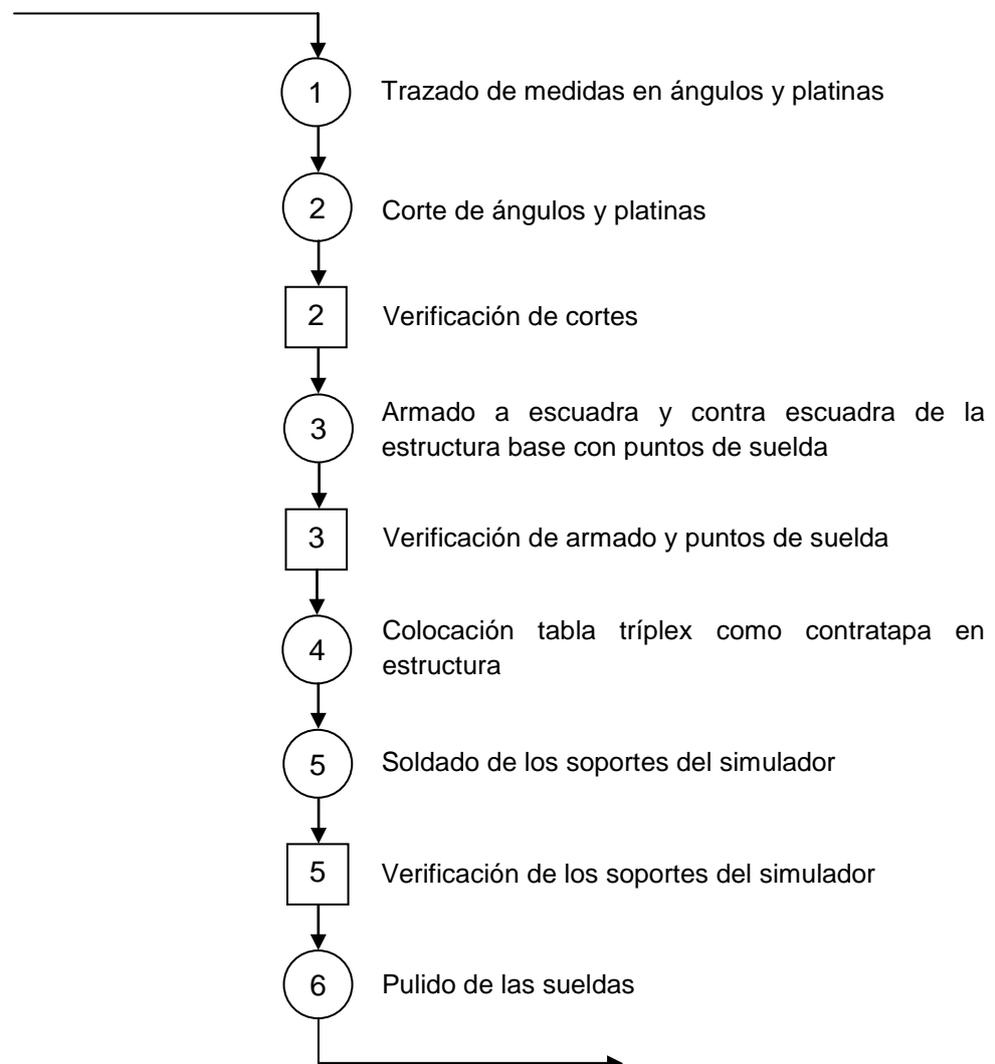


Fig. 3.6. Diagrama de procesos de la estructura base (1/2)  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

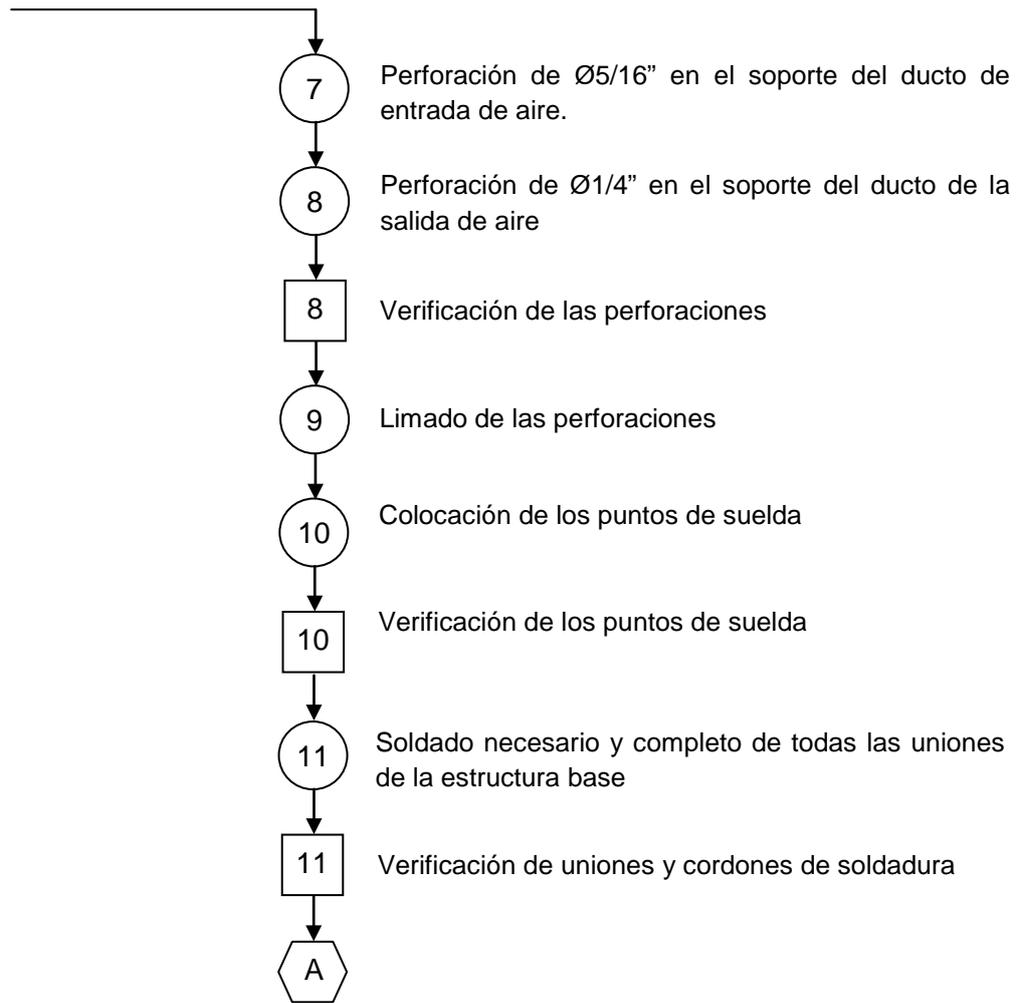


Fig. 3.7. Diagrama de procesos de la estructura base (2/2)  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.4.1.2. Ducto de entrada

Material:

- Tol de 1.5mm de espesor

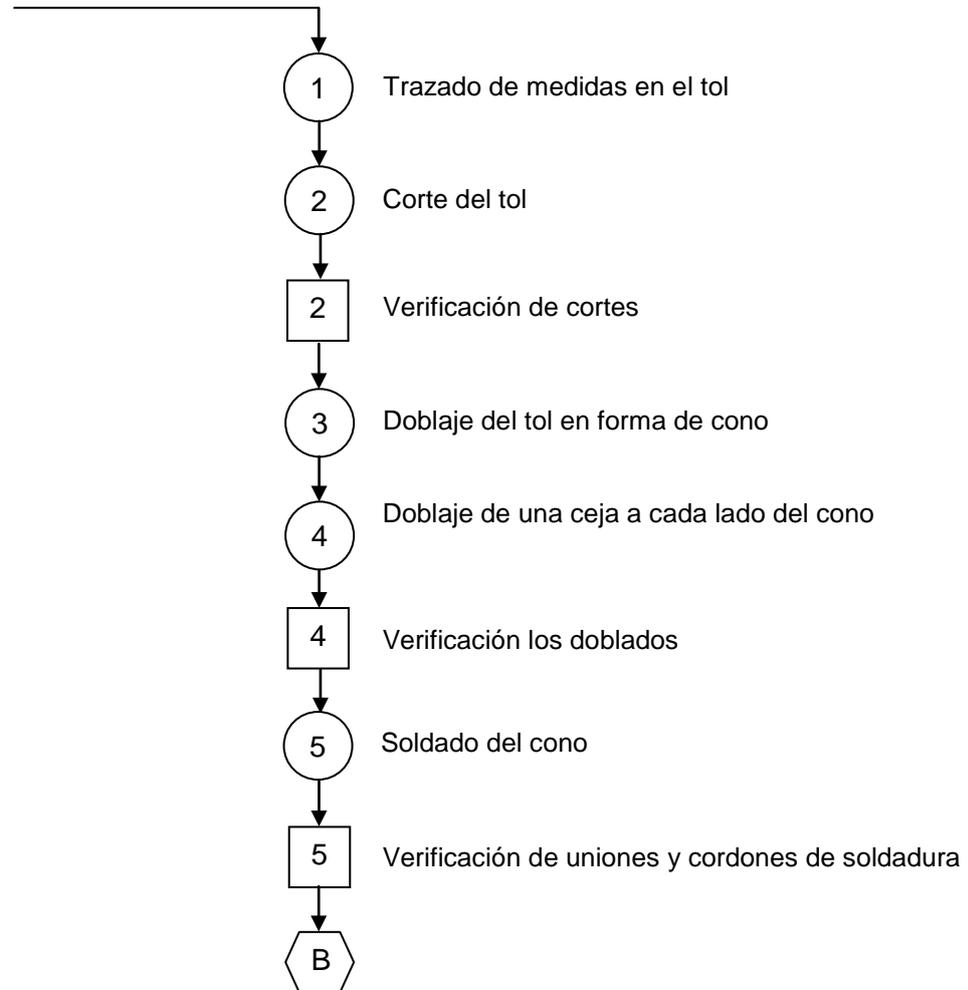


Fig. 3.8. Diagrama de procesos del ducto de entrada

Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.4.1.3. Ala

Material:

- Acero inoxidable 0.7mm de espesor
- Aluminio 3mm de espesor

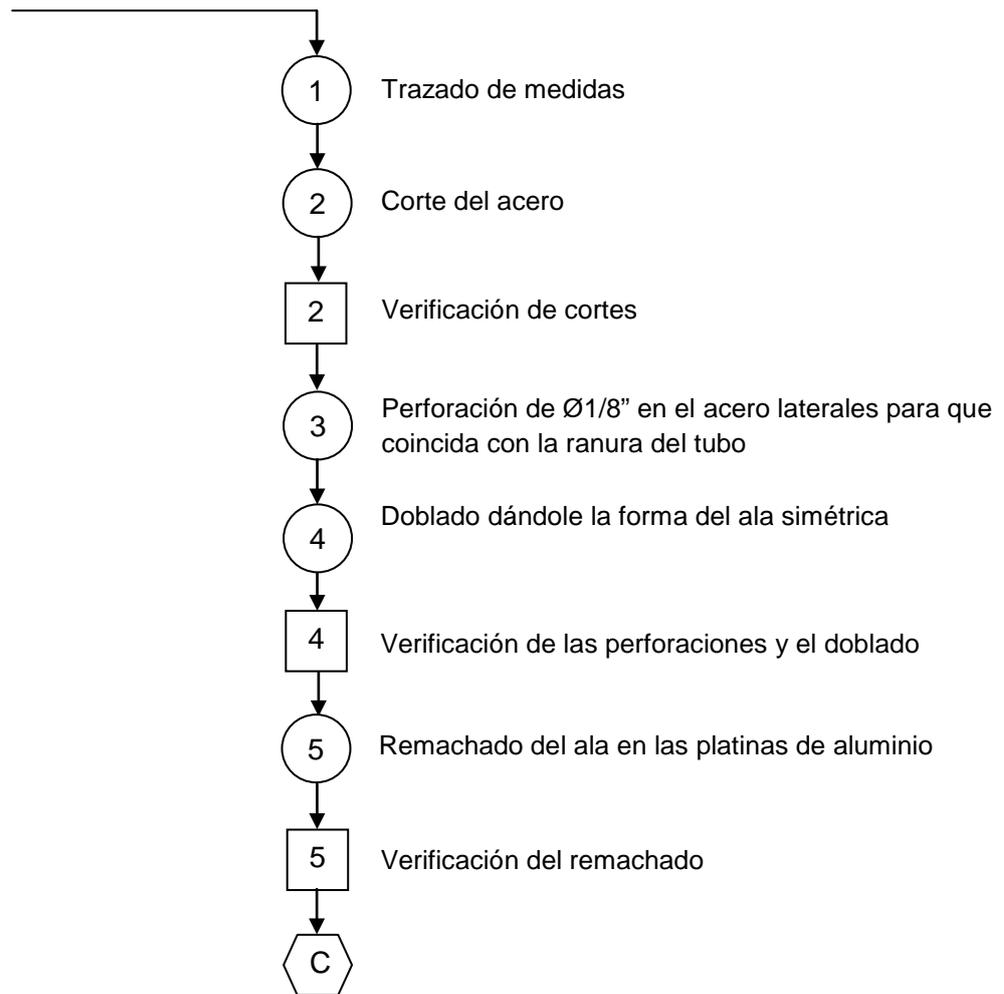


Fig. 3.9. Diagrama de procesos del ala  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.4.1.4. Ducto de salida de aire

#### Materiales:

- Tol de 1.5mm de espesor

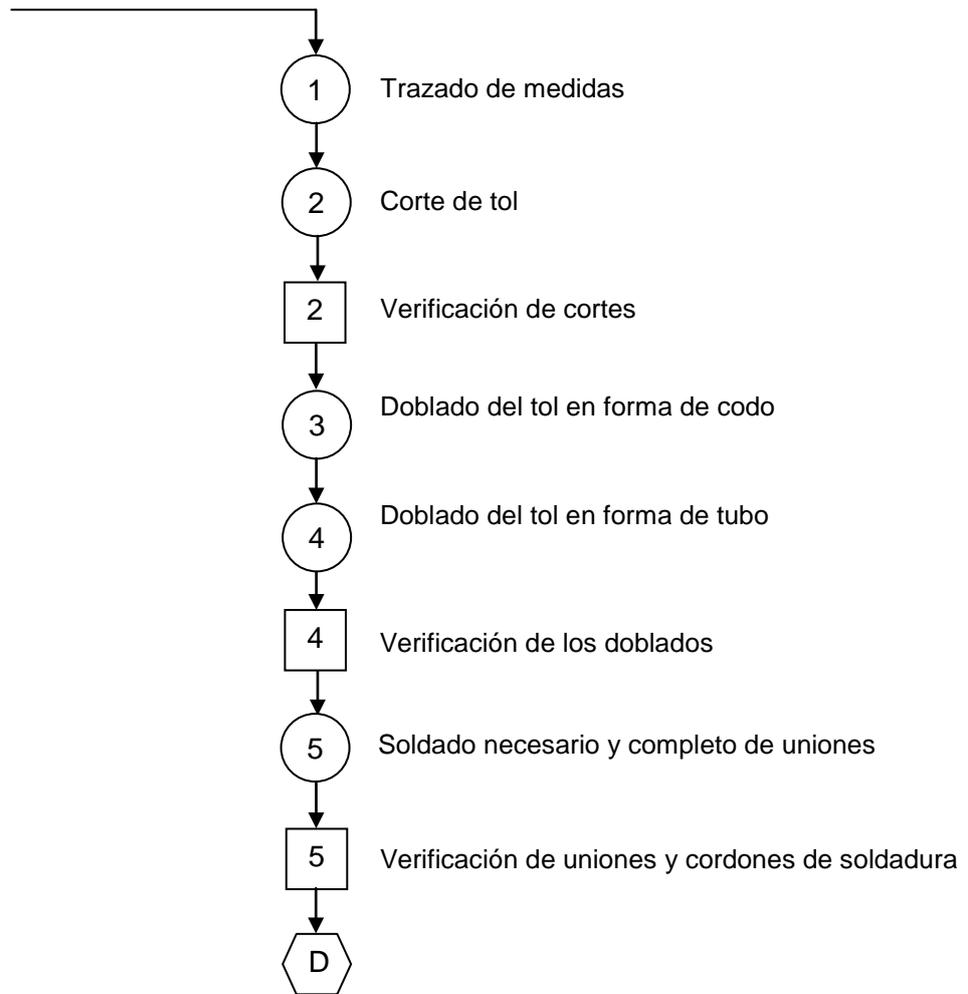


Fig. 3.10. Diagrama de procesos del ductos de salida  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.4.2. Diagrama de ensamblaje

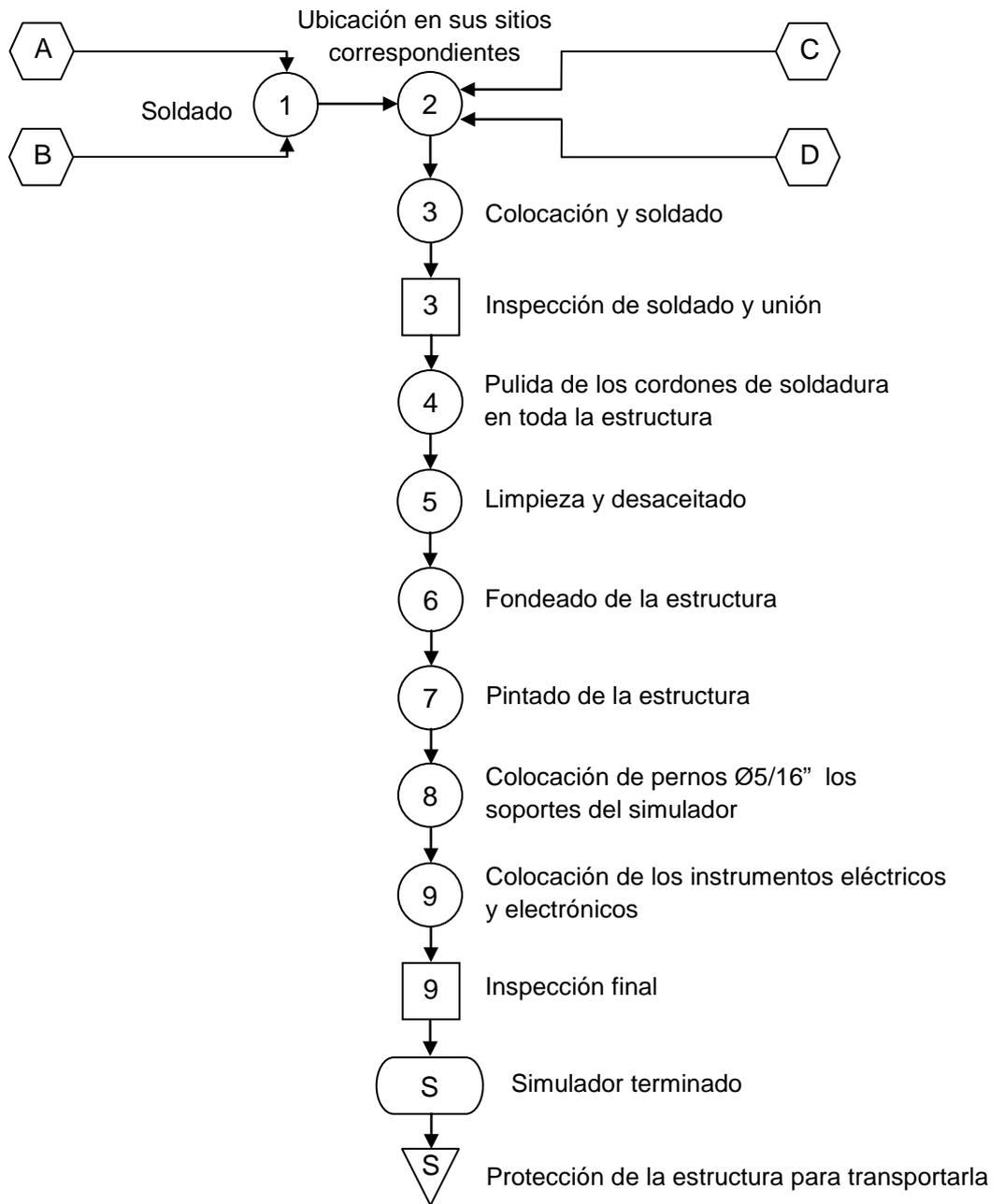


Fig. 3.11 Diagrama de ensamblaje  
Fuente: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### 3.5. Pruebas y análisis de resultados

Al contar con el simulador completamente ensamblado y al haber realizado previamente un estudio simulado de la estructura en SolidWorks Simulation 2010, se pudo comprobar y constatar que el simulador cumple con los requerimientos para la instrucción. El software arrojó resultados más que favorables ya que se realizó el estudio en cada punto, debido a que el programa hace un estudio general los resultados obtenidos en el programa no son exactamente igual a los obtenidos en las pruebas físicas.

Con lo nombrado anteriormente, la comparación e resultados no fue exacta (ver anexo “K”) debido a algunos factores como de aproximación, factores de programación, datos de campo, etc., Los datos obtenidos dado todos estos factores están dentro de los parámetros tolerantes.

Tabla 3.6. Datos comparativos de los resultados obtenidos

Ángulo	Medidos (Kpa)		Simulados SolidWorks 2010 (Kpa)	
	P1	P2	P1	P2
0	72	72	101.6533	101.662
+45	68	74	100.1044	104.9887
-45	74	68	105.0138	99.88997

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

De esta forma se concluyó satisfactoriamente con la construcción del simulador tipo túnel de viento de la variación de presiones según la movilidad de una superficie de control en el eje “y”, que será de gran utilidad para la Institución.

### **3.6. Documento de aceptación del usuario**

Una vez entregado el simulador como aporte al área de Aerodinámica correspondiente a la carrera de Mecánica Aeronáutica – Motores, será implementado para la comunidad científica del ITSA; es decir a sus estudiantes, docentes, administrativos, técnicos, etc. Con el fin de brindar una mejora en el área de aerodinámica en los laboratorios. Cabe recalcar que el proyecto cuenta con todas las garantías de funcionamiento y seguridad.

### **3.7. Manuales**

Se describen los diferentes procedimientos a seguir para una correcta utilización y manipulación del equipo de apoyo, sin poner en riesgo la seguridad del componente o personal de la empresa.

#### **3.7.1. Manual de seguridad**

Dicho manual tiene como objetivo primordial salvaguardar la integridad física tanto del componente como la persona que lo manipula (Ver anexo “B1”).

#### **3.7.2. Manual de operación**

Este manual contiene información de los procedimientos a seguir para la correcta utilización del simulador, así como sugerencias para su limpieza y transporte(Ver anexo “B2”).

### **3.7.3. Manual de mantenimiento**

Dentro de este manual se encuentran detallados los cuidados y tratamientos que debe tener el soporte para alargar la vida útil de componentes susceptibles a desgaste si no se les brinda atención necesaria y oportuna (Ver anexo "B3").

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **Presupuesto**

Antes de la consecución del proyecto, se realizó un estudio previo en el anteproyecto de investigación, el cual arrojó un valor aproximado de 970 dólares americanos (USD), para la construcción del túnel de viento.

La construcción es totalmente autofinanciada, basada en cotización de proformas para cada uno de los materiales y accesorios utilizados; el costo real utilizado en el proyecto, se detalla a continuación.

#### **Análisis económico**

Para la determinación del costo real del proyecto se consideró (4) factores económicos:

- Materiales y accesorios
- Maquinaria y herramientas
- Mano de obra
- Otros

## Materiales y accesorios

Este factor comprende el costo detallado de todos los materiales y accesorios utilizados.

Tabla 4.1. Materiales y accesorios

Nº	Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
1	Ángulo estructural ASTM A36 (1 1/2" x1 1/2") x 12mm 5 mm de espesor.	2 unid.	11.20	22.40
2	Aluminio (300 x 200) mm, 3mm de espesor	1 unid.	10	10
3	Platina ASTM A36 (50x400) mm,5mm de espesor	1 unid.	2.50	2.50
4	Broca Acero 7/16	1 unid.	3.00	3.00
5	DetonDF6B-4 extractor de olor	1 unid.	194.00	194.00
6	Cojinete bolas 6200-2RZ A-118 ISKRA	2 unid.	3.50	7.00
7	Display	1 unid.	15.00	15.00
8	Cilindro (650 x 300) mm, 5mm de espesor	1 unid..	45.00	45.00
9	Servomotor	2 unid.	20.00	40.00
10	Pulsadores eléctricos	2 unid.	1.00	2.00
11	Silicona SIKAFLEX -252	1 unid.	10.00	10.00
12	Perilla de cocina	1 unid.	2.00	2.00
13	Electrodos AGA E6011	2 lbs.	2.05	4.10
14	Tabla tríplex (270 x 110) mm x 9mm	1 unid.	14.00	14.00
15	Disco de corte (7" x 1/16" x 7/8")	3 unid.	2.40	7.20
16	Disco de desbaste (7" x 1/4" x 7/8")	1 unid.	2.70	2.70
17	Esmalte anticorrosivo negro mate	1 l.	4.95	4.95
18	Pintura esmalte azul	2 l.	6.00	12.00
19	Thinner	4 l.	1.50	6.00

20	Tuercas Ø1/8";Ø5/16"; Ø1/4"	20 unid.	0.15	3.00
21	Rodelas planasØ1/8"; Ø5/16"; Ø1/4"	20 unid.	0.05	1.00
22	Cinta de tela ¼"	1 unid.	2.00	2.00
23	Sensores de presión de aire	2 unid.	30.00	60.00
24	Malla metálica (700 x 400) mm	1 unid.	5.00	5.00
<b>Costo total de materiales y accesorios</b>				<b>474.85</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### Maquinaria y herramientas

Se detalla el costo de empleo de maquinaria y herramientas necesarias para la construcción del soporte.

Tabla 4.2. Maquinaria y herramientas

Nº	Detalle	Tiempo (horas)	Valor (hora)	Valor Total (USD)
	Dobladora	1:00	4.00	4.00
	Cizalla	2:00	2.00	4.00
1	Amoladora	5:00	4.00	20.00
2	Equipo de pintura	3:00	4.00	12.00
3	Equipo de soldadura eléctrica	5:00	3.50	17.50
4	Esmeril	2:00	4.00	8.00
5	Sierra eléctrica	4:00	8.00	36.00
6	Taladro	2:00	4.00	8.00
<b>Costo total de maquinaria y herramientas</b>				<b>109.5</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

## Mano de obra

Comprende la manipulación de maquinarias y herramientas, además del pintado, corte, etc., necesarios en la construcción.

Tabla 4.3. Mano de obra

Nº	Detalle	Valor Total (USD)
1	Ayudante	40.00
2	Pintor	50.00
3	Técnico	120.00
<b>Costo total de mano de obra</b>		<b>210.00</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

## Otros

Se refiere a todo el material de apoyo, didáctico y de oficina utilizados en el proyecto.

Tabla 4.4. Otros

Nº	Detalle	Valor Total (USD)
1	Alquiler internet	20.00
2	Anillados	10.00
3	Capacitación SolidWorks2010	170.00
4	CD's	3.00
5	Copias	25.00
6	Derechos y aranceles	120.00
7	Empastados	25.00

8	Impresiones	30.00
9	Movilización	30.00
10	Software "SolidWorks2010"	10.00
11	Varios	40.00
<b>Costo total de material de apoyo, didáctico y de oficina</b>		<b>483.00</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

### **Costo total del proyecto de grado**

Tabla 4.5. Costo total del proyecto de grado

<b>Nº</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor (USD)</b>
1	Costo total de materiales y accesorios	474.85
2	Costo total de maquinaria y herramientas	109.50
3	Costo total de mano de obra	210.00
4	Costo total de material de apoyo, didáctico y de oficina	483.00
<b>Costo total del proyecto de grado</b>		<b>1277.35</b>

Fuente: Información de campo

Elaboración: Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos

El costo total de la construcción del túnel de viento, es de **MIL DOCIENTOS SETENTA Y SIETE DÓLARES AMERICANOS CON 35/100 CENTAVOS.**

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

- Se culminó la construcción del Simulador tipo túnel de viento de la variación de presiones según la movilidad de una superficie de control en el eje Y, gracias a la información obtenida sobre Aerodinámica, conocimientos en mecánica, y capacitación en Electrónica Básica.
- Se obtuvo una apropiada información en Aerodinámica con respecto a los perfiles alares, capa límite, presiones de aire, etc.
- Se indagó sobre varias propuestas de simuladores en algunas compañías productoras de estos, de los cuales se escogió el más eficiente y el que ofrecía menos problemas en su construcción y mantenimiento.
- Se logró diseñar satisfactoriamente el simulador propuesto, para el cual se utilizó el programa SolidWorks 2010 y se pudo constatar que era la mejor opción para construir.
- Se culminó con la construcción debido a su previo diseño en el programa SolidWorks 2010, al conocimiento en mecánica, Aerodinámica, y a la capacitación en Electrónica.
- Se realizó pruebas de funcionamiento las cuales se obtuvo un resultado no muy diferente al que arrojó el programa de simulación, la diferencia se debe a los factores cambiantes del clima, valores

estándar del programa, etc. Y por último se elaboraron manuales de seguridad, operación y mantenimiento tomando en cuenta la manipulación que va a tener el Simulador.

### **Recomendaciones**

- Sería conveniente contar con nuevos bancos de pruebas para facilitar el conocimiento teórico-práctico, para de esta manera facilitar el trabajo más técnico en un futuro.
- El simulador debe estar sujeto a la información proporcionada en los manuales, para evitar su deterioro y prevenir cualquier contratiempo o incidente.
- Se recomienda que el instituto que establezca más horas prácticas para los diferentes bancos de prueba que posee.

## GLOSARIO

**Alabeo:** movimiento del avión respecto del eje longitudinal.

**ARMFIELD:** Empresa productora de túneles de viento.

**Gradientes:** En cálculo vectorial, el **gradiente**  $\nabla f$  de un campo escalar  $f$  es un campo vectorial que indica en cada punto del campo escalar la dirección de máximo incremento del mismo.

**Magnitud adimensional:** es toda aquella que no se expresa en unidades físicas, por ser independiente de la escala.

**Magnitud intensiva:** las propiedades intensivas son aquellas que no dependen de la cantidad de sustancia o del tamaño de un sistema, por lo que cuyo valor permanece inalterable al subdividir el sistema inicial en varios subsistemas, por este motivo no son propiedades aditivas.

**Número de Mach:** conocido en el uso coloquial como mach, es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto.

**Parámetros del flujo:** Un flujo de trabajo y una aplicación host pueden pasar datos entre ellos mediante parámetros. En el flujo de trabajo, un parámetro es una propiedad definida en su clase de flujo de trabajo. Si se define un método fijo para la propiedad, la aplicación host puede establecer esa propiedad antes de que el flujo de trabajo se ejecute pasando una colección de parámetros durante la llamada al método CreateWorkflow.

**Strip:** Una banda es una pieza larga y delgada de un elemento más grande.

**Sustentación:** es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente.

**Torsión:** es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.

**Velocidad relativa:** entre dos cuerpos es el valor de la velocidad de un cuerpo medida por el otro.

**Viscosidad:** propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza.

**Washout:** Un lavado es la erosión súbita del suelo blando u otras superficies de apoyo por un chorro de agua, por lo general ocurren durante un fuerte aguacero de lluvia (una inundación repentina) o las inundaciones otra corriente. Estas lluvias pueden ocurrir a nivel local en una tormenta eléctrica (sobre todo en verano, cuando están a menudo casi estacionaria), o sobre un área grande, como después de la recalada de un ciclón tropical. Si se produce un lavado en una formación como un cráter, que se llama una especie de hueco, y por lo general implica una fuga de las tuberías de agua rotas o principal o de alcantarillado. (Otros tipos de cenotes, cuevas, como se desplomó, no pueden ser lavados.)

## **SIGLAS**

**ASTM:** American Society of Testing Materials. (Sociedad Americana de Prueba de Materiales).

**CAD:** Diseño Asistido por Computador.

**HP:** Horse power (Caballos de fuerza).

**ITSA:** Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

**LCD:** Liquid Crystal Display. (Pantalla de Cristal Líquido).

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1,2] Oñate, Esteban (1994). Aerodinámica Práctica.
- [3] Consultado el día 01 de febrero del 2011 de la Word Wide Web:  
[http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=Como\\_trucar\\_un\\_servo](http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=Como_trucar_un_servo)
- [4] Consultado el día 03 de febrero del 2011 de la Word Wide Web:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal>
- [5] Taylor, Larry, A Gold Thief and Buoyancy.
- [6] Carter, Brandon (1987). Covariant theory of conductivity in ideal fluid or solid media.
- [7] Clayton, Crowe; Donald, Elger; Roberson, Williams; Roberson, John (2009), Engineering Fluid Mechanics.
- [8] Consultado el día 04 de febrero del 2011 de la Word Wide Web:  
[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/laminar\\_turbulento.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/laminar_turbulento.htm)
- [9] Tipler, Paul A. (2000). Física para la ciencia y la tecnología (2 volúmenes). Barcelona- España.
- [10] Millan, Salvador. (1999). Automatización.
- [11] BOHLER, (1999). Manual de aceros Bohler. Lima-Perú.

## ENLACES DE INTERNET

- [1] <http://inicia.es/de/vuelo>
- [2] [www.bsac-vac.tripod.com](http://www.bsac-vac.tripod.com)
- [3] <http://fluidos.eia.edu.co>
- [4] <http://electrolabo.com>
- [5] <http://shop.tuxgraphics.org>
- [6] <http://www.ucontrol.com.ar>
- [7] <http://www.capitalvideogames.com>
- [8] <http://www.sevenikmodel.com>
- [9] <http://files.solidworks.com>
- [10] [http:// www.uamerica.edu.co](http://www.uamerica.edu.co)

# **ANEXOS**

# **ANEXO “A”**

## **PLANOS**

# **ANEXO “B”**

## **MANUALES**

# ANEXO B1.-

## MANUAL DE SEGURIDAD

	<b>MANUAL DE SEGURIDAD</b>	<b>Pág.:</b> 1 de 1
	<b>SIMULADOR TIPO TÚNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y</b>	<b>Código:</b> XXXXXXX
	<b>Elaborado por:</b> Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Vinueza Wilson	<b>Fecha:</b> 04/02/2011

**a) OBJETIVO:**

Documentar procedimientos de seguridad a tener en cuenta en la manipulación del simulador.

**b) ALCANCE:**

Administrar un adecuado manejo del simulador, evitando cualquier incidente ya sea con el personal técnico o estudiantes.

**c) PROCEDIMIENTO:**

1. Verificar siempre el estado de la parte eléctrica y estructural del simulador, así mismo quitar toda posible obstrucción en el túnel.
2. Mantener siempre limpia el área de trabajo, Simulador y Parte eléctrica.
3. Conectar en la fuente de 110Vca.
4. Tener en consideración el peso del simulador, para su transporte o reubicación.
5. Correcta calibración y aseguramiento del servomotor y sensores.
6. Inspección final para verificar la correcta ubicación y estado del simulador.

**d) TÉCNICO RESPONSABLE**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Firma:**

\_\_\_\_\_

**Lic. N°:** .....

# ANEXO B2.-

## MANUAL DE OPERACIÓN

	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>Pág.:</b> 1 de 1
	<b>SIMULADOR TIPO TÚNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y</b>	<b>Código:</b> XXXXXX
	<b>Elaborado por:</b> Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Vinueza Wilson	<b>Fecha:</b> 05/02/2011

**a) OBJETIVO:**

Documentar procedimientos a seguir para operar el simulador de una manera adecuada, rápida y segura.

**b) ALCANCE:**

Proporcionar información adecuada para la correcta utilización del simulador.

**c) PROCEDIMIENTO:**

1. Conecte el enchufe a un toma corriente polarizado de 110 Vca.
2. Verifique que el túnel no tenga obstrucciones.
3. Suba el taco que se encuentra en la parte inferior izquierda con lo cual se deberá encender el display y señalará la presión atmosférica.
4. Presione el botón negro "ON" en el interruptor colocado en la parte superior, al lado izquierdo del PANEL DE VISUALIZACIÓN; PRECAUCIÓN: motor comienza a funcionar.
5. Con los pulsadores ↓ ↑ se cambia el ángulo de ataque del perfil alar, y el display muestra la diferencia de presiones para estos ángulos.
6. Una vez concluida la práctica apague el motor presionando el botón rojo "OFF", luego baje el taco y recoja el cable de alimentación.

**d) TÉCNICO RESPONSABLE**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Firma:**

\_\_\_\_\_

**Lic. N°:** .....

# ANEXO B3.-

## MANUAL DE MANTENIMIENTO

	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO</b>	<b>Pág.:</b> 1 de 1
	<b>SIMULADOR TIPO TÚNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y</b>	<b>Código:</b> XXXXXXX
	<b>Elaborado por:</b> Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos	<b>Revisión N°:</b> Original
	<b>Aprobado por:</b> Ing. Vinueza Wilson	<b>Fecha:</b> 05/02/2011

**a) OBJETIVO:**

Documentar procedimientos de mantenimiento que permitirán contar con el soporte en perfectas condiciones para su utilización.

**b) ALCANCE:**

Mantener el soporte en perfectas condiciones para cuando se lo requiera.

**c) PROCEDIMIENTO:**

Mantenimiento Trimestral

1. Chequear visualmente y limpiar el soporte.
2. Revisar y engrasar los rodamientos de las garruchas fijas y móviles.
3. Limpiar y colocar una ligera capa de grasa en los brazos y la eslinga regulable del soporte.
4. Realizar una pequeña inspección general del estado de los componentes del soporte (pernos, tuercas, cable, y grilletes).

Mantenimiento Anual

1. Verificar la condición de los componentes y garruchas del soporte por desgaste, reemplazarlos de ser necesario.

**d) TÉCNICO RESPONSABLE**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Firma:**

\_\_\_\_\_

**Lic. N°:** .....



# **ANEXO “C”**

## **ANTEPROYECTO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

# **ANTEPROYECTO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

## **DATOS REFERENCIALES:**

### **Nombre de la Institución:**

Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

### **Fecha de Presentación:**

12 de Mayo del 2010

### **Responsable del Trabajo de Graduación:**

Cevallos Cruz Luis Carlos

### **Director del Trabajo de Graduación:**

---

**Ing. Félix J Manjarrés A**

## CAPÍTULO I.

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

#### 1.1 Planteamiento del problema.

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), localizado en el corazón de la serranía ecuatoriana, en la provincia de Cotopaxi, en su capital, la ciudad de Latacunga, es la cuna de formación de los profesionales aeronáuticos de nuestro país. Con excelencia, ha venido desarrollando esta actividad a raíz de su creación, allá por Noviembre de 1999, desde ese entonces hasta la actualidad, ha entregado al campo técnico aeronáutico ecuatoriano, algunas promociones de profesionales civiles y militares en las áreas de: Mecánica Aeronáutica, mención motores y mención aviones, Telemática, Logística y Transportes, Electrónica mención instrumentación y aviónica y Ciencias de la Seguridad mención aérea y terrestre, todos ellos con un alto nivel académico y grandes valores que los ha convertido en líderes en los medios donde se desempeñan.

El profesional graduado del ITSA, en la carrera de Mecánica Aeronáutica estará en capacidad de realizar los distintos tipos de mantenimiento a las aeronaves según su habilitación legal, por lo cual la institución se ha empeñado en emprender un mejoramiento continuo de sus labores académicas, que le permita estar al nivel de las exigencias tecnológicas actuales, tomando en cuenta sobre todo la formación teórico – práctica.

De tal forma que en la Carrera de Mecánica Aeronáutica hacia dónde va dirigido este estudio- cuenta con la infraestructura necesaria en cuanto a laboratorios se refiere, donde se alojan entre otros: Máquinas, Herramientas, que permiten la combinación requerida entre la teoría y la práctica. Cabe anotar que en el universo de las ciencias aeronáuticas la

tecnología avanza constantemente, así, será necesario involucrar en este estudio, cuán actualizados se encuentran los materiales de enseñanza práctica de los laboratorios y cuán suficientes son los mismos, enfocada al área de “Aerodinámica”.

Por que enfocarnos a esta rama de las ciencias aeronáuticas?; Por el simple hecho que ha sido la base científica fundamental para que el hombre llegue a cumplir su sueño de “volar”, y considero es de interés e importancia que los niveles iniciales de la carrera de mecánica del ITSA, tengan material adecuado para la asimilación de esta asignatura base para el futuro estudiantil de la aeronáutica.

En una visita realizada al laboratorio de Mecánica Aeronáutica del ITSA llamado bloque 42 - esta cuenta con algunos elementos útiles para la enseñanza de la aerodinámica conviene destacar, entre algunos: un túnel de viento, perfiles alares, simulador de vuelo, el sistema de flap, los servo controles de vuelo, etc., este material es una variable a analizar en el presente estudio; identificaremos cuán actualizados están y cuan suficientes son para el cumplimiento del objetivo inicial, la enseñanza de la ciencia Aerodinámica.

## 1.2 Formulación del problema.

¿Cómo Contribuir a la mejora del proceso de aprendizaje teórico-práctico desarrollado en los laboratorios de la carrera de mecánica del ITSA, en lo que se refiere a la ciencia aerodinámica?

### 1.3 Justificación e importancia.

Este proyecto investigativo es concebido con el fin de investigar los agentes externos e internos que intervienen en lo que tiene que ver a material didáctico para el aprendizaje de Aerodinámica en los laboratorios de mecánica del ITSA.

Será importante llegar a conclusiones que permitan dar solución a problemas de haberlos - existentes en los laboratorios de Mecánica en el área de la Aerodinámica, esto conllevará a una mejora de la entrega de conocimientos a los alumnos mejores profesionales graduados - y por ende al mejoramiento académico del ITSA.

El tecnólogo aeronáutico en su carrera profesional se verá enfrentado a retos tanto teórico como prácticos, es el fin de este estudio, contribuir a la mejora de la formación de los individuos para que puedan superar con eficiencia los desafíos nombrados anteriormente – en la ciencia aeronáutica en este caso - y sobre todo, el tecnólogo graduado en el ITSA sea calificado por las empresas de aviación como un perito capaz, humano, eficiente y honesto.

### 1.4 Objetivos.

#### 1.4.1 Objetivo general.

- Estudiar la situación de los elementos pedagógicos que conforman los laboratorios de la carrera de mecánica del ITSA, relacionados con el área de aerodinámica.

#### 1.4.2 Objetivos específicos.

1. Identificar de modo personalizado y directo el estado de situación de las instalaciones en el área de aerodinámica en los Laboratorios de mecánica del ITSA.
2. Analizar los datos obtenidos de la identificación del problema, con el afán de plantear posibles soluciones al mismo.
3. Estudiar la alternativa que sería la que brinde mejores posibilidades de solución a problemas que se presentaren en el área de Aerodinámica de los Laboratorios de Mecánica del ITSA.
4. Denunciar el tema que será motivo de la ejecución de la solución al problema.
5. Analizar los costos que se involucran en el planteamiento de la solución.

#### 1.5 Alcance.

El presente estudio se limitará a ser aplicado en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, específicamente en la asignatura de Aerodinámica correspondiente a la carrera de Mecánica Aeronáutica - Motores; para la comunidad científica del ITSA; es decir a sus estudiantes, docentes, administrativos, técnicos, etc. Con el fin de brindar una mejora en el área de la aerodinámica en los laboratorios.

Además será fuente de información y apoyo para todas las personas que estén relacionadas e interesadas con este tema.

## CAPÍTULO II

### PLAN METODOLÓGICO.

#### 2.1. Modalidad de la Investigación.

##### De Campo.

Se realizará una investigación de campo participativa en los laboratorios de la carrera de Mecánica del ITSA, con el objetivo de identificar personalmente el estado de situación de estas instalaciones en el área de la Aerodinámica, en lo que a equipos de enseñanza se refiere, tomando en cuenta la opinión tanto de instructores, técnicos y alumnos, lo cual será importante para el proceso de solución del problema planteado.

##### Documental.

Será de mucha importancia sustentar la investigación en la teoría necesaria, en el campo Aerodinámico, con el fin de que la presente averiguación se base en una fundamentación técnica adecuada, así, se logrará ser efectivos en el cumplimiento de objetivos mismos los que persigue este documento.

#### 2.2. Tipos de Investigación.

##### No Experimental.

Realizaremos una investigación en la cual no se manipulen deliberadamente las variables, es decir nuestra investigación cumplirá con la característica de no cambiar intencionalmente las variables independientes como ocurre en el caso de una investigación

EXPERIMENTAL; de esta manera, - la “no experimental - nos permitirá encontrar la solución al problema en estudio, bajo el planteamiento de circunstancias enfocadas a una condición que será determinada en Aerodinámica en los Laboratorios de mecánica en el ITSA.

### 2.3. Nivel de Investigación.

El nivel de investigación será DESCRIPTIVO, y permitirá predecir aunque rudimentariamente conclusiones de la investigación, mediante las cuales se planteará alternativas para su solución; dado que los estudios descriptivos miden CONCEPTOS, lo utilizaremos en este proceso investigativo para tener idea de un índice referente al estado de situación del área Aerodinámica en los Laboratorios del ITSA que provendrá de quienes interactúan con estas zonas, como anteriormente mencioné: instructores, técnicos, alumnos.

### 2.4. Universo, Población y Muestra.

#### Universo.

Para efecto de esta investigación tomaremos como un Universo a los alumnos que de la Carrera de Mecánica Aeronáutica del ITSA tanto en mención aviones como motores, dado que son entes con el conocimiento suficiente sobre el área de investigación.

#### Población.

La Población a estudiar será integrada por los Quintos y Sextos cursos de la carrera de mecánica del ITSA tanto en las especialidades de aviones y motores, porque están en niveles superiores y ya transcurrieron por la asignatura de la cual derivamos esta investigación además están casi por

salir de las aulas del instituto, por lo que podemos considerar tienen un criterio muy apegado a la realidad.

### Muestra.

Se seleccionará una muestra de 26 alumnos distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 1. Distributivo de la muestra ha tomarse

ALUNMOS	CANTIDAD
Quinto Motores	8
Quinto Aviones	8
Sexto Motores	5
Sexto Aviones	5
TOTAL	26

Esta distribución se la realizó con el objetivo de tener opinión variada de los alumnos que cursan los últimos niveles en la carrera de Mecánica del ITSA.

### 2.5. Recolección de Datos.

Para esta finalidad se utilizará el instrumento de medición ENCUESTA, que permitirá conocer el criterio personal sobre el problema, de quienes están directamente relacionados con el mismo, en este caso con el área de la Aerodinámica.

La recolección de datos BIBLIOGRÁFICOS será de gran utilidad para la elaboración del marco teórico, misma que será obtenida de fuentes como

libros científicos, manuales técnicos, diccionarios aeronáuticos, entre otros.

La OBSERVACIÓN se la realizará en el área de los laboratorios de Mecánica Aeronáutica del ITSA, en el caso específico de la zona de equipos de enseñanza de la Aerodinámica, con el afán de recolectar información visualmente sobre el problema que está en investigación.

#### 2.6. Procesamiento de la Información.

Se procesará la información con la asistencia de un software exclusivo para análisis de Estadística Descriptiva, como lo es el SPSS en su versión 18.

#### 2.7. Análisis e interpretación de resultados.

En este punto, contando con la información recopilada, se procederá a efectuar el siguiente procesamiento de datos:

1. Clasificar la información obtenida en base al filtro utilizado en los cuestionarios.
2. Interpretar los resultados obtenidos para determinar una relación existente entre ellos.
3. Analizar estadísticamente los datos, por medio de Estadística descriptiva.
4. Estudiar cada uno de los resultados por separado y relacionarlos con el marco teórico.
5. Comparar los resultados finales con las expectativas previstas.

## 2.8. Conclusiones y Recomendaciones.

Mismas que serán extraídas y descritas luego del proceso investigativo.

## CAPÍTULO III.

### EJECUCIÓN DEL PLAN METODOLÓGICO.

#### 3.1. Marco Teórico.

##### 3.1.1. Antecedentes de la Investigación.

En el ITSA, en la carrera de mecánica, una de las áreas importantes y medulares de estudio es la Aerodinámica, de ella depende la asimilación del fenómeno físico conocido como vuelo. Este fue una obsesión hace siglos de historia para muchos investigadores y pioneros de la aviación, mismos que en base a experimentación y estudio lograron asimilar y desarrollar la ciencia Aerodinámica, a tal punto que hoy en día el ser humano no solo a volado, sino ha sobrepasado el límite de velocidad del sonido, ha rebasado las fronteras terrestres y ha llegado al espacio, ha desarrollado armas letales con el conocimiento aerodinámico combinado con otras ciencias de las ingenierías distintas que intervienen en estos diseños, y la aviación comercial es hoy por hoy uno de los principales medios de transporte y una de las industrias en auge permanente y desarrollo continuo a nivel nacional e internacional

A continuación vamos a describir algunos conceptos importantes en los cuales se fundamentará la presente investigación.

##### 3.1.2. Fundamentación Teórica.

### PRINCIPIOS AERODINÁMICOS.

Aerodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que estudia los gases en movimiento y las fuerzas o reacciones a las que están sometidos los cuerpos que se hallan en su seno. A la importancia propia de la aerodinámica hay que añadir el valor de su aportación a la aeronáutica. De acuerdo con el número de Mach o velocidad relativa de un móvil con

respecto al aire, la aerodinámica se divide en sub sónica y supersónica según que dicho número sea inferior o superior a la unidad.

Hay ciertas leyes de la aerodinámica, aplicables a cualquier objeto moviéndose a través del aire, que explican el vuelo de objetos más pesados que el aire. Para el estudio del vuelo, es lo mismo considerar que es el objeto el que se mueve a través del aire, como que este objeto esté inmóvil y es el aire el que se mueve (de esta última forma se prueban en los túneles de viento prototipos de aviones).

Teorema de Bernoulli.

Daniel Bernoulli comprobó experimentalmente que “la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa”, o dicho de otra forma “en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante”, es decir que  $p + v = k$ .

Para que se mantenga esta constante  $k$ , si una partícula aumenta su velocidad y será a costa de disminuir su presión  $p$ , y a la inversa.

El teorema de Bernoulli se suele expresar en la forma  $p + 1/2 dv^2 =$  constante, denominándose al factor  $p$  presión estática y al factor  $1/2 dv^2$  presión dinámica.

$$p + 1/2 dv^2 = k; 1/2 dv^2 = pd$$

Donde:

$p$ =presión en un punto dado.

$d$ =densidad del fluido.

$v$ =velocidad en dicho punto.

$p_d$ =presión dinámica.

Se puede considerar el teorema de Bernoulli como una derivación de la ley de conservación de la energía.

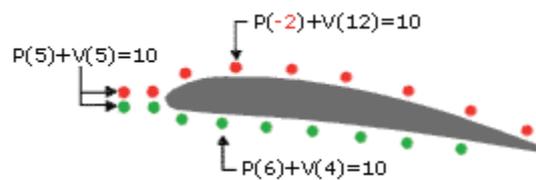


Fig 1. Teorema de Bernoulli.

### Efecto Venturi.

Otro científico, Giovanni Battista Venturi, comprobó experimentalmente que al pasar por un estrechamiento las partículas de un fluido aumentan su velocidad.

### 3ª Ley del movimiento de Newton.

Para cada fuerza de acción hay una fuerza de reacción igual en intensidad pero de sentido contrario.

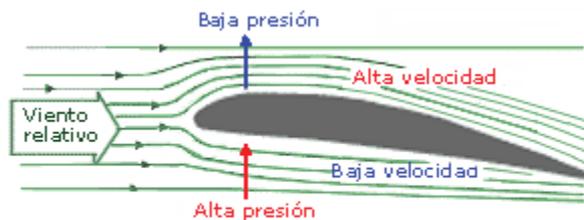


Fig 2. Presión vs Velocidad

## Porqué vuelan los aviones.

Un objeto plano, colocado un poco inclinado hacia arriba contra el viento, produce sustentación; por ejemplo una cometa. Un perfil aerodinámico, es un cuerpo que tiene un diseño determinado para aprovechar al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando este perfil se sitúa en una corriente de aire. Un ala es un ejemplo de diseño avanzado de perfil aerodinámico.

Veamos que sucede cuando un aparato dotado de perfiles aerodinámicos (alas) se mueve en el aire (dotado de presión atmosférica y velocidad), a una cierta velocidad y con determinada colocación hacia arriba (ángulo de ataque), de acuerdo con las leyes explicadas.

El ala produce un flujo de aire en proporción a su ángulo de ataque (a mayor ángulo de ataque mayor es el estrechamiento en la parte superior del ala) y a la velocidad con que el ala se mueve respecto a la masa de aire que la rodea; de este flujo de aire, el que discurre por la parte superior del perfil tendrá una velocidad mayor (efecto Venturi) que el que discurre por la parte inferior. Esa mayor velocidad implica menor presión (teorema de Bernoulli).

Tenemos pues que la superficie superior del ala soporta menos presión que la superficie inferior. Esta diferencia de presiones produce una fuerza aerodinámica que empuja al ala de la zona de mayor presión (abajo) a la zona de menor presión (arriba), conforme a la Tercera Ley del Movimiento de Newton.

Pero además, la corriente de aire que fluye a mayor velocidad por encima del ala, al confluir con la que fluye por debajo deflecta a esta última hacia abajo, produciéndose una fuerza de reacción adicional hacia arriba. La suma de estas dos fuerzas es lo que se conoce por fuerza de sustentación, que es la que mantiene al avión en el aire.

## FUERZAS QUE ACTÚAN EN VUELO.

Sobre un aeroplano en vuelo actúan una serie de fuerzas, favorables unas y desfavorables otras, siendo una tarea primordial del piloto ejercer control sobre ellas para mantener un vuelo seguro y eficiente. Aunque los expertos siguen debatiendo e investigando sobre aerodinámica, a nuestro nivel solo necesitamos conocer algunos conceptos fundamentales, empezando por las fuerzas que afectan al vuelo y sus efectos. De todas las fuerzas que actúan sobre un aeroplano en vuelo, las básicas y principales porque afectan a todas las maniobras son cuatro: sustentación, peso, empuje y resistencia. Estas cuatro fuerzas actúan en pares; la sustentación es opuesta al peso, y el empuje o tracción a la resistencia.

Un aeroplano, como cualquier otro objeto, se mantiene estático en el suelo debido a la acción de dos fuerzas: su peso, debido a la gravedad, que lo mantiene en el suelo, y la inercia o resistencia al avance que lo mantiene parado. Para que este aeroplano vuele será necesario contrarrestar el efecto de estas dos fuerzas negativas, peso y resistencia, mediante otras dos fuerzas positivas de sentido contrario, sustentación y empuje respectivamente. Así, el empuje ha de superar la resistencia que opone el avión a avanzar, y la sustentación superar el peso del avión manteniéndolo en el aire.



Fig. 3 Fuerzas que actúan en vuelo

### Sustentación.

Es la fuerza desarrollada por un perfil aerodinámico moviéndose en el aire, ejercida de abajo arriba, y cuya dirección es perpendicular al viento relativo y a la envergadura del avión (no necesariamente perpendiculares al horizonte). Se suele representar con la letra L del inglés Lift = Sustentación.

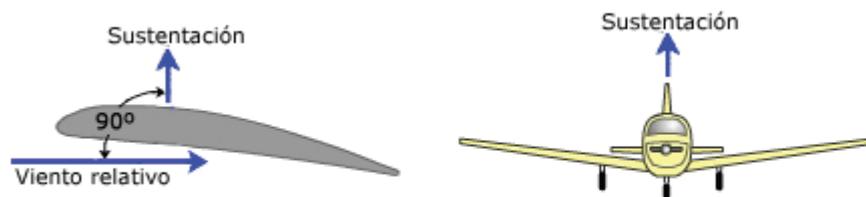


Fig. 4. Perpendicularidad de la sustentación

Anteriormente hemos visto las leyes aerodinámicas que explican la sustentación; ahora veremos con detalle cuales son los factores que afectan a la misma, dando entrada de paso a algunos conceptos nuevos.

### Actitud del avión.

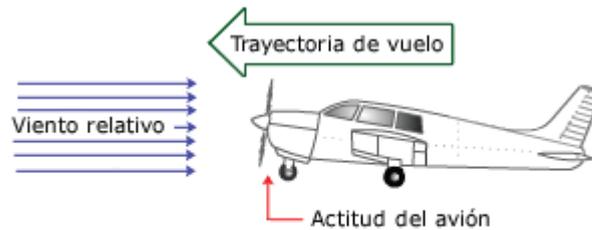
Este término se refiere a la orientación o referencia angular de los ejes longitudinal y transversal del avión con respecto al horizonte, y se especifica en términos de: posición de morro (pitch) y posición de las alas (bank); p.ejemplo: el avión está volando con 5° de morro arriba y 15° de alabeo a la izquierda.

### Trayectoria de vuelo.

Es la dirección seguida por el perfil aerodinámico durante su desplazamiento en el aire; es decir es la trayectoria que siguen las alas y por tanto el avión.

### Viento relativo.

Es el flujo de aire que produce el avión al desplazarse. El viento relativo es paralelo a la trayectoria de vuelo y de dirección opuesta. Su velocidad es la relativa del avión con respecto a la velocidad de la masa de aire en que este se mueve.



Es importante destacar que no debe asociarse la trayectoria de vuelo, ni por tanto el viento relativo, con la actitud de morro del avión; por ejemplo, una trayectoria de vuelo recto y nivelado puede llevar aparejada una actitud de morro ligeramente elevada.

Ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala con respecto al eje longitudinal del avión. Este ángulo es fijo, pues responde a consideraciones de diseño y no es modificable por el piloto.

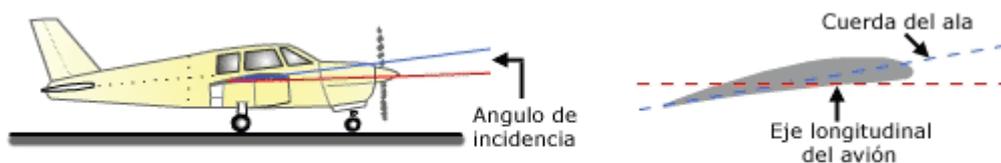


Fig. 6. Ángulo de Incidencia

Ángulo de ataque. El ángulo de ataque es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo. Este ángulo es variable, pues depende de la dirección del viento relativo y de la posición de las alas con respecto a este, ambos extremos controlados por el piloto. Es conveniente tener muy claro el concepto de ángulo de ataque pues el

vuelo está directa y estrechamente relacionado con el mismo. Es importante notar, que el ángulo de ataque se mide respecto al viento relativo y no en relación a la línea del horizonte. En la parte de la izquierda el avión mantiene una trayectoria horizontal (el viento relativo también lo es) con diferentes ángulos de ataque ( $5^\circ$  y  $10^\circ$ ); a la derecha y arriba, el avión mantiene una trayectoria ascendente con un ángulo de ataque de  $5^\circ$ , mientras que a la derecha y abajo la trayectoria es descendente también con un ángulo de ataque de  $5^\circ$ .

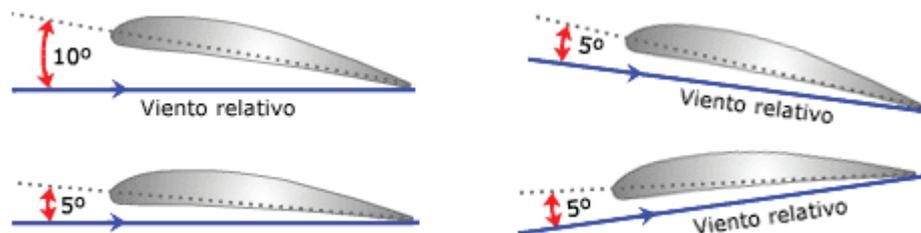


Fig. 7. Ángulo de Ataque y Viento Relativo.

En las distintas fases de un avión en vuelo, en cada una de las cuales podemos apreciar de una manera gráfica los conceptos definidos: la trayectoria; el viento relativo, paralelo y de dirección opuesta a la trayectoria, y la sustentación, perpendicular al viento relativo.



Fig. 8. La Sustentación es perpendicular viento relativo y opuesto y paralelo a la trayectoria.

Si se fija en la figura anterior, notará que los dos aviones de la izquierda tienen la misma actitud y sin embargo distinta trayectoria (y naturalmente,

diferente dirección de viento relativo y sustentación). El ángulo de ataque del avión de la parte superior es moderado mientras que el de la parte inferior tiene un valor elevado.

Por contra, los dos aviones de la izquierda tienen la misma trayectoria y sin embargo su actitud y ángulo de ataque son diferentes.

### Factores que afectan a la sustentación.

#### La forma del perfil del ala.

Hasta cierto límite, a mayor curvatura del perfil mayor diferencia de velocidad entre las superficies superior e inferior del ala y por tanto mayor diferencia de presión, o lo que es igual mayor fuerza de sustentación. No obstante no hay que confundirse pensando que es necesario que el ala sea curvada por arriba y plana o cóncava por abajo para producir sustentación, pues un ala con un perfil simétrico también la produce. Lo que ocurre es que un ala ligeramente curvada entra en pérdida con un ángulo de ataque mucho mayor que un ala simétrica, lo que significa que tanto su coeficiente de sustentación como su resistencia a la pérdida son mayores.

La curvatura de un ala típica moderna es solo de un 1% o un 2%. La razón por la cual no se hace más curvada, es que un incremento de esta curvatura requeriría una superficie inferior cóncava, lo cual ofrece dificultades de construcción. Otra razón, es que una gran curvatura solo es realmente beneficiosa en velocidades cercanas a la pérdida (despegue y aterrizaje), y para tener más sustentación en esos momentos es suficiente con extender los flaps.

#### La superficie alar.

Cuanto más grandes sean las alas mayor será la superficie sobre la que se ejerce la fuerza de sustentación. Pero hay que tener en cuenta que perfiles muy curvados o alas muy grandes incrementan la resistencia del

avión al ofrecer mayor superficie enfrentada a la corriente de aire. En cualquier caso, tanto la forma como la superficie del ala dependen del criterio del diseñador, que tendrá que adoptar un compromiso entre todos los factores según convenga a la funcionalidad del avión.

#### La densidad del aire.

Cuanto mayor sea la densidad del aire, mayor es el número de partículas por unidad de volumen que cambian velocidad por presión y producen sustentación (factor  $d$  del teorema de Bernoulli).

#### La velocidad del viento relativo.

A mayor velocidad sobre el perfil, mayor es la sustentación. La sustentación es proporcional al cuadrado de la velocidad (factor  $v^2$  del teorema de Bernoulli), siendo por tanto este factor el que comparativamente más afecta a la sustentación.

#### El ángulo de ataque.

Si se aumenta el ángulo de ataque es como si se aumentara la curvatura de la parte superior del perfil, o sea el estrechamiento al flujo de aire, y por tanto la diferencia de presiones y en consecuencia la sustentación. No obstante como se verá más adelante, un excesivo ángulo de ataque puede provocar la entrada en pérdida.

En resumen, la sustentación creada por el ala está en función de:

El coeficiente aerodinámico (Forma del perfil).

La superficie alar.

La densidad del aire.

La velocidad del viento relativo.

El ángulo de ataque



Fig 9. Sustentación vs Ángulo de ataque

### Centro de Presiones.

Se denomina centro de presiones al punto teórico del ala donde se considera aplicada toda la fuerza de sustentación. La figura 1.3.8 muestra un ejemplo de distribución de presiones sobre un perfil moviéndose en el aire. A efectos teóricos, aunque la presión actúa sobre todo el perfil, se considera que toda la fuerza de sustentación se ejerce sobre un punto en la línea de la cuerda (resultante).

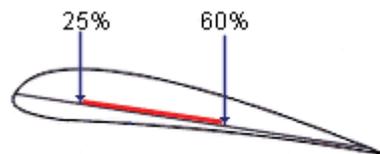


Fig. 10. Centro de Presiones

La posición del centro de presiones se suele dar en % de la cuerda del ala a partir del borde de ataque.

A medida que aumenta o disminuye el ángulo de ataque se modifica la distribución de presiones alrededor del perfil, desplazándose el centro de presiones, dentro de unos límites, hacia adelante o atrás respectivamente. El margen de desplazamiento suele estar entre el 25% y el 60% de la cuerda, y puesto que afecta a la estabilidad de la aeronave es conveniente que sea el menor posible.

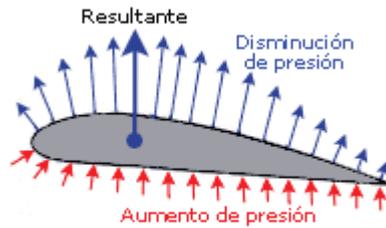


Fig. 11. Límites de desplazamiento del Centro de Presiones

Mediante métodos empíricos se ha demostrado que a medida que se incrementa el ángulo de ataque, el Centro de Presiones se desplaza gradualmente hacia adelante.

En un punto más allá del ángulo de ataque para vuelo ordinario, comienza a moverse hacia atrás de nuevo; cuando llega a un punto lo suficientemente atrás, el morro del avión cae porque el ala está en pérdida.

Centro de Gravedad.

Es el punto donde se considera ejercida toda la fuerza de gravedad, es decir el peso. El C.G es el punto de balance de manera que si se pudiera colgar el avión por ese punto específico este quedaría en perfecto equilibrio. El avión realiza todos sus movimientos pivotando sobre el C.G. La situación del centro de gravedad respecto al centro de presiones tiene una importancia enorme en la estabilidad y controlabilidad del avión.

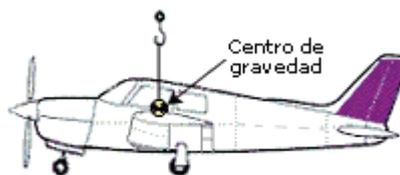


Fig. 12. Centro de Gravedad

## Resistencia.

La resistencia es la fuerza que impide o retarda el movimiento de un aeroplano.

La resistencia actúa de forma paralela y en la misma dirección que el viento relativo, aunque también podríamos afirmar que la resistencia es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria.

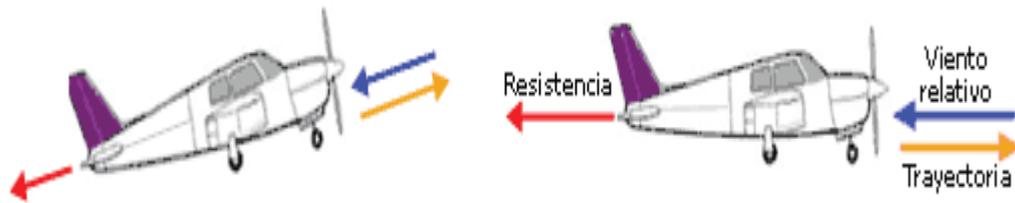


Fig. 13. Dirección y Sentido de la Resistencia

Desde un punto de vista aerodinámico, cuando un ala se desplaza a través del aire hay dos tipos de resistencia: (a) resistencia debida a la fricción del aire sobre la superficie del ala, y (b) resistencia por la presión del propio aire oponiéndose al movimiento de un objeto en su seno.

La resistencia por fricción es proporcional a la viscosidad, que en el aire es muy baja, de manera que la mayoría de las veces esta resistencia es pequeña comparada con la producida por la presión, mientras que la resistencia debida a la presión depende de la densidad de la masa de aire.

La resistencia total del avión es pues la suma de dos tipos de resistencia: la resistencia inducida y la resistencia parásita.

## Resistencia parásita.

Es la producida por las demás resistencias no relacionadas con la sustentación, como son: resistencia al avance de las partes del avión que sobresalen (fuselaje, tren de aterrizaje no retráctil, antenas de radio, etc.);

entorpecimiento del flujo del aire en alas sucias por impacto de insectos o con formación de hielo; rozamiento o fricción superficial con el aire; interferencia del flujo de aire a lo largo del fuselaje con el flujo de las alas; el flujo de aire canalizado al compartimento del motor para refrigerarlo (que puede suponer en algunos aeroplanos cerca del 30% de la resistencia total); etc. También, la superficie total del ala y la forma de esta afecta a la resistencia parásita; un ala más alargada presenta mayor superficie al viento, y por ello mayor resistencia parásita, que un ala más corta. Lógicamente, cuanto mayor sea la velocidad mayor será el efecto de la resistencia parásita: la resistencia parásita aumenta con la velocidad.

Si la resistencia inducida es un producto de la sustentación, y en la resistencia parásita tienen influencia la superficie alar y la forma del ala, es obvio que prácticamente todos los factores que afectan a la sustentación afectan en mayor o menor medida a la resistencia.

### Empuje o tracción.

Para vencer la inercia del avión parado, acelerarlo en la carrera de despegue o en vuelo, mantener una tasa de ascenso adecuada, vencer la resistencia al avance, etc., se necesita una fuerza: el empuje o tracción.

Esta fuerza se obtiene acelerando una masa de aire a una velocidad mayor que la del aeroplano. La reacción, de igual intensidad pero de sentido opuesto (3ª ley del movimiento de Newton), mueve el avión hacia adelante. En aviones de hélice, la fuerza de propulsión la genera la rotación de la hélice, movida por el motor (convencional o turbina); en reactores, la propulsión se logra por la expulsión violenta de los gases quemados por la turbina.

Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o menos paralela al eje longitudinal del avión. Es obvio que el factor principal que influye en esta fuerza es la

potencia del motor, pero hay otros elementos que también influyen como pueden ser la forma y tamaño de la hélice, octanaje del combustible, densidad del aire, etc. Se habla de potencia en C.V. en motores convencionales, y de kilos o libras de empuje en reactores.

Puesto que potencia es equivalente a energía por unidad de tiempo, a mayor potencia mayor capacidad de aceleración.

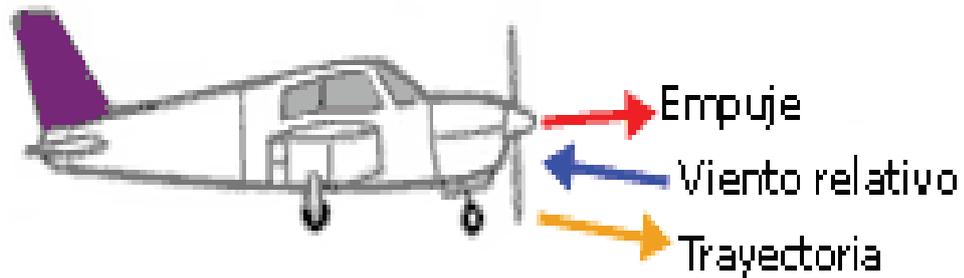


Fig. 14. Empuje y Tracción

La potencia es el factor más importante a la hora de determinar la tasa de ascenso de un avión. De hecho la tasa máxima de ascenso de un avión no está relacionada con la sustentación sino con la potencia disponible descontada la necesaria para mantener un vuelo nivelado.

## Ejes del avión.

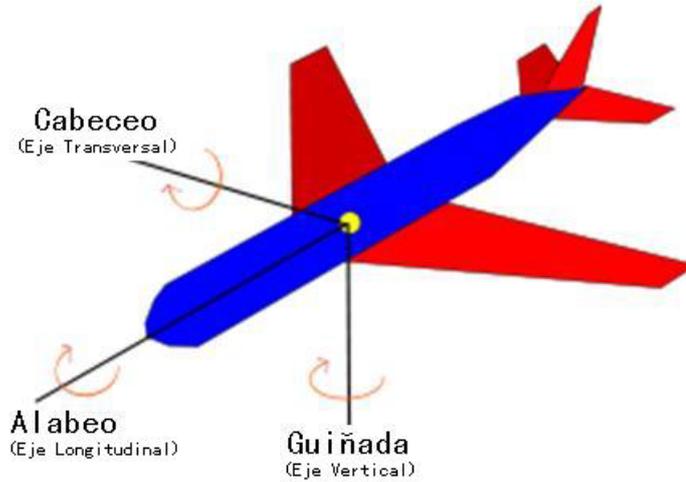


Fig. 15. Ejes del Avión

## Los tres ejes principales.

Cualquier aeronave será capaz de realizar 3 posibles giros alrededor de 3 ejes perpendiculares entre sí cuyo punto de intersección está situado sobre el centro de gravedad del avión. Estos 3 ejes son: eje transversal (o lateral), eje longitudinal y eje vertical.

## Eje lateral.

El movimiento de cabeceo es una rotación sobre el eje que pasa por las alas.

El eje lateral o transversal es un eje imaginario que se extiende de punta a punta de las alas del avión. El movimiento que realiza el avión alrededor de este eje se denomina cabeceo.



Fig. 16. Eje Lateral

El piloto, desde la cabina de mando es capaz de modificar la orientación respecto a este eje a través del timón de profundidad.

Al tirar del bastón de mando hacia atrás (hacia el piloto) se produce una elevación del morro del avión, y al empujarlo adelante se produce una bajada del morro del avión.

#### Eje longitudinal.

Movimiento longitudinal producido por los alerones.

El eje longitudinal es un eje imaginario que se extiende desde el morro a la cola del avión. El movimiento que realiza el avión alrededor de este eje se denomina alabeo.

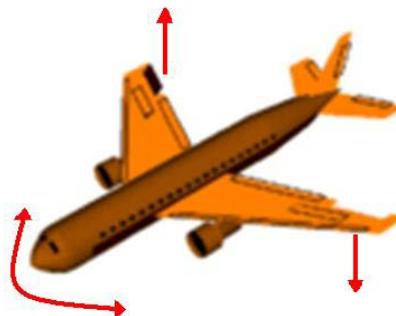


Fig. 17. Eje Longitudinal

Las superficies de mando del alabeo son los alerones. Al girar el bastón de mando se produce la deflexión diferencial de los alerones: al tiempo que el alerón de una de las alas sube, el alerón de la otra ala baja, siendo el ángulo de deflexión proporcional al grado de giro de los cuernos de mando.

El alerón que se ha flexionado hacia abajo, produce un aumento de sustentación en su ala correspondiente, provocando el ascenso de la misma, mientras que el alerón que es flexionado hacia arriba, produce en su ala una disminución de sustentación, motivando el descenso de la misma.

El piloto, en caso de querer inclinarse hacia la izquierda, giraría cuerno de mando hacia la izquierda, haciendo que el alerón derecho descendiera elevando así el ala derecha, y simultáneamente, el alerón izquierdo se flexionaría hacia arriba produciendo una pérdida de la sustentación en el ala izquierda y por tanto su descenso.

### Eje vertical.

La maniobra de guiñada es una rotación sobre el eje vertical intrínseco.

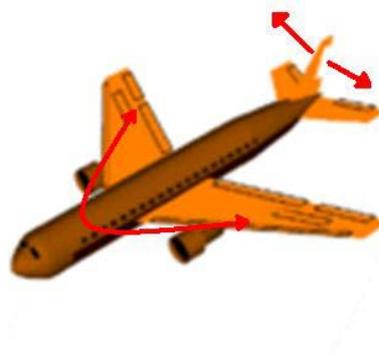


Fig. 18. Eje Vertical

El eje vertical es un eje imaginario que, pasando por el centro de gravedad del avión, es perpendicular a los ejes transversal y longitudinal. Este eje es perpendicular al eje de cabeceo y al de balanceo, está contenido en un plano que pasa por el morro y la cola del aparato y que normalmente divide a este en dos partes simétricas.

El movimiento que realiza el avión alrededor de este eje se denomina guiñada (movimiento del avión respecto del eje imaginario vertical que pasa por el centro de gravedad de la aeronave). La superficie de mando de la guiñada es el timón de cola o timón de dirección.

El control sobre el timón de dirección se realiza mediante los pedales. Para conseguir un movimiento de guiñada hacia la derecha, el piloto presiona el pedal derecho, generando así un giro de la superficie del timón de dirección hacia la derecha.

Para conseguir un movimiento de guiñada hacia la derecha, el piloto presiona el pedal derecho, generando así una deflexión de la superficie del timón de dirección hacia la derecha. Al ofrecer más resistencia al avance por este lado, el aparato tiende a retrasar su parte derecha y avanzar la izquierda y por tratarse de una estructura rígida el resultado es un giro a la derecha sobre el eje vertical mencionado.

### **3.1.3. Modalidad de la Investigación.**

#### De Campo.

Se realizó una investigación de campo participativa en los laboratorios de la carrera de Mecánica del ITSA, cuyo objetivo fue identificar de forma personalizada el estado de situación de las instalaciones en el área de la Aerodinámica, en lo que a equipos de enseñanza se refiere, se tomó en cuenta la opinión tanto de instructores, técnicos y alumnos, lo cual ha sido importante para la búsqueda de soluciones compatibles y reales al problema planteado. A continuación se indican imágenes

correspondientes a los laboratorios del ITSA, con el fin de aclarar el estado en el que estos se encuentran, en lo que se refiere a Aerodinámica.



Fig. 19. Maqueta de Perfil Alar.



Fig. 20. Túnel de Viento básico



Fig. 21. Maqueta sobre Actuadores



Fig. 22. Maqueta del Área aerodinámica del ITSA



Fig. 23. Maqueta del Área aerodinámica del ITSA

### Documental.

Se recopiló información bibliográfica la que permitió estructurar un marco teórico que brindó el fundamento científico relevante para la realización de este proyecto investigativo.

### **3.1.4. Tipos de Investigación.**

#### No Experimental.

Se realizó este tipo de investigación fundamentados en la razón de que en el presente proyecto investigativo no fue necesario alterar las variables dependientes mediante experimentación, al contrario, estas variables han permanecido constantes para dar cabida a soluciones que se adapten a sus condiciones reales y actuales.

Esta fue realizada en los Laboratorios del ITSA en la zona determinada para el desarrollo de la enseñanza de la Aerodinámica.

### **3.1.5. Nivel de Investigación.**

El nivel de investigación ha sido el DESCRIPTIVO, y permitió predecir aunque rudimentariamente conclusiones de la investigación, en base a estas conclusiones que se han podido anticipar, se pone en manifiesto posibles soluciones al problema de cómo contribuir a la mejora del proceso de enseñanza en los laboratorios de mecánica del ITSA, en lo que tiene que ver a Aerodinámica.

### 3.1.6. Universo, Población y Muestra.

#### Universo.

Para la realización de la presente investigación se ha tomado como un Universo a los alumnos que de la Carrera de Mecánica Aeronáutica del ITSA tanto en mención aviones como motores, dado que son entes con el conocimiento suficiente sobre el área de investigación.

#### Población.

La Población a estudiar fue integrada por los Quintos y Sextos cursos de la carrera de mecánica del ITSA tanto en las especialidades de aviones y motores, debido a que son entes de niveles superiores que ya transcurrieron por la asignatura de la cual derivamos esta investigación, los mismos están casi por egresar de las aulas del instituto, por lo que se consideró tienen un criterio muy apegado a la realidad.

#### Muestra.

Se seleccionó una muestra de 26 alumnos distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 2. Distributivo de la muestra tomada

<b>ALUMNOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Quinto Motores	8
Quinto Aviones	8
Sexto Motores	5

Sexto Aviones	5
TOTAL	26

### **3.1.7. Recolección de Datos.**

La información científica fue recolectada de libros relacionados con el área de investigación que es la Aerodinámica, en los cuales se ha seleccionado lo conciso para efecto de estructurar un marco teórico adecuado, que fundamente la investigación.

Se ha utilizado el instrumento de medición ENCUESTA, que permitió conocer el criterio personal sobre el problema, de quienes están directamente relacionados con el mismo, en este caso con el área de la Aerodinámica en el ITSA. También se utilizó la OBSERVACIÓN como técnica de recolección de datos, se la realizó en el área de los laboratorios de Mecánica Aeronáutica del ITSA, en el caso específico de la zona de equipos de enseñanza de la Aerodinámica, con el afán de recolectar información visualmente sobre el problema que está en investigación.

### **3.1.8. Procesamiento de la Información.**

Se realizó el procesamiento de datos de la información adquirida con la asistencia de un software exclusivo para análisis de Estadística Descriptiva, como lo es el SPSS en su versión 18.

### 3.1.9. Análisis e interpretación de resultados.

Como se mencionó anteriormente se utilizó como instrumento de medida una encuesta, cuyo CUESTIONARIO, se lo puede visualizar en el ANEXO A. En base a este cuestionario, se ha hecho el análisis e interpretación de resultados por pregunta individual, y se ha obtenido los siguientes resultados:

#### PREGUNTA 1.

¿Con qué frecuencia asiste al los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica del ITSA?

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 1.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	TRES VECES POR SEMANA	25	92,6	96,2	96,2
	UNA VEZ POR SEMANA	1	3,7	3,8	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 1.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

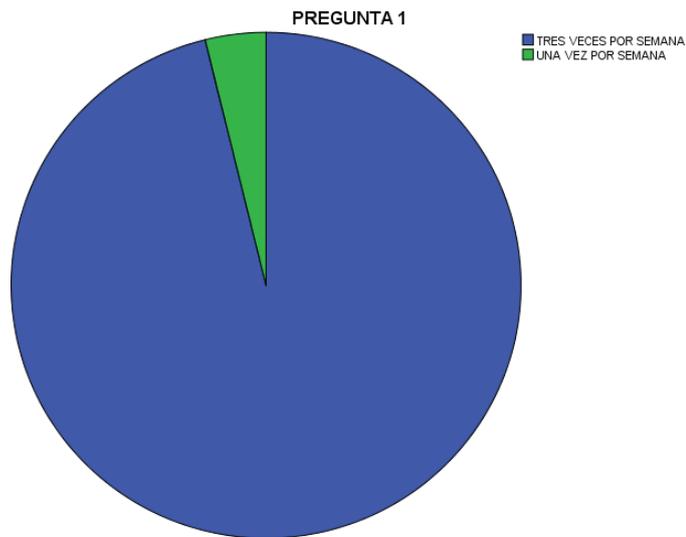


Gráfico 1. Distribución de datos de la Pregunta 1

Interpretación de Resultados.- Según los datos analizados, 96,2% de los encuestados, va más de tres ocasiones por semana a los laboratorios de la carrera de mecánica, lo cual nos alienta en el resultado a obtener ya que hemos tomado contacto con los entes que están en contacto directo con el problema.

## **PREGUNTA 2.**

¿De forma general, que calificación le otorga al estado de funcionamiento del material didáctico (maquetas, bancos de prueba, simuladores, entre otros.), de los Laboratorios del ITSA?

### PREGUNTA 2

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	EXCELENTE	1	3,7	3,8	3,8
	BUENO	10	37,0	38,5	42,3
	REGULAR	15	55,6	57,7	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 2.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.  
Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

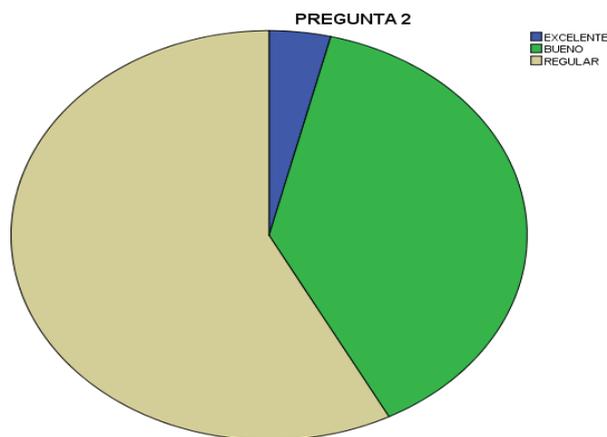


Gráfico 2. Distribución de datos de la Pregunta 2.

Interpretación de Resultados.- El 57,7 de los individuos encuestados, opina que es REGULAR el estado de los dispositivos de enseñanza referentes a mecánica aeronáutica en los Laboratorios del bloque 42 del ITSA, lo cual nos enfoca desde ya en las posibles necesidades de ese sector del Instituto.

### PREGUNTA 3.

¿En qué nivel de existencia ubica al material didáctico relacionándolo a las asignaturas recibidas, de los Laboratorios de la carrera de Mecánica Aeronáutica?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	SUFICIENTE	3	11,1	11,5	11,5
	INSUFICIENTE	23	85,2	88,5	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Tabla de Análisis de Datos Pregunta 3.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

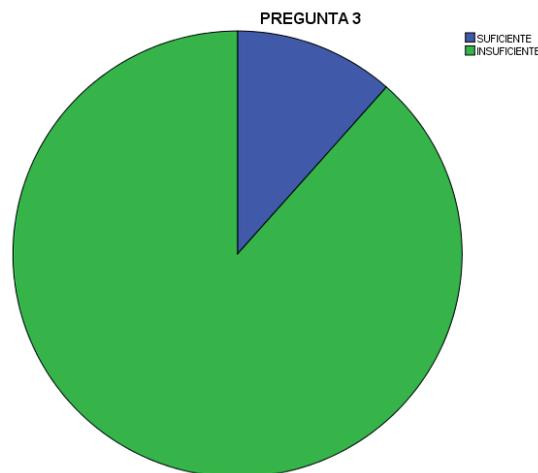


Gráfico 3. Distribución de datos de la Pregunta 3.

Interpretación de Resultados.- El 85,2% de los encuestados, tienen el criterio de que el material didáctico de los Laboratorios del ITSA son INSUFICIENTES, lo cual preocupa en esta investigación, y empieza a delimitar las acciones a tomar para la corrección de el problema.

#### PREGUNTA 4.

El material didáctico existente relacionado a la asignatura de Aerodinámica, le ha sido suficiente para la comprensión práctica de dicha ciencia?

#### PREGUNTA 4

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	SUFICIENTE MATERIAL	3	11,1	11,5	11,5
	INSUFICIENTE MATERIAL	23	85,2	88,5	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 4.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

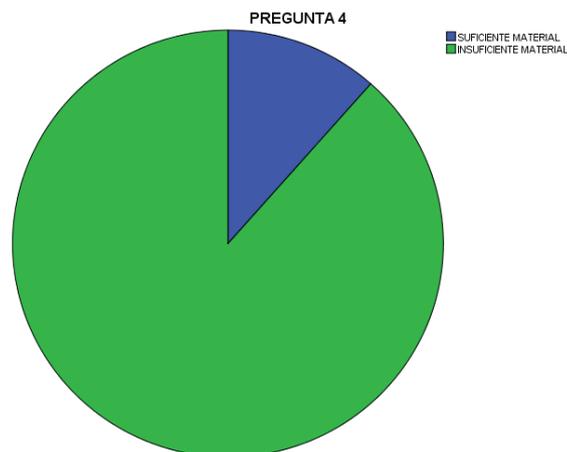


Gráfico 4. Distribución de datos de la Pregunta 4.

Interpretación de Resultados.- Por lo visto, según la opinión del 88,5% de los encuestados el material didáctico aerodinámico del ITSA es

considerado INSUFICIENTE, por lo cual se considera este es uno de los factores a mejorar en este área del Instituto.

### **PREGUNTA 5.**

Le ha sido posible culminar satisfactoriamente sus prácticas en las distintas asignaturas en los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA). Si su respuesta es NO, explique sus razones.

**PREGUNTA 5**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	SI	3	11,1	11,5	11,5
	NO	23	85,2	88,5	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 5.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

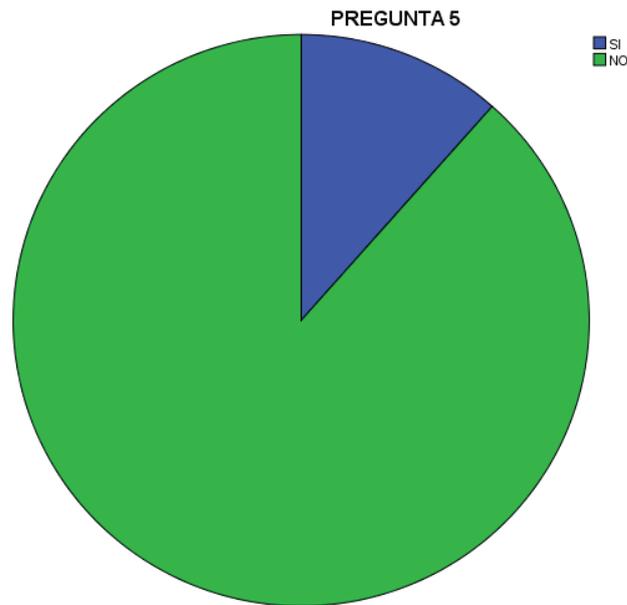


Gráfico 5. Distribución de datos de la Pregunta 5.

Interpretación de Resultados.- En esta pregunta el 88,5 % de los encuestados ha respondido NO, por lo cual existen algunos conceptos importantes para el análisis que se han vertido referentes a esa contestación. Los consultados dicen contestar NO, por 4 motivos fundamentales que son:

- a) El material didáctico esta sin funcionamiento.
- b) No existe una programación de observación y prácticas dentro del estudio de la materia de Aerodinámica lo cual creen necesario lo involucre el docente.
- c) Los alumnos no comprenden la materia teóricamente de manera que puedan traducir los conocimientos a la práctica.

- d) El Docente no ha tomado la iniciativa de realizar las prácticas u observaciones de los fenómenos físicos relacionados con la aerodinámica.

**PREGUNTA 6.**

¿En qué nivel de actualización tecnológica califica al material didáctico de los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).

**PREGUNTA 6**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	MEDIANAMENTE ACTUALIZADO	5	18,5	19,2	19,2
	REGULARMENTE ACTUALIZADO	14	51,9	53,8	73,1
	NADA ACTUALIZADO	7	25,9	26,9	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Título: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 6.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

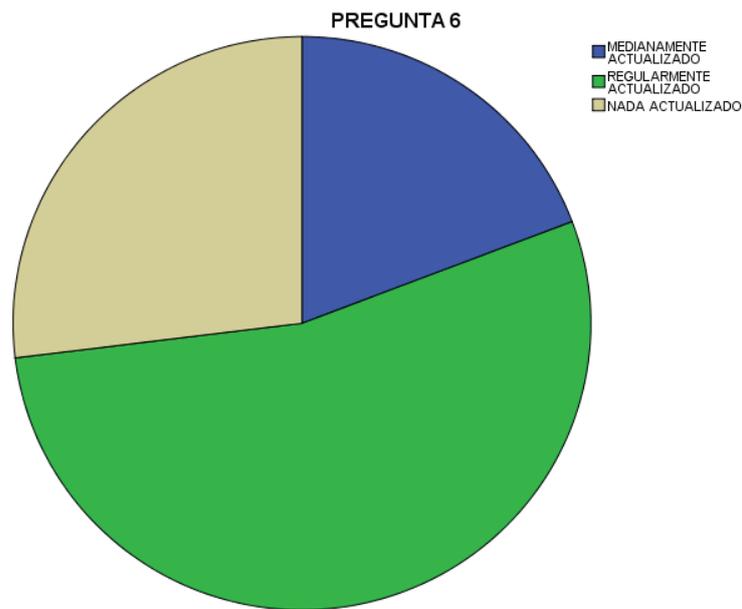


Gráfico 6. Distribución de datos de la Pregunta 6.

Interpretación de Resultados.- El 53,8% de los consultados opina que el material resulta ser regularmente actualizado; por lo cual se deberá involucrar en el conjunto de análisis de soluciones que se debe innovar material.

**PREGUNTA 7.**

En los Laboratorios del ITSA, ha podido observar los fenómenos físicos que se relacionan con el flujo de aire y los perfiles aerodinámicos?  
(CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).

### PREGUNTA 7

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	REGULARMENTE	7	25,9	26,9	26,9
	NO HE PODIDO OBSERVAR	19	70,4	73,1	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Título: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 7.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

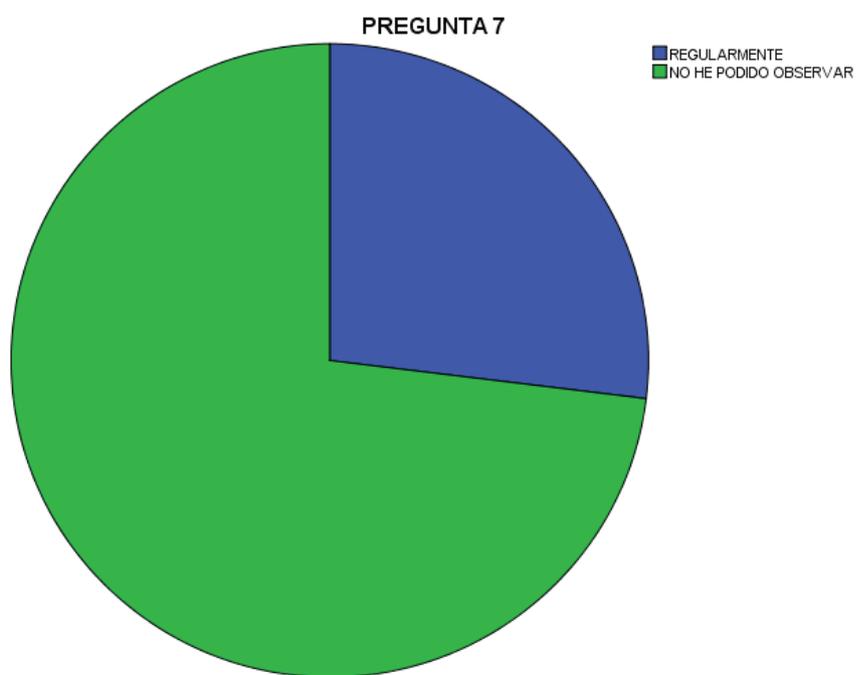


Gráfico 7. Distribución de datos de la Pregunta 7.

Interpretación de Resultados.- El 73,1% de los encuestados no ha podido observar o mantener contacto cercano con material didáctico que simule los fenómenos físico inherentes a la aerodinámica.

### **PREGUNTA 8.**

Cree necesaria la implementación de material didáctico en el área de Aerodinámica en los Laboratorios de Mecánica del ITSA? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).

**PREGUNTA 8**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	SI	24	88,9	92,3	92,3
	NO	2	7,4	7,7	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
	Total	27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 8.

Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.

Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos

Interpretación de Resultados.- El 92,3% de los encuestados opina que sería de mucha ayuda en el área de aerodinámica de los laboratorios de mecánica del ITSA el implementar material actualizado y funcional que les permita fortalecer sus conocimientos en dicha asignatura.

### **PREGUNTA 9.**

Con un incremento de material didáctico en los Laboratorios del ITSA en el área de Aerodinámica, considera que mejorará su formación tecnológica, En qué nivel de incremento? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).

### PREGUNTA 9

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	25%	4	14,8	15,4	15,4
	50%	8	29,6	30,8	46,2
	75%	12	44,4	46,2	92,3
	100%	2	7,4	7,7	100,0
	Total	26	96,3	100,0	
Perdidos	Sistema	1	3,7		
Total		27	100,0		

Titulo: Tabla de Análisis de Datos Pregunta 9.  
 Fuente: Encuesta realizada a 5° y 6° niveles de la Carrera de Mecánica ITSA.  
 Realizado por: Sr. Luis Carlos Cevallos.

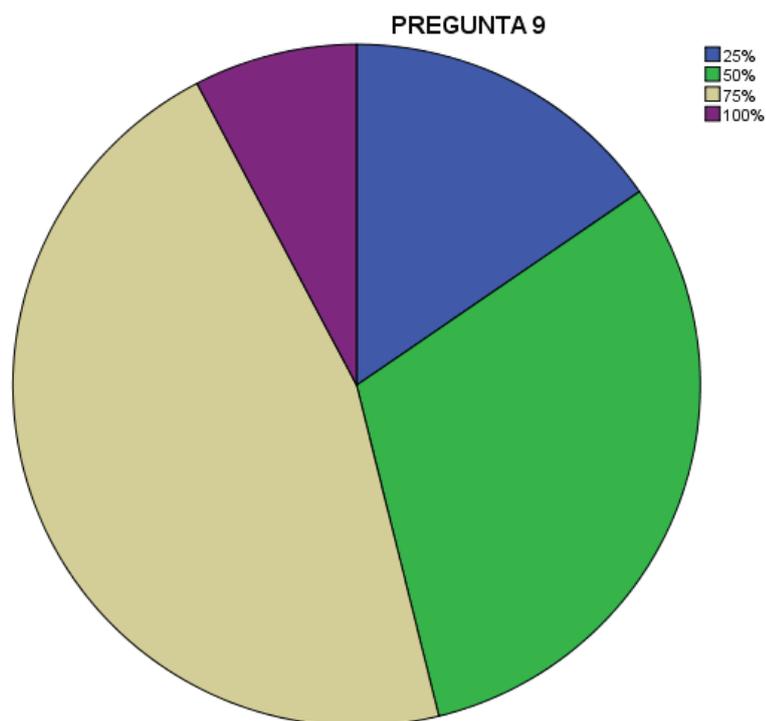


Gráfico 9. Distribución de datos de la Pregunta 9.

### **3.1.10. Conclusiones y Recomendaciones.**

De lo anteriormente analizado se desprenden las siguientes CONCLUSIONES:

1. El material que actualmente se encuentra en los Laboratorios de mecánica del ITSA referentes a la Aerodinámica no se encuentran en total funcionamiento y disposición.
2. El material didáctico de Aerodinámica en los Laboratorios del ITSA no es el suficiente para el desarrollo adecuado del proceso de enseñanza de los alumnos.
3. Existen ciertos vacíos en quienes han aprobado la materia de Aerodinámica, vacíos que se atribuyen a la falta de material actualizado en los laboratorios y a la falta de programación de prácticas en este área.
4. La implementación de nuevo material didáctico - actualizado - en el área de Aerodinámica en el ITSA es necesaria para la mejora y facilitación del aprendizaje en dicha materia.
5. Al implementar un túnel de viento demostrativo de los momentos producidos en las superficies en los laboratorios del ITSA se obtendrá como resultado profesionales graduados con mayor solvencia en sus conocimientos científicos lo cual se verá reflejado en las actitudes y aptitudes que demuestren en sus áreas laborales.

Las RECOMENDACIONES pertinentes luego de realizado el estudio son:

- a. Implementar material didáctico relacionado a la Aerodinámica en los laboratorios del ITSA.
- b. Programar en el pènsum de estudio de la materia, algunas horas de práctica u observación en Laboratorio.
- c. Reactivar el material aerodinámico que se encuentra obsoleto.
- d. Actualizar el material que sea posible hacerlo o implementar el mismo con características de innovación.
- e. Destinar un área infraestructural específica para un Laboratorio de Aerodinámica.

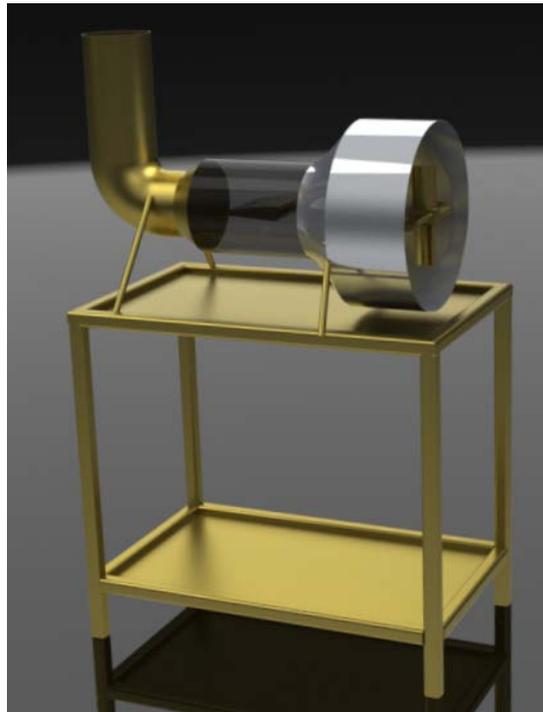


Fig. 24. Propuesta de Simulador Aerodinámico

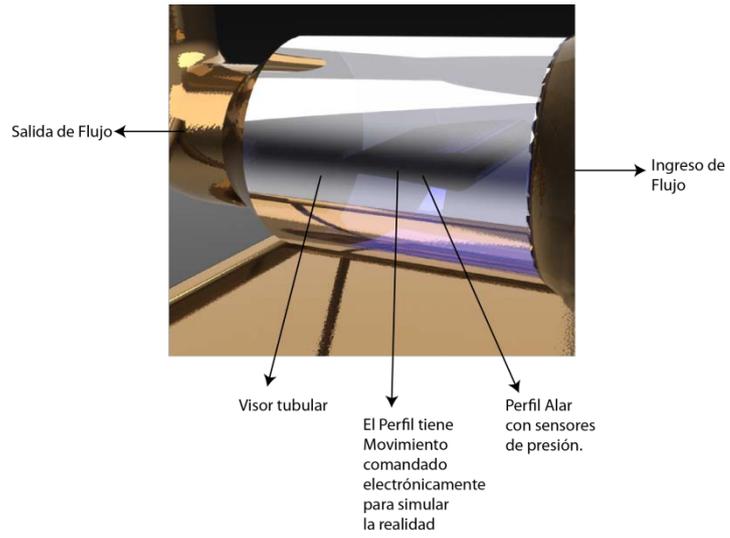


Fig. 25. Propuesta de Simulador Aerodinámico

## **CAPÍTULO IV.**

### **Factibilidad del Tema:**

#### **4.1. Técnica.**

Basándonos en los conocimientos adquiridos en el Instituto, existe la predisposición y el fundamento técnico necesario para la realización de este proyecto, que pretenderá mejorar el estado de situación de los laboratorios del ITSA en lo que se refiere a la asignatura de Aerodinámica.

#### **4.2. Operacional.**

En el Laboratorio del ITSA será necesario tener un área delimitada y específica para aerodinámica, por lo cual se propondrá mediante un estudio más profundo la re ingeniería del área de equipos didácticos en el mismo, tratando de no afectar las operaciones del Laboratorio y evitando que la Institución incurra en cambios mayores que requieran gastos.

El funcionamiento del simulador se realizará con aire tomado por un ventilador industrial, luego pasara por un tubo que tenga el efecto Venturi para de esta manera aumente la velocidad del flujo para poder divisar y que los sensores (fig.25) puedan detectar mejor los datos, una vez estando el flujo en el visor central a mas de ver como este interactúa con el perfil alar, podremos divisar en un panel digital como varía el parámetro de la presión mientras se va variando a la vez el

ángulo de el perfil alar por medio de un joystick ubicado en el exterior, cuando el flujo se dirija a la salida lo va hacer por un ducto de desfogue al ambiente, para evitar posibles accidentes, no es necesario la re circulación del flujo debido e que no se altera su composición.

### 4.3 Económico financiero, análisis costo – beneficio

#### 4.3.1 GASTOS DEL PROYECTO

Gastos			
Descripción	Observaciones	Cantidad	Precio (\$)
Computadora	Horas de uso e internet		10
Impresiones		57	5,7
Cuaderno de anotaciones		1	1
Lápiz		1	0,3
Esteros		2	2,5
Derecho de grado			300
Varios	Transporte, etc.		5
<b>Total</b>			<b>324,5</b>

#### 4.3.2 COSTOS DEL PROYECTO

Tabla. 11. Costos del proyecto

Costos			
Descripción	Observaciones	Cantidad	Precio (\$)
Mica		1	70
Vibra de vidrio		1	30
Acero estructural	2" * 2" * 0,25"	4	120
Tubo	φ 1"	2	14
Tol Galvanizado		2	44
Ventilador Industrial	De 110v	1	200
Controles, sensores y demás	Todo lo electrónico		120
Otros	Suelda, computadora, etc.		22
<b>Total</b>			<b>620</b>

#### 4.3.1 RECURSOS HUMANOS

Personal que permitirá que el presente proyecto se realice

- a. Responsable del trabajo Investigativo: Sr. Luis Carlos Cevallos Cruz
- b. Director del trabajo de Investigación: Ing. Félix J Manjarrés A.
- c. Personal de apoyo: Ing. Wilson Vinueza. Ing. Edwin Ocaña

#### 4.3.2 RECURSO TÉCNICO

- Trabajos Bibliográficos sobre las Ciencias Aerodinámica
- Proyectos referenciales
- ISO 9004:2000 "Sistemas para mejorar la gestión de calidad"

- Taller para la construcción ubicado en la ciudad de Latacunga.

#### **4.3.3. RECURSOS MATERIAL**

- Computadora
- Impresora
- Hojas de papel bond
- Cuaderno de anotaciones
- Lápiz
- Esferos
- Derechos de grado
- Varios
- Acero Estructural
- Mica
- Soldaduras
- Ventilador Industrial
- Electrónica.

## **CAPÍTULO V.**

### **DENUNCIA DEL TEMA**

#### **5.1. Denuncia del Tema.**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR TIPO TUNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y”

5.2. Cronograma.

TAREA A DESARROLLAR	ENERO 2010				FEBRERO 2010				MARZO 2010				ABRIL 2010				MAYO 2010				JUNIO 2010				JULIO 2010			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>SEMANAS</b>																												
Desarrollo del Anteproyecto																												
Entrega del Anteproyecto																												
Aprobación de Anteproyecto																												
Desarrollo de la Propuesta por carreras																												
Preliminares																												
Diseño																												
Construcción																												
Pruebas y Análisis de Resultados																												
Documento de aceptación del Usuario																												
Informe Escrito																												
Desarrollo de Informe Final del Trabajo																												
Desarrollo del Capítulo I (El Problema)																												
Desarrollo del Capítulo II (Plan de Investigación)																												
Desarrollo del Capítulo III (Marco Teórico)																												
Desarrollo del Capítulo IV (Ejecución del Plan de I.)																												
Desarrollo del Capítulo V (Factibilidad del Tema)																												
Desarrollo del Capítulo VI (Desarrollo del Tema)																												
Conclusiones y Recomendaciones																												
Entrega del Informe Final del Trabajo																												

SR. Luis Carlos Cevallos  
EJECUTOR

Ing. Félix J Manjarrés A  
DIRECTOR

### 5.3. Glosario de Términos.

- Aerodinámica.-** Es la rama de la Mecánica de los fluidos que estudia las leyes que regulan los movimientos de los gases, especialmente el aire, y las fuerzas o reacciones que se desarrollan entre la atmósfera y los cuerpos que se hallan en su interior cuando existe un movimiento relativo entre dichos cuerpos y el aire.
- Ala:** Es la parte de la célula del avión destinada a proveer la fuerza de sustentación necesaria para equilibrar el peso del avión en vuelo, por su movimiento con la relación al aire. La superficie alar, la forma de planta, el perfil y su ubicación respecto del fuselaje, varían de acuerdo con las diferentes aplicaciones del avión.
- Alabeo:** Es la variación del ángulo de ataque del perfil alar a lo largo de la envergadura. Si el ángulo es creciente hacia las puntas, se dice que tiene alabeo positivo ~ en caso contrario, negativo.
- Alerones:** Son superficies de control de la maniobra del avión que normalmente ocupa la sección posterior externa del ala. Comandan el movimiento angular del avión alrededor del eje longitudinal (rohdo). Al ser accionados se mueven en sentido inverso en cada ala.

Ángulo de ataque:	Es el ángulo formado entre la dirección del viento relativo sin perturbación y la cuerda de perfil alar.
Borde de ataque:	Parte anterior de un perfil alar y por extensión (le un ala o empenaje).
Borde de salida:	Parte posterior de un perfil alar y por extensión de un ala o empenaje.
Capa limite:	Cuando una masa fluida corre deslizándose sobre la superficie, la viscosidad hace que las moléculas adheridas a su superficie, tengan velocidad 0 y atenuante en las moléculas que se van alejando
Carga alar:	Es la relación entre el peso de un avión y la superficie alar.
Compresibilidad del aire:	el término indica la dependencia de la densidad del aire, de las variaciones de presión que se manifiestan en los fenómenos aerodinámicos para altas velocidades. La importancia de sus efectos se mide por el número de mach.
Cuerda alar:	Es la recta que va desde el borde de ataque al borde de salida del perfil.
El empuje:	es una fuerza de reacción descrita cuantitativamente por la tercera ley de Newton.

Cuando un sistema expulsa o acelera masa en una dirección (acción), la masa acelerada causará una fuerza igual en sentido opuesto (reacción).

La sustentación es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente. Como con otras fuerzas aerodinámicas, en la práctica se utilizan coeficientes adimensionales que representan la efectividad de la forma de un cuerpo para producir sustentación y se usan para facilitar los cálculos y los diseños.

Perfil Alar:

En aeronáutica se denomina perfil alar, perfil aerodinámico o simplemente perfil, a la forma plana que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación.

Viento Relativo:

Término que describe la dirección y velocidad del viento con relación a la superficie de sustentación de una aeronave (alas en un avión, rotor principal en un helicóptero).

El viento relativo sopla en dirección paralela y opuesta a la trayectoria de vuelo del aparato. El

ángulo entre el viento relativo y la cuerda es el  
ÁNGULO DE ATAQUE. La SUSTENTACIÓN  
actúa perpendicularmente con respecto al  
viento relativo.

#### **5.4. Bibliografía.**

- Aparicio Izquierdo, F.; Vera Álvarez, C.; Díaz López, V. (2001).  
«Aerodinámica de los automóviles», en Teoría de los vehículos  
automóviles.
- Anderson, John d.; Fundamentals of Aerodynamics; Mc Graw- Hill;  
Singapore 1991
- White, Frank; Mecánica de fluidos; Ed. Mc Graw-Hill; España 1979  
<http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>.  
[http://www.idr.upm.es/aero\\_civil/aero\\_civil.html](http://www.idr.upm.es/aero_civil/aero_civil.html)

## **ANEXO A. Formato de la Encuesta realizada a los alumnos de la Carrera de Mecánica**

Lugar y Fecha:

Buenos días (tardes):

Estoy trabajando en un estudio que servirá para elaborar una tesis profesional, acerca del material didáctico referente a Aerodinámica, en los Laboratorios del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico de la Fuerza Aérea.

Quisiera pedir su ayuda para que conteste a unas preguntas que no le llevará mucho tiempo. Sus respuestas serán confidenciales y anónimas.

Las personas que fueron seleccionadas para el estudio no se eligieron por su nombre sino al azar.

Las opiniones de todos los encuestados serán sumadas y reportadas en la monografía pero nunca se reportaran datos individuales.

Le pido que conteste este cuestionario con la mayor sinceridad posible. No hay respuestas correctas ni incorrectas.

Lea las instrucciones cuidadosamente ya que existen preguntas a las que sólo puede responder a una opción otras podrían ser de varias opciones.

Gracias por su colaboración

Encuesta Dirigida A: Los Alumnos de quinto y sexto niveles de la carrera de Mecánica Aeronáutica del ITSA.

Objetivo: Recopilar información acerca de la características, calidad y cantidad de material didáctico referente a la asignatura de Aerodinámica de los laboratorios de la Carrera de Mecánica del ITSA.

<p>a. ¿Con qué frecuencia asiste al los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica del ITSA? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diariamente.</li> <li>2. Tres veces por semana.</li> <li>3. Una vez por semana</li> <li>4. Rara vez</li> </ol>
<p>b. ¿De forma general, que calificación le otorga al estado de funcionamiento del material didáctico (maquetas, bancos de prueba, simuladores, entre otros.), de los Laboratorios del ITSA? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Excelente</li> <li>2. Bueno</li> <li>3. Regular</li> <li>4. Malo</li> </ol>
<p>c. En qué nivel de existencia ubica al material didáctico relacionándolo a las asignaturas recibidas, de los Laboratorios de la carrera de Mecánica Aeronáutica? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suficiente</li> <li>2. Insuficiente</li> </ol>
<p>d. El material didáctico existente relacionado a la asignatura de Aerodinámica, le ha sido suficiente para la comprensión práctica de dicha ciencia? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suficiente Material</li> <li>2. Insuficiente Material</li> </ol>

QUE ESCOJA).	
<p>e. Le ha sido posible culminar satisfactoriamente sus prácticas en las distintas asignaturas en los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA). Si su respuesta es NO, explique sus razones.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si</li> <li>2. No</li> </ol>
<p>f. ¿En qué nivel de actualización tecnológica califica al material didáctico de los Laboratorios de Mecánica Aeronáutica? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualizado</li> <li>2. Medianamente Actualizado</li> <li>3. Regularmente Actualizado</li> <li>4. Nada Actualizado</li> </ol>
<p>g. En los Laboratorios del ITSA, ha podido observar los fenómenos físicos que se relacionan con el flujo de aire y los perfiles aerodinámicos? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Satisfactoriamente</li> <li>2. Regularmente</li> <li>3. No he podido observar</li> </ol>
<p>h. Cree necesaria la implementación de material didáctico en el área de Aerodinámica en los Laboratorios de Mecánica del ITSA? (CIRCULE</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si</li> <li>2. No</li> </ol>

EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA).	
i. Con un incremento de material didáctico en los Laboratorios del ITSA en el área de Aerodinámica, considera que mejorará su formación tecnológica?, En qué nivel de incremento? (CIRCULE EL NUMERAL DE LA RESPUESTA QUE ESCOJA	1. 25% 2. 50% 3. 75% 4. 100%

Si Ud. lo cree conveniente le haré llegar los resultados de esta encuesta, para lo cual le pido sea amable en llenar los datos siguientes:

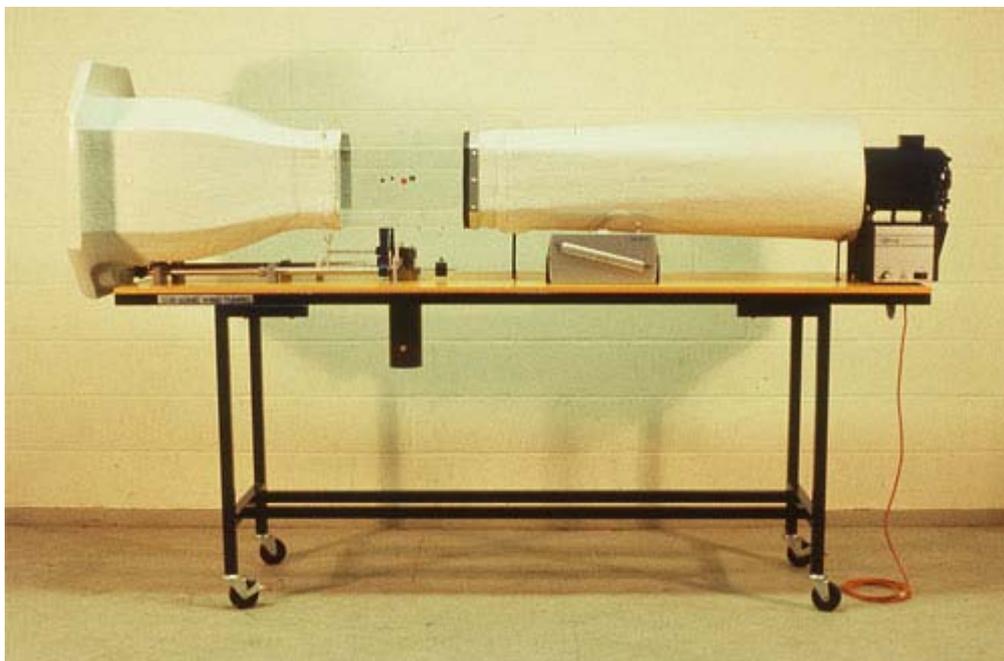
Nombre:

Teléfono:

Correo Electrónico:

# **ANEXO “D”**

## **1.1 ARMFIELD**



El Túnel de viento Armfield es una instalación completa para el estudio de la aerodinámica subsónica. Las prestaciones y la instrumentación del túnel hacen que sea adecuado para proyectos de investigación sencillos.

Túnel de viento autónomo para el estudio de la aerodinámica subsónica, con sistema de compensador de dos componentes e indicador de la velocidad en el aire.

### **Características especiales:**

- Contracción y Difusor: molduras de precisión de fibra de vidrio.
- Sección de prueba: material acrílico transparente, que se retrae para permitir el acceso a los modelos.
- Los modelos pueden ser ajustados con el túnel en funcionamiento.
- Ventilador: Unidad motorizada de velocidad variable, abajo de la sección de trabajo, que permite el control sin escalones de la velocidad en el aire entre 0 y 26ms-1
- Velocidad en el aire: Indicada en un manómetro inclinado calibrado directamente en m/s.
- Estructura de soporte: Un robusto bastidor de acero que incluye superficie de trabajo y ruedas giratorias para facilitar su desplazamiento
- > Adecuado para trabajos universitarios y proyectos de investigación sencillos.
- > Sección de trabajo: Ancho 304mm x alto 304mm x largo 457mm (sección octagonal)
- > Relación del área de contracción: 3:1
- > Potencia nominal del motor: 1,5kW

> Incluye un manual de instrucciones del usuario

> Los modelos y la instrumentación opcionales permiten:

- Investigación del desarrollo de la capa límite en una placa plana mediante la medición de la distribución de carga total.

- Estudios de visualización del flujo alrededor de una sección aerodinámica.

- Medición de la distribución de la presión alrededor de una sección aerodinámica a diferentes ángulos de ataque o alrededor de un cilindro.

- Medición de sustentación y resistencia en una sección aerodinámica con ranura en el borde de ataque y flap en el borde de escape.

- Mediciones de velocidad y distribución de la presión usando un tubo de Pitot estático y sonda de guiñada.

- Medición de resistencia para modelos de diferentes formas pero con diámetro ecuatorial común.

- Demostración de la vibración aero elástica de una sección aerodinámica.

- Calibración del indicador de velocidad del túnel de viento usando un tubo de Pitot estático.

- Investigación de la estela dejada por un cilindro o una sección aerodinámica usando un rastrillo de medición de estela.

## REQUISITOS

### Suministro eléctrico:

C2-10-A:	220/240V/1ph/50Hz
C2-10-B:	120V/1ph/60Hz
C2-10-G:	220V/1ph/60Hz

## ACCESORIOS OPCIONALES

C2-12: Placa plana y sonda.

C2-13: Manómetro de múltiples tubos.

C2-14: Ala de presión, cilindro, rastrillo de medición de estela y kit de visualización de flujo.

C2-15: Sección aerodinámica con ranura y flap.

C2-16: Tubo de Pitot estático.

C2-17: Sonda de guiñada.

C2-18: Modelos de resistencia.

C2-19: Cilindro de presión.

C2-20: Ala de vibración aeroelástica.

## PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

C1: Banco de Flujo Compresible.

C3: Equipo de prueba con múltiples bombas.

C4: Canal de flujo didáctico polivalente.

C6: Mediciones de fricción de fluidos.

C7: Aparato para la medición de oscilación de presión y golpe de martillo.

C9: Aparato de demostración de medidor de caudal.

C10: Banco de flujo laminar.

C11: Aparato de red de tuberías.

F6: Estudios de flujo de aire.

F14: Sistema de visualización de flujo mediante burbujas de hidrógeno.

#### ESPECIFICACION DE TRANSPORTE

Volumen:	4m <sup>3</sup>
Peso bruto:	430kg

#### DIMENSIONES TOTALES

Longitud:	2.98m
Anchura:	0.8m
Altura:	1.83m

Fuente: <http://www.armfield.co.uk>

# **ANEXO “E”**

## **ESPECIFICACIONES DEL MOTOR**

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

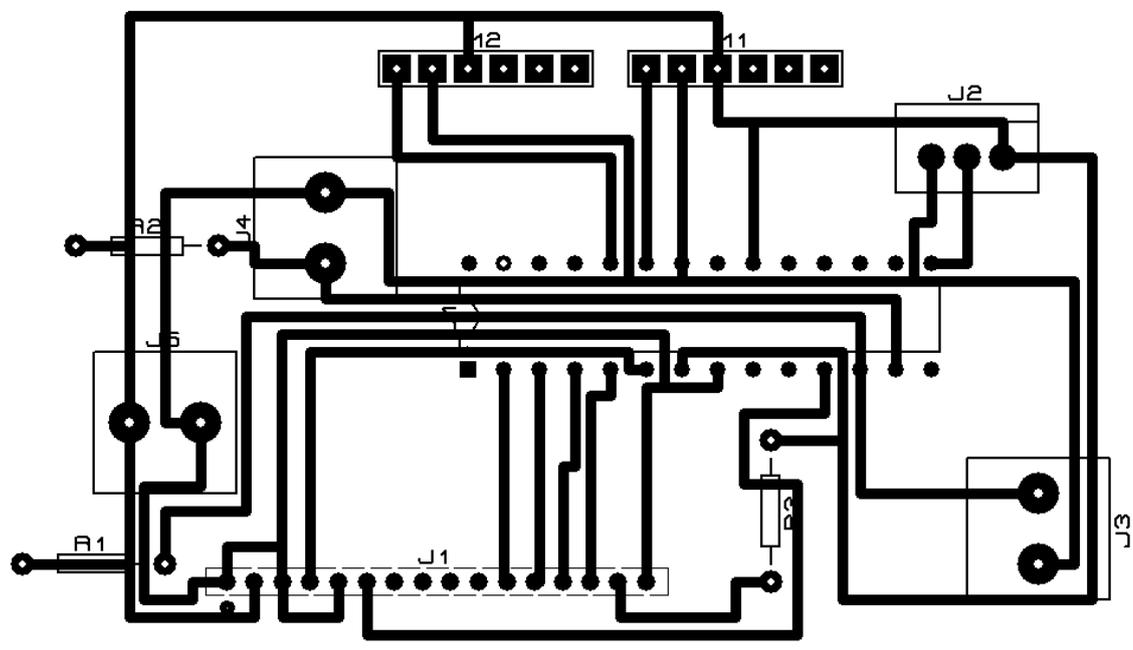
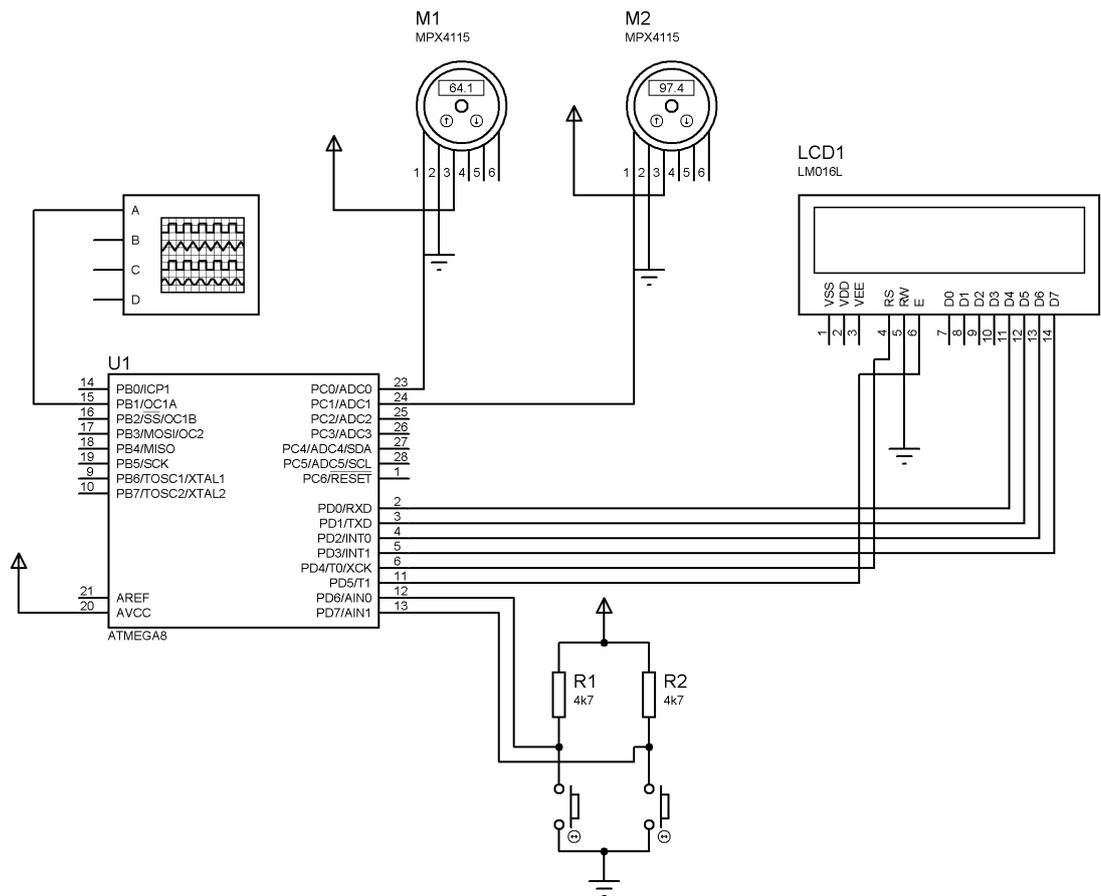
- Modelo: DF6B-4
- Alimentación: 110Vca. Monofásico
- Potencia del motor: 1HP-550W
- Velocidad: 1400 RPM
- Ventilador: 4 Aspas
- Volumen de aire: 8500 m<sup>3</sup>/h
- Presión de aire: 130 Pa
- Diámetro: 60 cm



Fuente: <http://www.montero.ec/cgi-bin/mtro/HOME>

# **ANEXO “F”**

## **DIAGRAMA ELÉCTRICO**

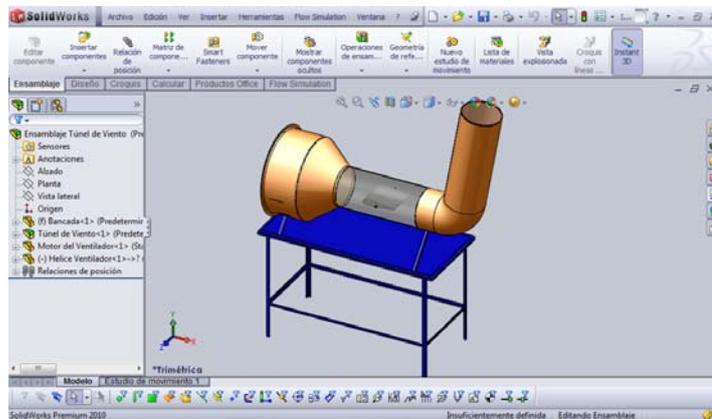


Fuente: Propia

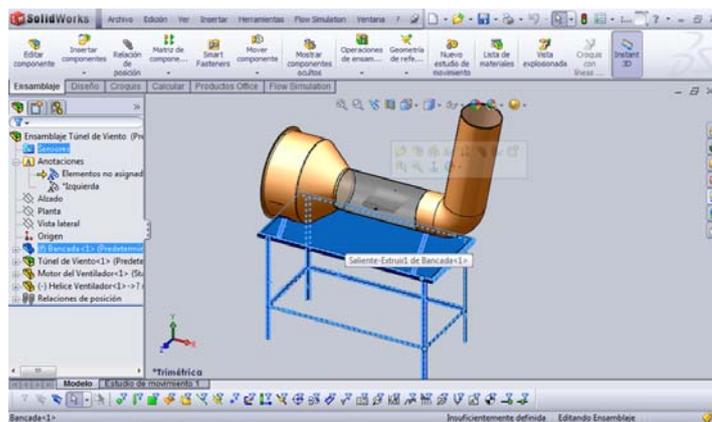
# **ANEXO “G”**

## **ESTUDIO ESTÁTICO DEL SIMULADOR EN SOLIDWORKS SIMULATION 2010**

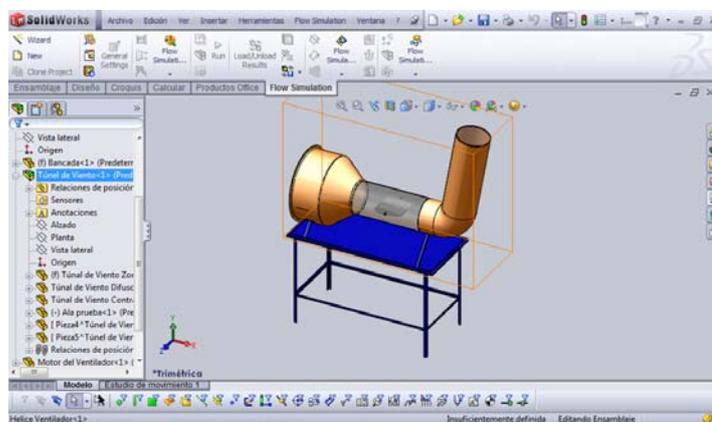
**PASO 1:** Selección del tipo de estudio a realizarse, en este caso un estudio dinámico.



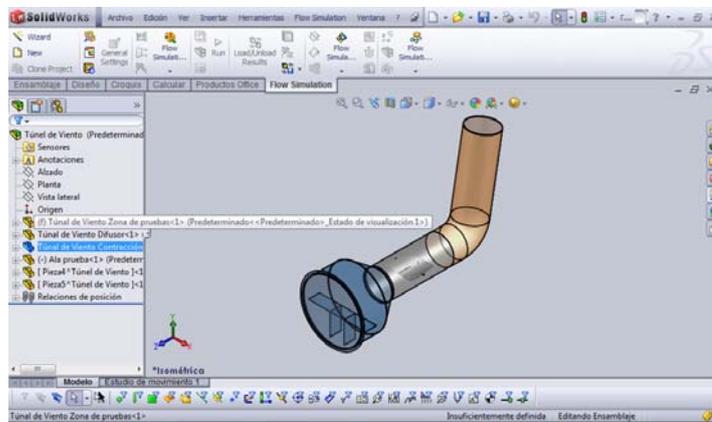
**PASO 2:** Exclusión de piezas que no van a formar parte del análisis.



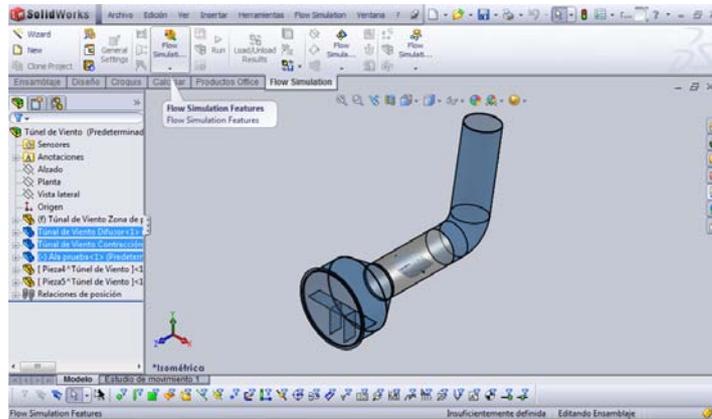
**PASO 3:** Elección del tipo de contacto que va a existir entre componentes.



**PASO 4:** Aplicación de las presiones externas que va a resistir el soporte.



**PASO 5:** Creación del mallado y ejecución de el análisis, para posteriormente crear el informe y obtener los resultados.

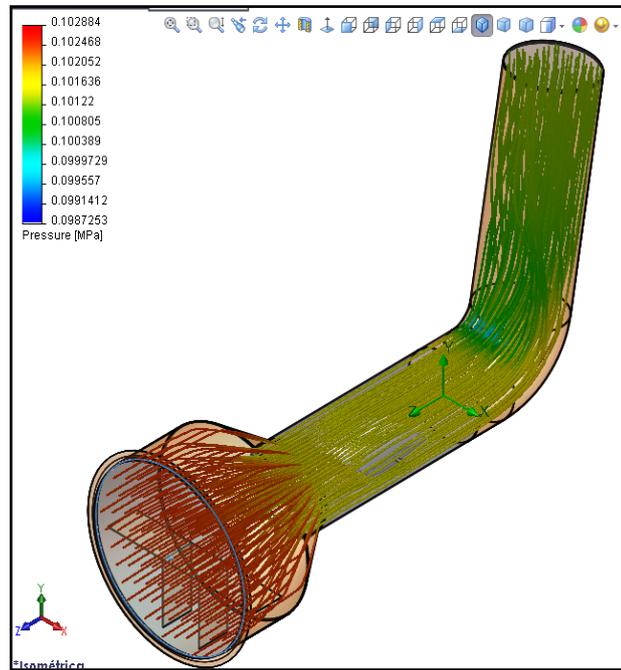


Fuente: SolidWorks Simulation 2010

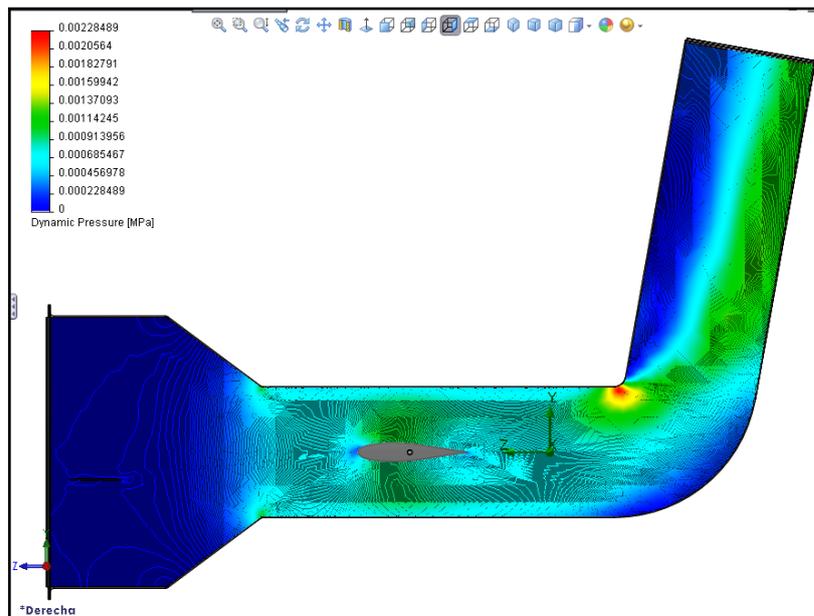
# **ANEXO “H”**

**GRÁFICAS DE  
RESULTADOS  
OBTENIDAS EN EL  
ESTUDIO EN  
SOLIDWORKS  
SIMULATION**

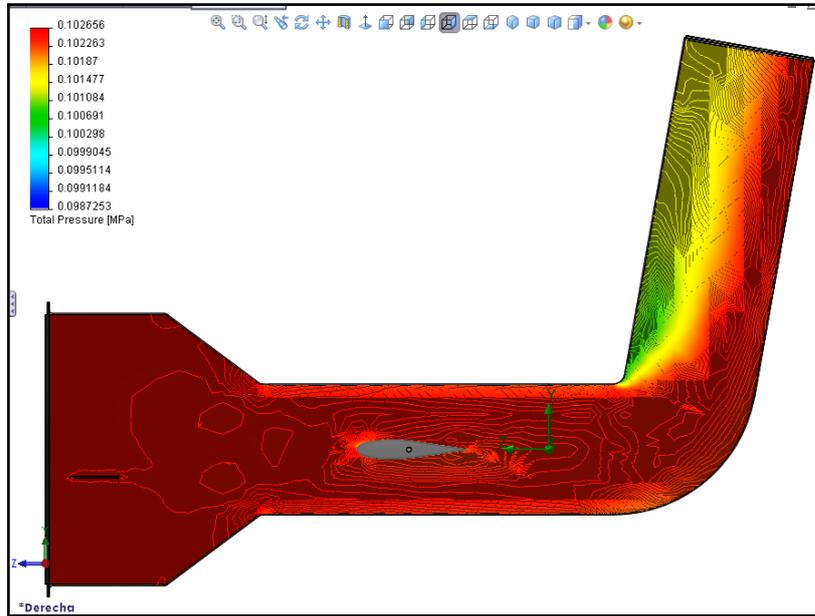
## Presión 3D con un ángulo de 0° en la superficie alar



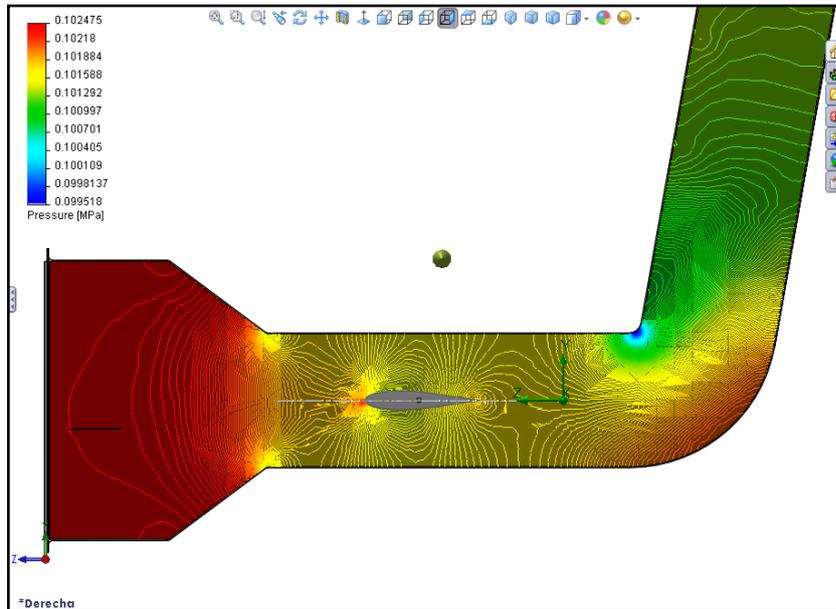
## Presión dinámica con un ángulo de 0° en la superficie alar



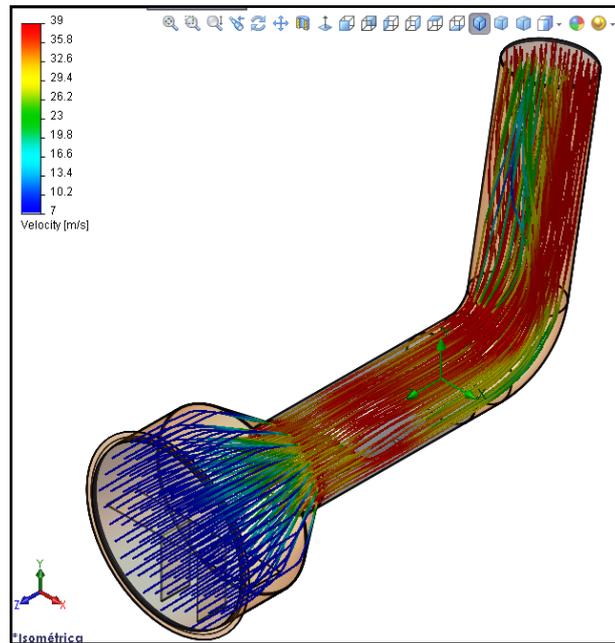
**Presión total con un ángulo de 0° en la superficie alar**



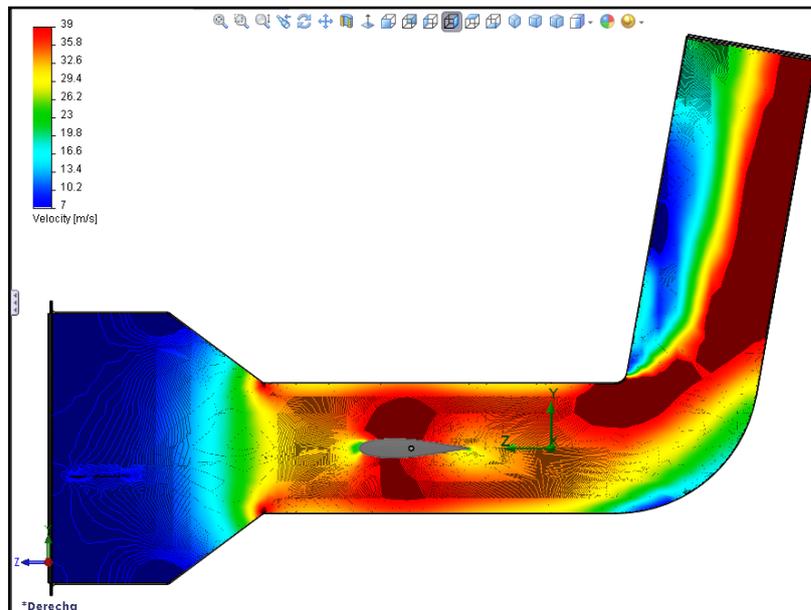
**Presión con un ángulo de 0° en la superficie alar**



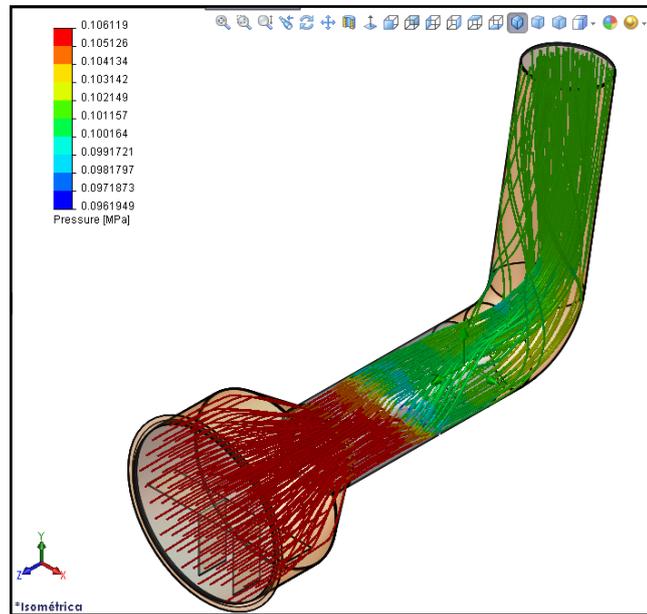
**Velocidad 3D con un ángulo de 0° en la superficie alar**



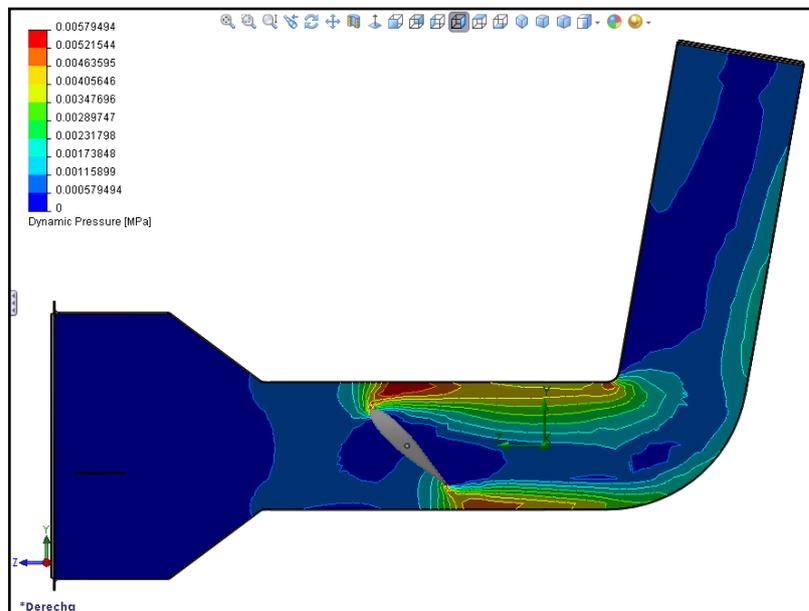
**Velocidad con un ángulo de 0° en la superficie alar**



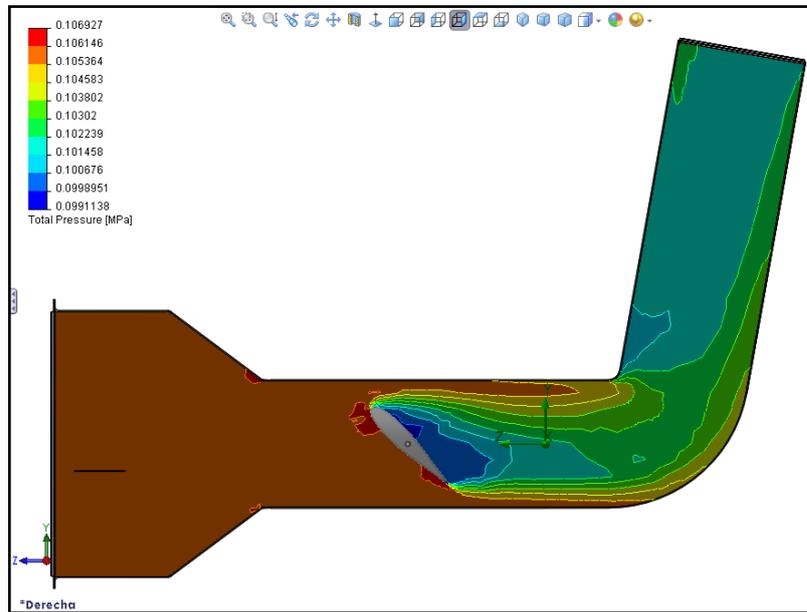
## Presión 3D con un ángulo de 45° en la superficie alar



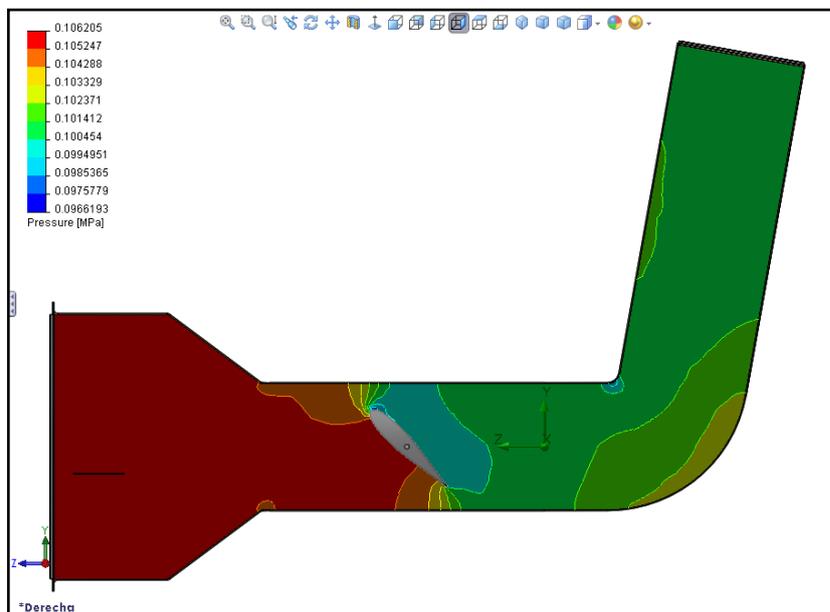
## Presión dinámica con un ángulo de 45° en la superficie alar



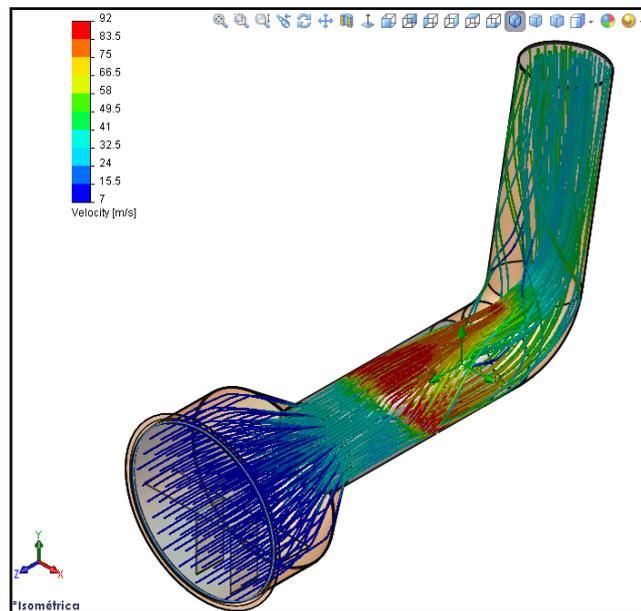
## Presión total con un ángulo de 45° en la superficie alar



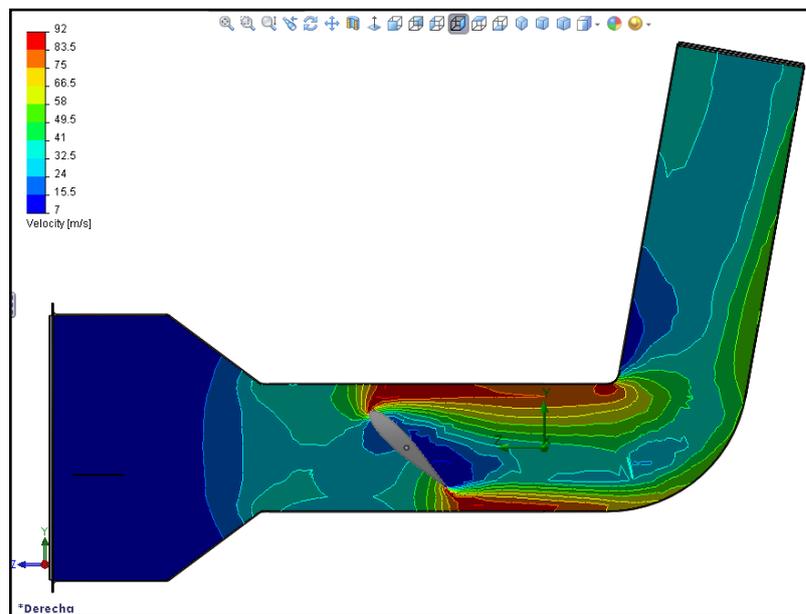
## Presión con un ángulo de 45° en la superficie alar



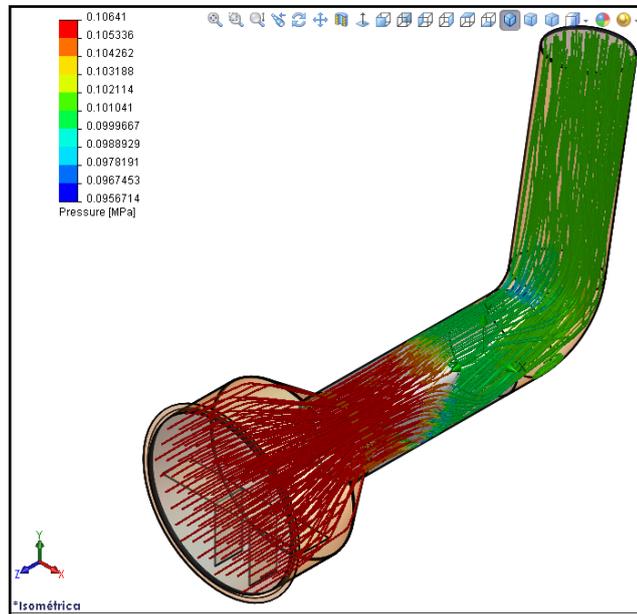
## Velocidad 3D con un ángulo de 45° en la superficie alar



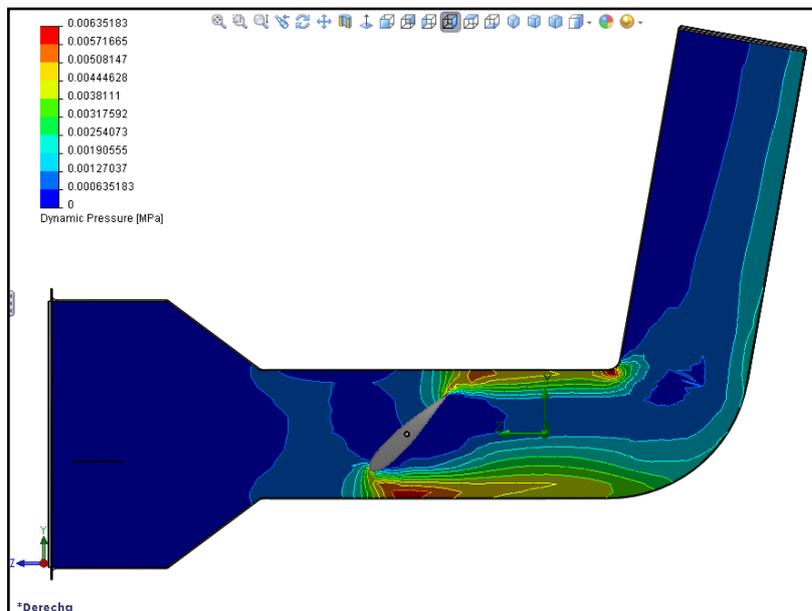
## Velocidad con un ángulo de 45° en la superficie alar



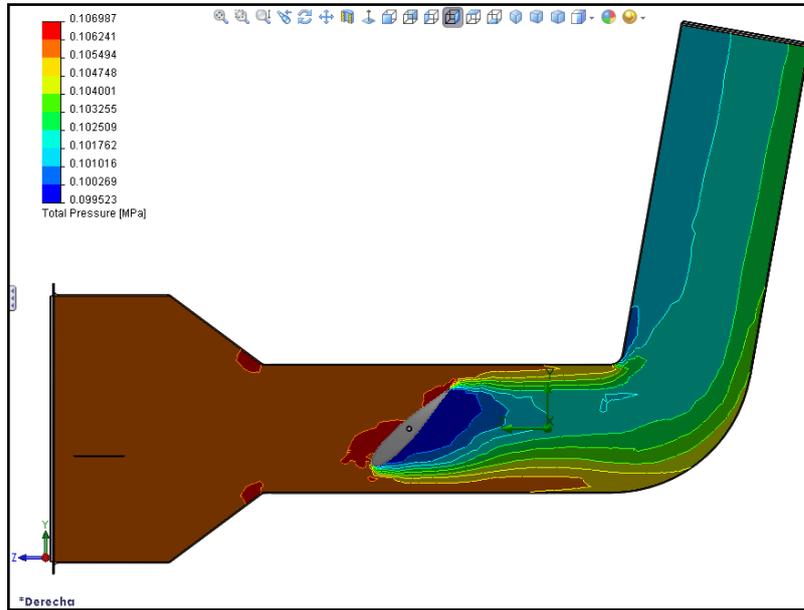
## Presión 3D con un ángulo de - 45° en la superficie alar



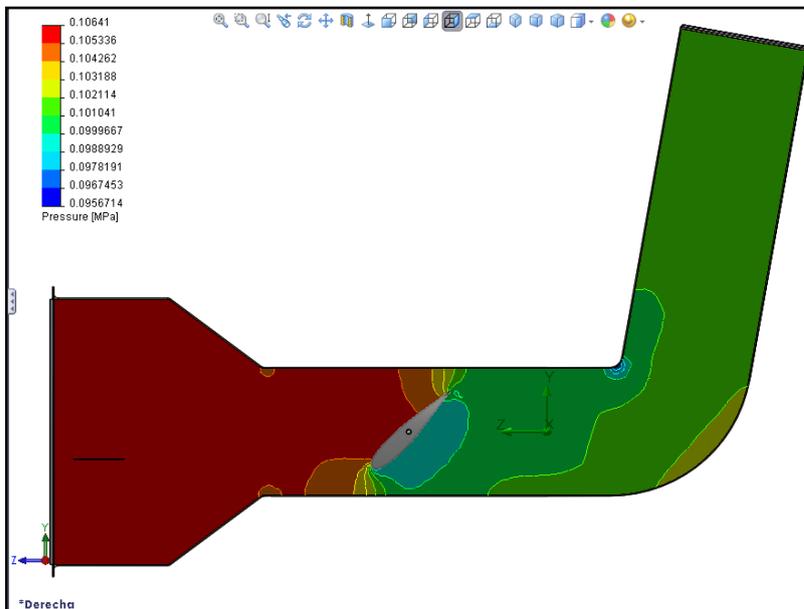
## Presión dinámica con un ángulo de - 45° en la superficie alar



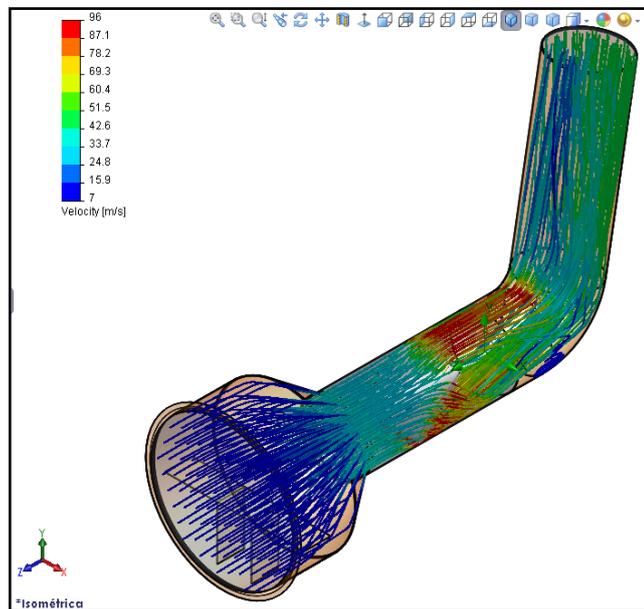
**Presión total con un ángulo de - 45° en la superficie alar**



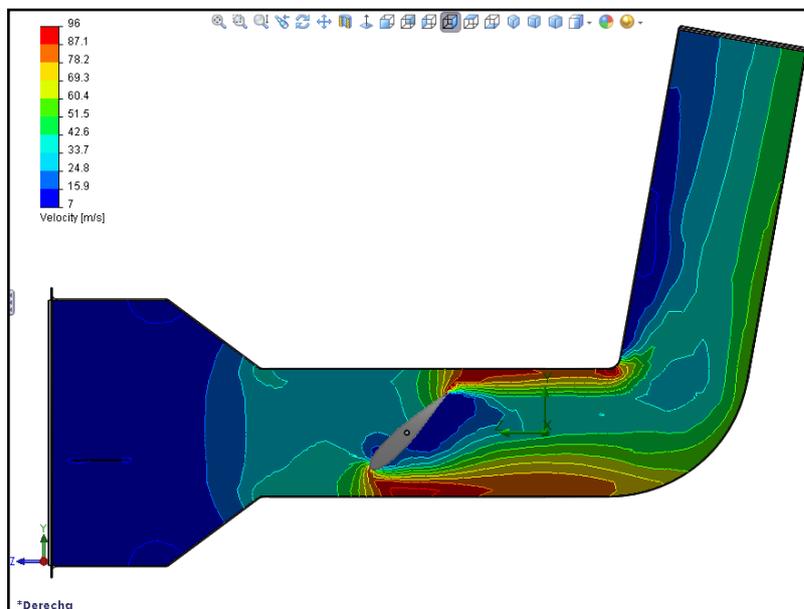
**Presión con un ángulo de - 45° en la superficie alar**



## Velocidad 3D con un ángulo de -45° en la superficie alar



## Velocidad con un ángulo de -45° en la superficie alar



Fuente: SolidWorksSimulation 2010

# **ANEXO “I”**

**RESULTADOS  
OBTENIDAS EN EL  
ESTUDIO EN  
SOLIDWORKS  
SIMULATION**

**Resultado obtenido en los sensores del ala ángulo de 0°**

x [m]	y [m]	z [m]	Presión Relativa [MPa]	Presión [MPa]	Velocidad [m/s]	Presión Total [MPa]	Presión Dinámica [MPa]
0	0,0072	0,24	0,000328305	0,101653305	0,005933904	0,101653438	1,32028E-07
0	0,0072	-0,24	0,000336964	0,101661964	0,006379891	0,101662095	1,31532E-07

**Resultado obtenido en los sensores del ala ángulo de 45°**

x [m]	y [m]	z [m]	Presión [MPa]	Velocidad [m/s]	Componentes de la velocidad en - X [m/s]	Componentes de la velocidad en - Y [m/s]	Componentes de la velocidad en - Z [m/s]	Presión total [MPa]	Presión Dinámica [MPa]
0	-0,054	0,2598	0,100101488	0,534209819	-0,303950489	0,275189324	0,342439874	0,100104388	2,89938E-06
0	0,0655	0,26997	0,104889029	3,111161975	-0,001716114	-1,663905243	-2,628829632	0,104988652	9,90428E-05

**Resultado obtenido en los sensores del ala ángulo de - 45°**

x [m]	y [m]	z [m]	Presión Relativa [MPa]	Presión [MPa]	Velocidad [m/s]	Presión Total [MPa]	Presión Dinámica [MPa]
0	0,0548	0,2595	-0,001442414	0,099882586	1,068277159	0,099889973	7,38349E-06
0	0,0655	0,27	0,00359193	0,10491693	2,880992297	0,105013716	9,61655E-05

Fuente: SolidWorksSimulation 2010

# **ANEXO “J”**

## **NORMALIZACION INTERNACIONAL**

## NORMA ASTM

**ASTM** o **ASTM International** es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América que mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

Esta norma no especifica composición directamente, más bien determina la aplicación o ámbito de empleo; por tanto, no existe una relación directa biunívoca con las normas de composición.

### Ejemplo:

A36: Especificación de aceros estructurales al carbono.

A285: Especificación de aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para planchas de recipientes a presión.

A325: Especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico.

A514: Especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar.

### Grupos de aplicación

La primera letra de la norma indica el grupo de aplicación:

**AXX**: Especificaciones para aceros y hierros.

**BXX**: Especificaciones para no ferrosos.

**CXX**: Especificaciones para concreto, estructuras civiles.

**DXX**: Especificaciones de químicos: Aceites, pinturas, etc.

**EXX**: Especificaciones de métodos de ensayos.

### Otros

Fuente: BOHLER, (1999). Manual de aceros Bohler. Lima-Perú.

## HOJA DE VIDA

### DATOS PERSONALES

**Nombre:** Luis Carlos Cevallos Cruz

**Nacionalidad:** Ecuatoriano

**Fecha de Nacimiento:** 22 de Agosto de 1988

**Cédula de Ciudadanía:** 050250148-9

**Teléfonos:** 095921499 - 032814381

**Correo Electrónico:** flacocc6666@hotmail.com

**Dirección:** Locoá – Laguna Cuyabeno y Laguna Garzacochoa, Latacunga  
– Ecuador



### ESTUDIOS REALIZADOS

Unidad Educativa San José “La Salle” / Julio 1999

Colegio Técnico Industrial “Ramón Barba Naranjo”, **Bachiller en Electromecánica**, Julio 2006

### TÍTULOS OBTENIDOS

Bachiller en Electromecánica

## **PRÁCTICAS PREPROFESIONALES**

Empresa: **TAME.**

Cargo: Asistente de Mantenimiento

Duración: 08/Sep./08 – 09/Oct./08

Empresa: **VUELOS INTERNOS PRIVADOS VIP S.A.**

Cargo: Asistente de Mantenimiento

Duración: 23/Oct./09 – 05/Ene./09

## **CURSOS Y SEMINARIOS**

**Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ITSA**

Suficiencia en el Idioma Inglés, Julio 2009

**HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE  
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

---

**Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

---

**Ing. José Guillermo Trujillo Jaramillo**

Latacunga, Marzo del 2011

## **CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Yo, LUIS CARLOS CEVALLOS CRUZ, egresado de la carrera de **Mecánica Aeronáutica – Motores**, en el año 2009, con cédula de ciudadanía **Nº 050250149-9**, autor del Trabajo de Graduación “**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR TIPO TÚNEL DE VIENTO DE LA VARIACIÓN DE PRESIONES SEGÚN LA MOVILIDAD DE UNA SUPERFICIE DE CONTROL EN EL EJE Y**”, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

---

**Sr. Cevallos Cruz Luis Carlos**

Latacunga, Marzo del 2011