

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **EXTENSIÓN – LATACUNGA**



**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO  
SUBSÓNICO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA  
EL ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**REALIZADO POR:**

**DIEGO PATRICIO PINEDA MAIGUA  
WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2010**

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Nosotros,** PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO  
WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN

#### **DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 8 de Septiembre del 2010.

PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO  
C. C. No.- 100245470-8

WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN  
C. C. No.- 100277033-5

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

### **AUTORIZACIÓN**

**Nosotros,** PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO  
WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN

Autorizamos a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS**" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 8 de Septiembre del 2010

PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO  
C. C. No.- 100245470-8

WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN  
C. C. No.- 100277033-5

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

### **CERTIFICADO**

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

DR. MARCELO ROMÁN (CODIRECTOR)

### **CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS**" realizado por los señores: PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO Y WILLIAM HERNAN VEGA SANTILLAN, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a los señores: PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO Y WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN que lo entregue al ING. JUAN CASTRO, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, 8 de Septiembre del 2010.

-----  
Ing. OSCAR ARTEAGA

**DIRECTOR**

-----  
Dr. MARCELO ROMÁN

**CODIRECTOR**



## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por: PINEDA MAIGUA DIEGO PATRICIO Y WILLIAM HERNÁN VEGA SANTILLAN, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Oscar Arteaga  
DIRECTOR DE PROYECTO

---

Dr. Marcelo Román  
CODIRECTOR DE PROYECTO

## ***DEDICATORIA***

A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir, triunfar y premiarme con una familia maravillosa.

El presente trabajo se lo dedico a mis Padres, Jaime y Merceditas, quienes día a día me brindaron su apoyo incondicional, además de ser el pilar fundamental para el desarrollo de mi formación y un ejemplo a seguir.

A mi hermano, con quien tuve la dicha de compartir la fraternidad, ya que siempre estuvo presente dándome aliento para superarme cada día más.

A Verito, quien contribuyó de manera significativa para que siempre creyese que todo lo puedo lograr a base de esfuerzo y dedicación.

Diego

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a ti Dios por haberme bendecido con esos Padres y Hermano, quienes estuvieron en todo momento impulsándome a seguir con mis estudios para que cumpliera con esta meta.

A la Escuela Politécnica del Ejército por las enseñanzas que adquirí durante la estancia de sus aulas.

A mi Director y Co-Director, que con sus amplios conocimientos me supieron guiar acertadamente y poder culminar con una meta más de mi vida.

Diego

## ***DEDICATORIA***

A DIOS Por darme la sabiduría y entendimiento para alcanzar uno de mis sueños y por darme la oportunidad de seguir viviendo y poder seguir estar a tu lado.

A MIS PADRES José Vega y Matilde Santillán, por su apoyo total, moral, espiritual y económico; quien sin ellos no fuese esto realidad.

MI ESPOSA Viviana Arias Muenala, por estar a mi lado demostrándome tu amor y apoyo incondicional.

A MIS HERMANOS, MIS TIOS Y MIS PRIMOS, por contar permanentemente su cariño, tratándome de siempre continuar con mí meta.

William

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS Y A JESUCRISTO Por la vida, por estar conmigo en cada momento, por permitirme alcanzar una meta más y poderla compartir con mis seres queridos. Porque Él da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. Proverbios 2:6.

A MIS PADRES José Vega y Matilde Santillán por sus múltiples esfuerzos y que este triunfo sea una ofrenda.

A MIS AMIGOS Que por nombre ellos se dan por aludidos, quien compartieron momentos gratos e inolvidables.

A LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO por las enseñanzas que adquirí durante la estancia de sus aulas.

A USTED que toma en sus manos este trabajo.

William

## ÍNDICE

CARÁTULA .....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
CERTIFICADO .....	iv
CERTIFICACIÓN .....	v
<i>DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS</i> .....	vi
ÍNDICE .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS. ....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS. ....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi

## CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1.- FLUJO.....	1
1.1.1.- FLUJO LAMINAR .....	1
1.1.2.- FLUJO TURBULENTO.....	2
1.2.- CAPA LÍMITE.....	3
1.3.- PRINCIPIOS Y LEYES DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS.....	4
1.4.- COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE .....	6
1.5.- TEOREMA DE BERNOULLI .....	8
1.6.- EFECTO VENTURI.....	10
1.7.- TÚNEL DE VIENTO .....	11
1.8.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	13
1.9.- TIPOS DE TÚNEL DE VIENTO .....	13
1.9.1.- TÚNEL DE VIENTO ABIERTO .....	14
1.9.2.- TÚNEL DE VIENTO CERRADO .....	15
1.10.- PARTES DEL TÚNEL DE VIENTO.....	16

## **CAPITULO II. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TÚNEL DE VIENTO**

2.1.-	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	18
2.2.-	CÁLCULO DEL FLUJO MÁSSICO Y CAUDAL DE AIRE REQUERIDO .....	19
2.3.-	ELEMENTOS DEL TÚNEL DE VIENTO .....	20
2.4.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS .....	
	DEL TÚNEL DE VIENTO .....	22
2.4.1.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANAL DE ABEJAS RECTIFICADOR.....	23
2.4.2.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL .....	
	CONO DE CONTRACCIÓN .....	24
2.4.3.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA .....	
	CÁMARA DE PRUEBAS .....	25
2.4.4.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIFUSOR.....	26
2.4.5.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SILENCIADOR.....	27
2.4.6.-	MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA .....	
	ESTRUCTURA SOPORTE.....	27
2.5.-	ENSAMBLAJE COMPUTACIONAL DEL TÚNEL DE VIENTO.....	28
2.6.-	DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO MEDIANTE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	30
2.6.1.-	CREACIÓN DEL PROYECTO EN FLOW SIMULATION .....	30
2.6.2.-	RESULTADOS .....	37
2.7.-	CÁLCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN .....	43
2.8.-	CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA.....	44
2.9.-	SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	45

## **CAPITULO III. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS**

3.1.-	DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.....	47
3.1.1.-	SELECCIÓN DE MOTOR ELÉCTRICO .....	47
3.2.-	DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS .....	48
3.2.1.-	VARIABLES A SER MEDIDAS Y REGISTRADAS .....	49
3.2.2.-	SELECCIÓN DE SENSORES .....	49
3.2.4.-	ELECCIÓN DE EQUIPO ADQUISICIÓN DE VARIABLES MEDIDAS .....	51

3.2.4.1.- DETERMINACIÓN DE RESOLUCIÓN, PRECISIÓN.....	51
3.2.4.2.- ELECCIÓN DE INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	52
3.3.- ANEMÓMETRO.....	54

**CAPITULO IV.  
CONSTRUCCIÓN**

4.1.- DIAGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN .....	56
4.2.- CONSTRUCCIÓN DE LA BANCADA .....	57
4.3.- CONSTRUCCIÓN DEL CONO DE CONTRACCIÓN .....	58
4.4.- CONSTRUCCIÓN DEL PANAL DE ABEJAS .....	59
4.5.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA DE PRUEBAS .....	60
4.6.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA DIFUSORA .....	62
4.7.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA SEGURIDAD .....	63
4.8.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA IMPULSORA .....	65
4.9.- CONSTRUCCIÓN DE ZONA DEL SILENCIADOR.....	66
4.10.- ENSAMBLAJE DEL TÚNEL DE VIENTO .....	67
4.11.- INSTALACIÓN DE SENSORES .....	74
4.12.- INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	76
4.13.- ENSAMBLE FINAL DEL TÚNEL DE VIENTO .....	77

**CAPITULO V.  
PRUEBAS Y RESULTADOS**

5.1.- INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN .....	78
5.2.- PRUEBAS.....	79
5.2.1.-GUÍA PRÁCTICA .....	80



## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1.- CONCLUSIONES .....	90
6.2.- RECOMENDACIONES .....	91
BIBLIOGRAFÍA .....	92
ANEXOS .....	93
“PLANOS” .....	94
“ESPECIFICACIONES DEL MOTOR WEG” .....	116
“ESPECIFICACIONES DEL SENSOR MPX5010DP” .....	121
“ESPECIFICACIONES DEL ANEMÓMETRO EXTRECH INSTRUMENTS” .....	128
“ESPECIFICACIONES DE NI USB-6009” .....	130
“ESPECIFICACIONES DE LM 324” .....	136
“PLACA” .....	150

### **ÍNDICE DE FIGURAS.**

FIGURA 1. 1 VISUALIZACIÓN DEL FLUJO LAMINAR .....	1
FIGURA 1. 2 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN UN TUBO CON FLUJO LAMINAR. ....	1
FIGURA 1. 3 FLUJO TURBULENTO DE AIRE ALREDEDOR DE UN ALA A VARIOS ÁNGULOS DE ATAQUE .....	2
FIGURA 1. 4 CAPA LÍMITE .....	3
FIGURA 1. 5 SPOILER POSTERIOR .....	5
FIGURA 1. 6 ALERÓN FRONTAL .....	6
FIGURA 1. 7 FUERZA DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN .....	8
FIGURA 1. 8 GRÁFICA DEL TEOREMA DE BERNOULLI .....	9
FIGURA 1. 9 EFECTO VENTURI .....	10
FIGURA 1. 10 TÚNEL DE VIENTO.....	12
FIGURA 1. 11 TÚNELES DE VIENTO ABIERTO .....	15
FIGURA 1. 12 TÚNELES DE VIENTO CERRADO .....	15
FIGURA 1. 13 PARTES DEL TÚNEL DE VIENTO .....	16
FIGURA 2. 1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL TÚNEL DE VIENTO .....	21
FIGURA 2. 2 MODELO Y DIMENSIONES DEL PANAL DE ABEJAS .....	23
FIGURA 2. 3 MODELO Y DIMENSIONES DEL CONO DE CONTRACCIÓN .....	24
FIGURA 2. 4 MODELO Y DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE PRUEBAS .....	25
FIGURA 2. 5 MODELO Y DIMENSIONES DEL DIFUSOR. ....	26
FIGURA 2. 6 MODELO Y DIMENSIONES DEL SILENCIADOR .....	27
FIGURA 2. 7 MODELO Y DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA SOPORTE .....	28
FIGURA 2. 8 TÚNEL DE VIENTO ANTES DE ENSAMBLAR CON LAS RELACIONES DE POSICIÓN .....	29
FIGURA 2. 9 TÚNEL DE VIENTO ENSAMBLADO .....	29

FIGURA 2. 10 CONFIGURACIÓN INICIAL DEL PROYECTO .....	30
FIGURA 2. 11 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE UNIDADES .....	31
FIGURA 2. 12 VENTANA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS.....	31
FIGURA 2. 13 SELECCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO.....	32
FIGURA 2. 14 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL SÓLIDO .....	32
FIGURA 2. 15 CONFIGURACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES.....	33
FIGURA 2. 16 CONFIGURACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE RESOLUCIÓN Y EL TAMAÑO DEL MALLADO .....	33
FIGURA 2. 17 CONDICIONES DE FRONTERA EN LA ENTRADA DEL TÚNEL DE VIENTO.....	34
FIGURA 2. 18 CONDICIONES DE FRONTERA EN LA SALIDA DEL TÚNEL DE VIENTO.....	35
FIGURA 2. 19 VENTANA EQUATION GOAL .....	36
FIGURA 2. 20 EJECUCIÓN DE LOS SOLVERS DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION .....	36
FIGURA 2. 21 GENERACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RESULTADOS.... .....	37
FIGURA 2. 22 DENSIDAD.....	38
FIGURA 2. 23 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES.....	39
FIGURA 2. 24 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA DE TURBULENCIA .....	40
FIGURA 2. 25 DIAGRAMA DE PRESIÓN TOTAL .....	41
FIGURA 2. 26 ESQUEMA DEL TÚNEL DE VIENTO .....	44
FIGURA 2. 27 VENTILADOR DE FLUJO AXIAL SELECCIONADO .....	45
FIGURA 3. 1 MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO WEG.....	47
FIGURA 3. 2 SENSOR MOTOROLA MPX5010DP .....	50
FIGURA 3. 3 CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN DE VOLTAJE .....	50
FIGURA 3. 4 PLACA TERMINADA.....	51
FIGURA 3. 5 NI USB-6009 .....	53
FIGURA 3. 6 NI USB-6009 .....	54
FIGURA 3. 7 ANEMÓMETRO EXTECH .....	54
FIGURA 4. 1 CONSTRUCCIÓN DE LA BANCADA .....	57
FIGURA 4. 2 BANCADA TERMINADA .....	57
FIGURA 4. 3 CARA DEL CONO DE LA ZONA DE CONTRACCIÓN .....	58
FIGURA 4. 4 ROLADO DE CARAS DE LA ZONA DE CONTRACCIÓN.....	58
FIGURA 4. 5 ENSAMBLE DE LA ZONA DE CONTRACCIÓN.....	59
FIGURA 4. 6 ACABADO Y PINTADO DE LA ZONA DE CONTRACCIÓN .....	59
FIGURA 4. 7 PANAL DE ABEJAS .....	60
FIGURA 4. 8 ZONA DE PRUEBA .....	60
FIGURA 4. 9 CORTES EN EL DIFUSOR.....	62
FIGURA 4. 10 ENSAMBLE DE MARCOS Y CARAS DEL DIFUSOR .....	62
FIGURA 4. 11 ACABADO Y PINTADO DEL DIFUSOR.....	63
FIGURA 4. 12 MARCOS DECAGONAL DE LA ZONA DE SEGURIDAD .....	63
FIGURA 4. 13 ROLADO DE LA ZONA DE SEGURIDAD.....	64
FIGURA 4. 14 ENSAMBLE DEL CUERPO DE LA ZONA DE SEGURIDAD.....	64
FIGURA 4. 15 ACABADO Y PINTADO DE LA ZONA DE SEGURIDAD.....	64
FIGURA 4. 16 ENSAMBLE DE LA ZONA IMPULSORA .....	65
FIGURA 4. 17 ACABADO Y PINTADO DE LA ZONA DE IMPULSORA.....	65
FIGURA 4. 18 ROLADO DEL SILENCIADOR .....	66

FIGURA 4. 19 TERMINADO EL SILENCIADOR Y PEGANDO DE ESPONJA PARA RUIDOS .....	66
FIGURA 4. 20 VISTA DEL ENSAMBLÉ DEL TÚNEL DE VIENTO .....	67
FIGURA 4. 21 BANCADA DEL TÚNEL DE VIENTO .....	67
FIGURA 4. 22 CONO DE CONTRACCIÓN .....	68
FIGURA 4. 23 ZONA DE PRUEBAS .....	68
FIGURA 4. 24 DIFUSOR .....	68
FIGURA 4. 25 PANAL DE ABEJA .....	68
FIGURA 4. 26 ZONA DE SEGURIDAD .....	68
FIGURA 4. 27 ZONA IMPULSADORA .....	68
FIGURA 4. 28 SILENCIADOR .....	69
FIGURA 4. 30 HÉLICE .....	69
FIGURA 4. 29 MOTOR ELÉCTRICO .....	69
FIGURA 4. 31 SUJECIÓN DEL CONO DE CONTRACCIÓN .....	69
FIGURA 4. 32 SUJECIÓN DEL PANAL DE ABEJAS .....	70
FIGURA 4. 33 SUJECIÓN DEL DIFUSOR .....	70
FIGURA 4. 34 SUJECIÓN DE LA ZONA DE SEGURIDAD AL DIFUSOR Y BANCADA .....	71
FIGURA 4. 35 SUJECIÓN DEL VENTILADOR AL MOTOR ELÉCTRICO .....	71
FIGURA 4. 36 INSTALANDO EL INTERRUPTOR DEL MOTOR ELÉCTRICO .....	72
FIGURA 4. 37 FIJADO Y CENTRADO CONJUNTO HÉLICE - MOTOR EN ZONA IMPULSORA .....	72
FIGURA 4. 38 UBICANDO LA ZONA IMPULSORA .....	72
FIGURA 4. 39 SUJECIÓN DE LA ZONA PROPULSORA .....	73
FIGURA 4. 40 SUJECIÓN DEL SILENCIADOR .....	73
FIGURA 4. 41 ADHIRIENDO ESPONJA EN EL SILENCIADOR .....	73
FIGURA 4. 42 COLOCANDO LA MALLA EN EL SILENCIADOR .....	74
FIGURA 4. 43 SENSORES CON LA TOMA DE BAJA, TODAS EN COMÚN Y LAS DE ALTA AL PERFIL DEL VEHÍCULO DE PRUEBA .....	75
FIGURA 4. 44 VEHÍCULO DE PRUEBA FIJADO Y CENTRADO EN LA ZONA DE PRUEBA .....	75
FIGURA 4. 45 FIJACIÓN DE SENSORES QUE MIDEN LA VELOCIDAD DE ENTRADA Y SALIDA, CABLES LISTOS PARA SER CONECTADOS .....	75
FIGURA 4. 46 FIJACIÓN DE CAJA CONTENEDORA DE LA PLACA Y DE NI USB 6009 .....	76
FIGURA 4. 47 CONECTANDO SENSORES A LA PLACA DEL CIRCUITO .....	76
FIGURA 4. 48 CONECTANDO DE PLACA AL NI USB 6009 Y AL COMPUTADOR ..	77
FIGURA 4. 49 TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA II. 1 PARÁMETROS DE SUPERFICIE A LA SALIDA DEL TÚNEL DE VIENTO .....	42
TABLA II. 2 PROPIEDADES DEL AIRE Y PRESIONES .....	43
TABLA III. 1 ESPECIFICACIONES DEL MOTOR .....	48
TABLA III. 2 ESPECIFICACIONES DEL ANEMÓMETRO .....	55
TABLA IV. 1 CARACTERÍSTICAS DEL PLEXIGLÁS .....	61

## INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica en los motores de los vehículos dio como resultado altas velocidades produciendo inestabilidad en la conducción, por ello la necesidad de producir una fuerza aerodinámica dirigida hacia abajo (sustentación negativa) que empuje el vehículo contra el suelo y lo haga mucho más seguro y estable. No obstante la herramienta adecuada para este tipo de estudio y pruebas es el túnel de viento.

El desarrollo de este proyecto es muy primordial ya que la aplicación de este tema logrará como futuros ingenieros tener una cultura de investigación en las áreas de mecánica de fluidos y aerodinámica del automóvil, así obtendremos experiencia y especialización en éstas áreas que luego pondremos en práctica en nuestro desarrollo profesional en la simulación, construcción, adaptación, y optimización de los distintos diseños automotrices en lo referente a la aerodinámica del automóvil.

El presente proyecto se ha dividido en cinco capítulos donde se señalan los aspectos más sobresalientes para el desarrollo del mismo.

En el capítulo I, enseña toda la información teórica para la comprensión de la importancia que tiene el túnel de viento, así como la evolución en nuevas tecnologías.

En el capítulo II, se presenta el diseño en 3D de mejor prestación a nuestro estudio el cual fue diseñado en el paquete de SolidWorks al mismo tiempo simulado en SolidWorks Flow Simulation; así se obtuvo las más eficientes y confiables, cumpliendo de mejor manera con los requerimientos de diseño.

El capítulo III, muestra la selección y descripción de los componentes eléctricos, electrónicos del sistema, los cuales son utilizados en el túnel de viento y en un auto a escala (modelo de prueba), mediante el diseño electrónico y la selección del software, siendo su objetivo procesar las señales eléctricas emitidas por los sensores; acondicionarlas, presentarlas de forma numérica, gráfica en el computador y finalmente registrarlas.

El capítulo IV, en esta sección se detalla la construcción de cada elemento del túnel de viento y se representa su ensamble; conjuntamente la instalación eléctrica y electrónica.

El capítulo V, elaboración del manual de operación y mantenimiento. Las diferentes pruebas de confiabilidad.

Final mente se presentan conclusiones y recomendaciones que servirán para que todos aquellos estudiantes que requieran nuestro trabajo como fuente de consulta y apoyo académico.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1.- FLUJO

#### 1.1.1.- FLUJO LAMINAR

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. Se dice que este flujo es aerodinámico, es decir cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.



Figura 1. 1 Visualización del flujo laminar

La pérdida de energía es proporcional a la velocidad media. El perfil de velocidades tiene forma de una parábola, donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y la velocidad es igual a cero en la pared del tubo.

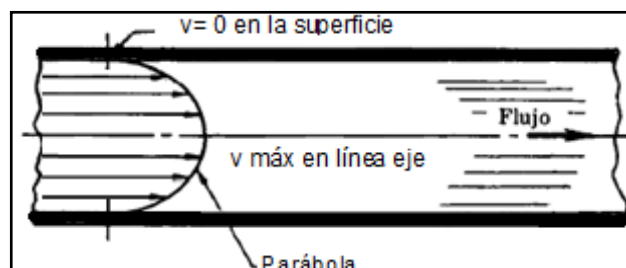


Figura 1. 2 Distribución de velocidades en un tubo con flujo laminar.

Existe flujo laminar en fluidos con velocidades bajas o viscosidades altas, cuando se cumple que el número de Reynolds es inferior a 2300. Más allá de este número, será un flujo turbulento.

### 1.1.2.- FLUJO TURBULENTO

El flujo turbulento es más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas.

La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en un conducto rugoso.

Se define como flujo turbulento al fluido que presenta un número de Reynolds mayor a 4000

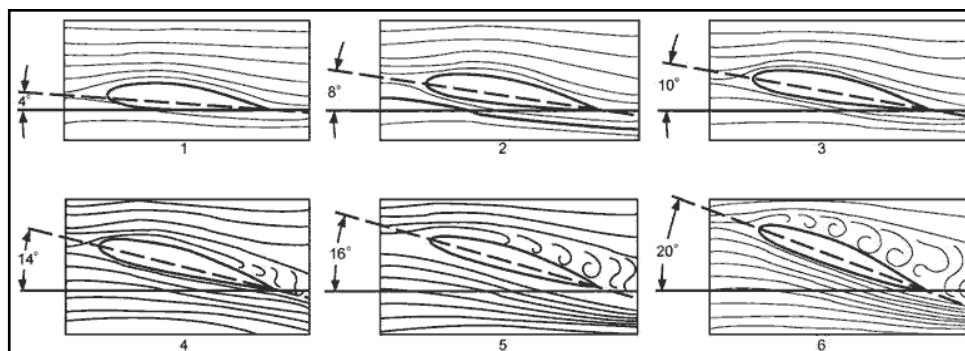


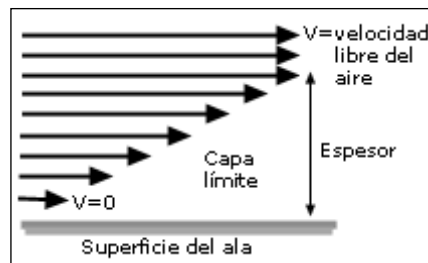
Figura 1. 3 Flujo Turbulento de aire alrededor de un ala a varios ángulos de ataque

## 1.2.- CAPA LÍMITE

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.

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.



**Figura 1. 4 Capa límite**

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".

### **1.3.- PRINCIPIOS Y LEYES DE LA AERODINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS**

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 subsónica y supersónica según que dicho número sea inferior o superior a la unidad.

La importancia de la aerodinámica de los cuerpos aerodinámicos. No obstante, la tecnología del motor, la suspensión y los neumáticos. La reducción de la resistencia del aire sigue siendo importante, pero un nuevo concepto ha tomado prioridad: la producción de una fuerza aerodinámica dirigida hacia abajo (sustentación negativa), que se considera más importante que la reducción de la resistencia.

Ya que la resistencia del aire producida por el vehículo y los neumáticos ya había sido reducida, los diseñadores necesitaban encontrar alguna otra cosa que les diese a sus vehículos ventajas sobre los demás. La mayoría de los automóviles producen sustentación, y conforme la velocidad aumenta, la fuerza de sustentación aumenta y el coche se vuelve inestable.

Para contrarrestar el problema de la sustentación, los automóviles modernos están diseñados para producir sustentación negativa. Esto significa que al vehículo se le agregan algunos dispositivos que causan que el coche presione contra el suelo y se mantenga cerca de él. Estos dispositivos neutralizan la sustentación producida por el coche, de hecho, crean sustentación negativa

Hay diversos métodos que se utilizan para reducir la sustentación o para crear fuerza hacia abajo. Estos métodos incluyen interceptores aerodinámicos spoilers y efectos de tierra.



**Figura 1. 5 Spoiler posterior**

Los dispositivos disponibles más simples son un tipo de tomas de aire delanteras e interceptores aerodinámicos posteriores, Estos tienen diversos efectos positivos. Al reducir el flujo de aire por la parte inferior del vehículo, la toma delantera reduce la resistencia del vehículo. Además, inmediatamente detrás de la toma de aire, la presión también se reduce, lo que ayuda a que el radiador reciba un flujo de aire fresco.

Al mismo tiempo, la sustentación se reduce en la parte delantera del vehículo.



**Figura 1. 6 Alerón Frontal**

Los alerones delanteros hacen que aumente el flujo de aire por debajo del coche, con lo que promueve la generación de una fuerza hacia abajo en la parte posterior del coche. Los alerones delanteros normalmente proporcionan un 25 % del soporte aerodinámico total del automóvil.

La sustentación negativa ha de estar bien distribuida entre la parte delantera y trasera del coche. Si el coche tuviese una carga mayor en la parte anterior que en la parte de atrás, no será estable. Cuando la parte posterior tiene una carga más grande, el coche se estabiliza, el balance no deja de ser importante, porque si el coche es demasiado estable, resulta difícil trazar las curvas. Esto puede mejorar la distribución de la fuerza de sustentación negativa entre el eje delantero y el eje posterior.

#### **1.4.- COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN Y ARRASTRE**

Arrastre es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre los automóviles, camiones y trenes. La fuerza de arrastre debe contrarrestarse por medio de una fuerza de propulsión en la dirección opuesta, con el fin de mantener o incrementar la velocidad del vehículo.

Como la generación de la fuerza de propulsión requiere que se agregue energía, es decible minimizar el arrastre.

### Coeficiente de Arrastre

$$F_D = \text{arrastre} = C_D \left( \frac{\rho v^2}{2} \right) A \quad (1.1)$$

Donde:

$F_D$  : Coeficiente de arrastre

$C_D$  : Fuerza de arrastre [N]

$\rho$  : Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]

$v$  : Velocidad del aire [m/s]

$A$  : Área de la superficie alar [m<sup>2</sup>]

Sustentación es una fuerza ocasionada por el fluido en dirección perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo. Su aplicación más importante esta en el diseño y análisis de las aeronaves llamadas aeroplanos. La geometría de un aeroplano es tal que se produce una fuerza de sustentación cuando el aire paso sobre y bajo el. Por supuesto, la magnitud de la sustentación debe ser igual al peso de la aeronave para que vuele.

### Coeficiente de Sustentación

$$F_L = \text{sustentación} C_L \left( \frac{\rho v^2}{2} \right) A \quad (1.2)$$

Donde:

$F_L$  : Coeficiente de sustentación

$C_L$  : Fuerza de sustentación [N]

$\rho$  : Densidad [Kg/m<sup>3</sup>]

$v$  : Velocidad del aire [m/s]

$A$  : Área de la superficie alar [m<sup>2</sup>]

Podemos ver que las resultantes de las fuerzas aerodinámicas tienen una componente en el eje X que se opone al avance del vehículo llamada fuerza de arrastre, y una componente en el eje Y que tiende a elevar a esta llamada sustentación.

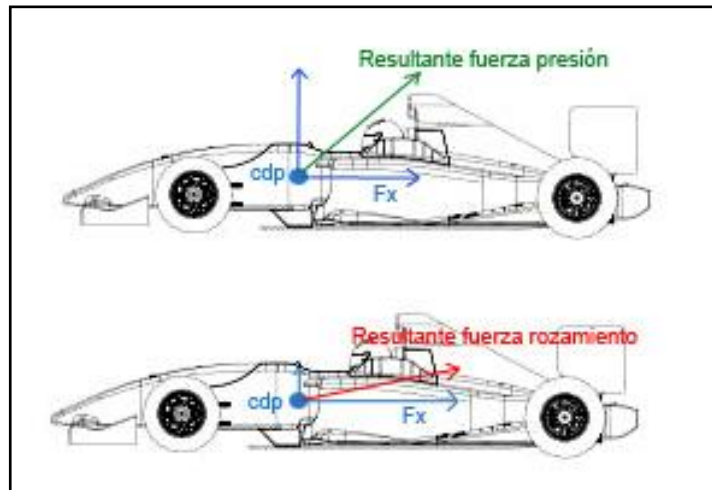
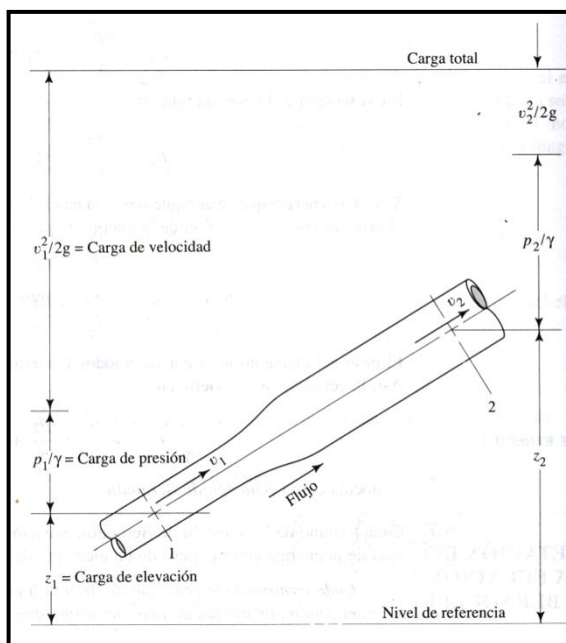


Figura 1. 7 Fuerza de arrastre y sustentación

## 1.5.- TEOREMA DE BERNOULLI

El teorema de Bernoulli afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria de flujo. En un fluido hay tres formas de energía presentes, la energía potencial, la energía cinética y la energía de flujo. Si se asumen dos puntos a lo largo de la trayectoria distanciados uno del otro, la magnitud de las energías en un punto pueden variar con respecto al otro, pero la sumatoria total de las energías siempre será la misma. (Figura 1.8)



**Figura 1. 8 Gráfica del teorema de Bernoulli**

La ecuación de Bernoulli se usa para determinar los valores de carga de presión, carga de elevación y cambio de la carga de velocidad, conforme el fluido circula a través del sistema.

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2}{2g} \quad (1.3)$$

Donde:

$P_1$  : Presión estática a la que está sometido el fluido en el punto 1

$P_2$  : Presión estática a la que está sometido el fluido en el punto 2

$\gamma$  : Peso específico del fluido

$v_1$  : Velocidad del fluido en el punto 1

$v_2$  : Velocidad del fluido en el punto 2

$Z_1$  : Altura sobre el nivel de referencia 1

$Z_2$  : Altura sobre el nivel de referencia 2

$g$ : Valor de la aceleración de la gravedad  $9.81 \frac{m}{s^2}$  en la superficie de la tierra

## 1.6.- EFECTO VENTURI

Cuando el desnivel es cero, la tubería es horizontal. Tenemos entonces, el denominado tubo de Venturi, cuya aplicación práctica es la medida de la velocidad del fluido en una tubería. El manómetro mide la diferencia de presión entre las dos ramas de la tubería.

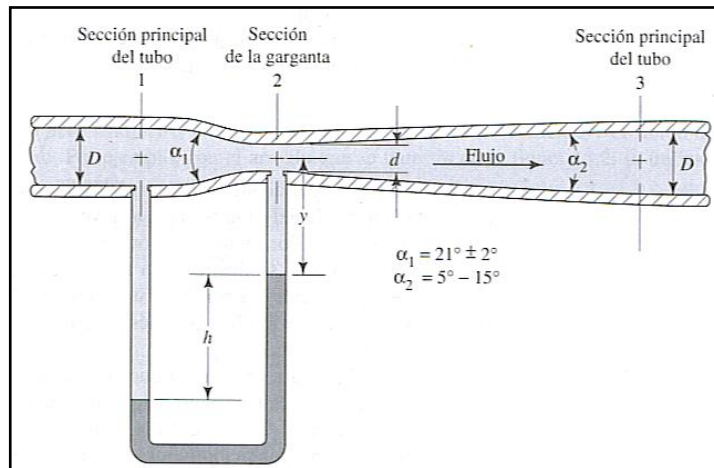


Figura 1. 9 Efecto Venturi

La ecuación de continuidad se escribe

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (1.4)$$

Donde:

$v_1$  : Velocidad del fluido en el punto 1

$v_2$  : Velocidad del fluido en el punto 2

$S_1$  : Sección área 1

$S_2$  : Sección área 2

Que nos dice que la velocidad del fluido en el tramo de la tubería que tiene menor sección es mayor que la velocidad del fluido en el tramo que tiene mayor sección.

Si  $S_1 > S_2$  , se concluye que  $v_1 < v_2$ .

En la ecuación de Bernoulli con  $y_1 = y_2$

Donde:

$y_1$  y  $y_2$ , están a la misma altura

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (1.5)$$

Como la velocidad en el tramo de menor sección es mayor, la presión en dicho tramo es menor.

Si  $v_1 < v_2$  se concluye que  $P_1 > P_2$  El líquido manométrico desciende por el lado izquierdo y asciende por el derecho

Podemos obtener las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  en cada tramo de la tubería a partir de la lectura de la diferencia de presión  $P_1 - P_2$  en el manómetro.

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} \quad (1.6)$$

## 1.7.- TÚNEL DE VIENTO

Un túnel de viento es una herramienta de investigación desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. Con este aparato se simulan las condiciones experimentadas por el objeto en la situación real.

En un túnel de viento, el objeto permanece estacionario mientras se fuerza el paso de aire o gas alrededor de él. Se utiliza para estudiar los efectos del movimiento del aire en objetos como automóviles o buses.





**Figura 1. 10 Túnel de viento**

El aire se sopla o aspira por medio de un conducto equipado con una ventana y otros aparatos en los que los modelos o formas geométricas se montan para su estudio. Después se utilizan varias técnicas para estudiar el flujo de aire real alrededor de la geometría y la compara con los resultados teóricos, que también deben tener en cuenta el número de Reynolds y el número de Mach para su régimen de funcionamiento.

Por ejemplo:

- Pueden unirse hebras a la superficie de estudio para detectar la dirección del flujo de aire y su velocidad relativa.
- Puede inyectarse tintes o humo en el flujo de aire para observar el movimiento de las partículas al pasar por la superficie.
- Puede insertarse sondas en puntos específicos del flujo de aire para medir la presión estática o dinámica del aire.

## **1.8.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO**

El Túnel del Viento es el sistema de simulación por excelencia y aunque su funcionamiento es más complejo de lo que parece se basa en conceptos bastante simples que se explican a continuación.

Para llevar a cabo las pruebas de simulación se necesita generar una gran cantidad de viento, El aire es arrastrado a través de la sección de trabajo por un ventilador de siete aspas de velocidad uniforme situado en el extremo de salida del túnel. Incorpora un enderezador de flujo tipo panal de abeja en la entrada, y la zona de contracción asegura un flujo de aire bien desarrollado a través de la sección de trabajo.

La sección de trabajo está elaborada en material acrílico transparente que ofrece una excelente visibilidad del modelo prueba, una particularidad de la sección de trabajo es que la base entera puede retirarse permitiendo la introducción de modelos de prueba.

El túnel de viento se suministra con interfaz USB para que pueda ser visualizado desde una PC. Ocho sensores de presión diferencial ubicados dos en la pared de la sección de trabajo y seis al perfil del modelo de prueba, miden la presión dinámica, lo que permite calcular y visualizar en la computadora la velocidad del aire.

## **1.9.- TIPOS DE TÚNEL DE VIENTO**

Los tipos de túneles de viento están en función de su velocidad ya que existen túneles de viento de baja y alta velocidad. A su vez existen túneles de viento de baja velocidad según el ciclo que tenga el aire dentro del túnel de viento de ciclo abierto y túnel de viento de ciclo cerrado.

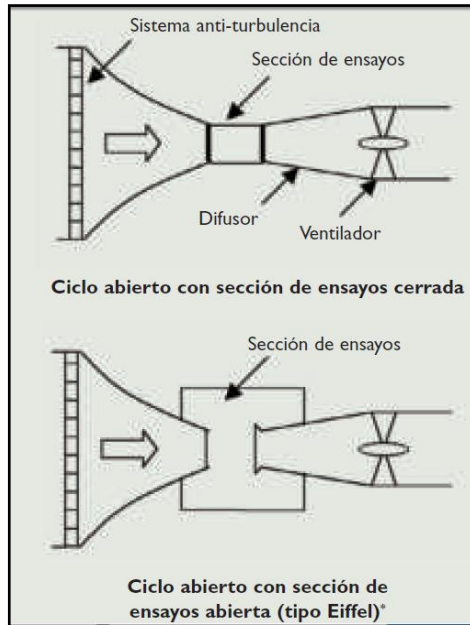
Ciertamente, los métodos de construcción, han evolucionado extraordinariamente a lo largo de los años, desde el remache de planchas de aluminio hasta su pegado, desde la madera hasta la fibra de carbono, desde las formas con ángulos rectos hasta las formas aerodinámicas que permite realizar la fibra.

Todos estos avances, en cuanto a materiales y formas, han supuesto un avance extraordinario en lo referente a la construcción y estética, pero no en lo referente al proceso de diseño.

Los métodos computacionales, disminuyen el tiempo de cálculo y el tiempo de construcción del prototipo final o definitivo, por cuanto el ordenador puede marcar, si se usa correctamente, las pautas a seguir o los límites que no debemos sobrepasar para que el modelo tenga unas determinadas características de carrera y de comportamiento.

#### **1.9.1.- Túnel de viento abierto**

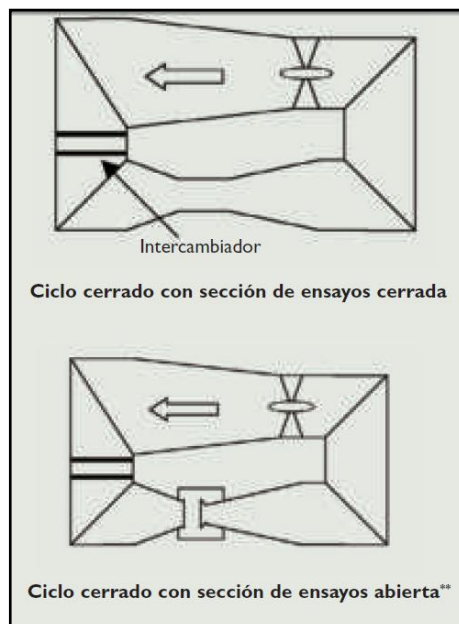
Llamado también Eiffel; el aire es soplado o aspirado y luego escapa del túnel hacia la atmosfera. Se usan más en modelos de prueba a escala, la zona de pruebas puede ser abierta o cerrada. No son presurizables, con lo que la densidad no se puede variar; están a expensas de los cambios de temperatura del aire; de todas formas, pueden variar la velocidad del flujo para mantener el número de Reynolds.



**Figura 1. 11 Túneles de viento abierto**

### 1.9.2.- Túnel de viento cerrado

Llamado también cíclicos Son del mismo tipo que los anteriores, pero uniendo el principio y el final; se pueden presurizar y el mantenimiento de una temperatura constante del aire:



**Figura 1. 12 Túneles de viento cerrado**

Estos también pueden tener la sección de pruebas abierta y los estudios que se hacen son con modelos de tamaño real.

## 1.10.- PARTES DEL TÚNEL DE VIENTO

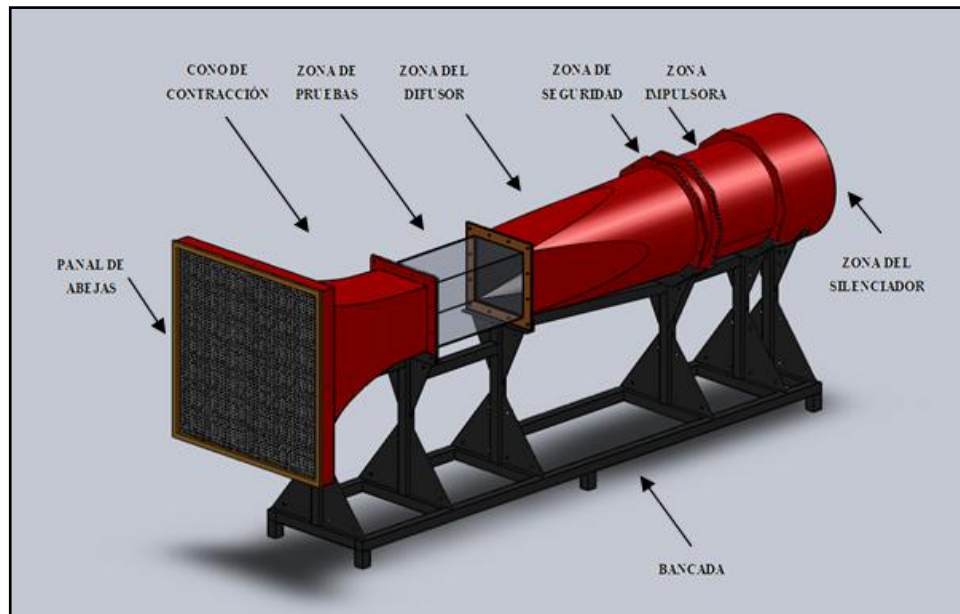


Figura 1. 13 Partes del túnel de viento

El diseño total crea la alta velocidad, circulación de aire de bajo turbulencia a través de la sección de la prueba y permite que los investigadores midan las fuerzas que resultan en el modelo que es probado.

**Panal de abejas.** - El propósito del panal de abejas es enderezar la circulación de aire. La estructura del panal de un compartimiento que acomoda es muy eficaz en la reducción de corrientes que remolinan en la circulación de aire del túnel.

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

**Zona de prueba.** - Es donde se coloca el modelo de prueba junto con los sensores de lectura de velocidad.

**Modelo de prueba.**- Mientras que la circulación de aire se trae a la velocidad deseada, los sensores miden la velocidad, presión. De acuerdo con las medidas de estas fuerzas y de los lazos que hay entre el ambiente de la prueba y las condiciones reales, las predicciones exactas del funcionamiento del mundo real pueden ser hechas.

**Zona del difusor.** - El difusor retarda la velocidad de la circulación de aire en el túnel de viento.

**Zona seguridad.**- La función es detener cuerpos desprendidos que se aproximen hacia la zona impulsora evitando daños del equipo.

**Zona impulsora.** - La sección del mecanismo impulsor proporciona la fuerza por medio de un ventilador que hace el aire moverse a través del túnel.

**Zona del silenciador.**- Es un dispositivo, con finalidad de reducir o eliminar ruidos excesivos gracias a la estructura de esponja.

**Bancada.**- Soporta a todas las partes del túnel de viento.

## CAPÍTULO II

### DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO

#### 2.1.- PARÁMETROS DE DISEÑO

Debido a que el túnel de viento se utilizará en la Carrera de Ingeniería Automotriz como una herramienta experimental para estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos de especial interés (modelos de vehículos, alerones, etc.), y tomando en cuenta, tanto las restricciones de espacio existentes en los laboratorios de la carrera, los costos, así como los aspectos técnicos mencionados en el capítulo anterior; para lograr un túnel de calidad, el mismo tendrá las siguientes características:

- Túnel de viento subsónico de circuito abierto con aspiración de aire.
- Uniformidad del flujo en la sección de pruebas.
- Longitud total máxima del túnel no mayor a 3.5 m.
- Ductos de planchas de acero pulidas y pintadas.
- Velocidad máxima en la sección de pruebas  $\approx 180 \text{ km/h} \approx 50 \text{ m/s}$
- Sección de pruebas de acrílico transparente.
- Área transversal de la sección de pruebas 300 mm x 300 mm.

Antes de proceder con el diseño y selección de los diferentes componentes del túnel de viento, a continuación se mencionan los parámetros iniciales que influyen directamente en su diseño:

- Temperatura promedio del aire =  $17 \text{ }^\circ\text{C} = 290 \text{ }^\circ\text{K}$
- Altitud promedio de Latacunga = 2760 m
- Presión atmosférica en la ESPE Latacunga = 544 mm Hg = 72530 Pa

En función de estos parámetros y de los fundamentos teóricos de la mecánica de fluidos, a continuación calculamos el flujo másico y caudal de aire requeridos para el funcionamiento adecuado del túnel de viento.

## 2.2.- CÁLCULO DEL FLUJO MÁSIKO Y CAUDAL DE AIRE REQUERIDO

Antes de calcular el flujo másico de aire es necesario determinar la densidad ( $\rho$ ) que tiene el aire ambiente en la ciudad de Latacunga a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (2.1)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad

$p$  = Presión atmosférica = 72530 Pa

$R$  = Constante de los gases = 287 N m/kg °K

$T$  = Temperatura ambiente = 17 °C = 290 °K

Reemplazando los valores obtenemos:

$$\rho = \frac{72530 \text{ N/m}^2}{287 \text{ Nm/kg } ^\circ\text{K} \cdot 290 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0.8714 \text{ kg/m}^3$$

A continuación, con la velocidad y el área de la sección transversal en la zona de pruebas se procede a calcular el flujo de aire máximo ( $\dot{m}$ ) requerido en el túnel de viento:

$$\dot{m} = \rho \cdot \vec{V} \cdot A \quad (2.2)$$

Donde:



$\dot{m}$  = Flujo Másico

$\vec{V}$  = Velocidad máxima en la sección de pruebas = 50 m/s

$A$  = Área transversal de la zona de pruebas = 300 mm x 300 mm

Reemplazando los datos se tiene:

$$\dot{m} = 0.8714 \text{ kg/m}^3 \cdot 50 \text{ m/s} \cdot 0.3 \text{ m} \cdot 0.3 \text{ m}$$

$$\dot{m} = 3.92 \text{ kg/s}$$

Este flujo másico se mantendrá constante en las diferentes secciones del túnel de viento.

Finalmente, a partir del flujo másico obtenemos el caudal ( $Q$ ) de aire máximo que debe entregar el ventilador.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (2.3)$$

Donde:

$Q$  = Caudal

$\dot{m}$  = Flujo Másico

$\rho$  = Densidad

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{3.92 \text{ kg/s}}{0.8714 \text{ kg/m}^3}$$

$$Q = 4.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 2.3.- ELEMENTOS DEL TÚNEL DE VIENTO

El túnel de viento requerido se utilizará como una herramienta de investigación desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. Por lo tanto, para que proporcione datos confiables y funcione de forma adecuada estará constituido de las siguientes partes principales (figura 2.1).

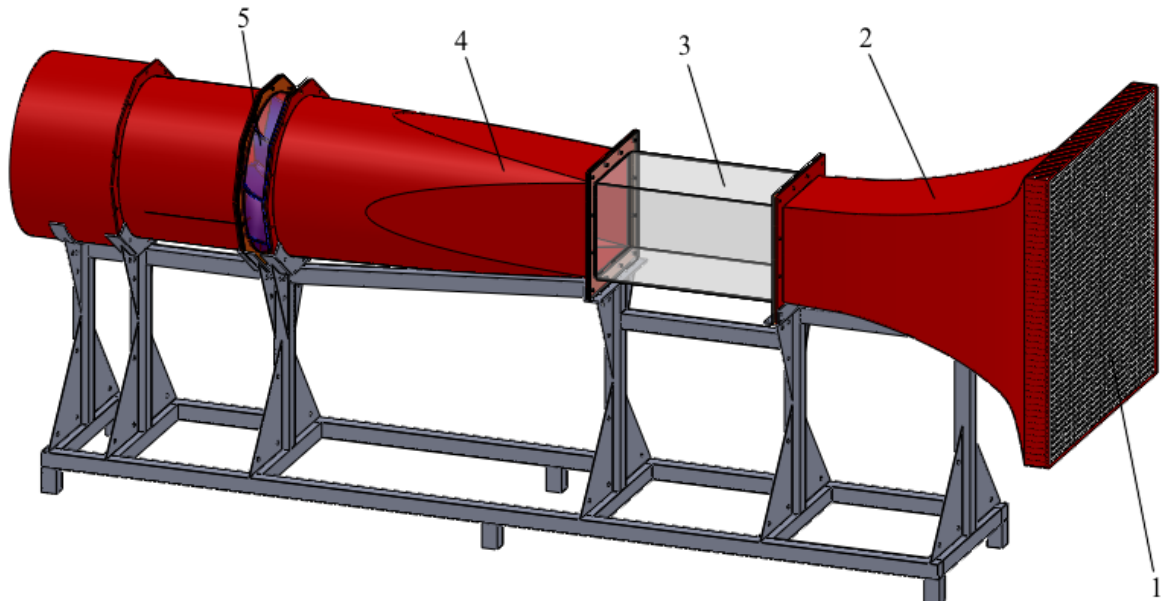


Figura 2. 1 Elementos constitutivos del túnel de viento

1. **Panal de abejas rectificador:** dispositivo que produce la rectificación del flujo de aire que ingresa al túnel. Los panales de abeja son efectivos para remover las rotaciones longitudinales del flujo (Swirl) y evitar variaciones en la velocidad media.
2. **Cono de Contracción:** tiene como función captar el aire y acelerarlo hasta la entrada a la cámara de ensayos. Su diseño se centra en que el flujo sea uniforme en la sección de la cámara de ensayos, que las líneas de corriente del mismo sean paralelas al eje longitudinal del canal y que los niveles de turbulencia sean reducidos. Se sugieren relaciones de contracción entre 6 y 9, para que no exista desprendimiento.
3. **Cámara de pruebas:** colocada después de la contracción, es el lugar donde se reproducen las características requeridas del viento y donde se realizan los ensayos experimentales, colocando los modelos a ser evaluados. Es conveniente, que la relación entre la longitud y la altura de la cámara de ensayo adquiera valores superiores a 3; para permitir el desarrollo de la capa límite.
4. **Difusor:** reconvierte la energía cinética del escurrimiento que deja la cámara de pruebas, en energía de presión lo más eficientemente posible. Como las

pérdidas siempre ocurren, disipando energía cinética en forma de calor y turbulencia, y como la expansión del difusor no puede ser infinita, ocurre entonces un rechazo de la energía cinética al final del difusor y se debe suministrar energía continuamente para mantener el escurrimiento por intermedio del conjunto motor-ventilador. El comportamiento de los difusores depende del ángulo de abertura total, de la longitud y de la relación de áreas. En el difusor es importante tener en cuenta que el ángulo no sea mayor a 7°.

5. **Conjunto ventilador-motor:** es el encargado de proporcionar el flujo de aire requerido en el túnel de viento.

Tomando en cuenta estos aspectos, a continuación se procede con el modelado y dimensionamiento de las diferentes partes del túnel de viento.

## **2.4.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL TÚNEL DE VIENTO**

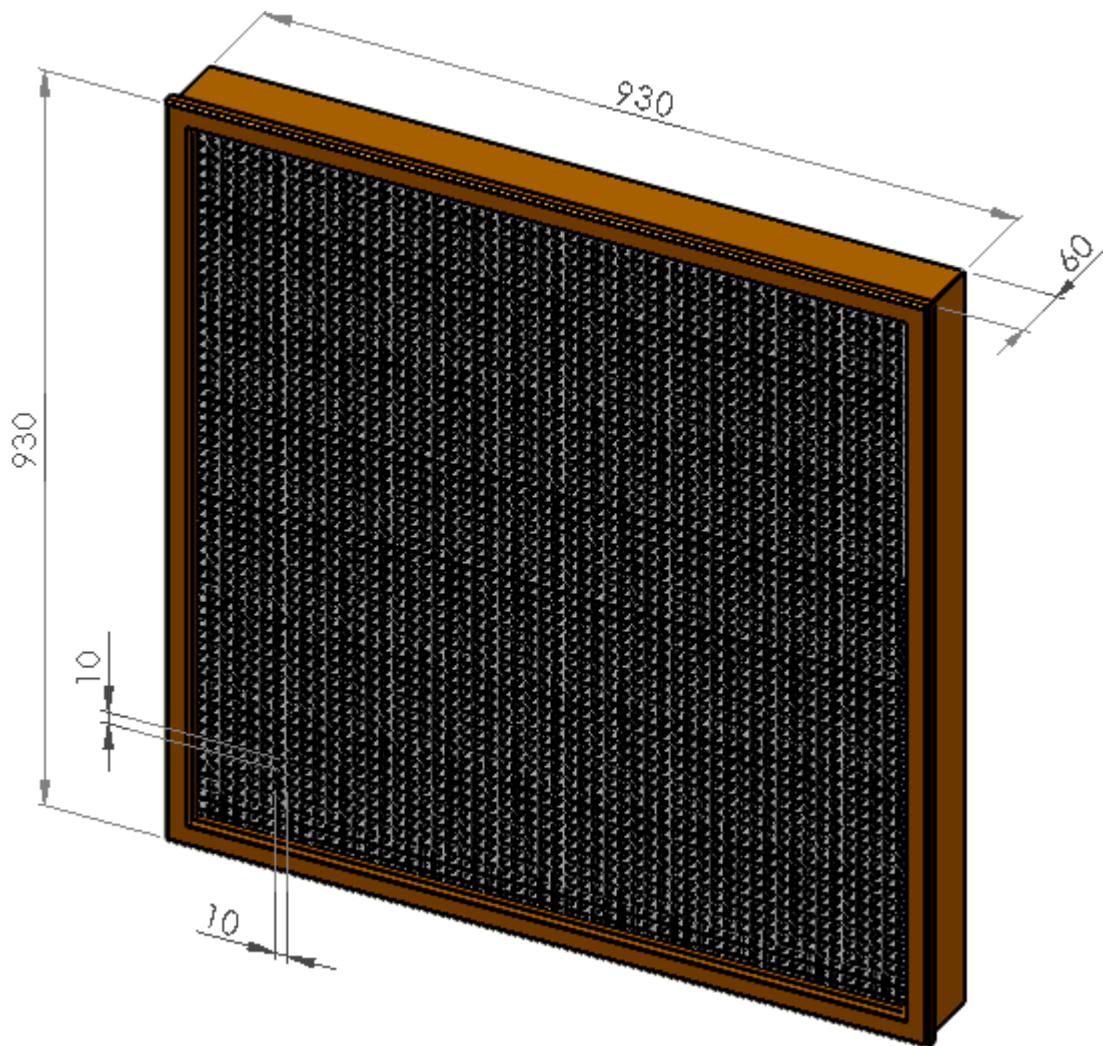
El modelado de las diferentes partes que componen el túnel de viento se realizó utilizando el paquete SolidWorks, que es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar las ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Mediante la aplicación de los diferentes comandos para croquizar, y para realizar y editar operaciones de sólidos disponibles en SolidWorks, se procedió a modelar en 3D los diferentes elementos del túnel de viento, y posteriormente mediante el programa SolidWorks Flow Simulation se analizó y simuló el comportamiento del aire dentro del túnel, de manera que se pudo corregir y modificar de forma permanentemente la geometría y dimensiones de los diferentes elementos hasta obtener los más eficientes y confiables, y que cumplan de mejor manera con los requerimientos de diseño.

Luego de probar con diferentes alternativas, a continuación se muestran los modelos y dimensiones de las diferentes partes que componen el túnel de viento, que mejores resultados dieron en el programa de análisis y simulación (Flow Simulation), en cuanto a calidad del flujo de fluido y pérdidas de presión.

#### **2.4.1.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANAL DE ABEJAS RECTIFICADOR**

Como se indicó en la sección 2.3, los panales de abeja rectifican el flujo de aire que ingresa al túnel, reduciendo las turbulencias en la cámara de pruebas. Sin embargo, los panales también provocan una caída de presión en la dirección del flujo de aire.



**Figura 2. 2 Modelo y dimensiones del panel de abejas**

Por tal motivo, para obtener la suficiente reducción de turbulencia, pero con una caída de presión moderada, se recomienda una longitud mínima del panel de cinco veces el tamaño de la celda.

Tomando en cuenta los aspectos anteriores, así como los resultados del análisis y simulación, como se muestra en el modelo y las dimensiones (en mm) del panel de abejas que mejores resultados proporcionó (figura 2.2).

#### 2.4.2.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL CONO DE CONTRACCIÓN

Los principales problemas que tuvo que superar el cono de contracción estaban relacionados con su geometría, ya que se producían turbulencias indeseables en la entrada y salida de la contracción, sin embargo; esto pudo superarse haciendo un redondeo a lo largo de las cuatro aristas laterales del cono de contracción (figura 2.3).

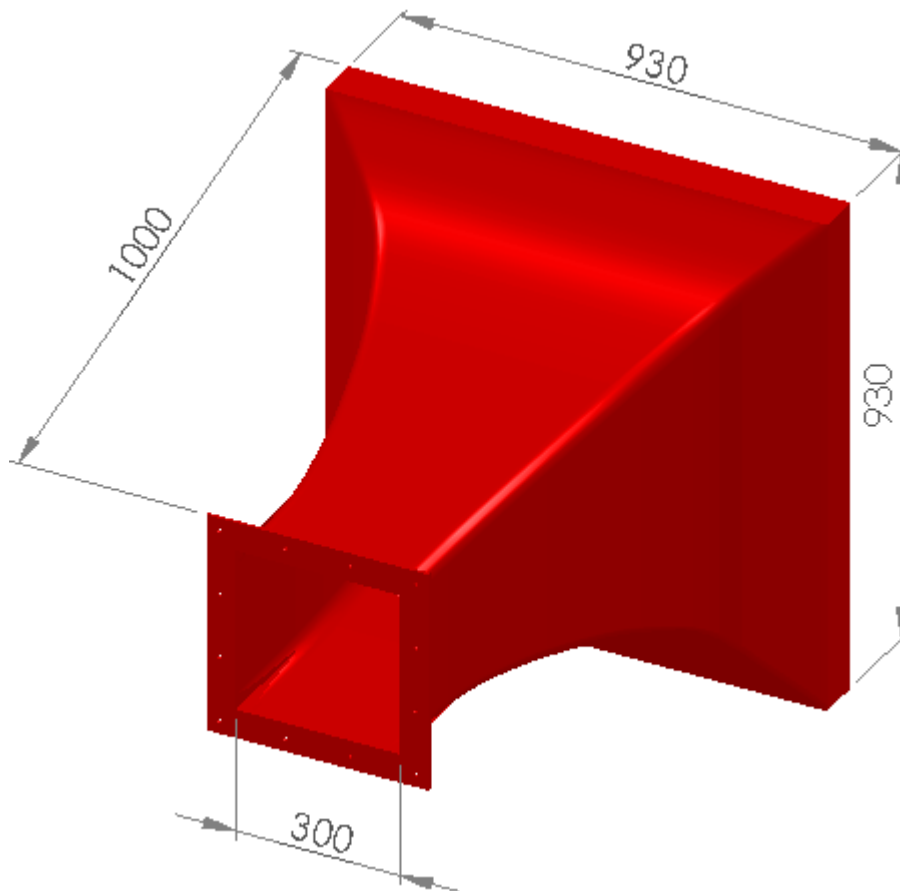


Figura 2. 3 Modelo y dimensiones del cono de contracción

### 2.4.3.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE PRUEBAS

Los requerimientos y el costo determinaron el tamaño de la cámara de pruebas, la misma que puede tener formas: circular, hexagonal, cuadrada, rectangular, etc.; sin embargo, la elección de su geometría obedeció principalmente a consideraciones aerodinámicas y a la utilidad práctica de la misma.

Debido a que un techo y piso planos hacen más fácil la instalación de modelos, balanzas aerodinámicas y varios tipos de sensores, se optó por una cámara de pruebas de sección transversal cuadrada y como muchos autores recomiendan una longitud igual a dos veces la dimensión mayor de la cámara de pruebas, con se muestra en la (figura 2.4).

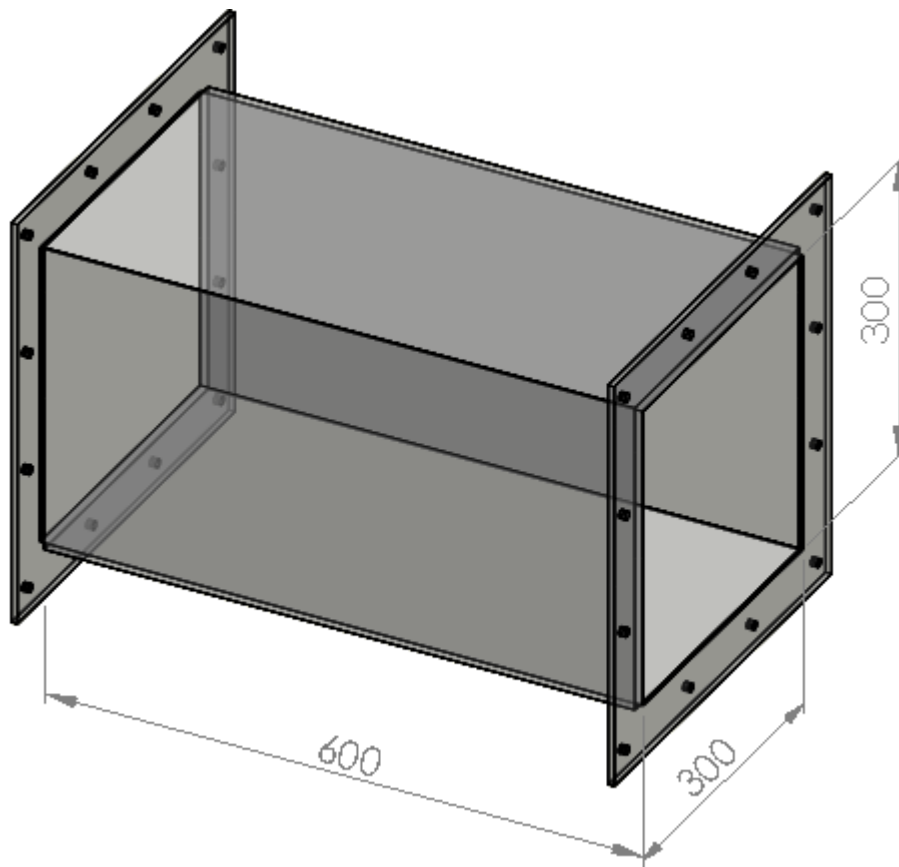


Figura 2. 4 Modelo y dimensiones de la cámara de pruebas

#### 2.4.4.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIFUSOR

El difusor está dividido en dos partes por el ventilador y debido a que el objetivo del difusor es reducir la velocidad expandiendo el fluido y recuperando la presión estática, su diseño resulta ser clave en el éxito del túnel, pues es necesario encontrar el punto óptimo para aumentar el área, sin permitir que la capa límite se desprenda.

Los difusores se describen con el ángulo equivalente del cono, que es el ángulo que surgirá al trazar un cono truncado entre el área de entrada y la de salida, y se recomienda que el ángulo sea de siete grados o menos.

En base a las recomendaciones anteriores y a la disponibilidad de espacio en el lugar de instalación del túnel de viento, el difusor se modeló con las medidas indicadas en la (figura 2.5).

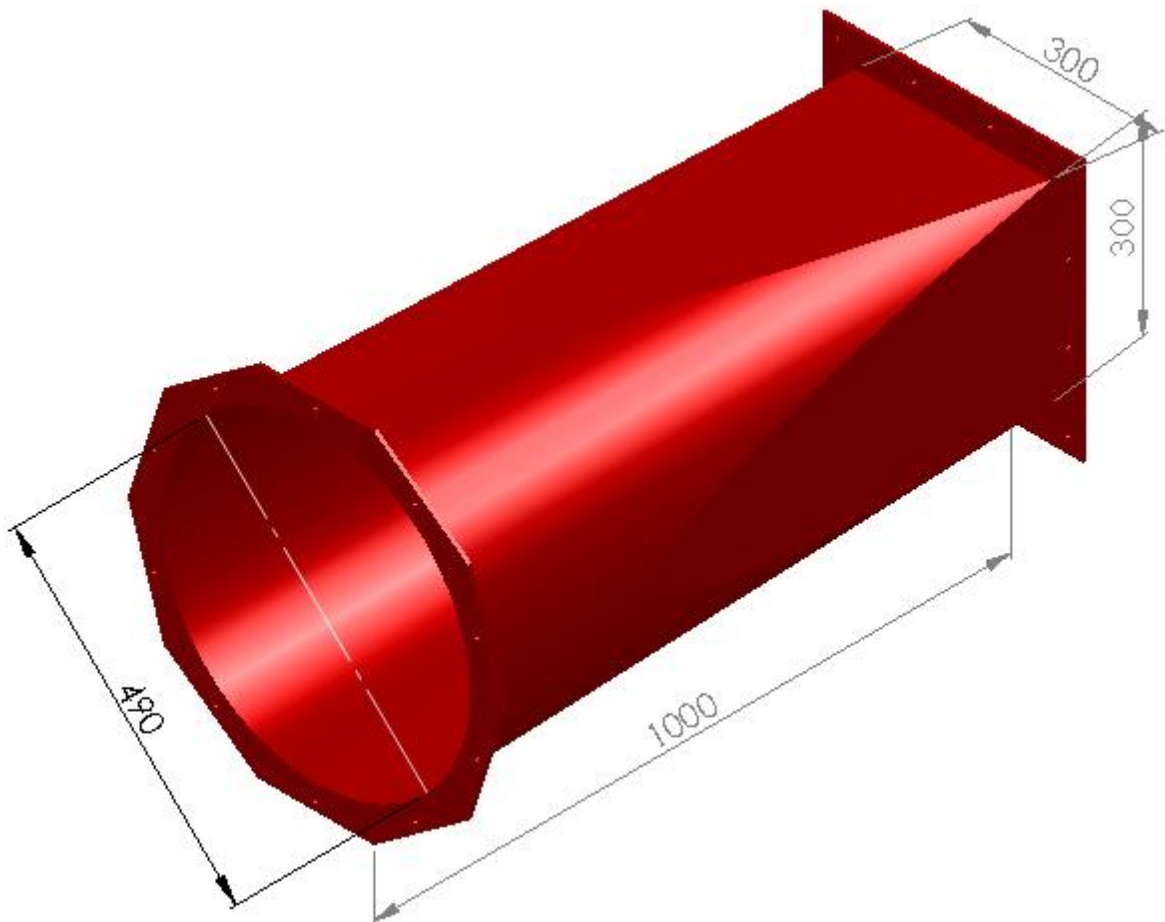
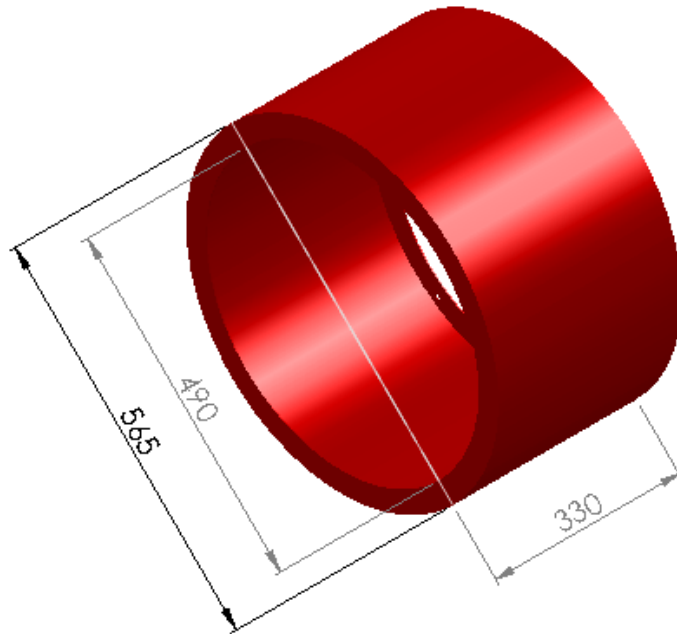


Figura 2. 5 Modelo y dimensiones del difusor.

#### **2.4.5.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SILENCIADOR**

El silenciador es la continuación del difusor que se encuentra dividido en dos partes por el grupo motor-ventilador y su objetivo es reducir el nivel de ruido que produce el flujo de aire al atravesar por el túnel de viento.

El tamaño del silenciador está definido en función de lograr un nivel de ruido aceptable al operar el túnel de viento y sus dimensiones mostradas en la (figura 2.6).



**Figura 2. 6 Modelo y dimensiones del silenciador**

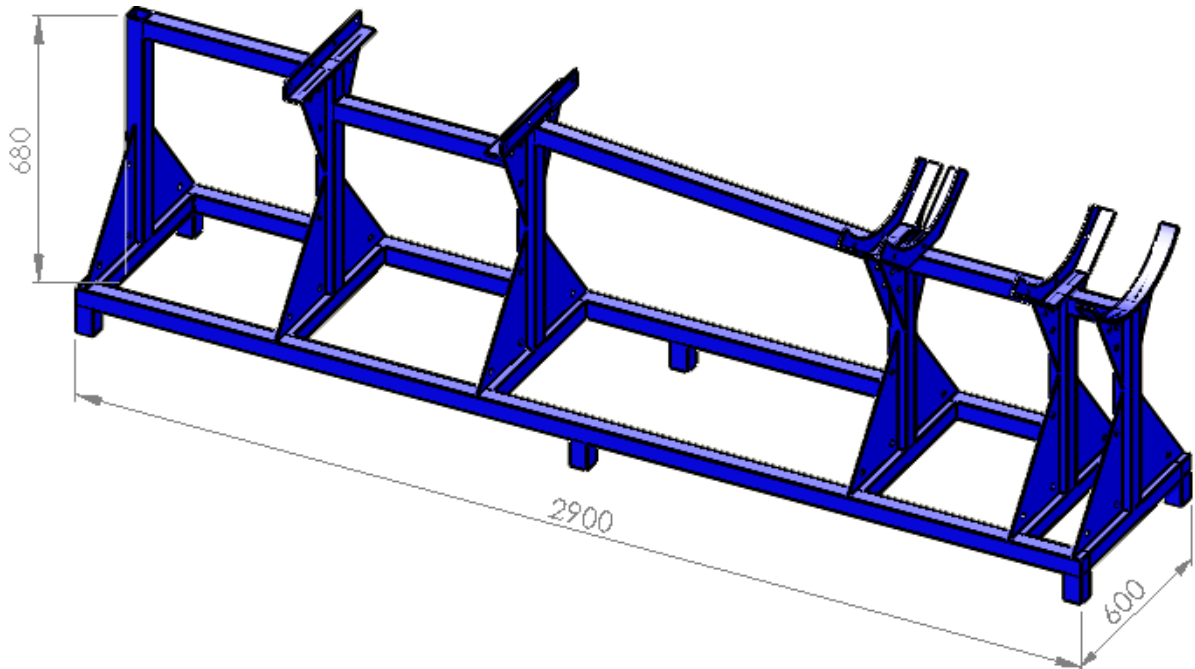
#### **2.4.6.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE**

La estructura soporte se fabricará con acero estructural y su objetivo principal es el de sostener todos los componentes del túnel de viento, así como también los diferentes elementos y sensores necesarios para la medición y adquisición de datos.

Por tal motivo la estructura soporte debe ser lo suficiente rígida para resistir tanto el peso de estos componentes, como los esfuerzos y vibraciones que el conjunto motor-ventilador producen.



Tomando en cuenta los esfuerzos que provocan los diferentes componentes del túnel de viento y el tamaño de dichos componente, la estructura soporte tendrá la forma y dimensiones mostradas en la (figura 2.7).



**Figura 2. 7 Modelo y dimensiones de la estructura soporte**

## **2.5.- ENSAMBLAJE COMPUTACIONAL DEL TÚNEL DE VIENTO**

Una vez modelados e insertados todos los componentes del túnel de viento en un documento de ensamble de SolidWorks (figura 2.8), se procede a su ensamblaje mediante el establecimiento de diferentes *Relaciones de posición* entre las piezas integrantes del túnel.

La creación del ensamblaje (figura 2.9) permitirá analizar las posibles interferencias o choques entre los componentes móviles del túnel, así como su posterior análisis y simulación en los programas: SolidWorks Flow Simulation que es un programa de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) que permite simular el flujo de fluidos y calcular las pérdidas de presión, velocidades, turbulencias, etc.; y SolidWorks Simulation el cuál es un programa de Análisis Por Elementos Finitos (FEA) que calcula los esfuerzos y deformaciones de los diferentes componentes mecánicos del túnel.

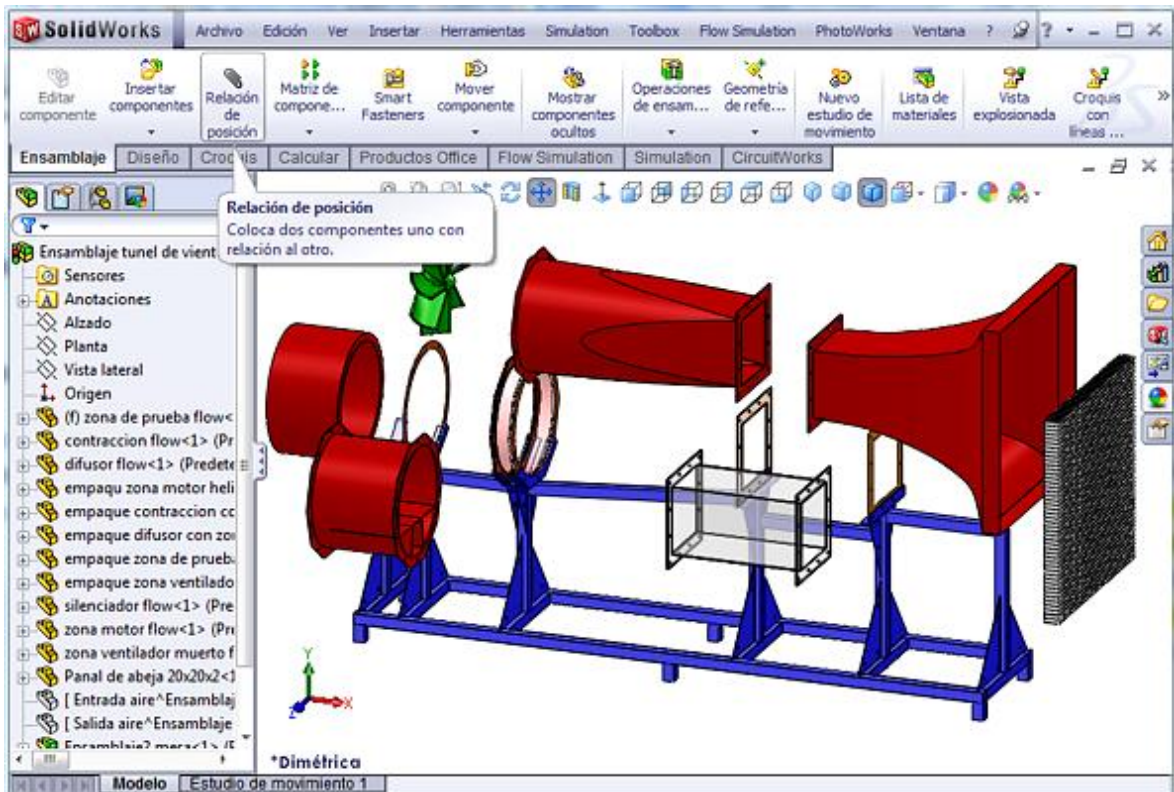


Figura 2. 8 Túnel de viento antes de ensamblar con las relaciones de posición

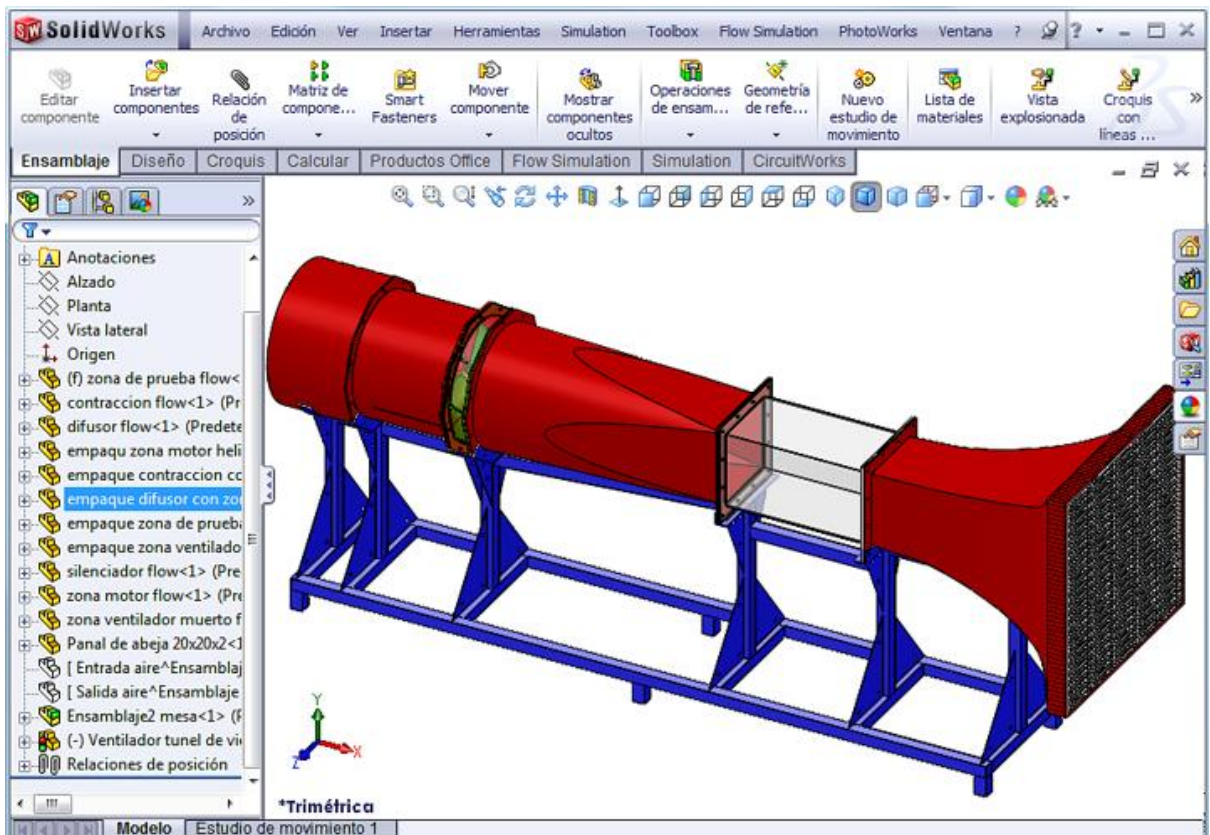


Figura 2. 9 Túnel de viento ensamblado

## 2.6.- DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO MEDIANTE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

### 2.6.1.- CREACIÓN DEL PROYECTO EN FLOW SIMULATION

A fin de obtener los resultados de velocidades, presiones, turbulencia, etc., que se desarrollan en el flujo de aire que cruza por el túnel de viento y de esta manera ir modificando la geometría de los diferentes componentes del túnel hasta obtener su diseño más óptimo y adecuado, se ejecutará en el ensamblaje el análisis y simulación del flujo de aire mediante el módulo Flow Simulation.

Para realizar en SolidWorks Flow Simulation el análisis y simulación del flujo de aire a través del túnel de viento, se debe seguir los pasos indicados a continuación:

- Utilizando el *Wizard* del menú Flow Simulation se configura los datos iniciales del proyecto.

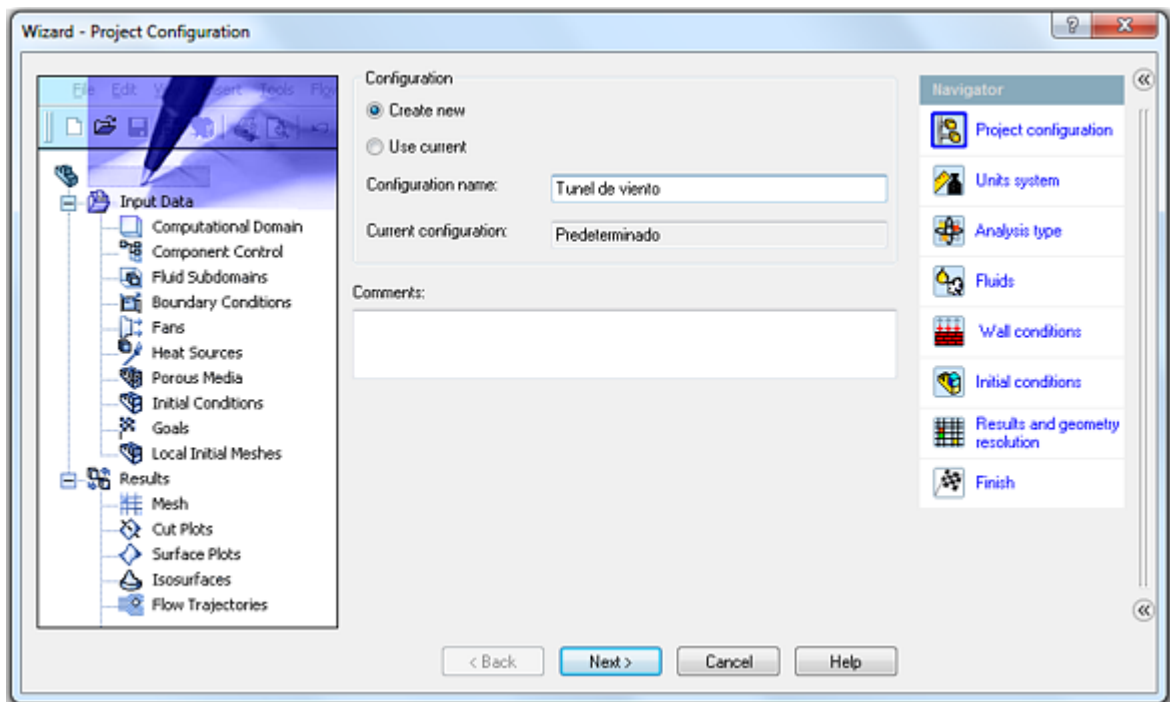


Figura 2. 10 Configuración inicial del proyecto



- Luego se selecciona el *Sistema de Unidades* con que se desea trabajar y/o se especifica las unidades para las diferentes propiedades.

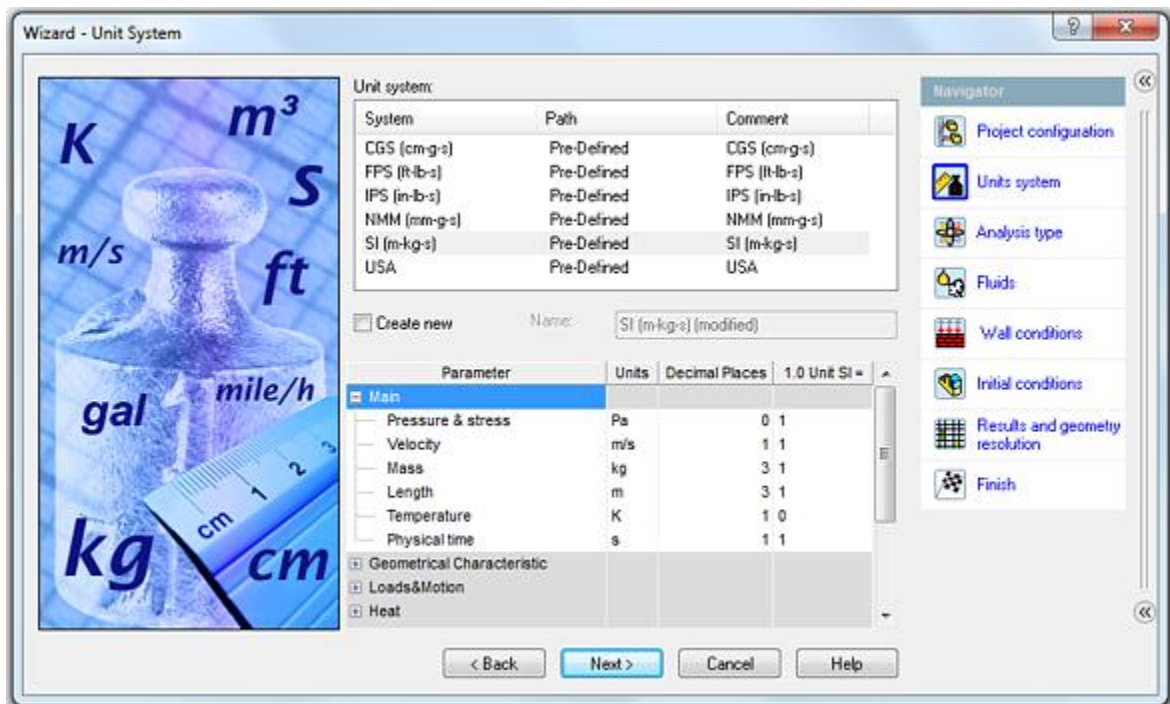


Figura 2. 11 Selección del Sistema de Unidades

- En la siguiente ventana se escoge el tipo de análisis que se desea realizar. Para nuestro caso seleccionamos un análisis del *Tipo Interno*.

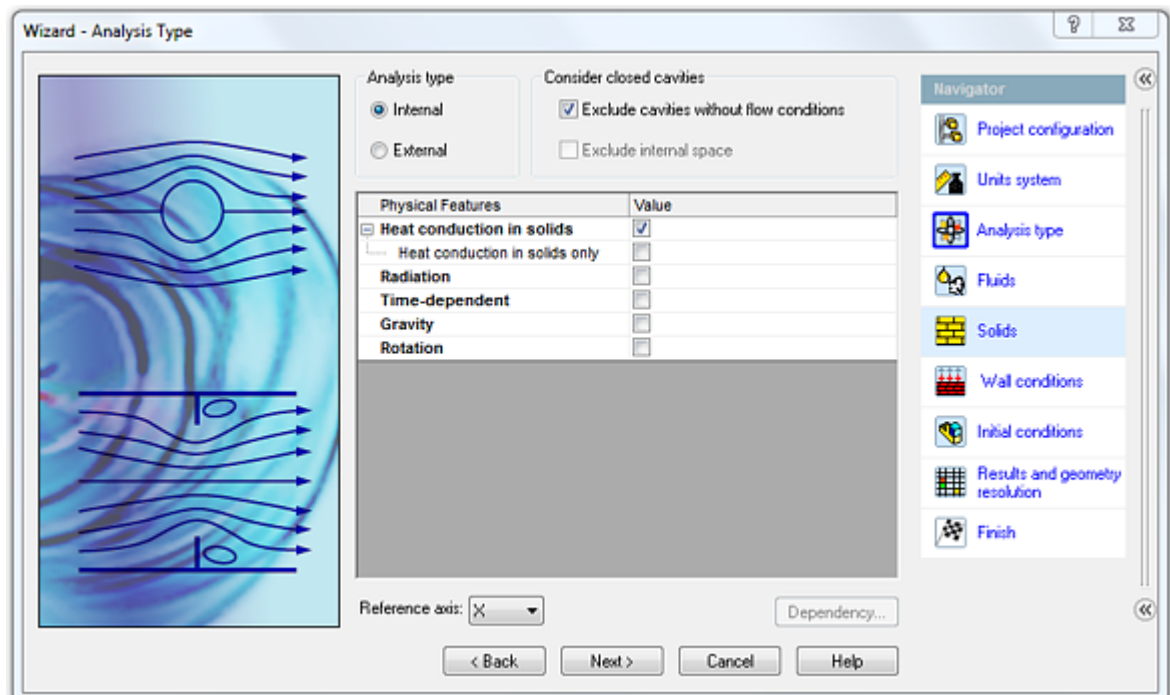


Figura 2. 12 Ventana para la selección del tipo de análisis.

- A continuación se selecciona el tipo de fluido que va a recorrer el túnel de viento. Para nuestro caso es *Aire*.

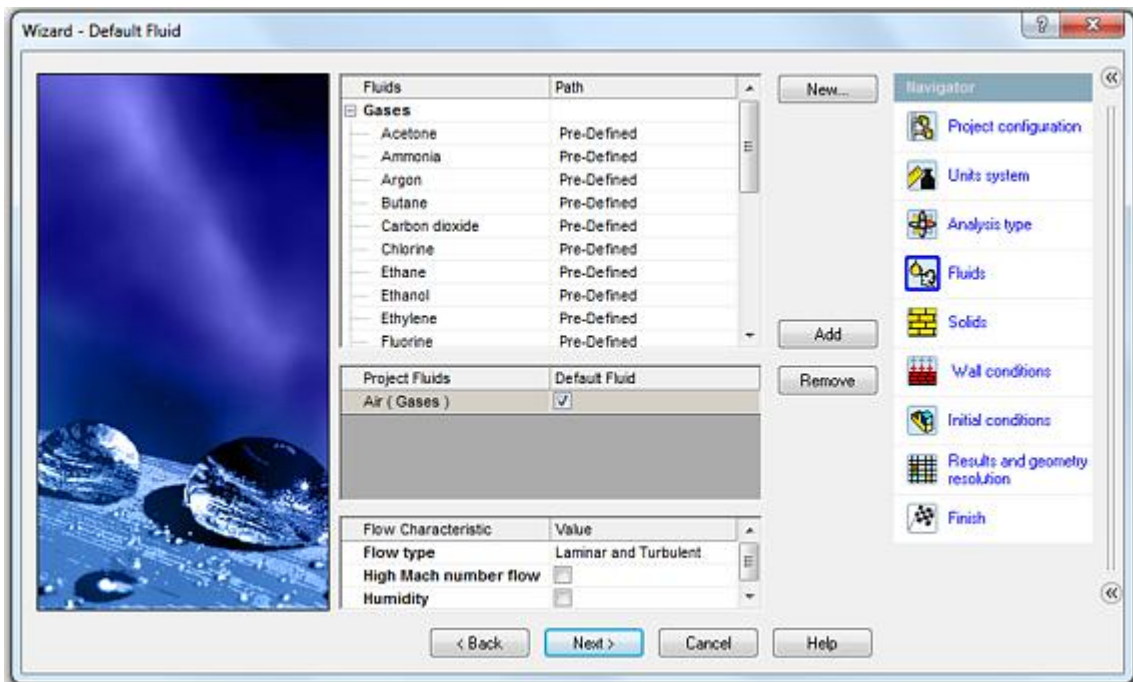


Figura 2. 13 Selección del tipo de fluido.

- En la siguiente ventana seleccionas el material sólido que predomina por defecto en el túnel de viento. Para nuestro proyecto es fibra de vidrio.

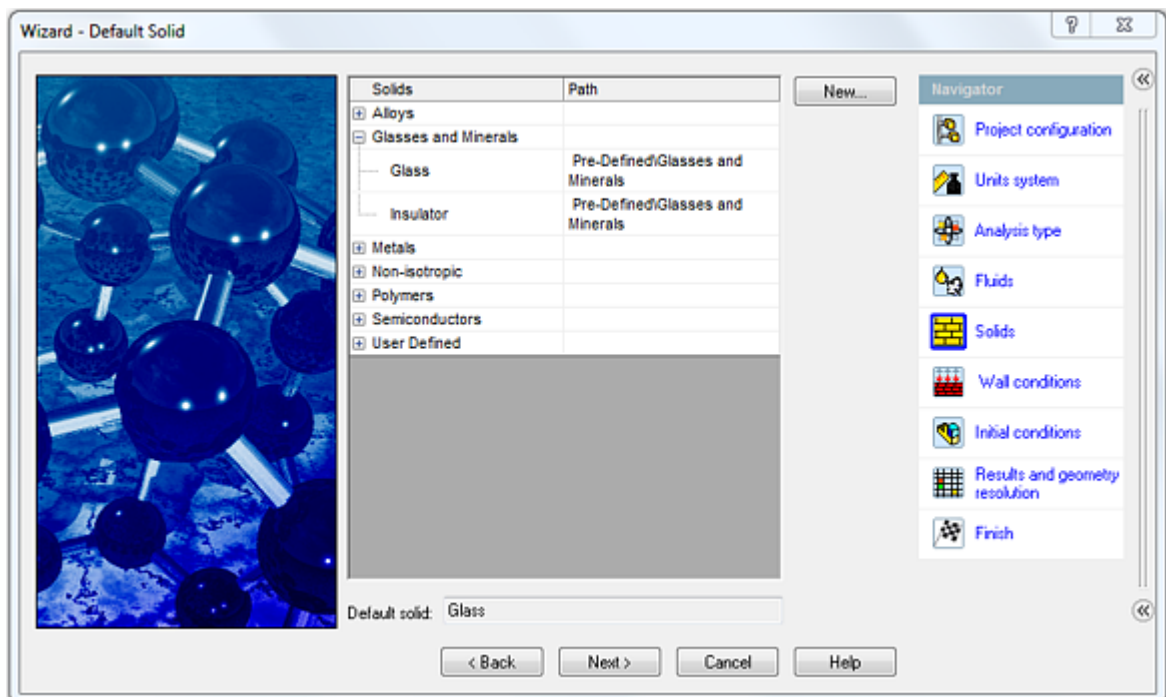


Figura 2. 14 Selección del material del sólido

- Posteriormente se configura las condiciones termodinámicas iniciales de presión y temperatura con los valores indicados en la sección 2.1.

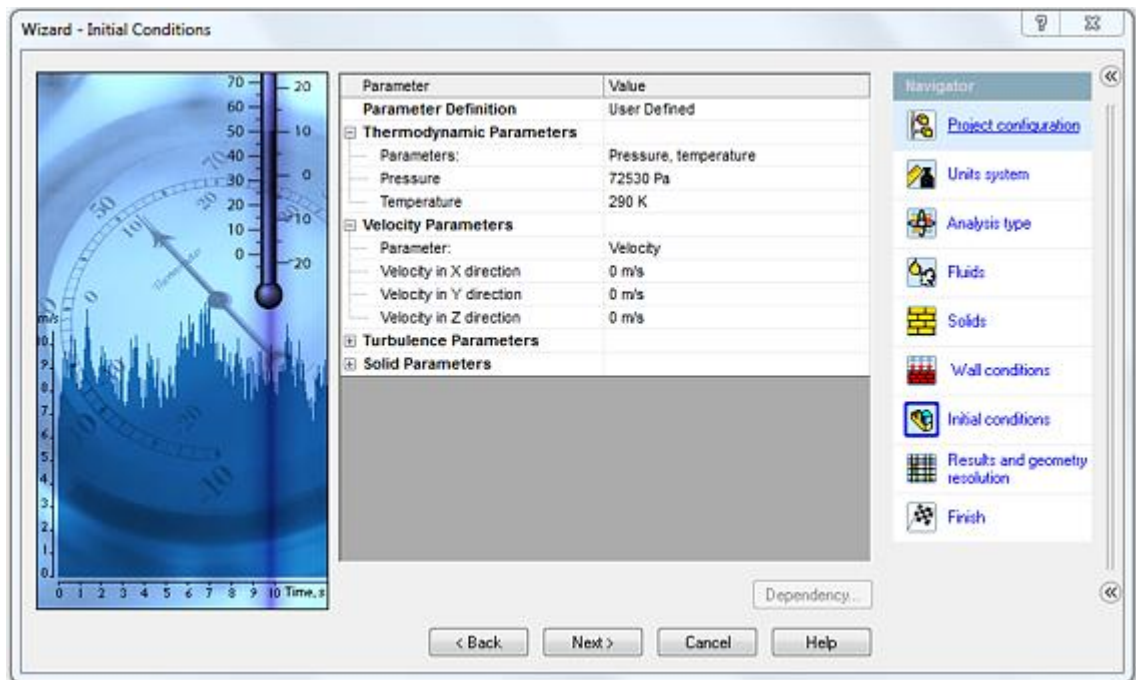


Figura 2. 15 Configuración de las Condiciones Iniciales

- Finalmente en la siguiente pantalla configuramos la Geometría de Resolución y el Tamaño del Mallado con los valores mostrados.

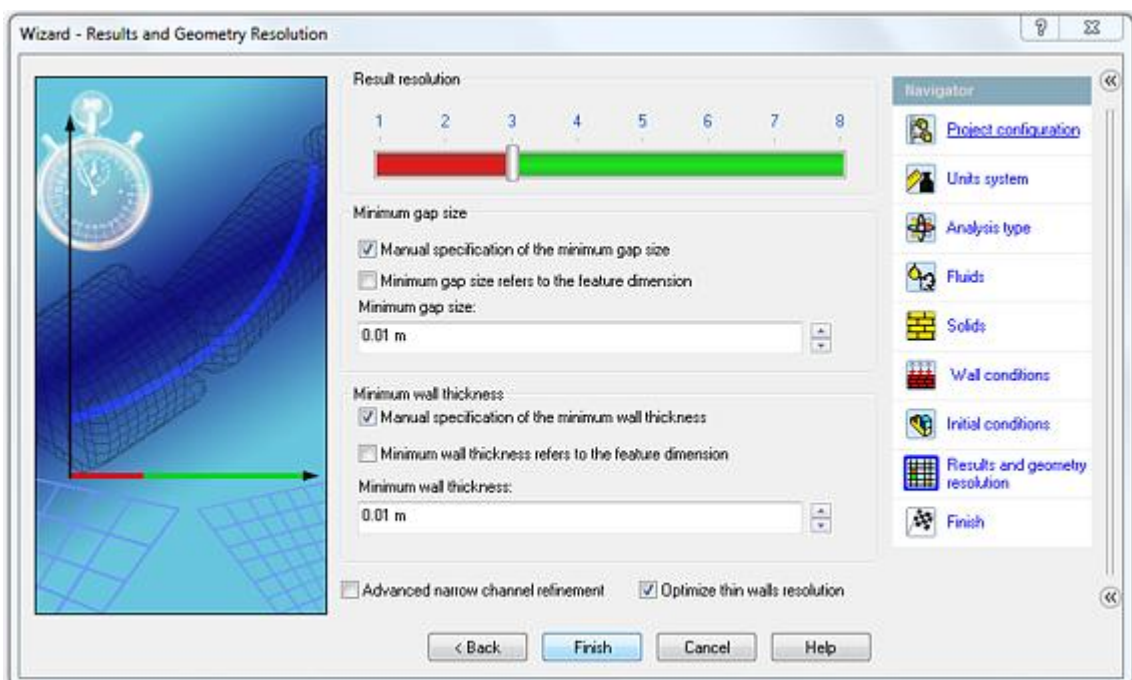


Figura 2. 16 Configuración de la Geometría de Resolución y el Tamaño del Mallado

Una vez finalizada la configuración inicial del proyecto con la ayuda del Wizard presionamos el botón *Finish*, y posteriormente SolidWorks crea una configuración del túnel de viento en el modulo de Flow Simulation que nos permite ingresar y asignar de forma rápida y sencilla los diferentes parámetros de diseño y condiciones de frontera requeridos.

En base a los parámetros de diseño mostrados en la sección 2.1 y los cálculos realizados en la sección 2.2, asignamos las condiciones de frontera, tanto a la entrada del aire al túnel de viento (figura 2.17), como a la salida del mismo por el difusor (figura 2.18).

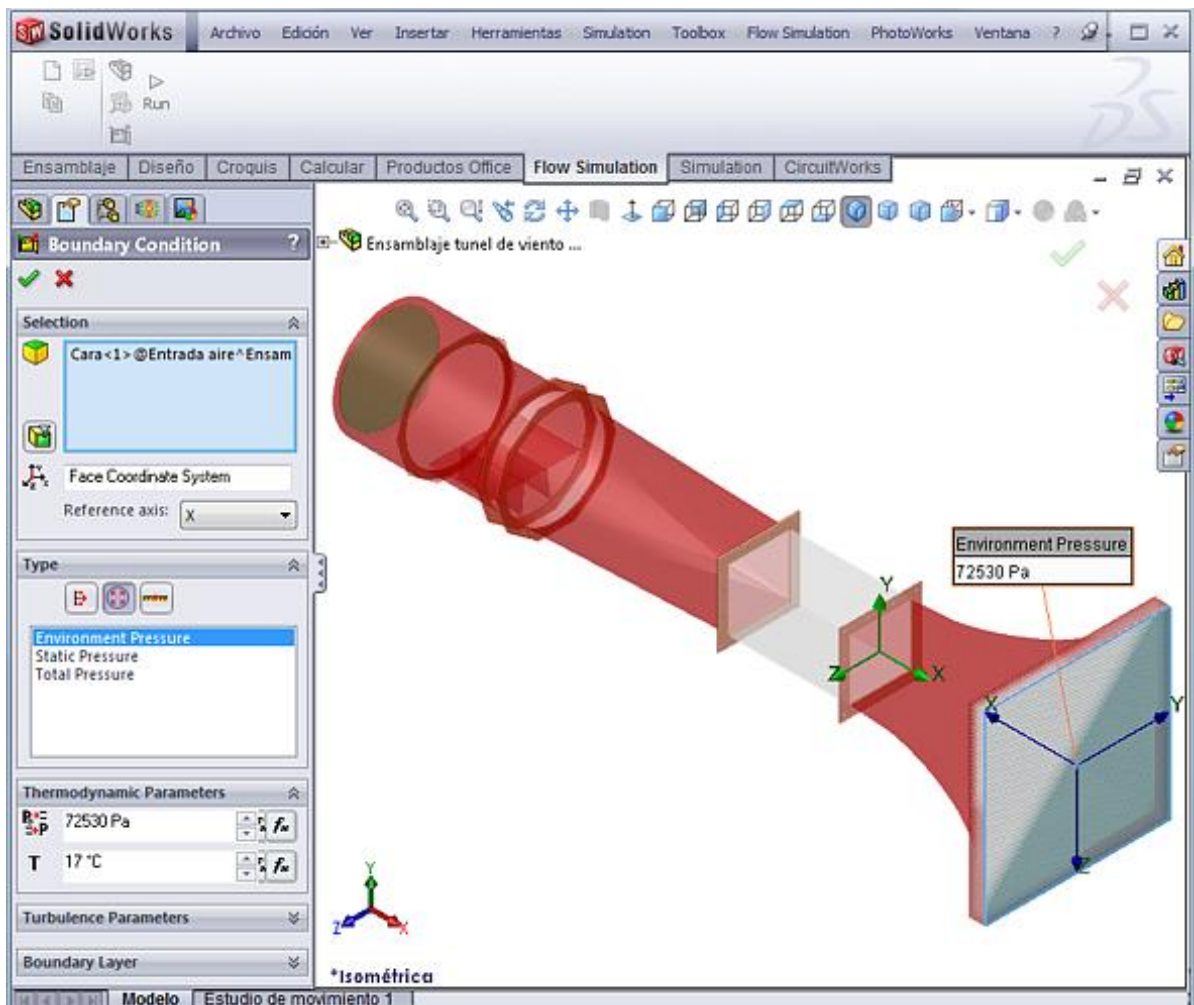


Figura 2. 17 Condiciones de frontera en la entrada del túnel de viento



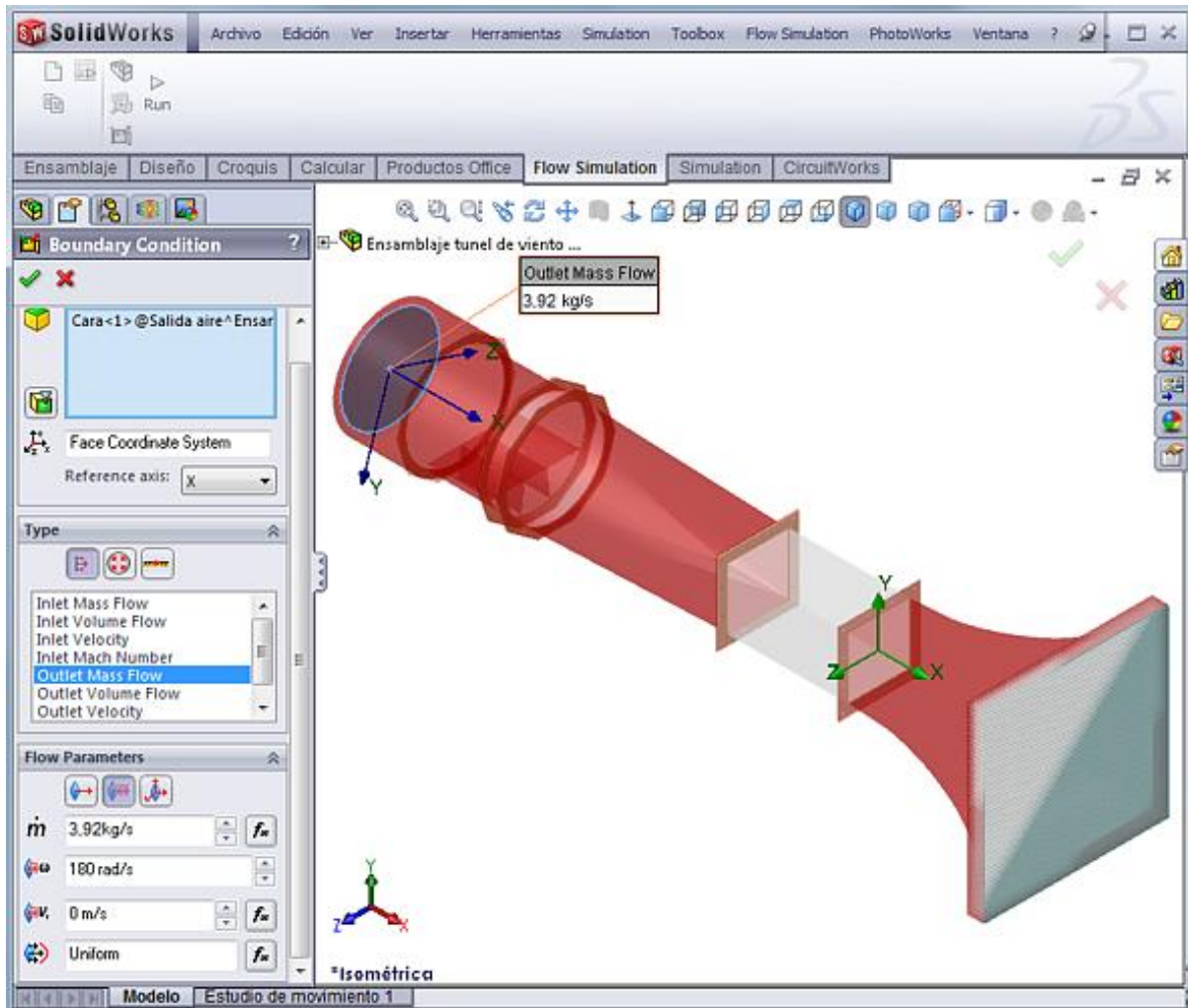


Figura 2. 18 Condiciones de frontera en la salida del túnel de viento

Con el fin de que al correr el programa, SolidWorks Flow Simulation calcule las caídas de presión en las diferentes partes del túnel de viento, se procede a seleccionar la ecuación correspondiente en la ventana *Equation Goal* (figura 2.19) de la herramienta *Goals*.

Una vez realizados todos los pasos anteriores y asignados todas las condiciones de frontera, se corre el programa mediante el comando *Run* y se espera el tiempo necesario para que los *Solvers* (programas de resolución de problemas rápidos) de SolidWorks (figura 2.20), chequen la geometría del modelo, lo mallen y calculen todos los resultados necesarios.



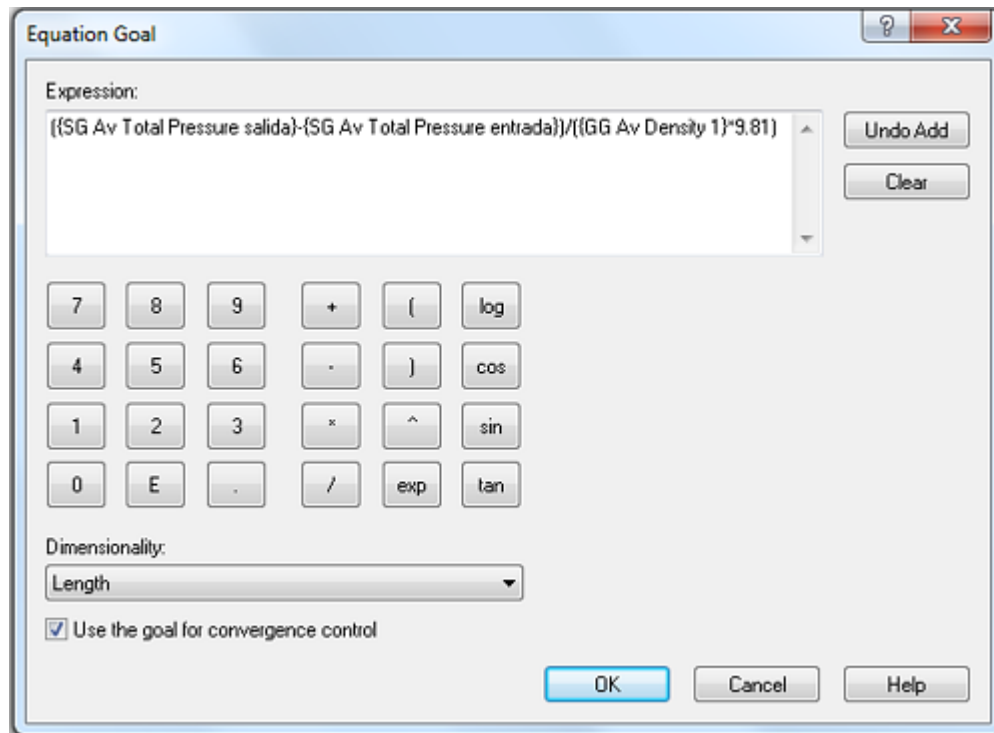


Figura 2. 19 Ventana Equation Goal

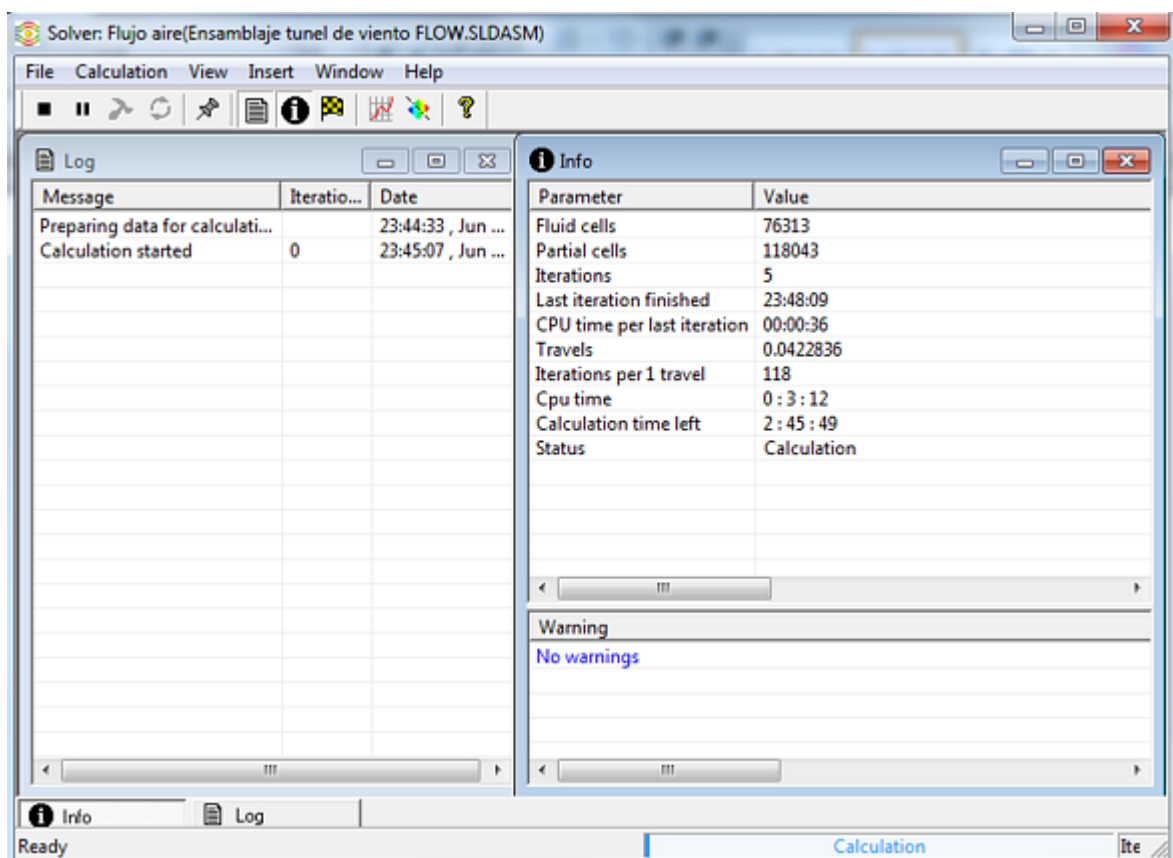


Figura 2. 20 Ejecución de los Solvers de SolidWorks Flow Simulation

## 2.6.2.- RESULTADOS

Una vez finalizada la ejecución de los Solvers del SolidWorks Flow Simulation se procede a generar los diferentes resultados del análisis, tanto de forma gráfica así como también en tablas de Excel, mediante la configuración de las distintas opciones de la herramienta *Results* en la pestaña *Flow Simulation analysis tree*, como se indica en la figura 2.21.

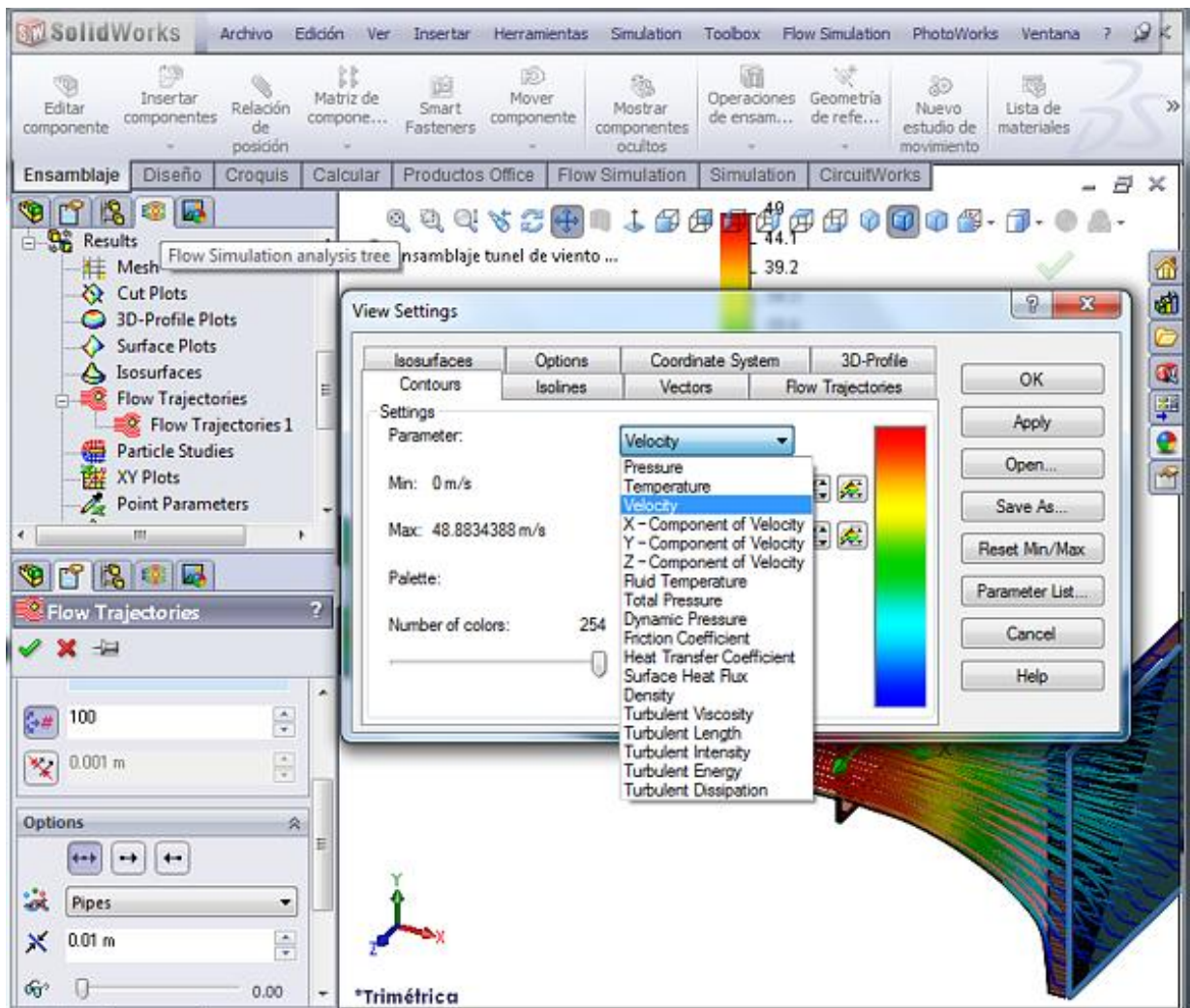


Figura 2. 21 Generación de los diferentes tipos de resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los diferentes parámetros que son de nuestro interés en el estudio del túnel de viento como son: densidad, velocidades, presiones y turbulencia.

## Densidad

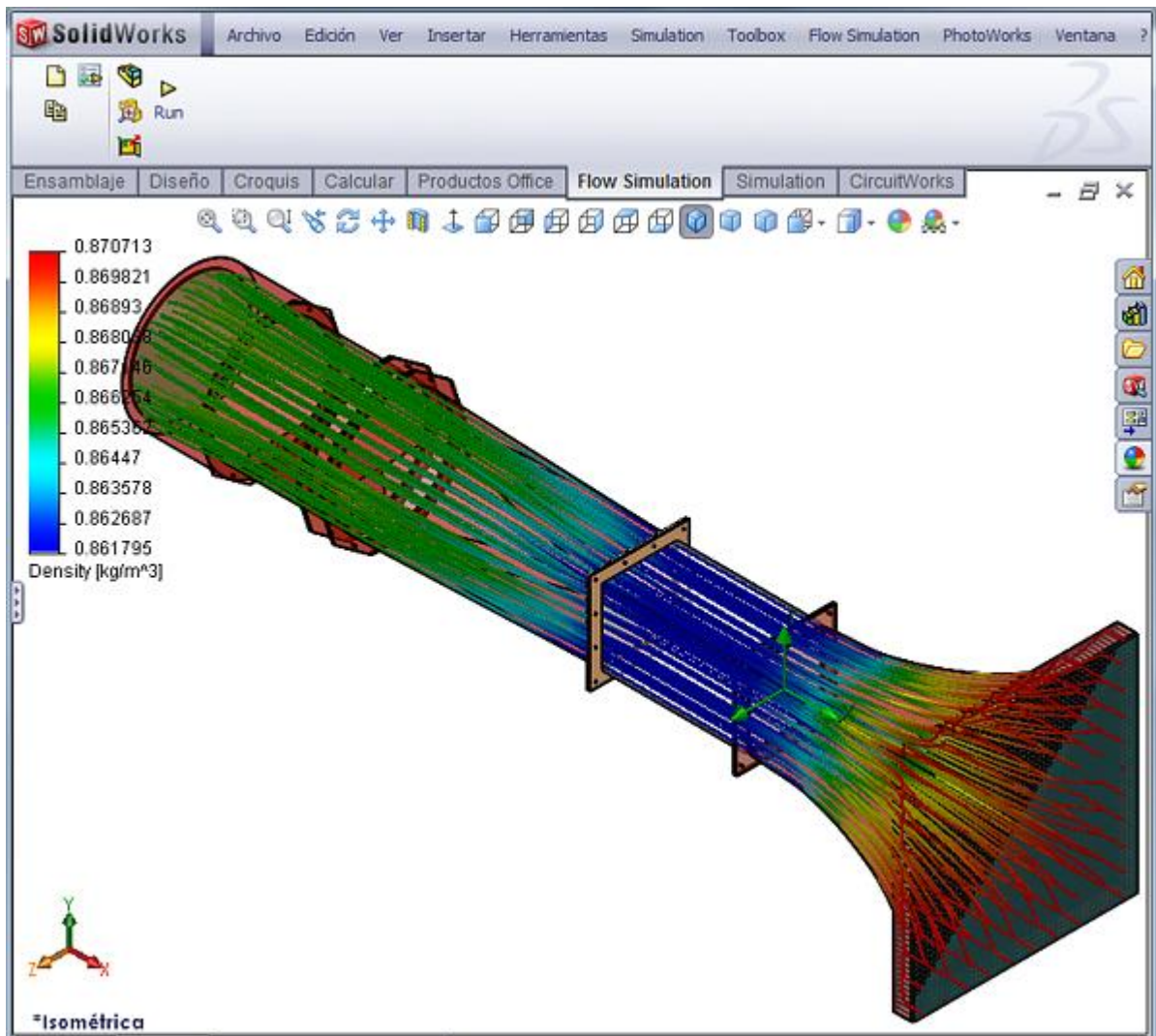


Figura 2. 22 Densidad

Al analizar la figura 2.22 se observa que el valor de la densidad del aire a la entrada del túnel es muy similar al calculado en la sección 2.2 para la ciudad de Latacunga, y esta densidad varía hasta un valor mínimo de  $0.8618 \text{ kg/m}^3$  en la cámara de pruebas.

Al variar la densidad muy poco entre la entrada y salida del túnel ( $0.0089 \text{ kg/m}^3$ ), se concluye que el aire a través del túnel de viento puede ser tratado como un fluido incompresible y por lo tanto, las pérdidas de presión pueden ser estimadas mediante las ecuaciones de mecánica de fluidos.

## Velocidades

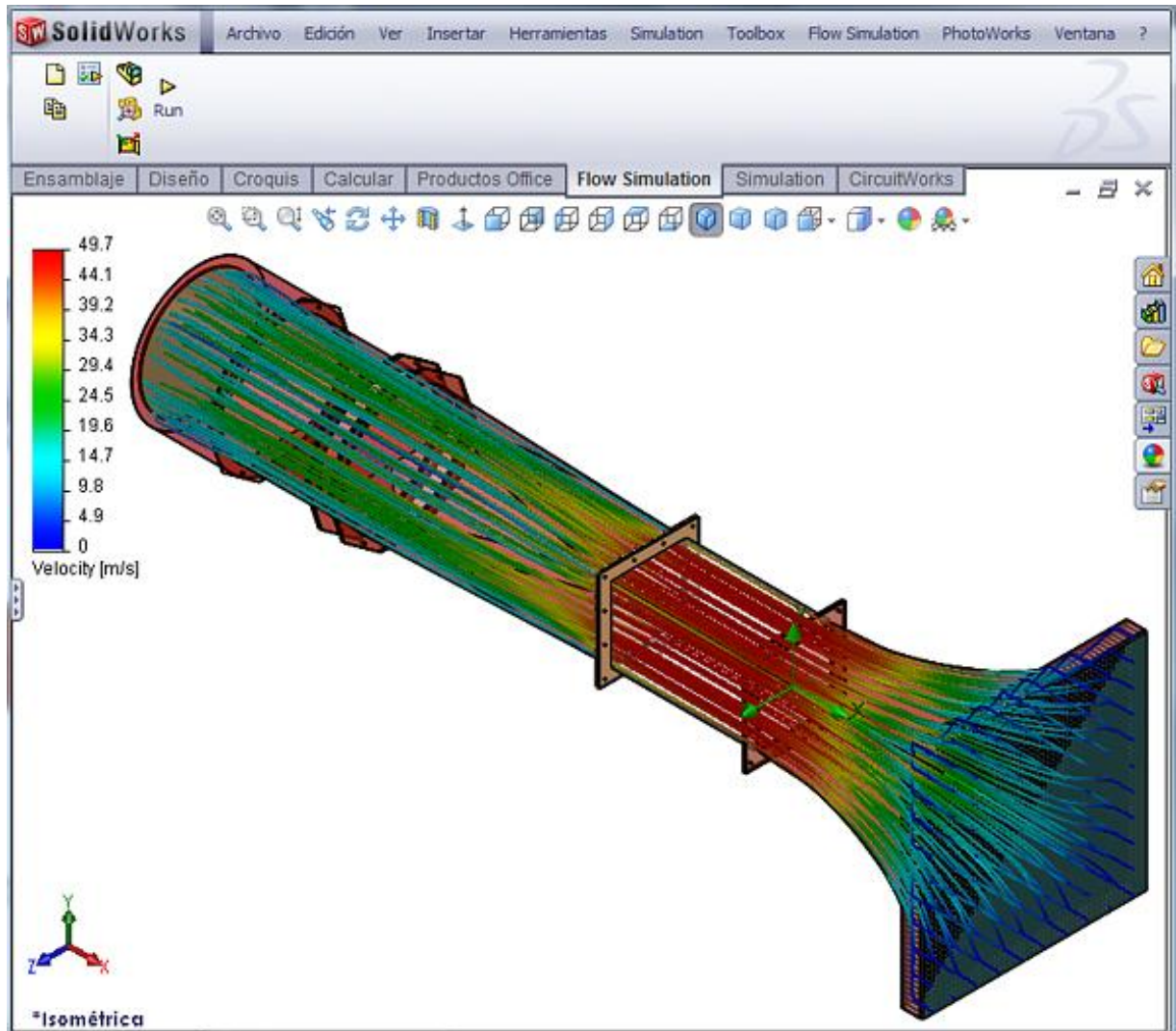


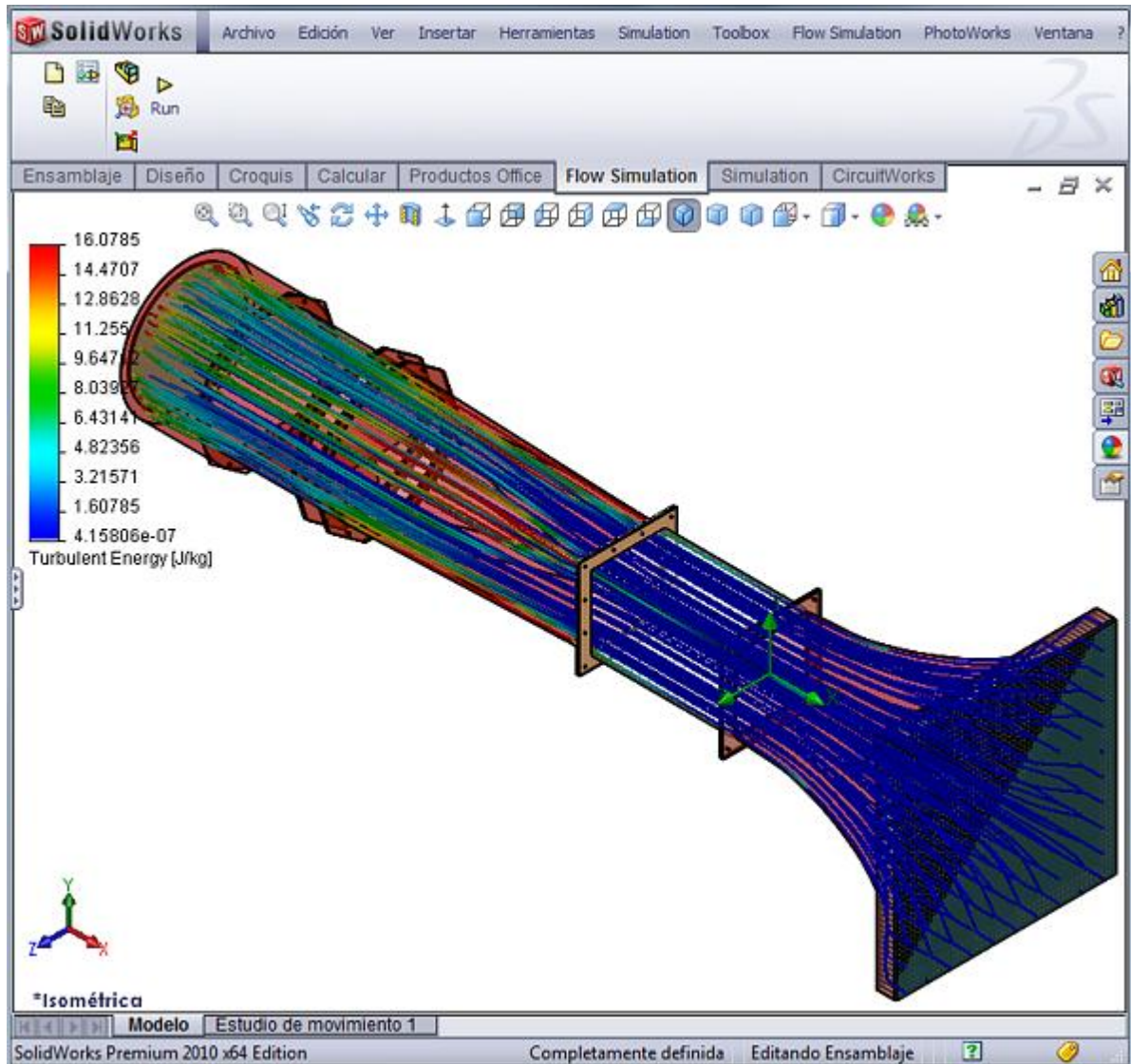
Figura 2. 23 Distribución de velocidades

En la figura 2.23 se muestra la distribución de velocidades en las diferentes secciones del túnel de viento. Al analizar dicha figura se observa que la velocidad del flujo de aire varía, desde un valor mínimo de 0 m/s en las regiones cercanas a las paredes de la contracción y el difusor, hasta un valor máximo de 49.7 m/s en la cámara de pruebas.

De estos resultados se concluye que el diseño del túnel es el adecuado ya que en la cámara de pruebas se obtiene una velocidad muy cercana a los 50 m/s requeridos.



## Energía de turbulencia



**Figura 2. 24 Distribución de la energía de turbulencia**

Luego de analizar la figura 2.24 se puede concluir que el diseño geométrico de las diferentes partes del túnel es adecuado y eficiente debido a que, en la figura de distribución de la energía de turbulencia se observa que el valor máximo de la energía consumida por las turbulencias es solo de 16.0785 J/kg

Al multiplicar el flujo másico de aire de 3.68 kg/s por el valor máximo de la energía de turbulencia se obtiene que el consumo total de energía debido a las turbulencias es de 59.17 W, que es un valor pequeño, lo que determina que el diseño es correcto.

## Presión total

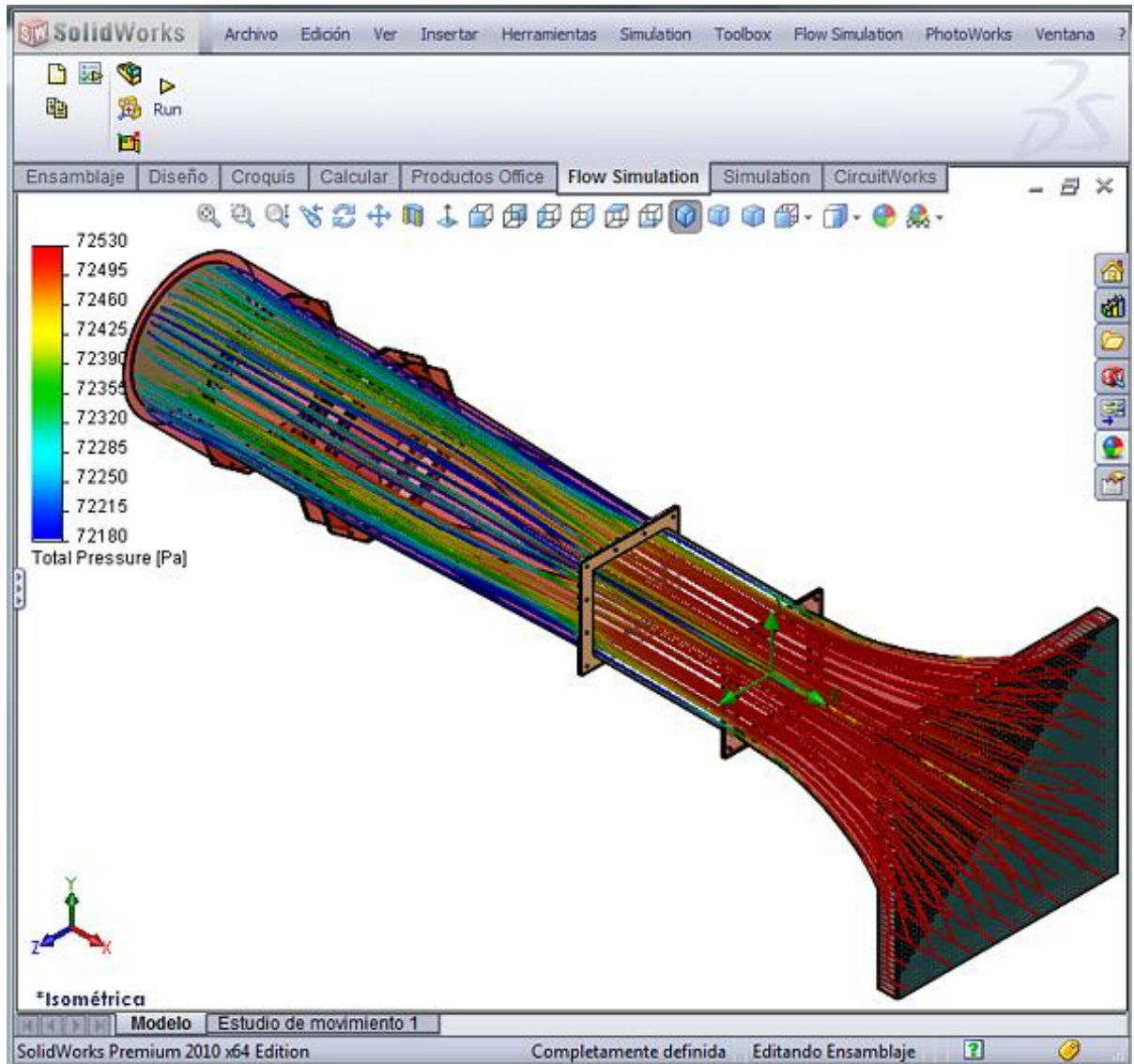


Figura 2. 25 Diagrama de presión total

Del diagrama de presión total se determina que la presión total varía, desde un valor máximo de 72530 Pa a la entrada del túnel de viento hasta un valor mínimo de 72180 Pa a la salida del túnel, por lo tanto, se puede calcular que la caída de presión a través del túnel de viento es

$$\Delta P = (72530 - 72180) Pa = 350 Pa \quad (2.1)$$

Esta caída de presión representa las pérdidas por fricción que se producen cuando al aire atraviesa las diferentes partes del túnel de viento.

En la siguiente tabla de Excel generada por el programa SolidWorks Flow Simulation, se presenta un resumen de los diferentes parámetros calculados por el programa en la superficie de salida del túnel de viento.

**Tabla II. 1 Parámetros de superficie a la salida del túnel de viento**

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Relative Pressure [Pa]	-653,605	-298,766	-367,057	-367,315	0,199311
Pressure [Pa]	71876,4	72231,2	72162,9	72162,7	0,199311
Total Pressure [Pa]	72029,8	72330,1	72177,8	72177,4	0,199311
Dynamic Pressure [Pa]	197,611	297,518	204,618	204,538	0,199311
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	0,86337	0,867897	0,866885	0,866884	0,199311
Velocity [m/s]	21,3494	26,2257	23,7199	23,7159	0,199311
X – Component of Velocity [m/s]	-21,4404	-21,3286	-21,3535	-21,3535	0,199311
Y – Component of Velocity [m/s]	-13,7392	13,8997	0,396897	0,396052	0,199311
Z – Component of Velocity [m/s]	-11,1056	13,7981	0,301186	0,30199	0,199311
Turbulent Viscosity [Pa*s]	0,00024608	0,027621	0,0075561	0,0075489	0,199311
Turbulent Length [m]	0,00197175	0,016804	0,0067932	0,00679751	0,199311
Turbulent Intensity [%]	0,959989	21,1126	7,58319	7,56477	0,199311
Turbulent Energy [J/kg]	0,06309	36,7454	6,34509	6,31557	0,199311
Turbulent Dissipation [W/kg]	0,797345	9016,7	660,584	656,301	0,199311
Fluid Temperature [°C]	16,6277	16,8093	16,7818	16,782	0,199311
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-3,92017				0,199311
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-4,2453				0,199311
Surface Area [m <sup>2</sup> ]	0,199311	0,198801	1,4404E-05	-1,4404E-05	0,199311
Uniformity Index [ ]	0,923108				0,199311
CAD Fluid Area [m <sup>2</sup> ]	0,189345				0,189345

**FUENTE: SolidWorks Flow Simulation**

Esta tabla nos permite observar los valores máximos, mínimos y promedios de los diferentes parámetros calculados por el programa a la salida del túnel de viento y los mismos concuerdan con los valores que se mostraron en las figuras anteriores.

Estos resultados serán utilizados en las secciones siguientes para calcular las pérdidas por fricción en el túnel, así como también la potencia requerida en el ventilador.

## 2.7.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Como ya se indicó en la sección anterior, las pérdidas por fricción que ocurren en el túnel de viento pueden ser determinadas en función de la caída de presión total que tiene lugar cuando el aire atraviesa las diferentes partes del túnel de viento.

A partir de la caída de presión  $\Delta P$  calcula en la sección anterior, se determina las pérdidas por fricción  $H_L$  (en altura de columna de fluido) utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \rho g H_L \quad (2.2)$$

De donde:

$$H_L = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$H_L = \frac{350 \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2}}{0.8714 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} = 40.95 \text{ m}$$

Este valor es bastante aproximado al que obtiene el programa mediante la generación de los Goals globales, de superficie y de ecuaciones, en el menú de resultados, tal como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla II. 2Propiedades del aire y presiones

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]
GG Av Density 1	[kg/m^3]	0,866791065	0,86676295	0,866655628	0,866809547	100
GG Av Velocity 1	[m/s]	23,57378989	23,59563867	23,57251805	23,67013163	100
SG Av Total Pressure entra	[Pa]	72530	72530	72530	72530	100
SG Av Total Pressure salid	[Pa]	72177,84407	72178,81845	72169,76333	72186,37352	100
Perdidas por fricción	[m]	-41,45667889	-41,34331261	-40,45889189	-42,40705891	100
Perdida de presión	[Pa]	352,1559327	351,1815455	343,6264782	360,2366666	100

**Iterations: 185**

**Analysis interval: 60**

**FUENTE: SolidWorks Flow Simulation**



## 2.8.- CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

Primero calculamos la velocidad en la sección 2 a partir de la ecuación de continuidad.

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_2 \quad (2.3)$$

De donde:

$$V_2 = \frac{3.68 \frac{kg}{s}}{0.8714 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi(0.49^2)m^2}{4}}$$

$$V_2 = 23.86 \text{ m/s}$$

A continuación, para determinar la potencia requerida por el ventilador aplicamos la ecuación de Bernoulli en los puntos 1 y 2 (entrada y salida del túnel de viento respectivamente) de la (figura 2.26).

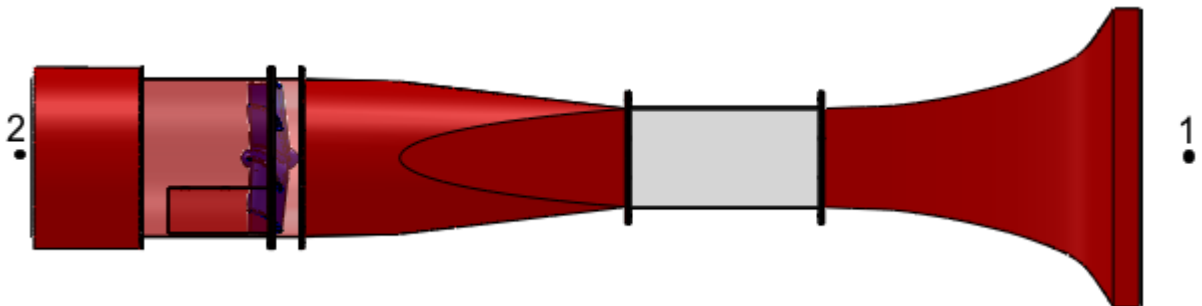


Figura 2. 26 Esquema del túnel de viento

El volumen de control para la aplicación de la ecuación de Bernoulli se toma alrededor del túnel de viento de tal manera que tanto la entrada 1 como la salida 2 del aire se encuentren a la presión atmosférica ( $P_1 = P_2 = P_{atm}$ ), y la sección 1 es grande y está lejos del ventilador, de modo que la velocidad del flujo en esa sección es despreciable ( $V_1 \cong 0$ )

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_{vent} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_L \quad (2.4)$$

Donde:  $Z_1 = Z_2$

Remplazando los valores conocidos y despejando la carga entregada al aire por el ventilador  $H_{vent}$  obtenemos:

$$H_{vent} = \frac{v_2^2}{2g} + H_L \quad (2.5)$$

$$H_{vent} = \frac{23.86^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} + 40.95 \text{ m}$$

$$H_{vent} = 69.97 \text{ m}$$

La potencia requerida en el ventilador viene dada por la ecuación:

$$Pot = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{vent} \quad (2.6)$$

$$Pot = 0.8714 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 4.5 \frac{m^3}{s} \cdot 69.97 \text{ m}$$

$$Pot = 2691.60 \text{ W} = 3.6 \text{ hp}$$

## 2.9.- SELECCIÓN DEL VENTILADOR

En base a la potencia calculada en la sección anterior, seleccionamos el ventilador de flujo axial siguiente:

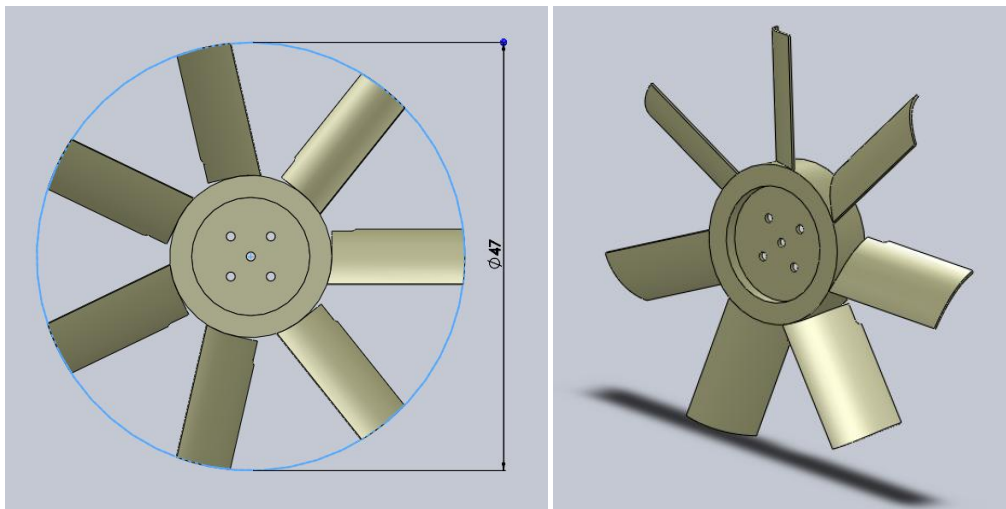


Figura 2. 27 Ventilador de flujo axial seleccionado

Debido a que el rendimiento de este tipo de ventilador es de 80% aproximadamente, determinamos la potencia mínima requerida en el motor que se utilizará para mover el ventilador.

$$Pot_{motor} = \frac{Pot_{vent}}{0.80} = 4.5 \text{ hp} \quad (2.7)$$

## CAPÍTULO III

### DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICO.

#### 3.1.- DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

Los dispositivos eléctricos, como el motor eléctrico seleccionado para el proyecto nos permite un buen rendimiento del ventilador. Por otra parte el interruptor puede ser manipulado de forma manual controlando el funcionamiento del motor eléctrico.

##### 3.1.1.- SELECCIÓN DE MOTOR ELÉCTRICO

Por los cálculos antes obtenidos del capítulo 2.9, se opta por un motor eléctrico de la compañía de motores WEG; proporciona la fuerza y giro al ventilador de succión, este motor está montado en la zona impulsora. *Ver anexo B.*



Figura 3. 1 Motor eléctrico trifásico WEG

**Tabla III. 1 Especificaciones del motor**

<b>Potencia</b>	5 HP
<b>Voltaje</b>	220 [v] o 380 [v]
<b>Tipo</b>	Trifásico
<b>Rpm</b>	3485 rpm

### **3.2.- DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS**

Como parte del proceso de recopilación de datos y registro de los mismos el túnel de viento cuenta con sensores que miden los diferentes valores de presiones en el modelo de prueba, para este efecto se debe contar con los elementos necesarios para; medir, procesar y registrar las señales generadas en el túnel de viento.

Los sensores son los elementos que permitirán transformar la señal física (Presión) en una señal eléctrica proporcional al valor de presión.

Tarjeta de adquisición de datos, este dispositivo lee los valores de las señales eléctricas generada por los sensores y los trasmite al computador para su posterior tratamiento.

Software, este es la interfaz entre las señales físicas, los sensores, la tarjeta de adquisición, debido a que por este el usuario puede observar de manera gráfica como los valores de los parámetros medidos en el túnel de viento varían en función del tiempo, su objetivo en este caso es procesar las señales eléctricas emitidas por los sensores, acondicionarlas, presentarlas de forma numérica y gráfica en el computador y finalmente registrarlas.

El sistema posee dos partes fundamentales como son:

- Acondicionamiento de Voltaje de 12Vcc a 5Vcc por medio de una fuente de voltaje de corriente continúa.
- Acondicionamiento de la señal de los sensores para acople con la tarjeta de la adquisición de datos.

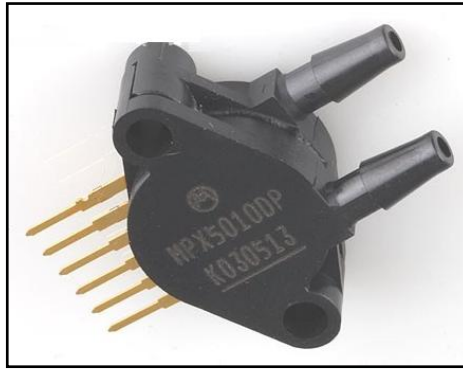
### **3.2.1.- Variables a ser medidas y registradas**

Las variables a ser medidas y registradas son la presión y velocidad, dada la importancia de su comportamiento sobre el automóvil, ya que estas van a ser tomadas a través de los sensores.

La presión sobre el automóvil causa distintos comportamientos en el desempeño aerodinámico de los coches, está directamente relacionado con su rendimiento, estabilidad, adherencia al suelo y es una de las claves en la reducción del consumo de combustible. Por tal motivo es importante mejorar el comportamiento de las presiones sobre del automóvil modificando su perfil aerodinámico.

### **3.2.2.- SELECCIÓN DE SENSORES**

De los resultados obtenidos en los cálculos del capítulo II sección 2.6.2 se requiere leer valores con un rango de  $\Delta P=0,05$  Psi. Por tal razón seleccionamos el sensor de presión diferencial de la marca Motorola de serie MPX5010DP, por aproximarse más a los requerimientos con un rango de 0 a 10 kPa (0 a 1.45 psi), y además por su costo aceptable; sensor que tiene una salida de voltaje que es proporcional a la presión medida. Dando un voltaje de salida de 0.2 a 4.7 V en todo su rango. *Ver anexo C.*

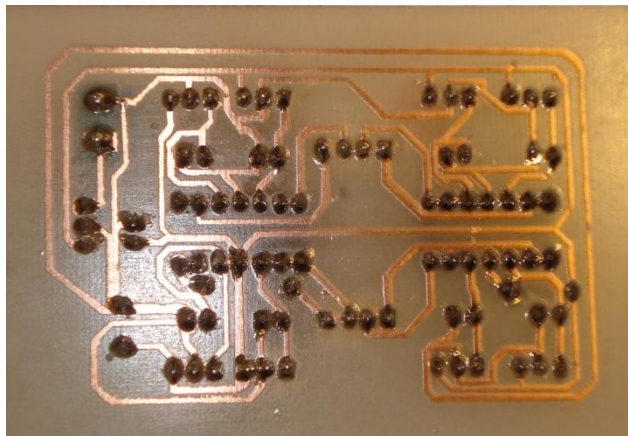


**Figura 3. 2 Sensor Motorola MPX5010DP**

### **3.2.3.- Diseño de la placa del circuito**

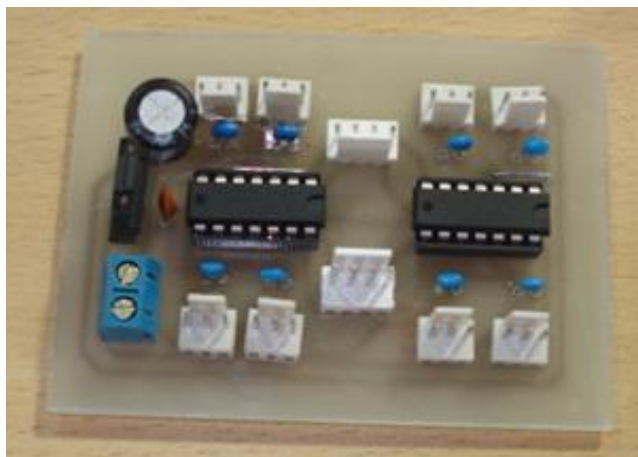
La salida del sensor posee una impedancia diferente a la impedancia de entrada de la tarjeta de adquisición de datos, razón por la cual es imprescindible acondicionar esta señal para tener un buen desempeño en la lectura de los datos.

El diseño de la placa se lo realiza en el SOFTWARE DE DISEÑO ELECTRÓNICO PRÓTEL DXP. *Ver anexo G*



**Figura 3. 3 Circuito de amplificación de voltaje**

Para este propósito se utiliza un amplificador de frecuencia integrado LM 324. *Ver anexo F*



**Figura 3. 4 Placa terminada**

### **3.2.4.- Elección de equipo adquisición de variables medidas**

Para la elección de los equipos se dispone de una infinidad de productos de distintas marcas en el mercado, pero para nuestro proyecto se ha elegido al sensor de Motorola de serie MPX5010DP y también la tarjeta NI USB-6009 de la NATIONAL INSTRUMENTS, debido a que cumplen con los requerimientos de resolución requerida aceptada.

#### **3.2.4.1.- Determinación de resolución, precisión**

El rango de salida de voltaje del sensor tiene un comportamiento lineal dado de la siguiente manera de 0,2 V representa 0 KPa y a 4.7 V representa 10 KPa.

La tarjeta de adquisición de datos tiene un convertidor análogo digital de 12 bits.

Entonces la resolución de la medición de presión, es:

$$Span = V_{superior} - V_{mínimo} \quad (3.1)$$



$$\text{Span} = 4,7 - 0,2 = 4,5 \text{ V}$$

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Span}}{2^n} \quad (3.2)$$

donde  $n$  es el número de bits

$$\text{Resolución} = \frac{4,5}{2^{14}} = \frac{4,5}{16384} = 0,000275 \text{ V}$$

Por lo tanto la lectura de presión a full escala será:

$$\begin{array}{ccc} 4,7 \text{ V} & \times & 10 \text{ KPa} \\ 0,000275 \text{ V} & & X = \frac{(0,000275 \text{ V})(10) \text{ KPa}}{4,7 \text{ V}} \end{array}$$

$$X = \frac{0,00275}{4,7} \text{ KPa}$$

$$X = 0,000585 \text{ KPa}$$

### 3.2.4.2.- Elección de interfaz hombre máquina

Con la finalidad de poder observar los datos a través de la pantalla del computador y facilitar su análisis, se opta por el software de labVIEW de NATIONAL INSTRUMENTS, el mismo que se comunica a través de un puerto USB del computador con la tarjeta de adquisición de datos y además permite presentar de manera gráfica los resultados de la toma de lectura de los sensores.

La tarjeta de adquisición de datos empleada para generar la interfaz entre el proceso y el usuario es la NI USB-6009. Este es un dispositivo de adquisición que se comunica con el computador por medio de un cable USB, cuenta con ocho canales de entrada analógica y un rango de medición de  $\pm 10$  volts dispone de

una resolución de 14-bit con una velocidad muestreo de 48 kS/s muestras por segundo); dos canales de salida analógica de voltaje en un rango de 0,5 volts (Resolución de 12-bit con una velocidad de actualización de 150 S/s muestras por segundo) ; un contador de 32-bit; 12 digital I/O. Por medio de este dispositivo adquirimos una señal de voltaje que viene del sensor y simultáneamente forma una señal de voltaje, permitiéndonos generar un registro de datos o generación de señales. *Ver anexo D*



**Figura 3. 5 NI USB-6009**

La interfaz que se presenta permite la visualización de los valores medidos, de forma numérica y como una gráfica en tiempo real. Además en el programa se implementa las ecuaciones para el cálculo de la velocidad por medio del valor medido de presión.

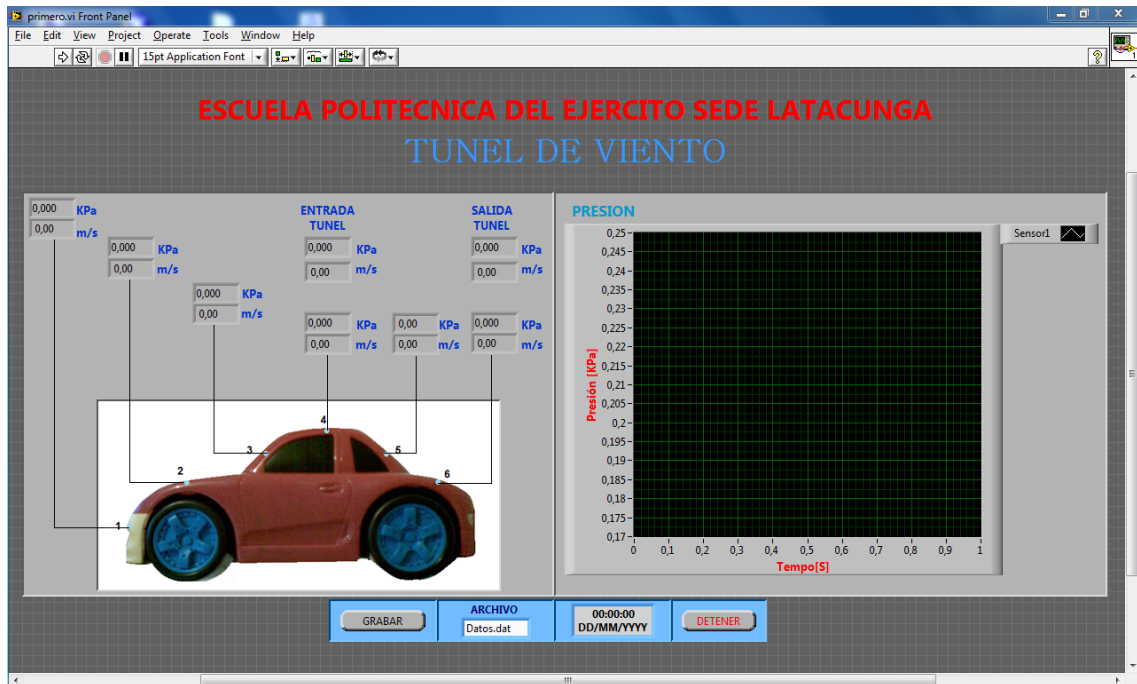


Figura 3. 6 NI USB-6009

### 3.3.- ANEMÓMETRO



Figura 3. 7 Anemómetro Extech

El anemómetro es imprescindible, para la adquisición de datos de velocidad de aire en el túnel de viento, a continuación se denomina las especificaciones generales. *Ver anexo B*

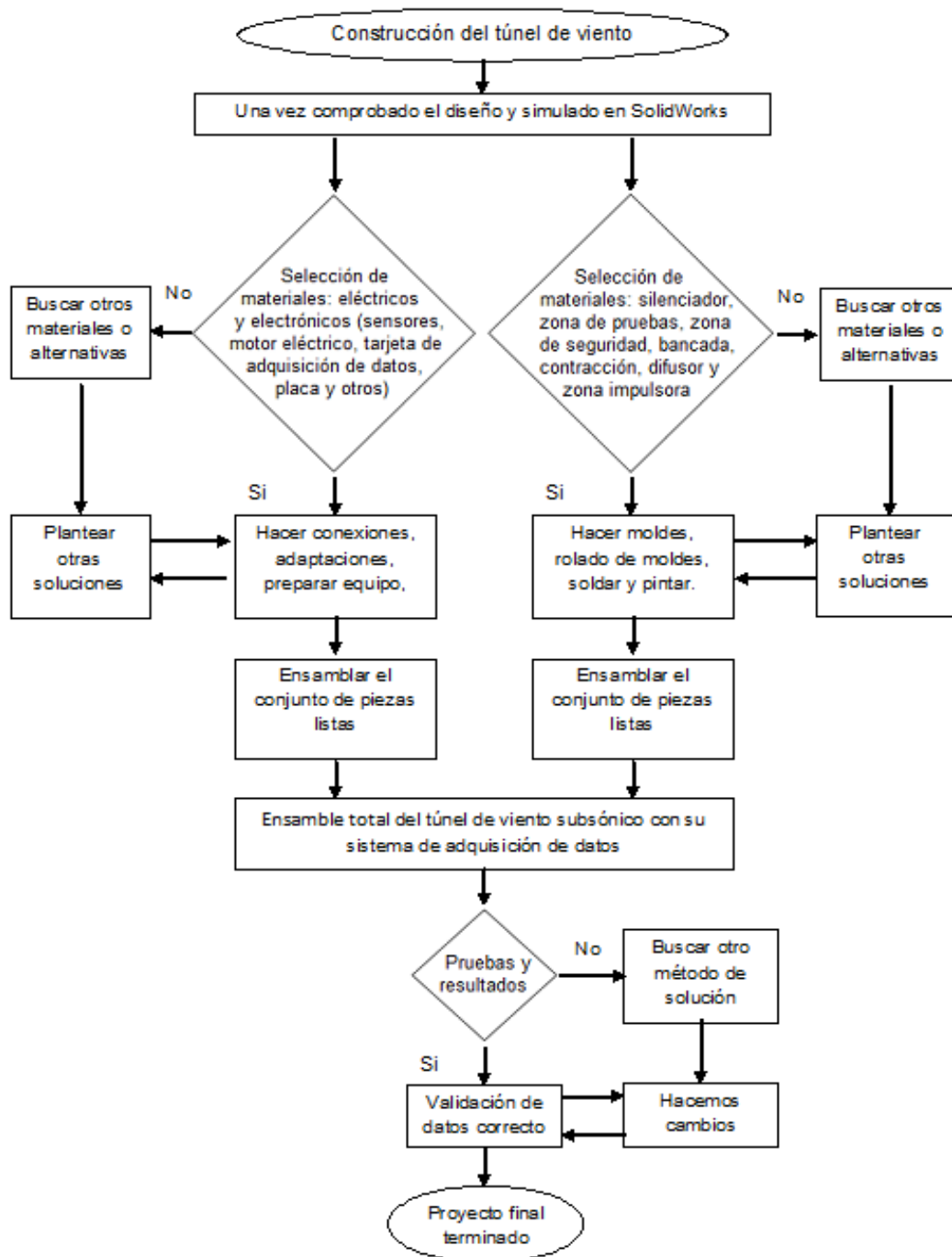
Tabla III. 2 Especificaciones del anemómetro

<b>Pantalla</b>	LCD Doble con dígitos de 3½ con indicadores de multifunción
<b>Mediciones</b>	Knots, Km/h, MPH, ft/m, m/s, fuerza Beaufort, enfriamiento del aire y temperature (C/F)
<b>Velocidad de viento</b>	En movimiento 2 segundos prom. Con detención de ráfaga de 2 segundos.
<b>Sensor</b>	Balero de zafiro, veleta no corrosiva y termistor de precisión para temperatura.
<b>Modo promedio</b>	Selección de lecturas promedio de 5, 10, ó 13segundos.
<b>Indicación máxima</b>	Botón pulsador con llamada de la lectura más alta.
<b>Retención de datos</b>	Congela la lectura más reciente.
<b>Tiempo de muestreo</b>	1 lectura por segundo.
<b>Resistencia al agua</b>	Hasta 1 metro (3´)
<b>Min/Max velocidad del aire</b>	0.5 to 140 MPH
<b>Temp. de operación</b>	-15 a 50°C (5 a 122°F)
<b>Humedad de operación</b>	< 80% RH
<b>Fuente de poder</b>	Batería de litio tipo CR-2032 o equivalente.
<b>Vida de la batería</b>	400 horas aprox.
<b>Peso</b>	95 g (oz.)
<b>Dimensiones</b>	Instrumento: 133 x 70 x 19 mm (5.25 x 2.75 x 0.75") Veleta: 24 mm (1") de diámetro.

# CAPÍTULO IV

## CONSTRUCCIÓN

### 4.1.- DIAGRAMA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN



## 4.2.- CONSTRUCCIÓN DE LA BANCADA

La bancada o estructura soporte, es diseñada para alojar a cada uno de los componentes del túnel de viento; además está hecho de tubo cuadrado el cual es rígido y soporta todo el peso de cada una de las partes del túnel de viento.



**Figura 4. 1 Construcción de la Bancada**



**Figura 4. 2 Bancada terminada**

### **4.3.- CONSTRUCCIÓN DEL CONO DE CONTRACCIÓN**

El cono de contracción esta hecho de tol negro, sus cuatro caras fueron moldeadas en la máquina roladora en el proceso de moldeo del cono, sus extremos tiene un marco que se fija correctamente en la bancada y al otro aloja el panal de abeja.



**Figura 4. 3 Cara del cono de la zona de contracción**



**Figura 4. 4 Rolado de caras de la zona de contracción**



**Figura 4. 5 Ensamble de la zona de contracción**



**Figura 4. 6 Acabado y pintado de la zona de contracción**

#### **4.4.- CONSTRUCCIÓN DEL PANAL DE ABEJAS**

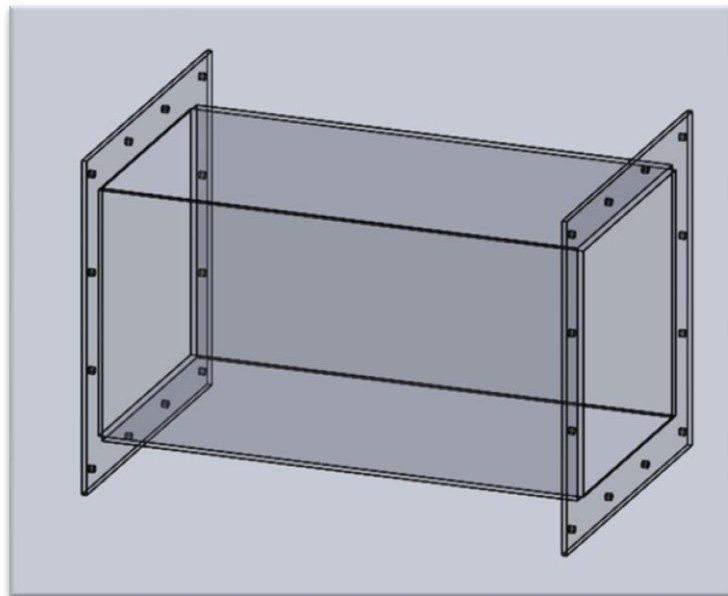
Está hecho de louver plástico de rejilla cuadrada. Tiene un marco de madera que encaja al recuadro del cono de contracción.





**Figura 4. 7 Panal de abejas**

#### **4.5.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA DE PRUEBAS**



**Figura 4. 8 Zona de prueba**

Construida para descansar en la bancada entre el cono de contracción y el difusor, es de fácil extracción para cambio de elementos de prueba; la característica de transparencia permite observación clara del experimento que se

ejecute. El plexiglás o Polimetilmetacrilato, posee propiedades de resistencia a la intemperie, transparencia y resistencia al rayado.

**Tabla IV. 1 Características del plexiglás**

<p><b>Propiedades Físicas</b></p>	<p>Densidad 1.15 g/cc 0.0415 lb/in<sup>3</sup> ASTM D792.          Absorción de agua 0.4 % 0.4 % 24 horas de inmersión; ASTM D570.          Contracción lineal de forma 0.003 - 0.008 cm/cm 0.003 - 0.008 in/in de área fría a la pieza fría - 48 hrs; ASTM D955.          Flujo de fundición 1 g/10 min 1 g/10 min Condición I; ASTM D1238.</p>
<p><b>Propiedades Mecánicas</b></p>	<p>Dureza, Rockwell M 45 45 ASTM D785.          Fuerza de Tensión, Última 38 MPa 5510 psi ASTM D638.          Modulo de flexibilidad 1.9 GPa 276 ksi.          Fuerza de ruptura máxima de flexibilidad 71 MPa Max 10300 psi ASTM D790.          Resistencia al impacto, agujero 0.59 J/cm 1.11 ft-lb/in ASTM D256.          Gardner Impact 14 J 10.3 ft-lb J; Falling Dart 15 cm x 15 cm x 0.3 cm; 1.4 kg dart; 6.4 mm radius.</p>
<p><b>Propiedades Térmicas</b></p>	<p>Punto de fusión 132 °C 270 °F.          Temperatura máxima de flujo Air 71 - 82 °C 160 - 180 °F.          Desviación de temperatura a 1.8 MPa (264 psi) 79 °C 174 °F Recocido; ASTM D648.          Punto de difuminación Vicat 96 °C 205 °F sin recocido, 50°C/hr, 1 kg; ASTM D1525.</p>
<p><b>Propiedades Ópticas</b></p>	<p>Índice refractario 1.49 1.49 ASTM D542.          Condensación Max 3 % Max 3 % ASTM D1003.          Transmisión de Luz, Visible 91 % 91 % Transparencia blanca total; ASTM D1003.</p>

#### **4.6.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA DIFUSORA**

El difusor esta hecho de tol negro, moldeado en la máquina roladora. Al instante de formar el cuerpo cilíndrico, se extraerá parte de él, para insertar caras planas formando un cuerpo piramidal; tiene un marco cuadrado al extremo donde se empata a la zona de pruebas y al otro extremo cilíndrico un marco decagonal.



**Figura 4. 9 Cortes en el difusor**



**Figura 4. 10 Ensamble de marcos y caras del difusor**



**Figura 4. 11 Acabado y pintado del difusor**

#### **4.7.- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA SEGURIDAD**

La zona de seguridad está hecha de tol negro, moldeado en la máquina roladora. Al instante de formar el cuerpo cilíndrico, sus dos extremos tienen marcos decagonales los cuales empujan respectivamente los marcos del difusor y la zona impulsora.



**Figura 4. 12 Marcos decagonal de la zona de seguridad**



**Figura 4. 13 Rolado de la zona de seguridad**



**Figura 4. 14 Ensamble del Cuerpo de la zona de seguridad**



**Figura 4. 15 Acabado y pintado de la zona de seguridad**



#### **4.8- CONSTRUCCIÓN DE LA ZONA IMPULSORA**

La zona impulsora está hecha de tol negro, moldeado en la máquina roladora. Al instante de formar el cuerpo cilíndrico, sus dos extremos tiene marcos decagonales, el diámetro interno es el mismo del difusor. En su interior tiene una base la cual servirá de apoyo al motor eléctrico



**Figura 4. 16 Ensamble de la zona impulsora**



**Figura 4. 17 Acabado y pintado de la zona de impulsora**

#### **4.9.- CONSTRUCCIÓN DE ZONA DEL SILENCIADOR**

La zona de silenciador está hecha de tol negro, moldeado en la máquina roladora. Al instante de formar el cuerpo cilíndrico, sus extremos tiene un marco decagonal, el diámetro interno del silenciador permitirá alojar esponja de 2,5 cm de grosor quedando al mismo diámetro interno del difusor.



**Figura 4. 18 Rolado del silenciador**



**Figura 4. 19 Terminado el silenciador y pegando de esponja para ruidos**

#### 4.10.- ENSAMBLAJE DEL TÚNEL DE VIENTO

A continuación se detalla el ensamblaje general del túnel de viento.

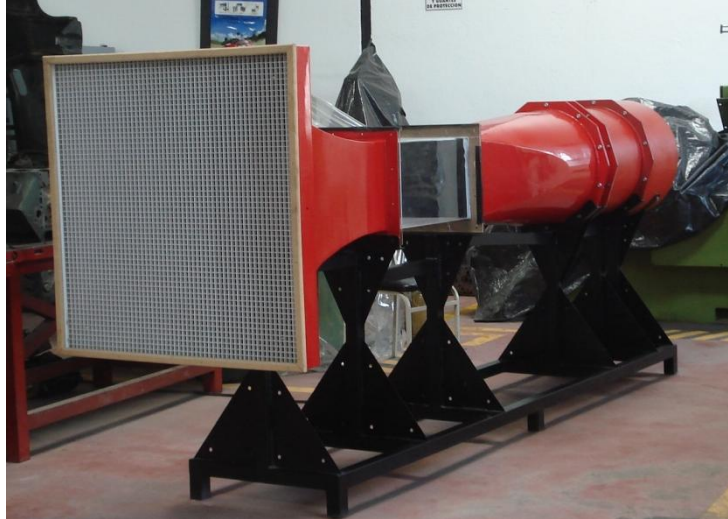


Figura 4. 20 Vista del ensamblé del Túnel de viento

La bancada soporta a cada uno de los elementos del túnel de viento, diseñada para alojar las partes por secciones.



Figura 4. 21 Bancada del túnel de viento

Previamente a instalar las partes del túnel de viento se muestra fotografías de todas las piezas involucradas sin ningún orden alguno.





Figura 4. 22 Cono de contracción

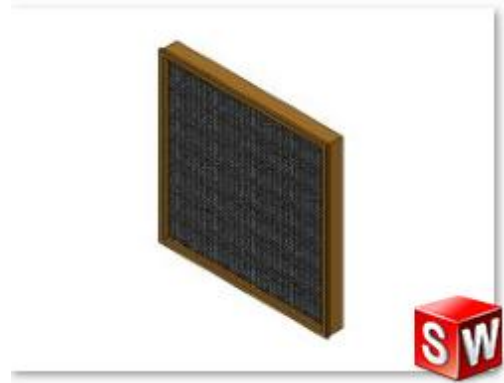


Figura 4. 25 Panal de abeja

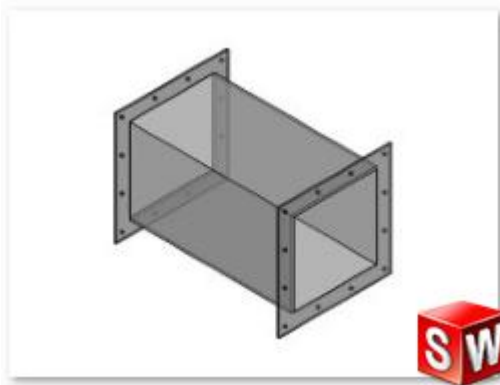


Figura 4. 23 Zona de pruebas



Figura 4. 26 Zona de seguridad



Figura 4. 24 Difusor



Figura 4. 27 Zona impulsadora



Figura 4. 28 Silenciador



Figura 4. 30 Motor eléctrico



Figura 4. 29 Hélice

Primero se ubica el cono de contracción sobre la bancada y se sujeta con un perno



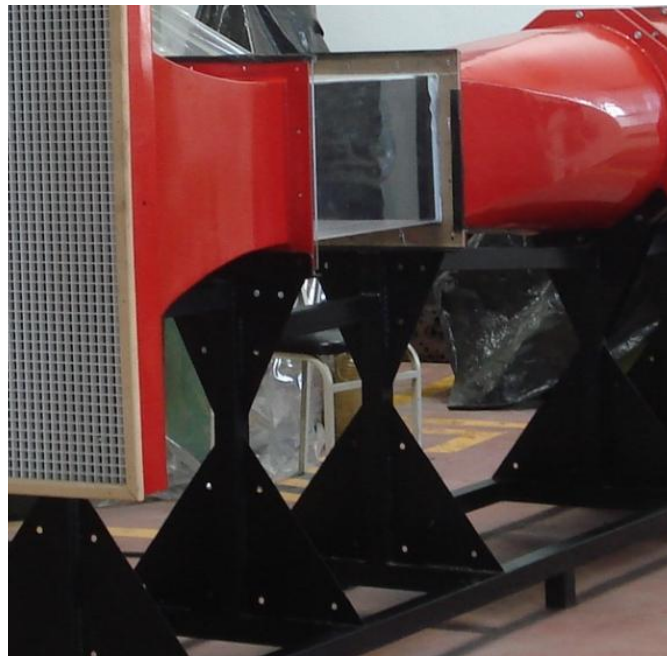
Figura 4. 31 Sujeción del cono de contracción

Luego se sitúa el panel de abejas en el cono de contracción, fijando con tornillos a sus cuatro caras.



**Figura 4. 32 Sujeción del panel de abejas**

Se coloca el difusor sobre la bancada en la posición que coinciden las guías u orificios de sujeción.



**Figura 4. 33 Sujeción del difusor**

Seguidamente se une la malla de protección junto con la zona de seguridad al difusor; debidamente empernada a las guías del difusor y bancada. Luego sellar la unión con silicón.



**Figura 4. 34 Sujeción de la zona de seguridad al difusor y bancada**

A continuación se arma la hélice con su acople al eje del motor. Seguidamente conectar el cable trifásico a la conexión del motor, posteriormente alojar el conjunto hélice - motor sobre la zona impulsora centrando y por último pasar el cable por el orificio de la zona impulsora.



**Figura 4. 35 Sujeción del ventilador al motor eléctrico**





**Figura 4. 36 Instalando el interruptor del motor eléctrico**



**Figura 4. 37 Fijado y centrado conjunto hélice - motor en zona impulsora**

Rápidamente alojar el conjunto armado de la zona impulsora junto a la zona de seguridad con su respectivo empaque, guiar y empernar correctamente.



**Figura 4. 38 Ubicando la zona impulsora**



**Figura 4. 39 Sujeción de la zona Propulsora**

Se coloca el silenciador con su respectivo empaque, junto a la zona propulsora, guiar y empernar correctamente.



**Figura 4. 40 Sujeción del silenciador**

Se adhiere la esponja en la cara interna del silenciador, quedando esta a nivel de la cara interna de la zona impulsora.



**Figura 4. 41 Adhiriendo esponja en el silenciador**

Se ubica la malla al final del silenciador como última medida de seguridad.



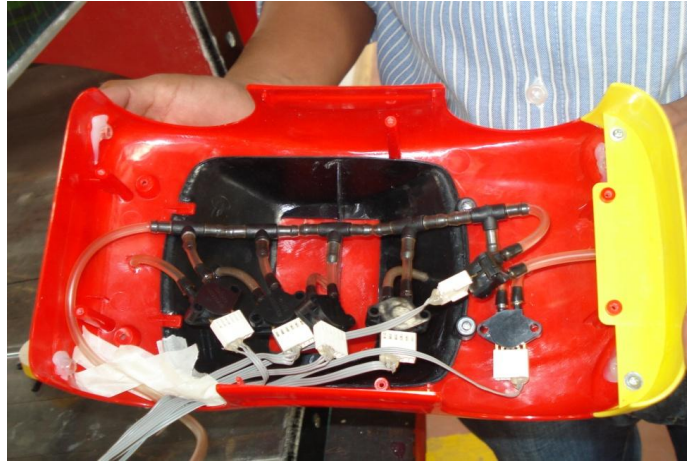
**Figura 4. 42 Colocando la malla en el silenciador**

#### **4.11.- INSTALACIÓN DE SENSORES**

Se instala los seis sensores dentro del modelo de pruebas, haciendo que las tomas de baja sean una sola en común y la toma de alta ubicada en puntos distintos alrededor del perfil, consecutivamente fijamos el vehículo de estudio dentro de la zona de prueba.

Además se instala dos sensores a la cara lateral de la zona de prueba, los cuales medirán las velocidades de entrada y de salida respectivamente. También estos sensores tendrán la toma de baja en común a la de los seis sensores del vehículo de estudio.

Una vez fijados los sensores se conecta los cables con mucho cuidado, dejando estos listos para conectarse en la placa.



**Figura 4. 43 Sensores con la toma de baja, todas en común y las de alta al perfil del vehículo de prueba**



**Figura 4. 44 Vehículo de prueba fijado y centrado en la zona de prueba**



**Figura 4. 45 Fijación de sensores que miden la velocidad de entrada y salida, cables listos para ser conectados**



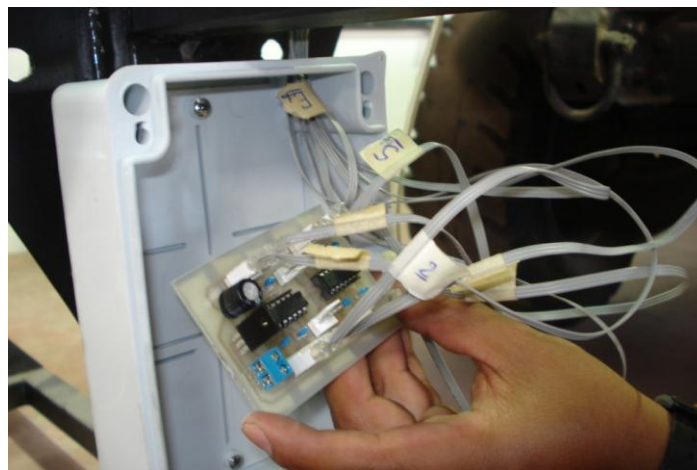
#### **4.12.- INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Lo primero es fijar la caja que contendrá la placa del circuito y la NI USB-6009 de la NATIONAL INSTRUMENTS.



**Figura 4. 46 Fijación de caja contenedora de la placa y de NI USB 6009**

Luego se ubica la placa junto con la NI USB 6009 dentro de la caja. Se conecta los cables de los ocho conectores que salen del modelo de pruebas a su respectiva posición en la placa del circuito, de igual manera se enchufa la fuente.



**Figura 4. 47 Conectando sensores a la placa del circuito**

Finalmente se conecta los ocho cables de la tarjeta a los puertos de la NI USB 6009 junto con la conexión a tierra y el cable USB a la portátil donde se encuentra ya listo el programa LabVIEW para la adquisición de datos.

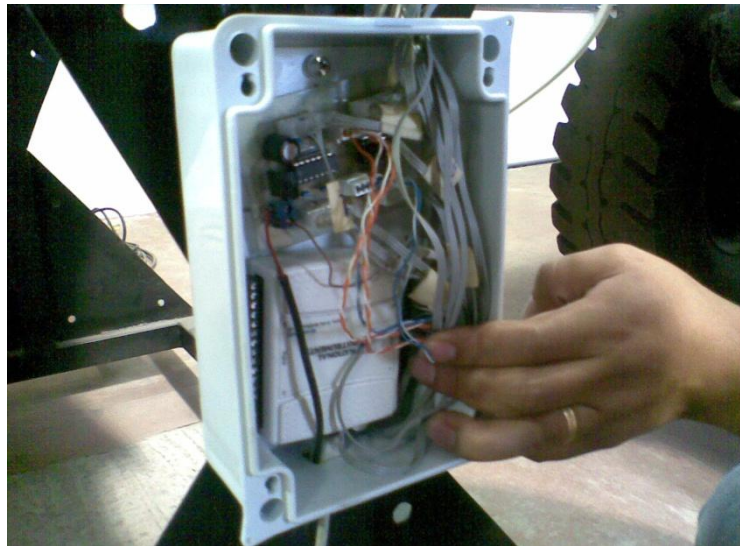


Figura 4. 48 Conectando de placa al NI USB 6009 y al computador

#### 4.13.- ENSAMBLE FINAL DEL TÚNEL DE VIENTO



Figura 4. 49 Túnel de viento subsónico

# **CAPÍTULO V**

## **PRUEBAS Y RESULTADOS**

### **5.1.- INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN**

#### **A. DESCRIPCIÓN**

- El diseño y construcción del Túnel de viento subsónico se describe como un equipo didáctico, en lo concerniente a la aerodinámica del automóvil.
- Diseñado para realizar pruebas de aerodinámica en autos a escala, facilita valores de presión, velocidad por medio de software.
- En general permite ampliar los conocimientos del estudio de la aerodinámica del automóvil.

#### **B. SEGURIDAD**

- Use ropa adecuada de trabajo, gafas de protección, protección auditiva.
- Mantenerse a una distancia segura y prudencial.
- Antes de la operación asegúrese de verificar la instalación eléctrica (220v), y cualquier artículo que puede estar sobre el túnel de viento.
- No trabaje con piso resbaloso
- El espacio debe estar libre de escombros.

## C. FUNCIONAMIENTO

El sistema funciona de la siguiente manera;

- Se debe disponer del espacio suficiente, libre de objetos que repercutan con el flujo de aire.
- Revisar rápidamente conexiones bien sujetas tanto del motor trifásico, cable USB, conexiones en la tarjeta y modelo de prueba.
- Abrir LABVIEW y cargar programa de nombre primero.vi
- Presionar en el swich de mando del motor posición **ON**, dando inicio a la succión
- Esperar unos 40 segundos mientras se estabiliza el flujo de aire dentro del túnel
- Ir a la ventana de LABVIEW y presionar **RUN**
- Presionar grabar y detener según el usuario
- Presionar en el swich de mando del motor posición **OFF**, dando fin a la succión
- Terminada la práctica desconectar y recoger cables del motor trifásico, cable USB, conexiones en la tarjeta

## 5.2.- PRUEBAS

Las pruebas que se puede realizar en el túnel son visuales y teórico practico. En visual se puede mirar el comportamiento del flujo de aire alrededor del perfil de prueba por medio de hilos adheridos al mismo. En teórico práctico se puede comparar valores obtenidos del software versus teóricos

### 5.2.1.-GUÍA PRÁCTICA

#### **OBJETIVO GENERAL:**

- Realizar un análisis teórico práctico de los fenómenos aerodinámicos a los que es sometido un automóvil.

#### **OBJETIVOS:**

- Analizar la incidencia de presiones alrededor de un perfil aerodinámico de un automóvil.
- Indagar las distintas velocidades que se producen en el perfil del automóvil.
- Comprobar la ecuación de Bernoulli.
- Comprobar la ecuación de la continuidad
- Preparar al alumno mediante programas y manuales técnicos el uso en condiciones reales.

#### **EQUIPO Y MATERIALES:**

#### **TÚNEL DE VIENTO**

**Descripción:** Una gran cantidad de viento es arrastrado a través de la sección de trabajo por un ventilador de velocidad uniforme situado en el extremo de salida del túnel. Incorpora un enderezador de flujo tipo panal de abeja en la entrada, y la zona de contracción asegura un flujo de aire bien desarrollado a través de la sección de trabajo.

#### **Especificaciones técnicas:**

Sección transversal de trabajo: 30,20 m x 30,20m

Velocidad máxima del aire: 50 m/s

Dimensiones del túnel de viento: 347,42 m x 93,30 m x 148,19 m

## **ANEMÓMETRO EXTECH**

**Descripción:** El anemómetro es imprescindible, para la adquisición de datos de velocidad de aire en el túnel de viento.



**Figura 1. Anemómetro Extech**

## **SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

**Descripción:** El túnel de viento se suministra con interfaz NI USB-6009 para que pueda ser visualizado desde una PC con el programa de labVIEW

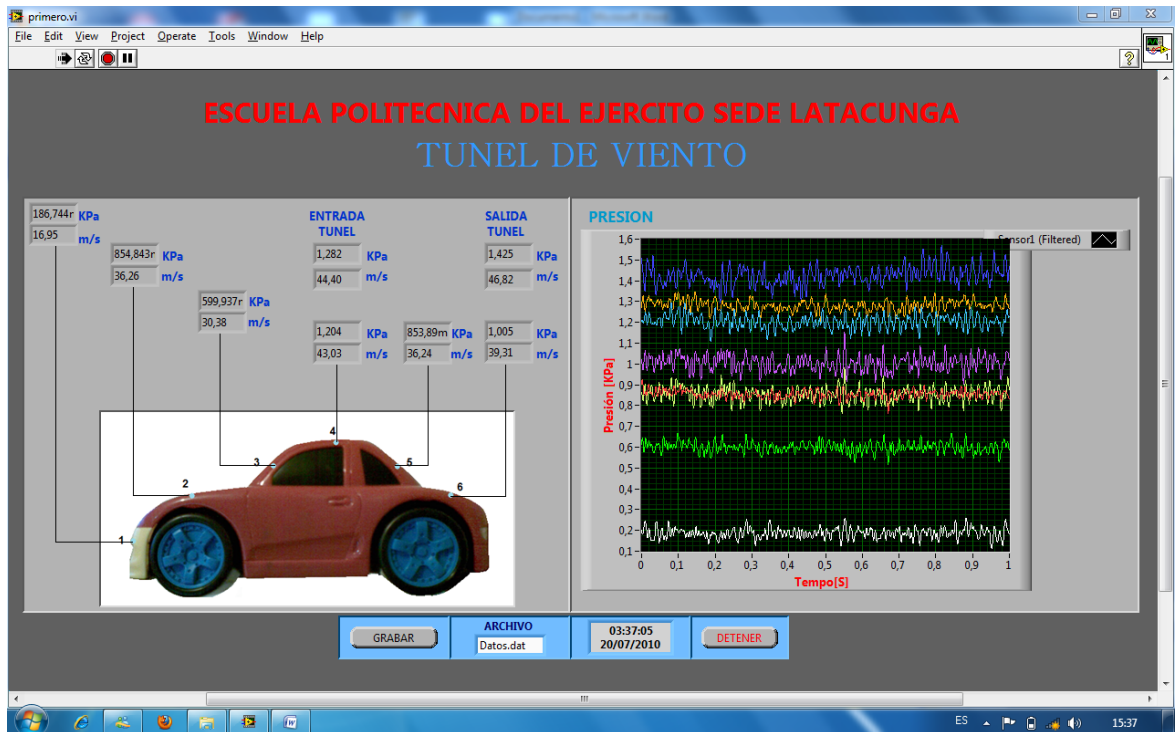


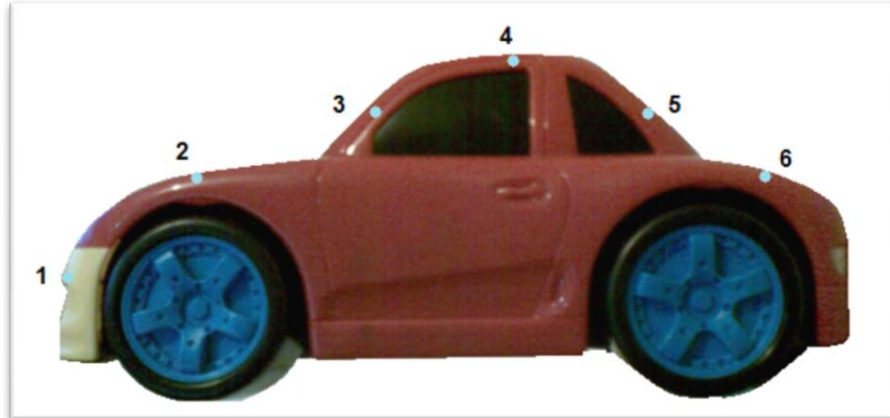
Figura 2. Ventana de LAVBIEW

## MODELO DE PRUEBA

**Descripción:** es un automóvil a escala de largo 27,50 cm que contiene seis puntos de lectura de presiones

### Especificaciones técnicas:

Dimensión del área transversal: ancho 14,00 cm x alto 11,50 cm



**Figura 3. Modelo de prueba**

### **PROCEDIMIENTO:**

- Preparar el equipo (verificar mangueras debidamente sujetas a los sensores dentro y fuera del modelo de prueba, luego inspeccionar posibles conexiones flojas de la placa a los sensores, y de la tarjeta NI USB-6009 a la placa)
- Conectar cable de alimentación de la placa
- Conectar cable de alimentación del motor trifásico
- Conectar cable USB de la tarjeta NI USB-6009 al computador
- Abrir ventana de LABVIEW Instruments – primero.vi
- Armar el equipo, fijar y controlar que no esté nada desprendido.
- Dar giro al ventilador desde el interruptor en posición ON.
- Esperar unos treinta segundos para que el flujo del aire que atraviesa el túnel sea estable.
- Correr el programa por medio de la tecla RUN y grabar, detener al momento de tener datos.
- Tomar lectura de cada uno de los seis sensores del perfil del automóvil que se encuentra en la pantalla de LABVIEW
- Seguidamente tomamos lecturas con el anemómetro en forma matricial en la entrada de la zona de contracción y salida del silenciador.



## DESPUES DEL PERÍODO DE LABORATORIO

- Completar los cálculos
- Trazar curva de Presión dinámica y velocidad del perfil del modelo de prueba
- Debatir y formular conclusiones

## TABLA DE NOMENCLATURAS

TIPO	SÍMBOLO	UNIDADES
Caudal	$Q$	$m^3/s$
Área	$A$	$m^2$
Presión	$P_A$	$N/m^2$
Temperatura del aire	$T_A$	$^{\circ}C$
Velocidad	$V_2$	$m/s$
Densidad del aire	$\rho$	$Kg/cm^3$
Viscosidad del aire	$\mu$	$Kg/ms$
Número de Reynolds ( $\rho Vd/u$ )	$Re$	

## TABLA DE VALORES DE PRESIONES Y VELOCIDADES

PRESIONES (Pa)	SENSOR	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7
	1	184,01	173,52	186,74	168,38	177,52	216,00	229,86
2	852,98	849,44	854,84	823,06	833,73	845,44	826,56	
3	596,38	597,04	599,94	572,52	585,05	604,29	605,95	
4	1197,00	1197,00	1204,00	1162,00	1168,00	1173,00	1149,00	
5	847,48	849,06	853,89	824,94	832,73	884,41	863,36	
6	999,94	1003,00	1005,00	974,59	985,30	1016,00	1000,00	
7 in	1281,00	1279,00	1282,00	1240,00	1253,00	1203,00	1175,00	
8 out	1415,00	1424,00	1425,00	1355,00	1382,00	1339,00	1259,00	

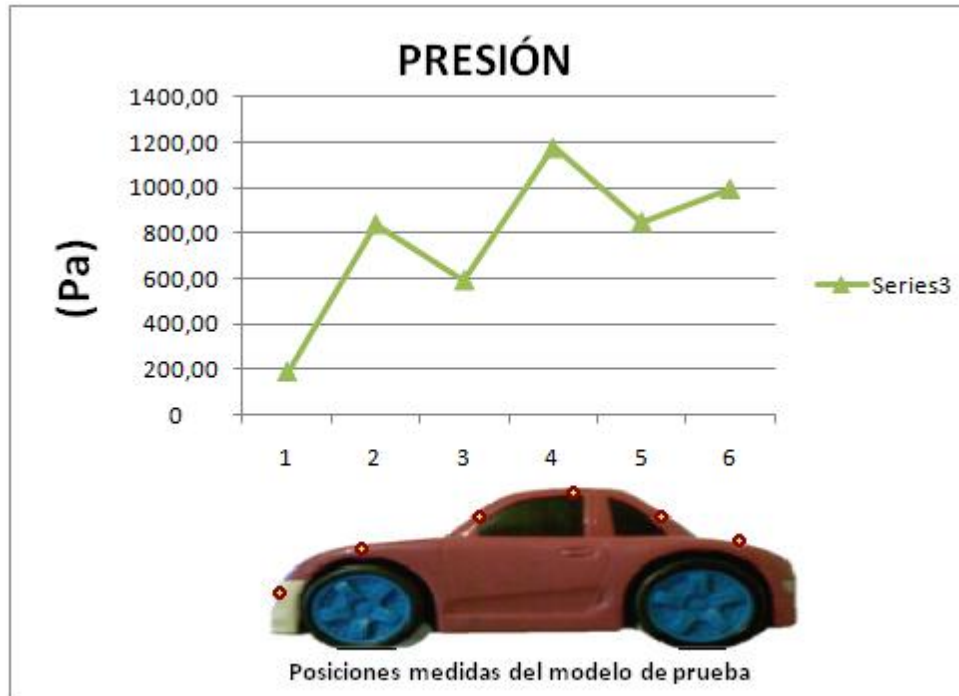
VELOCIDAD (m/s)	SENSOR	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7
	1	16,83	16,34	16,95	16,09	16,53	18,23	18,81
	2	36,23	36,15	36,26	35,58	35,81	36,06	35,66
	3	30,29	30,31	30,38	29,68	30	30,49	30,53
	4	42,91	42,91	43,03	42,28	42,4	42,49	42,04
	5	36,11	36,14	36,24	35,63	35,79	36,89	36,45
	6	39,22	39,29	39,31	38,72	38,93	39,53	39,23
	7 in	44,39	44,36	44,4	43,68	43,9	43,02	42,52
	8 out	46,65	46,81	46,82	45,66	46,11	45,39	44,01

Solución, valores promedio de cada una de las lecturas de los sensores

$Presión\ dinámica = \frac{\rho v^2}{2}$		
SENSOR	Pr dinámica (Pa)	Velocidad (m/s)
1	190,86	17,11
2	840,86	35,96
3	594,45	30,24
4	1178,57	42,58
5	850,84	36,18
6	997,69	39,18
7 in	1244,71	43,75
8 out	1371,29	45,92

**Distribución de presiones alrededor del perfil del automóvil de prueba**

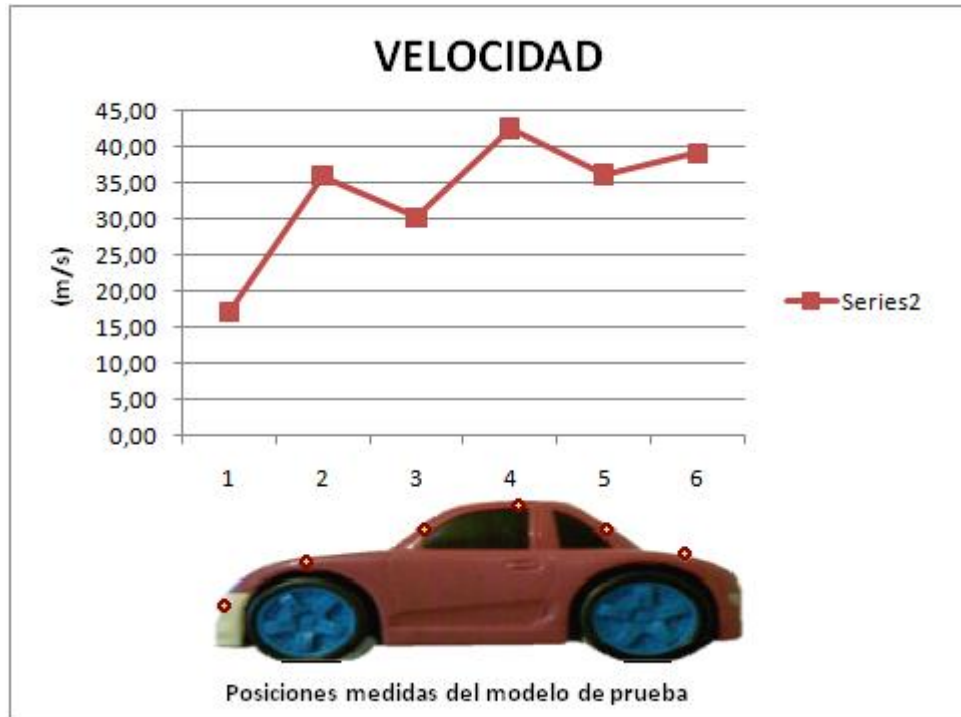
VALORES PROMEDIO DE PRESIÓN DINÁMICA (Pa)					
1	2	3	4	5	6
190,86	840,86	594,45	1178,57	850,84	997,69



La Presión Dinámica viene ligada a la velocidad de aire por la fórmula, en esta gráfica la presión dinámica varía según la tendencia de impacto del aire sobre el perfil del automóvil de prueba, si es perpendicular al flujo la presión dinámica es menor o si es paralelo al flujo la presión dinámica es mayor como se puede ver  $P_4$  y  $P_3 > P_1$  y  $P_3$ . Para los puntos  $P_5$  y  $P_6$  la presión dinámica tiene que ver directamente con el desprendimiento de la capa límite.

### Distribución de velocidades alrededor del perfil del automóvil de prueba

VALORES PROMEDIO DE LA VELOCIDAD (m/s)					
1	2	3	4	5	6
17,11	35,96	30,24	42,58	36,18	39,18



#### NÚMERO DE REYNOLDS:

$$D_h = \frac{4 a^2}{4 a} = a \quad (5.1)$$

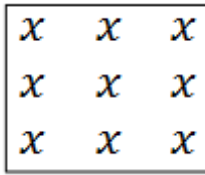
$$Re = \frac{\rho V_s D}{\mu} \quad (5.2)$$

$$Re = \frac{\left(0.8618 \frac{Kg}{m^3}\right) \left(50 \frac{m}{s}\right) (0,3 m)}{0,0000181 \frac{Kg}{m s}}$$

$$Re = 714198,89$$

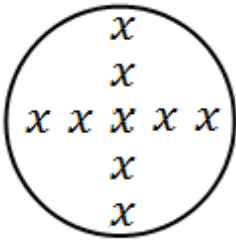
Por lo tanto el flujo es turbulento en esta sección.

Lecturas del anemómetro en la entrada de la zona de contracción.



Valor promedio de la velocidad  $6,20 \frac{m}{s}$

Lecturas del anemómetro en la salida del silenciador.



Valor promedio de la velocidad  $22,70 \frac{m}{s}$

Comprobar la ecuación de la continuidad en los tramos del túnel de viento

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{constante} \quad (5.3)$$

$$A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3 = \text{constante} \quad (5.4)$$

$Q_1$  Valores medidos en la entrada de la zona de contracción

$Q_2$  Valores medidos en la zona de pruebas

$Q_3$  Valores medidos en la salida del silenciador

$$A_{\text{contracción}} = b \times h = 0,88m \times 0,88m = 0,774m^2$$

$$A_{\text{zona de prueba}} = b \times h = 0,3m \times 0,30m = 0,09m^2$$

$$A_{\text{silenciador}} = \pi r^2 = 3,14 \times 0,2435^2 m^2 = 0,186 m^2$$

$$Q_1 = A_1 V_1 = 0,77 m^2 \times 6,20 \frac{m}{s} = 4,77 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = A_2 V_2 = 0,09 m^2 \times 49 \frac{m}{s} = 4,41 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_3 = A_3 V_3 = 0,186 m^2 \times 22,70 \frac{m}{s} = 4,22 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{están entre } 4,22 \text{ a } 4,77 \frac{m^3}{s}$$

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1.- CONCLUSIONES

Mediante el análisis de resultados conseguidos en el proyecto y estudio se llego a las siguientes conclusiones.

- Se logró diseñar y construir un túnel de viento subsónico para el estudio del comportamiento aerodinámico.
- Se diseño un cuerpo de prueba para el estudio de la aerodinámica.
- Los valores de velocidad máxima del túnel de viento real alcanzan velocidades hasta de 47 m/s mientras que en el diseño en 3d modelado en solidworks y simulado en Floworks es de 50 m/s.
- Se diseño un sistema preciso de toma y adquisición de datos.
- El túnel construido es una valiosa herramienta didáctica la cual facilitó el estudio y comprensión en el campo de la aerodinámica.
- El desempeño aerodinámico de los coches está directamente relacionado con su rendimiento, estabilidad, adherencia al suelo y es una de las claves en la reducción del consumo de combustible.
- A medida que el perfil es más aerodinámico las fuerzas que actúan en el disminuyen.
- Se pudo comprobar en la práctica la ecuación de la continuidad relacionando la sección en la entrada del cono de contracción, en la zona de pruebas y en la salida del difusor. Dando resultados de caudal muy cercanos.
- Hay que tener en cuenta que un diseño optimizado en un túnel de viento con un modelo a escala será bastante conservador, lo que significa que será posible obtener todavía mejores resultados en el vehículo real.

## 6.2.- RECOMENDACIONES

Se recomienda antes de empezar la práctica en el túnel de viento lo siguiente.

- Se debe observar que ningún cuerpo este suelto en la zona de prueba, ya que puede ser aspirado y causar daños.
- Utilizar por seguridad gafas de protección y tapones de oído.
- Verificar que las conexiones y elementos del circuito estén debidamente conectados, ya que alguna caída o golpe puede causar un defecto en los sensores.
- Tener cuidado al momento de retirar y ubicar la zona de prueba con el modelo de estudio, debido a su fragilidad.
- Ubicar el túnel de viento de tal manera no tenga obstrucción de flujo por la entrada y salida del túnel.
- En la adquisición de datos se debe apagar y encender el conjunto motor hélice para capturar lecturas de los sensores en el monitor las veces que sea necesario.
- Se recomienda adquirir una máquina de humo para realizar pruebas visuales en el perfil del modelo de prueba.
- Crear más modelos de vehículos a escala, los cuales sirvan para instalarse dentro la toma para cada uno de los sensores.
- Comprar un variador de velocidad, para trabajar con el motor a distintas velocidades.



## **BIBLIOGRAFÍA.**

- MOTT ROBERT, Mecánica de Fluidos, 6<sup>ta</sup> Edición
- STREETER VICTOR, Mecánica de los Fluidos, 8<sup>va</sup> Edición
- MATAIX CLAUDIO, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2<sup>da</sup> Edición
- FOX ROBERT W, Introducción a la Mecánica de Fluidos, 4<sup>ta</sup> Edición
- MCBEATH SIMON , Aerodinámica del Automóvil de Competición, 1<sup>ra</sup> Edición
- Fuente bibliográfica del Internet.
- [www.datasheetcatalog.org](http://www.datasheetcatalog.org)
- [www.weg.org](http://www.weg.org)
- [www.nationalinstruments.org](http://www.nationalinstruments.org)
- [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)
- [www.manuales-pdf.com](http://www.manuales-pdf.com)

# **ANEXOS**

**ANEXO A**

**“PLANOS”**

















































## **ANEXO B**

# **“ESPECIFICACIONES DEL MOTOR WEG”**

# Motores Trifásicos Cerrados W21 - Eficiencia Estándar



## Características Estándar

- Motores Trifásicos, IP55 (IEC-34), TCVE
- Tensiones Nominales: 220/380V hasta carcasa 100, 380/660V carcasa 112 arriba
- Formas constructivas: B31
- Carcasa de Hierro Gris (63 hasta 355M/L)
- Potencias: 0,16 hasta 500Hp
- \* Rotor de jaula de Ardilla/Aluminio Inyectado
- Sello V'Ring en las tapas
- Drenos automáticos de plástico
- Chapa de identificación en acero inoxidable
- Diseño / Categoría N
- Clase de Aislamiento "F" ( T=80K)
- Servicio Continuo - S1
- Factor de Servicio (Fs): 1.5 hasta 200L – 1.00
- Carcazas 225 hasta 355.
- Temperatura Ambiente 40°C , 1000 a.d.n.m.
- Sistema de reengrase para carcazas 225S/M y superiores
- Placa de Conexiones (6 terminales)
- Termistores PTC (1 por fase) para carcazas 225S/M y superiores
- Apto para operar con drives(1)
- Pintura: RAL 5007 (azul) Plan de pintura 201

<sup>(1)</sup>Para tensiones hasta 460V y rango de frecuencias desde 25 hasta 50Hz, pero el  $\Delta T$  cambia de 80K para 105K

## Opcionales Disponibles:

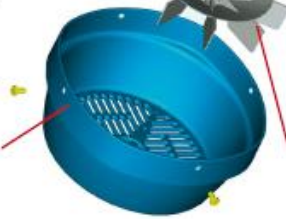
- Grado de Protección: IP56, IP65, IP66 o IPW
- Sello Brida FF, FC, Fcoin (63 hasta 132M).
- Lip seal
- Oil seal
- Laberinto Taconite y W3 Seal para carcazas 90S y arriba
- Protección Térmica:
  - Termistores: carcazas 132M y arriba
  - Termostatos
  - RTD-PT 100
- Resistencias de calefacción
- Diseño H
- Aislación Clase "H"
- Rodamientos de rodillos para carcazas 160M y arriba
- Otras Formas Constructivas
- Otros opcionales más, bajo consulta

## Aplicaciones Típicas:

- Bombas
- Ventiladores
- Chancadores
- Cintas transportadoras
- Máquinas de Herramientas
- Molinos
- Máquinas Centrifugas
- prensas
- Ascensores
- Teares
- Rectificadoras
- Madereras
- Refrigeración
- Equipos de Empaquetamiento
- Otras Aplicaciones Severas

### Deflector de Aire

Hecho con chapa de acero para las carcasa 90S hasta 132M y hierro gris para carcasa 160M y arriba. Ofrece una alta rigidez mecánica, resistencia contra la corrosión y vida útil alargada.

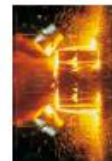


### Ventilador

WEG ha diseñado un sistema de ventilación para producir uno de los más silenciosos motores del mercado. Los ventiladores son completamente intercambiables, con bajas pérdidas mecánicas lo que asegura una refrigeración eficiente, una baja elevación de temperatura y una mejor eficiencia del motor. La línea WEG1 es proveída con ventiladores de Polipropileno anti-estático desde la carcasa 90S hasta 315S/M y ventiladores de aluminio para la carcasa 355M/L. Ventiladores de hierro gris o aluminio pueden ser proveídos bajo consulta para todos los tamaños de carcasa.

### Caja de Conexiones

Producida en hierro gris con excelente espacio interno. Ella puede ser rotada en intervalos de 90 grados, teniendo uno o dos agujeros roscados para conectar los ductos o prensa cables.  
\* Disponibles en el topo o lateralmente armados.



### Carcasa

Los motores WEG son producidos de hierro gris FC-200 de alta resistencia (misma densidad de los motores a prueba de explosión). Las carcasa con cumbricitadas con aletas lo que produce una mejor disipación de calor y son adecuadamente espaciadas para minimizar el bloqueo del aire por acumulación de suciedad. Los motores pueden ser armados en cualquier posición, horizontal o vertical, proviniendo la máxima confiabilidad radial y axial.

### Estator

Hecho con chapas de baja pérdida para lograr mayor eficiencia. Las chapas magnéticas son termo-químicamente tratadas para mejorar las características eléctricas, reduciendo pérdidas eléctricas y la temperatura de operación. Garantiza alta eficiencia y larga vida del motor.

### Placa de Identificaciones

Chapa de identificación en acero inoxidable contiene un registro completo y permanente de todos los datos del motor, para futuras consultas.

### Embobinado

Sistema de Aislamiento especial para soportar los picos de tensión causados por el uso de convertidores. Utiliza alambres esmaltados con clase H y el embobinado es impregnado por el proceso de inmersión y horno (carcasas 90 hasta 200L) y con flujo continuo de resina (carcasas 225S/M hasta 355M/L). Suministrado en forma estándar con sistema de aislamiento reforzado estándar.

### Robor

Las ventajitas del rotor con barras inyektadas en aluminio son: baja inercia, alto par de arranque y alta rigidez mecánica entre otras. Son producidos con chapas de acero de bajas pérdidas magnéticas. Las cuales son termo químicamente tratadas para mejorar la eficiencia y minimizar el estrés mecánico.

### Eje

WEG utiliza el acero SAE/AISI 1040/45 como estándar lo cual provee alta resistencia mecánica, evitando flexiones del eje bajo carga y minimizando la fatiga. Lo que aumenta la vida útil. Para la carcasa 355 M/L el material utilizado es el acero 4140 combinado con rodamiento de rodillos.

### Tapas

Hechas en hierro gris, suministradas con aletas externas para mejor disipación de temperatura, que terminan por aumentar la vida útil de los rodamientos.

### Sellos

Los Motores WEG son equipados con sellos y ring y pueden opcionalmente venir equipados con sellos tipo: Oil seal, Lip seal y Laberinto Taconite para proveer una mejor protección posible para las diversas aplicaciones.

### Dreño

Proveídos con pines de dreño plástico permitiendo el drenaje del agua condensada.

### Rodamientos

Los motores WEG son proveídos con rodamientos de la más alta calidad seleccionados entre los mejores fabricantes mundiales y diseñados para garantizar una larga vida al motor mismo bajo condiciones de trabajo más duras. Los motores pueden ser armados en cualquier posición, horizontal o vertical, proviniendo la máxima confiabilidad radial y axial.





# Uso General - W21

## Eficiencia Estándar

Potencia	Carcaza IEC		RPM	Corriente nominal en 220V A	Corriente a rotor bloqueado Ip / In	Par Nominal Cn (NM)	Par a rotor bloqueado Cp / Cn	Momento máximo Cmax. Cn	220 V						Factor de servicio F.S.	Momento de Inercia J kgm²	Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frío (s)	Peso aprox. (kg)
									Rendimiento %			Factor de Potencia Cos φ						
									% de la potencia nominal									
kW	HP	50	75	100	50	75	100											
<b>II Polos - 3600 rpm</b>																		
0,12	0,16	63	3420	0,774	5,3	0,33	4	4	45	53	58,1	0,53	0,63	0,7	1,15	0,0001	21,46	6,3
0,18	0,25	63	3390	1,02	4,7	0,52	3	3,4	52	58	61,9	0,6	0,68	0,75	1,15	0,00012	16,95	6,5
0,25	0,33	63	3390	1,34	5	0,68	3,2	3	54,2	59	62,9	0,62	0,72	0,78	1,15	0,00014	12,26	6,8
0,37	0,5	63	3360	1,71	5,5	1,05	3,2	3,2	55,2	65,5	68,4	0,6	0,73	0,83	1,15	0,00019	9,20	7,4
0,25	0,33	71	3430	1,24	6,3	0,68	3	3	55	62,5	63,9	0,65	0,75	0,83	1,15	0,00033	13,29	9,5
0,37	0,5	71	3420	1,7	6,3	1,03	3	3,2	60	65	68	0,63	0,76	0,84	1,15	0,00033	7,15	9,3
0,55	0,75	71	3400	2,39	6,2	1,55	2,9	3,1	63,2	68,5	71	0,64	0,77	0,85	1,15	0,00037	8,18	9,6
0,75	1	71	3425	3	7,2	2,05	3,5	3,6	70	74	77,1	0,68	0,78	0,85	1,15	0,00052	9,20	10,3
0,55	0,75	80	3400	2,38	6,7	1,55	2,6	2,7	65	70,4	71,3	0,7	0,81	0,85	1,15	0,00067	8,18	12
0,75	1	80	3405	2,97	7	2,06	3	3,4	69,5	74	77,1	0,74	0,83	0,86	1,15	0,00079	11,24	13,4
1,1	1,5	80	3395	4,42	7	3,1	3,5	3,1	75	78,2	78,6	0,65	0,76	0,83	1,15	0,00074	11,24	13,1
1,5	2	80	3370	5,64	6,9	4,17	3,4	3	78,5	81	81,1	0,69	0,8	0,86	1,15	0,00085	9,20	14,6
1,1	1,5	90S	3440	4,22	7	3,06	2,5	3	72,5	76,5	78,6	0,75	0,83	0,87	1,15	0,00157	7,15	17,4
1,5	2	90S	3450	5,64	7,5	4,07	2,7	3,2	75,5	79	81,1	0,73	0,82	0,86	1,15	0,00157	11,24	17,9
2,2	3	90S	3490	8,42	6,7	6,11	3	3	78,5	80,7	81,6	0,66	0,77	0,84	1,15	0,00205	5,11	19,3
2,2	3	90L	3450	8,42	6,7	6,11	3	3	78,5	80,7	81,6	0,66	0,77	0,84	1,15	0,00205	5,11	19,4
3	4	90L	3450	11,4	7,6	8,14	3,3	3,6	82,9	84,5	83,9	0,65	0,76	0,82	1,15	0,00266	4,9	22,8
3	4	100L	3490	10,8	7,5	8,05	2,8	3,2	78,5	81,5	83	0,75	0,84	0,88	1,15	0,0056	8,18	29,5
3,7	5	100L	3485	13	8,5	10,08	3,2	4	82	84,8	85,6	0,73	0,82	0,87	1,15	0,00561	8,18	32,1
3,7	5	112M	3470	12,9	7,3	10,12	2,2	2,7	82	84	85,1	0,8	0,87	0,89	1,15	0,00727	9,20	39,2
4,5	6	112M	3465	16,1	7	12,16	2,5	3,2	83,5	84,8	85,1	0,7	0,81	0,86	1,15	0,0065	13,29	38,3
5,5	7,5	112M	3500	19,1	8	15,05	2,6	3,4	84	86,2	86,7	0,72	0,8	0,87	1,15	0,00842	11,24	41
5,5	7,5	132S	3500	18,7	6,5	15,05	2	2,9	83	85,5	86,5	0,79	0,86	0,89	1,15	0,01682	24,53	55,3
7,5	10	132S	3530	25,5	8	19,9	2,7	3,3	84,8	87	87,6	0,75	0,85	0,88	1,15	0,02243	16,95	61,5
7,5	10	132M	3530	25,5	8	19,9	2,7	3,3	84,8	87	87,6	0,75	0,85	0,88	1,15	0,02243	16,95	63,6
9,2	12,5	132M	3520	31,2	7,5	24,94	2,4	3	86,5	87,8	88	0,77	0,84	0,88	1,15	0,0215	13,29	67
11	15	132M	3520	37,4	8,2	29,93	2,6	3,3	85,5	87,5	87,8	0,75	0,84	0,88	1,15	0,02804	7,15	71,2
11	15	160M	3540	37,9	7,5	29,76	2,3	3	83	86,5	87,6	0,75	0,83	0,87	1,15	0,03824	14,91	99,5
15	20	160M	3535	50,3	7,2	39,74	2,3	3	87	89	89	0,78	0,85	0,88	1,15	0,04706	12,26	106
18,5	25	160M	3525	61,6	8	49,82	2,4	2,8	88	89,5	89,6	0,78	0,85	0,88	1,15	0,05295	12,26	115,9
18,5	25	160L	3525	61,6	8	49,82	2,4	2,8	88	89,5	89,6	0,78	0,85	0,88	1,15	0,05295	12,26	118,4
22	30	160L	3530	72,1	8,5	59,69	2,5	3	90,2	91	91	0,78	0,85	0,88	1,15	0,06471	11,24	130,5
22	30	180M	3540	73,2	7,5	59,53	2,6	3,2	87	88,5	89,6	0,79	0,85	0,88	1,15	0,09648	11,24	158
30	40	200L	3550	99	6,5	79,14	2,7	2,7	88,5	90	90,4	0,8	0,86	0,88	1,15	0,17043	15,93	213
30	40	200M	3550	99	6,5	79,14	2,7	2,7	88,5	90	90,4	0,8	0,86	0,88	1,15	0,17043	15,93	201,8
37	50	200L	3555	120	7,5	98,79	3	2,9	90	91,5	92,2	0,81	0,86	0,88	1,15	0,2063	23,51	239,3
37	50	200M	3555	120	7,5	98,79	3	2,9	90	91,5	92,2	0,81	0,86	0,88	1,15	0,2063	23,51	240
45	60	200L	3565	148	7,5	118,22	2,8	2,8	91,7	92,5	93	0,73	0,82	0,86	1,15	0,22424	19,42	264,5
37	50	225SM	3565	120	8,2	98,51	2,6	3,3	87	90	91,6	0,82	0,87	0,88	1,00	0,30495	17,97	342,8
45	60	225SM	3560	142	8	118,38	2,6	3	89,2	91,6	92,5	0,81	0,87	0,9	1,00	0,34083	21,46	356,8
55	75	225SM	3560	173	8	147,98	2,6	3	90	92,3	92,8	0,81	0,88	0,9	1,00	0,44846	16,95	399,8
55	75	250SM	3560	173	8	147,98	2,6	3	90	92,3	92,8	0,81	0,88	0,9	1,00	0,44846	16,95	429,8
75	100	250SM	3560	231	8,2	197,3	3	3,3	92	93,2	93,6	0,82	0,88	0,91	1,00	0,50227	13,29	445,1
75	100	280SM	3575	234	7,7	196,47	2,2	2,9	90	92,2	93,5	0,83	0,88	0,9	1,00	1,08256	37,81	658,9
90	125	280SM	3575	286	8,2	245,59	2,8	3	91	92,6	93,7	0,8	0,86	0,88	1,00	1,27083	30,66	689,7
110	150	280SM	3570	344	7,8	295,12	2,5	2,7	91,5	93	93,6	0,82	0,86	0,9	1,00	1,27083	23,51	693,9
110	150	315SM	3570	344	7,8	295,12	2,5	2,7	91,5	93	93,6	0,82	0,86	0,9	1,00	1,27083	23,51	759,2
132	175	315SM	3570	409	7,9	344,31	2,5	2,6	91,5	93,1	94	0,83	0,88	0,9	1,00	1,41204	15,93	751,7
150	200	315SM	3575	464	7,8	392,95	2,6	2,8	92,5	93,5	94,2	0,84	0,88	0,9	1,00	1,64738	19,42	842,3
185	250	315SM*	3575	572	8,5	491,19	2,8	3	92	93,7	94,3	0,82	0,88	0,9	1,00	2,11806	18,40	990
185	250	355ML	3580	566	7,5	490,5	1,8	2,5	90,8	92,9	94,3	0,88	0,9	0,91	1,00	3,67719	70,154	1399
200	270	315SM*	3575	617	8,3	530,48	2,8	2,9	91,5	93,5	94,5	0,82	0,88	0,9	1,00	2,11806	13,29	981
200	270	355ML	3585	608	7,8	529	2,1	2,8	91	92,5	93,8	0,88	0,91	0,92	1,00	4,02193	70,154	1452
220	300	355ML	3580	662	7,2	588,6	1,7	2,5	91	92,7	93,8	0,88	0,91	0,93	1,00	4,36666	70,154	1512
260	350	355ML*	3580	781	7,6	686,7	2,3	2,4	91,8	93,8	94	0,89	0,92	0,93	1,00	5,17105	60,132	1641,5
220	300	315B	3565	733	5,5	591,08	1,5	2,4	90	91,5	92,7	0,7	0,8	0,85	1,00	2,61	30,66	1523,7
260	350	315B	3570	851	7,6	688,62	1,7	2,4	91	92,5	93,2	0,75	0,83	0,86	1,00	2,653	30,66	1335
300	400	315B	3570	976	6,8	787	2	2,7	91,5	93	93,8	0,74	0,83	0,86	1,00	3,067	32,70	1410
330	450	315B*	3575	1060	6,6	884,13	1,9	2,7	92,3	93,6	93,8	0,78	0,85	0,87	1,00	3,3756	16,95	1479,8
370	500	315B*	3575	1260	7,7	982,37	2,5	2,8	94	95	95	0,68	0,77	0,81	1,00	3,7507	26,57	1555,9

\* Aislación clase "F" AT 105K

Notas:

- Para obtener corriente en 380V, multiplicar por 0,577, para obtener 440V, multiplicar por 0,5.
- Las informaciones contenidas en estas hojas están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Para valores garantizados remitirse a la fábrica.
- Carcasas 63 y 71: 220/380V o 440V (conexión estrella)



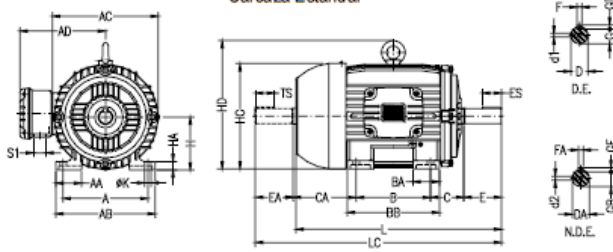
# Uso General - W21

## Eficiencia Estándar - Datos Mecánicos

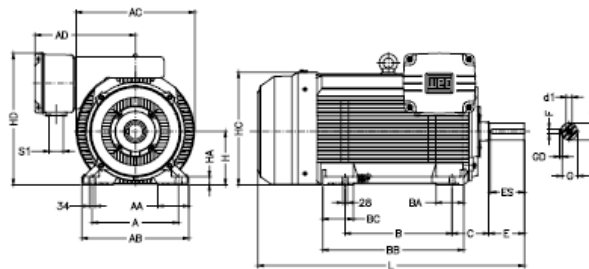
	DIMENSIONES DEL EJE																D1	D2	Rodamientos												
	A	AA	AB	AC	AD	B	BA	BB	C	CA	D	DA	E	EA	ES	F			FA	G	GB	GD	GF	H	HA	HC	HD	K	L	LC	delantero
63	100	21	116	125	119	80	22	95	40	78	116	96	23	20	14	4	3	8.5	7.2	4	3	63	8	124	7	216	241			6201 ZZ	
71	112	30	132	141	127	90	38	113.5	45	88	146	116	30	23	18	5	4	11	8.5	5	4	71	12	139	10	248	276			6203 ZZ	6202 ZZ
80	125	35	149	159	136	100	40	125.5	50	93	196	146	40	30	28	6	5	15.5	11	6	5	80	13	157	10	276	313			6204 ZZ	6203 ZZ
90S	140	38	164	179	155	125	42	131	56	104	246	166	50	40	36	8	5	20	13	7	5	90	15	177	10	304	350			6205 ZZ	6204 ZZ
90L	140	38	164	179	155	125	42	131	56	104	246	166	50	40	36	8	5	20	13	7	5	90	15	177	10	304	350			6205 ZZ	6204 ZZ
100L	160	49	188	199	165	140	50	173	63	118	286	226	60	50	45	8	6	24	18.5	7	6	100	16	198	12	376	431			6206 ZZ	6205 ZZ
112M	190	48	220	222	184	140	55	177	70	128	246	246	60	50	45	8	6	24	18.5	7	6	112	18.5	235	12	393	448			6307 ZZ	6206 ZZ
132S	216	51	248	270	212	178	55	187	89	150	386	286	80	60	63	10	8	33	24	8	7	132	20	274	12	452	519			6308 ZZ	6207 ZZ
132M	216	51	248	270	212	178	55	187	89	150	386	286	80	60	63	10	8	33	24	8	7	132	20	274	12	452	519			6308 ZZ	6207 ZZ
160M	254	64	308	312	255	210	65	254	108	174	426	426	110	110	80	12	12	37	37	8	8	160	22	317	14.5	598	712			DM16	6309 C3
160L	254	64	308	312	255	210	65	254	108	174	426	426	110	110	80	12	12	37	37	8	8	160	22	317	14.5	598	712			DM16	6309 C3
180M	279	80	350	358	275	241	75	294	121	200	486	486	110	110	80	14	14	42.5	42.5	9	9	180	28	360	18.5	664	782			A4	6311 C3
180L	279	80	350	358	275	241	75	294	121	200	486	486	110	110	80	14	14	42.5	42.5	9	9	180	28	360	18.5	664	782			A4	6311 C3
200L	318	82	385	396	300	267	85	370	133	222	556	556	110	110	80	16	16	49	49	10	10	200	30	402	18.5	767	880			A4	6312 C3
200M	318	82	385	396	300	267	85	370	133	222	556	556	110	110	80	16	16	49	49	10	10	200	30	402	18.5	767	880			A4	6312 C3
225SM	356	80	436	476	373	311	105	391	148	280	606	606	140	140	125	18	18	53	53	11	11	225	34	466	18.5	847	995			DM20	6314 C3
250SM	406	100	506	546	419	349	138	449	168	312	656	656	140	140	125	18	18	58	58	11	11	250	42	491	18.5	923	1071			DM20	6316 C3
280SM	457	100	557	600	468	368	142	510	190	350	756	756	140	140	125	20	20	67.5	67.5	12	12	280	42	578	18.5	1036	1188			DM20	6319 C3
315SM	508	120	628	697	506	406	152	558	216	376	806	806	170	170	160	22	22	71	71	14	14	315	52	613	18.5	1156	1308			DM20	6319 C3
355M/L	610	140	750	816	685	500	200	760	254	467	1006	1006	210	170	200	28	28	90	71	16	16	355	50	725	18.5	1466	1661			DM24	DM20
315B	508	182	630	698	590	630	162	830	216													315	47.5	664	18.5	1502				DM24	DM20

Uso General W21

Carcasa Estándar



Carcasa 315



Notas:  
 - Dimensiones en mm.  
 - Las informaciones contenidas en estas hojas están sujetas a modificaciones sin previo aviso.  
 Para valores garantizados remitirse a la fábrica.



## **ANEXO C**

# **“ESPECIFICACIONES DEL SENSOR MPX5010DP”**



## Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX5010 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

### Features

- 5.0% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element
- Temperature Compensated over -40° to +125°C

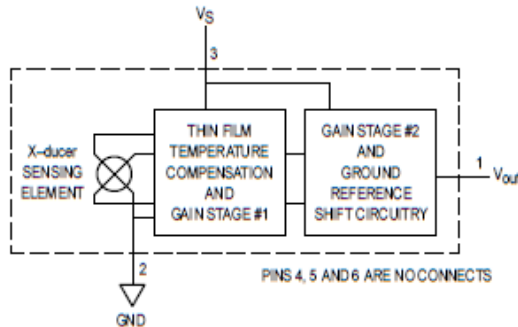


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

### MAXIMUM RATINGS(1)

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Overpressure(2) (P1 > P2)	P <sub>max</sub>	75	kPa
Burst Pressure(2) (P1 > P2)	P <sub>burst</sub>	100	kPa
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-40 to +125	°C

1. T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted.

2. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

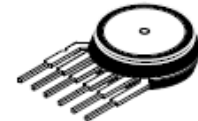
Senseon and X-ducer are trademarks of Motorola, Inc.

REV 2

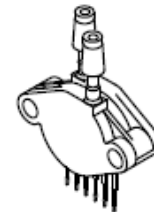
© Motorola, Inc. 1997

## MPX5010 SERIES

INTEGRATED  
PRESSURE SENSOR  
0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)  
0.2 to 4.7 V OUTPUT



BASIC CHIP  
CARRIER ELEMENT  
CASE 867-08, STYLE 1



DIFFERENTIAL  
PORT OPTION  
CASE 867C-05, STYLE 1

### PIN NUMBER

Pin	Function	Pin	Function
1	V <sub>out</sub>	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V <sub>S</sub>	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the Lead.

## MPX5010 SERIES

### OPERATING CHARACTERISTICS ( $V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$ )

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range <sup>(1)</sup>	$P_{OP}$	0	—	10	kPa
Supply Voltage <sup>(2)</sup>	$V_S$	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	$I_o$	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset <sup>(3)</sup> @ $V_S = 5.0$ Volts	$V_{off}$	0	0.2	0.425	Vdc
Full Scale Output <sup>(4)</sup> @ $V_S = 5.0$ Volts	$V_{FSO}$	4.475	4.7	4.925	Vdc
Full Scale Span <sup>(5)</sup> @ $V_S = 5.0$ Volts	$V_{FSS}$	—	4.5	—	Vdc
Accuracy <sup>(6)</sup>	—	—	—	$\pm 5.0$	% $V_{FSS}$
Sensitivity	V/P	—	450	—	mV/kPa
Response Time <sup>(7)</sup>	$t_R$	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	$I_{O+}$	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time <sup>(8)</sup>	—	—	20	—	ms
Offset Stability <sup>(9)</sup>	—	—	$\pm 0.5$	—	% $V_{FSS}$

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	—	—	4.0	—	Grams
Common Mode Line Pressure <sup>(10)</sup>	—	—	—	690	kPa

#### NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset ( $V_{off}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output ( $V_{FSO}$ ) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span ( $V_{FSS}$ ) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at  $25^\circ\text{C}$ .
  - TcSpan: Output deviation over the temperature range of  $0^\circ$  to  $85^\circ\text{C}$ , relative to  $25^\circ\text{C}$ .
  - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of  $0^\circ$  to  $85^\circ\text{C}$ , relative to  $25^\circ\text{C}$ .
  - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of  $V_{FSS}$ , at  $25^\circ\text{C}$ .
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.
- Common mode pressures beyond what is specified may result in leakage at the case-to-lead interface.



**ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION, CALIBRATION AND SIGNAL CONDITIONING**

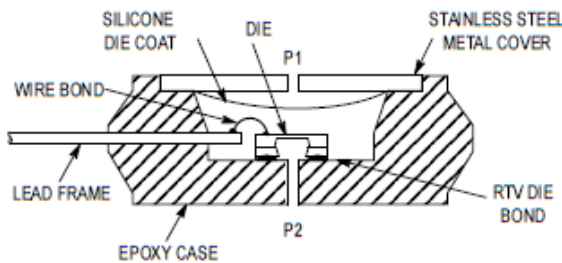
Figure 2 illustrates the Differential/Gauge Sensing Chip in the basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm.

The MPX5010 series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information

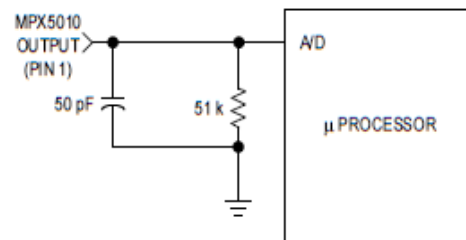
regarding media compatibility in your application.

Figure 3 shows a typical decoupling circuit for interfacing the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor. Proper decoupling of the power supply is recommended.

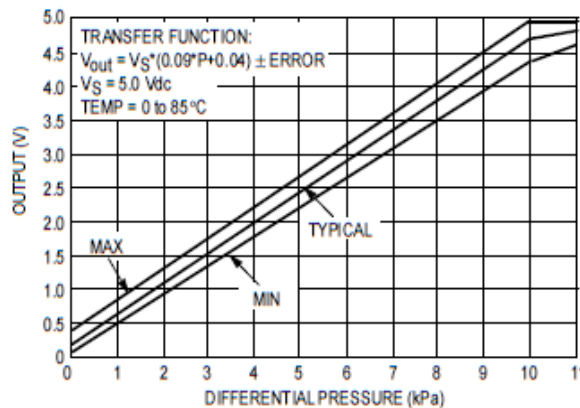
Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C using the decoupling circuit below. (The output will saturate outside of the specified pressure range.)



**Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)**



**Figure 3. Typical Decoupling Filter for Sensor to Microprocessor Interface**



**Figure 4. Output versus Pressure Differential**

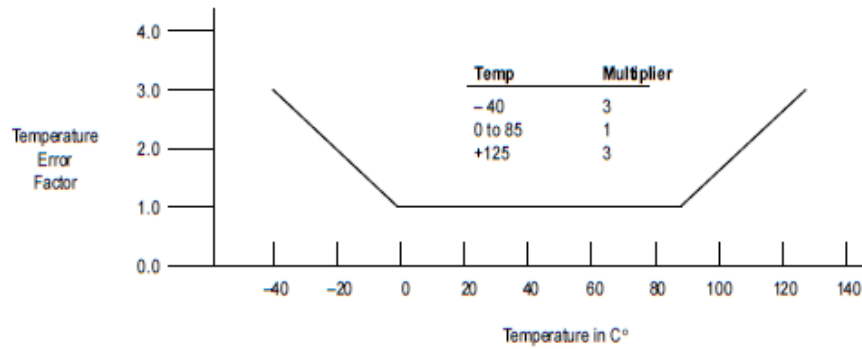
## MPX5010 SERIES

### Transfer Function (MPX5010D)

**Nominal Transfer Value:**  $V_{out} = V_S \times (0.09 \times P + 0.04)$   
 $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.09 \times V_S)$   
 $V_S = 5.0 \text{ V} \pm 0.25 \text{ Vdc}$

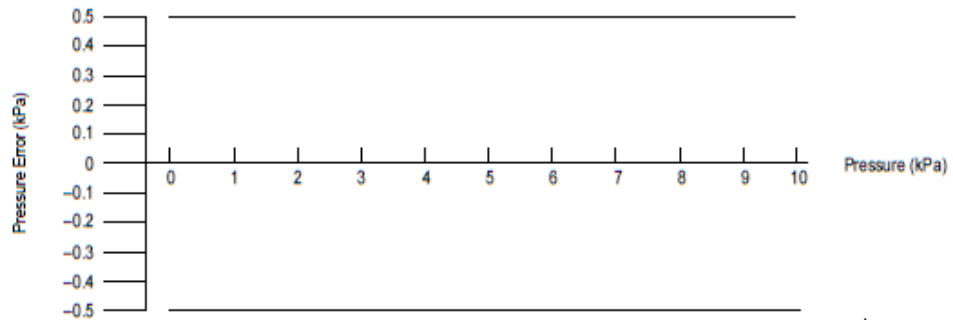
### Temperature Error Band

#### MPX5010D Series



NOTE: The Temperature Multiplier is a linear response from 0° to -40°C and from 85° to 125°C.

### Pressure Error Band



Pressure	Error (Max)
0 to 10 kPa	±0.5 kPa

**MPX5010 SERIES****PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE**

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing fluoro silicone gel which protects the die from harsh media. The Motorola MPX

pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied,  $P1 > P2$ .

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX5010D	867-08	Stainless Steel Cap
MPX5010DP	867C-05	Side with Part Marking
MPX5010GP	867B-04	Side with Port Attached
MPX5010GVP	867D-04	Stainless Steel Cap
MPX5010GS	867E-03	Side with Port Attached
MPX5010GVS	867A-04	Stainless Steel Cap
MPX5010GSX	867F-03	Side with Port Attached
MPX5010GVSX	867G-03	Stainless Steel Cap

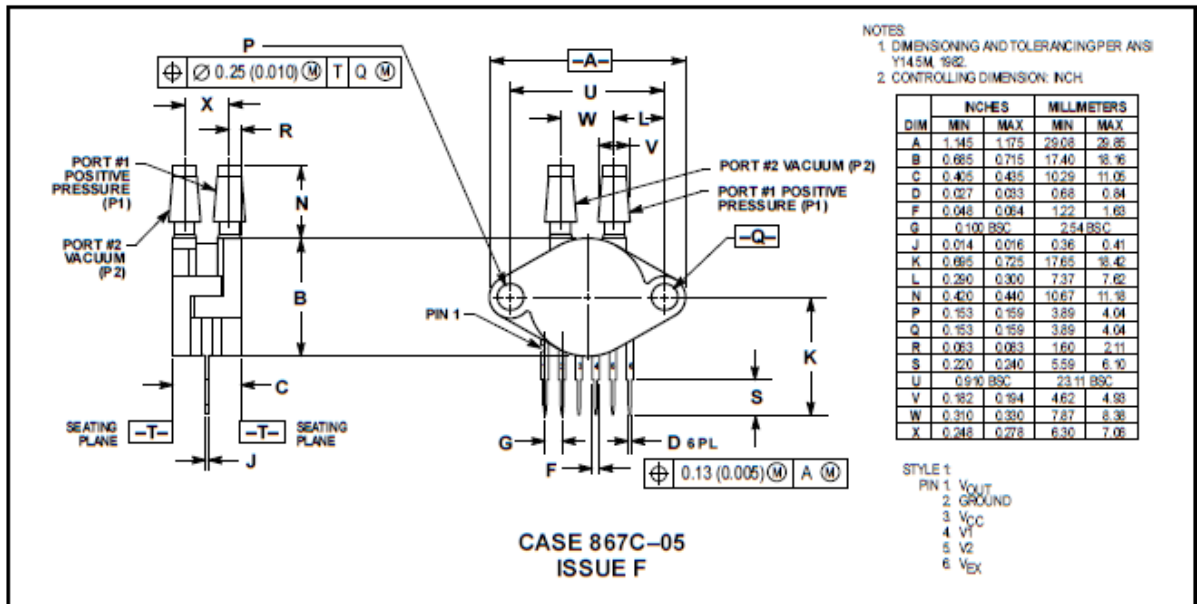
**ORDERING INFORMATION**

The MPX5010 pressure sensor is available in differential and gauge configurations. Devices are available in the basic element package or with pressure port fittings that provide printed circuit board mounting ease and barbed hose pressure connections.

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Differential	867-08	MPX5010D	MPX5010D
Ported Elements	Differential Dual Ports	867C-05	MPX5010DP	MPX5010DP
	Gauge	867B-04	MPX5010GP	MPX5010GP
	Gauge Vacuum Port	867D-04	MPX5010GVP	MPX5010GVP
	Gauge, Axial	867E-03	MPX5010GS	MPX5010D
	Gauge Vacuum Axial	867A-04	MPX5010GVS	MPX5010D
	Gauge, Axial PC Mount	867F-03	MPX5010GSX	MPX5010D
	Gauge Vacuum Axial PC Mount	867G-03	MPX5010GVSX	MPX5010D

**MPX5010 SERIES**

**PACKAGE DIMENSIONS—CONTINUED**



**PRESSURE AND VACUUM SIDES PORTED (DP)**

## **ANEXO D**

# **“ESPECIFICACIONES DEL ANEMÓMETRO EXTRECH INSTRUMENTS”**

**Introducción**

Felicidades por su compra del Anemómetro Modelo 45158 de Extech. La pantalla doble indica velocidad del aire y humedad, punto de rocío, temperatura ambiente, o temperatura con factor de enfriamiento del viento. El uso cuidadoso de este medidor le proveerá muchos años de servicio confiable.

**Operación**

- Encendido y apagado**
- Oprima el botón ON/OFF/HOLD para encender el medidor
  - Oprima y sostenga los botones ON/OFF/HOLD durante aprox. 3 segundos para apagarlo (OFF)
  - La función de apagado automático apaga el medidor después de 10 minutos de inactividad
- Cambie el parámetro del indicador inferior**
- Con el medidor encendido, oprima y sostenga el botón ON/OFF/HOLD
  - Continúe oprimiendo el botón ON/OFF/HOLD, oprima el botón UNIDADES/MODO repetidamente para pasar a través de Temperatura (°F/°C), Humedad (RH%), Punto de rocío (TD), y Temperatura con factor de enfriamiento (WCI). Note que el indicador central es velocidad del aire.

**Cambie la unidad de medida de la Velocidad del aire**

- Apague el medidor (OFF). Oprima y sostenga ambos botones hasta que el indicador se encienda y empiece a destellar enseguida suelta ambos botones
- Oprima el botón UNIDADES/MODO repetidas veces para pasar a través de las unidades (vea lista en las especificaciones)
- Después de 5 segundos el medidor cambia automáticamente a modo normal de operación

**Seleccione las unidades de temperatura (°C o °F)**

- Primero apague el medidor. Oprima y sostenga ambos botones hasta que el indicador se encienda y empiece a destellar enseguida suelte ambos botones
- Oprima momentáneamente ambos botones para cambiar las unidades de temperatura
- Después de 5 segundos el medidor cambia automáticamente a modo normal de operación

**Toma de medidas**

Coloque el medidor de tal manera que el flujo de aire entre a la veleta desde el lado posterior del medidor (lado opuesto a logo del panel frontal). En la parte inferior del medidor hay un montaje para trípode.

**Retención de máximos**

- La Retención de máximos representa la medida más alta tomada desde que encendió el medidor
- Oprima el botón UNIDADES/MODO para mostrar la lectura Máx (aparece el icono MÁX)
- Oprima el botón UNIDADES/MODO repetidas veces para ir al modo normal de operación

**Modo promedio**

- En modo promedio puede mostrarse los promedios de 5 ó 10 lecturas.
- Oprima 3 veces UNIDADES/MODO promedio 5 lecturas ó 4 veces para 10 lecturas
- Para salir de este modo, oprima y sostenga el botón UNIDADES/MODO hasta que desaparezcan los iconos de la izquierda

**Retención de datos**

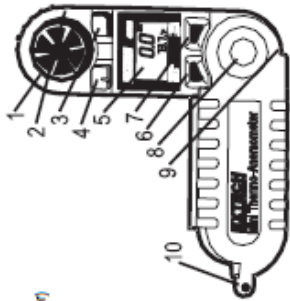
- La Retención de datos congela la lectura más reciente
- Oprima y sostenga el botón ON/OFF/HOLD para activar Retención de datos
- Mientras que tenga oprimido el botón ON/OFF/HOLD la lectura permanecerá en la LCD

Copyright (c) 2008 Extech Instruments Corporation.  
Reservados todos los derechos, incluyendo el derecho de reproducción total o parcial en cualquier medio.  
V3.0 3/08

**Support Hotline (781) 890-7440**  
Tech support: Ext. 200; Email: support@extech.com  
Repair/Returns: Ext. 210; Email: repair@extech.com  
Website: www.extech.com

# Mini Hígro Termo-Anemómetro

**Descripción del medidor**



1. Impulsor de veleta
2. Opressor del impulsor (atrás del medidor)
3. Sensor de humedad relativa
4. Sensor de temperatura
5. Pantalla LCD
6. Tapa ON/OFF, RETENCIÓN
7. Tapa de UNIDADES, MODO
8. Compartimiento de la batería (atrás)
9. Orificio roscado para trípode
10. Sujeción de la (cinta para el cable) correa

**Especificaciones**

Medida	Escala	Resolución	Precisión (de lectura)
MPH (millas por hora)	1.1 a 62.5 MPH	0.2 MPH	± (8% + 0.4 mph)
km/hr (kilómetros por hora)	1.8 a 100.5 km/h	0.7 km/h	± (8% + 1.4 km/hr)
Nudos (millas náuticas por hora)	1.0 a 54.3 nudos	0.3 nudos	± (8% + 0.6 nudos)
m/seg (metros por segundo)	0.50 a 28.00 m/s	0.01 m/s	± (8% + 0.2 m/s)
f/min (pies por minuto)	100 a 5500 f/min	20 f/min	± (8% + 40 f/min)
Numero de Beaufort	1 a 17 BF	1 BF	± 1
Temperatura	-18 a 50°C (0 a 122°F)	0.1°F/°C	± 1°C (± 1.8°F)
Humedad relativa	10 a 95% RH	1%	± 3% RH
Punto de rocío	0 a 50 °C (32 a 122°F)	0.1°F/°C	±2°C (3.6°F)

**Especificaciones Generales**

Indicador	LCD doble indicadores de batería débil y multifunción
Sensores	Rodamiento de zafiro, veleta resistente a la corrosión para velocidad del aire; Termistor de precisión para medición de temperatura
Modo promedio	Opción de promediar 5 ó 10 lecturas (2 segundos predeterminado en fábrica)
Indicadores de máximos y retención de datos	Máx recupera las lecturas más altas; Retención de datos congela la pantalla
Tiempo de muestreo	1 lectura por segundo para velocidad del aire y temperatura (1 lectura cada 15 segundos para humedad con actualización cada 2 segundos)
Resistente al agua	Hasta 1m (3')
Condiciones de operación	-15 a 50°C (5 a 122°F) / < 80% RH
Alimentación de energía	Batería de litio (CR-2032 o equivalente) / 400 horas vida de la batería
Dimensiones / Peso	Instrumento: 133 x 70 x 19mm (5.25 x 2.75 x 0.75") Veleta: 24mm (1") diámetro / 95 g (3 oz.)

**Mantenimiento**

**Reemplazo de la batería**

El modelo 45158 tiene un indicador de batería débil (símbolo de batería). Con una moneda, gire la tapa del compartimento de la batería a favor de las manecillas del reloj para quitarla. Una vez abierta, observe la posición de la batería y colócala de la nueva de igual manera. Reemplace la tapa del compartimento de la batería y desdeseche la batería de litio en conformidad con los códigos locales, estatales o nacionales para desechos.

**Reemplazo del impulsor**

- Quite el opressor del impulsor (en la parte posterior del medidor).
- Gire el conjunto del impulsor contrario a la posición ABIERTO y retínelo.
- Instale el impulsor insertando y girando el impulsor nuevo a favor del reloj.
- Ajuste el opressor.

**Medición de PCM**

Mida el área del conducto usando los diagramas abajo para los conductos rectangulares y circulares (si las medidas de conducto se hacen en pulgadas, divídanlas pulgadas por 144 para conseguir el área en pies cuadrados). Tape el valor del área (en pies cuadrados) en las ecuaciones cubicas abajo. Observe que la velocidad del aire se debe tapar en las ecuaciones cubicas también.



$$A = W * h$$

$$CFM (ft^3/min) = Velocidad del aire (ft/min) * Area (ft^2)$$

$$CMH (m^3/min) = Velocidad del aire (m/seg) * Area (m^2) * 60$$



$$A = \pi r^2$$

**Servicios de reparación y calibración**

Extech ofrece servicios completos de reparación y calibración para todos los productos que vendemos. Para calibración periódica, certificación NIST o reparación de cualquier producto Extech, llame al departamento de servicio al cliente para obtener los detalles de los servicios disponibles. Extech recomienda realizar el calibración anualmente para garantizar la integridad de la calibración.

**Garantía**

EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION garantiza este instrumento libre de defectos en partes o mano de obra durante un año a partir de la fecha de embarque (se aplica la garantía limitada a seis meses para los cables y sensores. Si fuera necesario regresar el instrumento para servicio durante el periodo de garantía, llame al Departamento de Servicio al Cliente al teléfono (781) 890-7440 ext. 210 para solicitar autorización. 210 para autorización o visite nuestra página en internet en [www.extech.com](http://www.extech.com) (puse en Contact Extech y vaya al Departamento de Servicio para solicitar un número de AP). Se debe otorgar un número de Autorización de Retorno (RA) antes de regresar cualquier producto a Extech. El remite es responsable de los gastos de embarque, flete, seguro y empaque apropiado para prevenir daños en tránsito. Esta garantía no se aplica a defectos que resulten por acciones del usuario como mal uso, alambrado inapropiado, operación fuera de las especificaciones, mantenimiento o reparaciones inapropiadas o modificaciones no autorizadas. Extech específicamente rechaza cualquier garantía implícita o facultad de comercialización o aptitud para cualquier propósito determinado y no sería responsable por cualquier daños directos, indirectos, incidentales o consecuentes. La responsabilidad total de Extech está limitada a la reparación o reemplazo del producto. La garantía precedente es inclusiva y no hay otra garantía ya sea escrita u oral, expresa o implícita.

## **ANEXO E**

### **“ESPECIFICACIONES DE NI USB-6009”**



# Low-Cost Multifunction DAQ for USB

## NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/AVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

### Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X<sup>1</sup>
- Linux<sup>®1</sup>
- Pocket PC
- Win CE

### Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

### Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

<sup>1</sup>Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs <sup>1</sup>	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

<sup>1</sup>SE = single ended, DI = differential

## Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

## Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

## Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

## Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for details.)
- Embedded OEM applications.





## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

---

### Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for more details.

### Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem). Go to the Ordering Information section for part numbers.

#### Ordering Information

NI USB-6008 <sup>1</sup> .....	779051-01
NI USB-6009 <sup>1</sup> .....	779026-01
NI USB-6008 OEM .....	193132-02
NI USB-6009 OEM .....	193132-01
NI USB-6008 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779320-22
NI USB-6009 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779321-22

<sup>1</sup> Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

<sup>2</sup> Includes LabVIEW Student Edition.

#### **BUY NOW!**

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to [ni.com/usb](http://ni.com/usb).

**BUY ONLINE** at [ni.com](http://ni.com) or **CALL** (800) 813 3693 (U.S.)

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

#### Analog Input

##### Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 95 °C) (mV)
±10	14.7	138

##### Absolute accuracy at full scale, differential<sup>1</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 95 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.58	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential  
 Type of ADC..... Successive approximation

##### ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

##### Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V  
 Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V  
 Maximum working voltage..... ±10 V  
 Overvoltage protection..... ±35 V  
 FIFO buffer size..... 512 B  
 Timing resolution..... 41.67 ns (24 MHz timebase)  
 Timing accuracy..... 100 ppm of actual sample rate  
 Input impedance..... 144 k  
 Trigger source..... Software or external digital trigger  
 System noise..... 0.3 LSB<sub>rms</sub> (±10 V range)

#### Analog Output

Absolute accuracy (no load)..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale  
 Number of channels..... 2  
 Type of DAC..... Successive approximation  
 DAC resolution..... 12 bits  
 Maximum update rate..... 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V  
 Output impedance..... 50 Ω  
 Output current drive..... 5 mA  
 Power-on state..... 0 V  
 Slew rate..... 1 V/μs  
 Short-circuit current..... 50 mA

#### Digital I/O

Number of channels..... 12 total  
 8 (P0.<0..7>)  
 4 (P1.<0..3>)  
 Direction control..... Each channel individually programmable as input or output  
 Output driver type  
 USB-6008..... Open-drain  
 USB-6009..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain  
 Compatibility..... CMOS, TTL, LVTTL  
 Internal pull-up resistor..... 4.7 kΩ to +5 V  
 Power-on state..... Input (high impedance)  
 Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

#### Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	-	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	-	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	-	V

#### Counter

Number of counters..... 1  
 Resolution..... 32 bits  
 Counter measurements..... Edge counting (falling edge)  
 Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V  
 Maximum input frequency..... 5 MHz  
 Minimum high pulse width..... 100 ns  
 Minimum low pulse width..... 100 ns  
 Input high voltage..... 2.0 V  
 Input low voltage..... 0.8 V

#### Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical  
 +4.85 V minimum  
 +2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical  
 +2.5 V output accuracy..... 0.25% max  
 Voltage reference temperature drift... 50 ppm/°C max

<sup>1</sup>Input voltages may not exceed the working voltage range.

BUY ONLINE at ni.com or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors) .....	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors) .....	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors) .....	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors) .....	84 g (3 oz)
I/O connectors .....	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring .....	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque .....	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

### Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC) .....	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend .....	300 $\mu$ A typical 500 $\mu$ A maximum

### Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range .....	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range .....	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude .....	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree .....	2

### Safety and Compliance

#### Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

**Note:** For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

**Note:** For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

#### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

**Note:** Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**EU Customers:** At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

BUY ONLINE at [ni.com](http://ni.com) or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

# NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).

## Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit [ni.com/training](http://ni.com/training).

## Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).



## OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at [ni.com/support](http://ni.com/support).

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit [ni.com/ssp](http://ni.com/ssp).

## Hardware Services

### NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

### Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).



[ni.com](http://ni.com) • (800) 813 3693

National Instruments • [info@ni.com](mailto:info@ni.com)



© 2006 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, and SCXI are trademarks of National Instruments. Linux® is a registered trademark of Linux Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

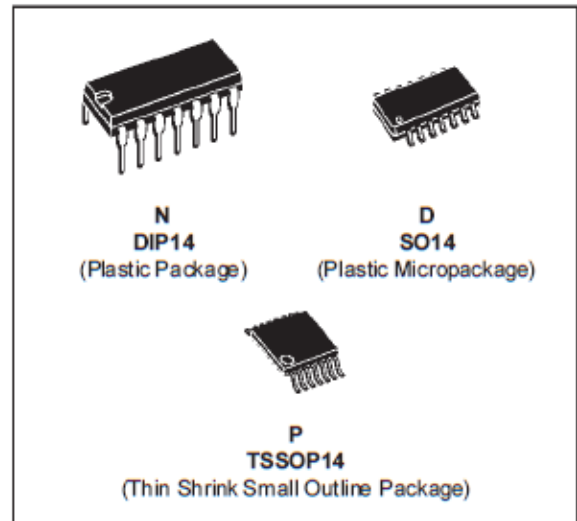
## **ANEXO F**

### **“ESPECIFICACIONES DE LM 324”**



LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.  
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :  
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V  
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V



DESCRIPTION

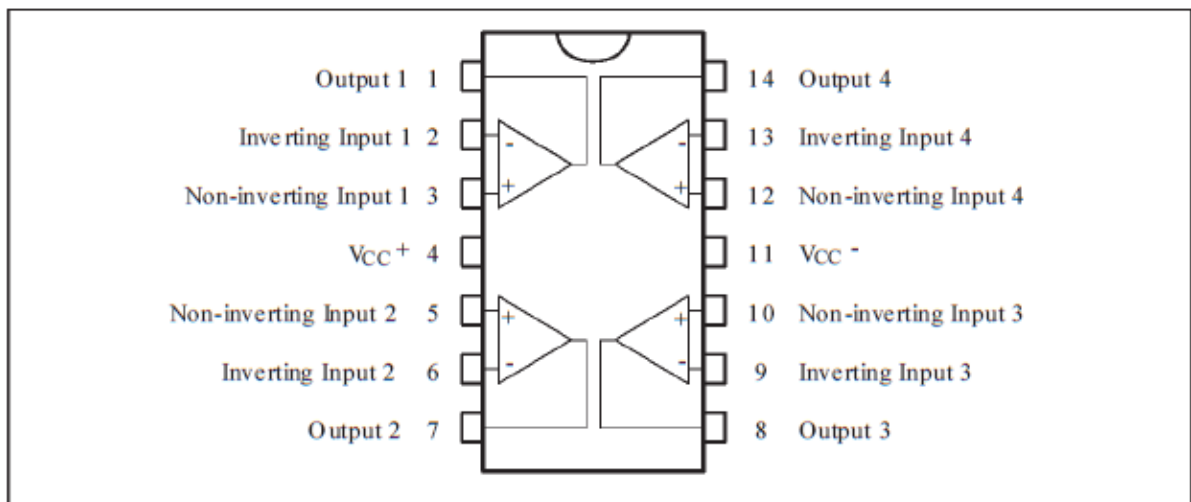
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers . They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

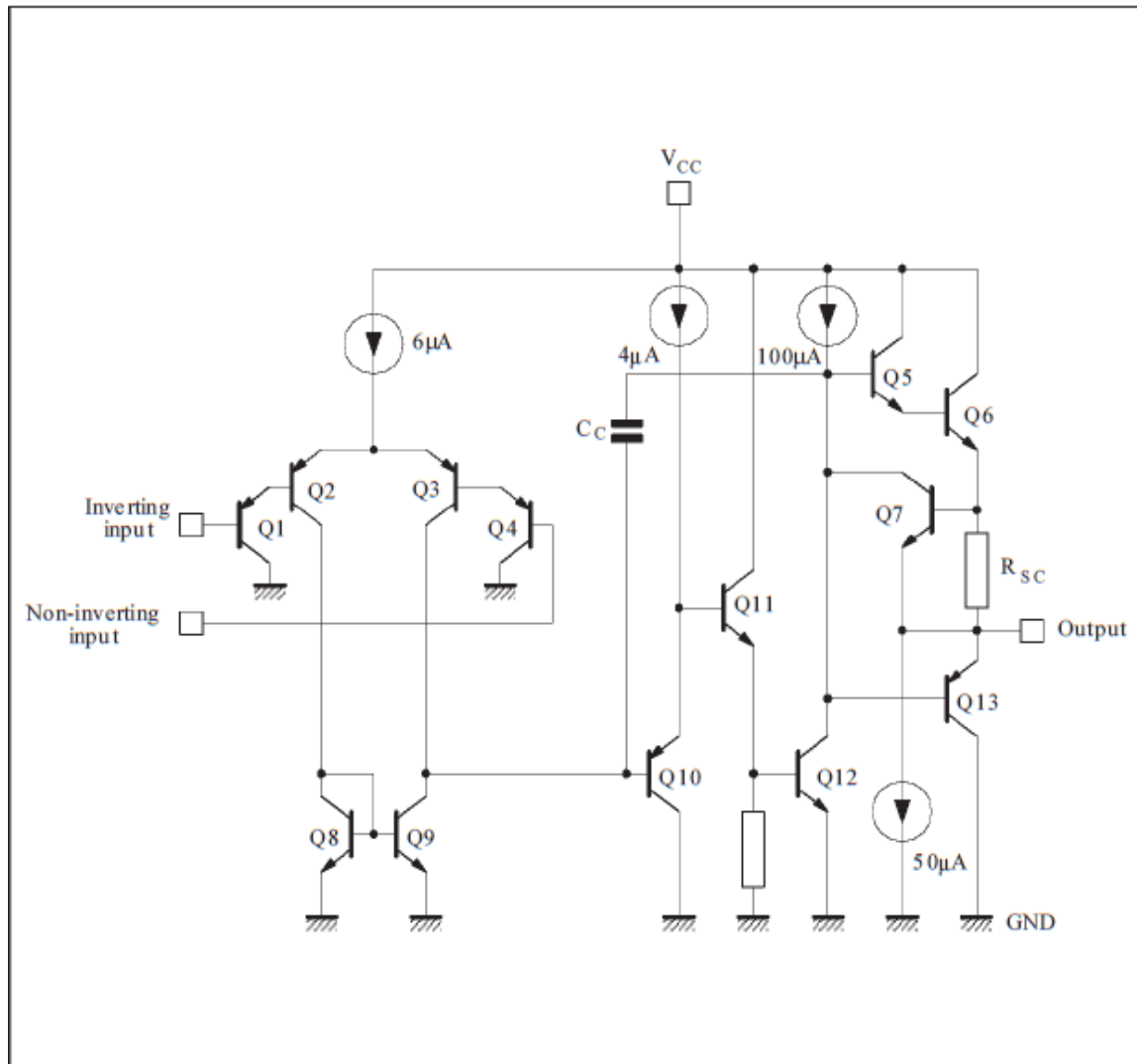
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
$V_{CC}$	Supply Voltage		$\pm 16$ or 32		V
$V_i$	Input Voltage		-0.3 to +32		V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - (*)	+32	+32	+32	V
$P_{tot}$	Power Dissipation	500	500	500	mW
		-	400	400	mW
-	Output Short-circuit Duration - (note 1)	Infinite			
$I_{in}$	Input Current - (note 6)	50	50	50	mA
$T_{oper}$	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}C$
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	$^{\circ}C$



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$ ,  $V_{CC}^- = \text{Ground}$ ,  $V_O = 1.4V$ ,  $T_{amb} = +25^\circ C$  (unless otherwise specified)

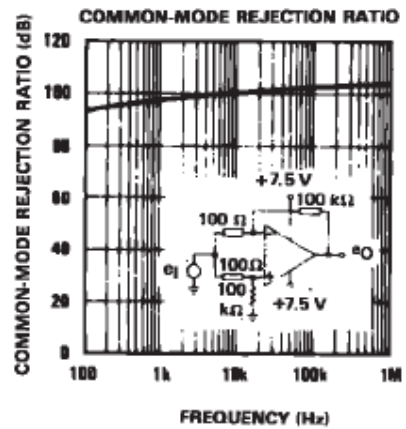
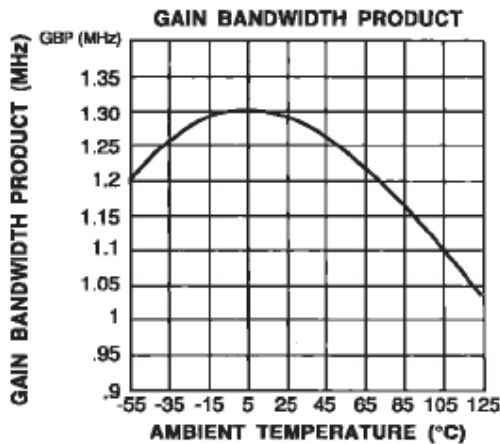
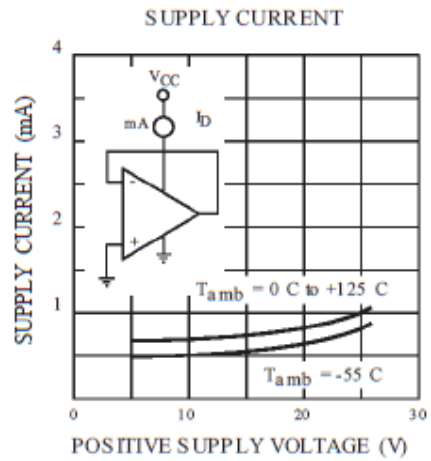
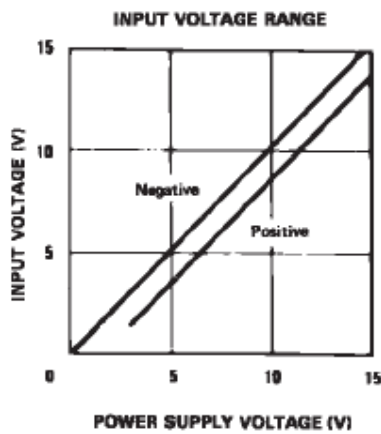
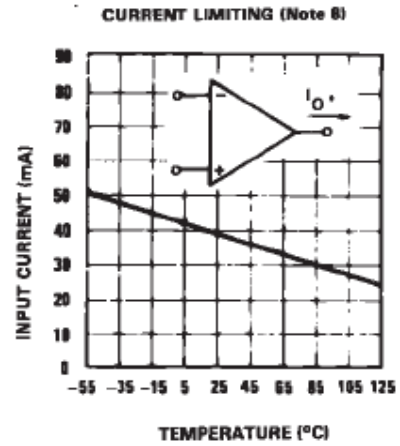
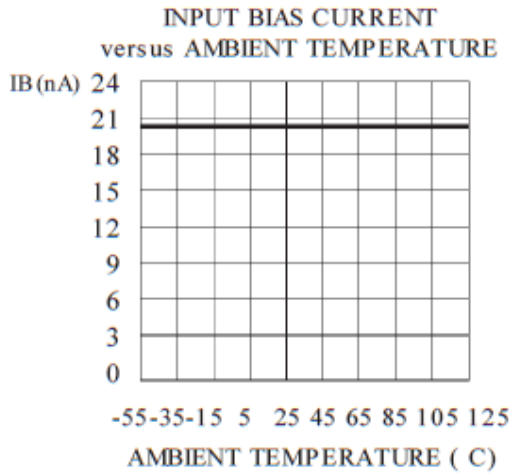
Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage (note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$		2	5	mV
	$T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ LM324			7	
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$		2	30	nA
	$T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ LM324			100	
$I_{ib}$	Input Bias Current (note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		20	150 300	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain ( $V_{CC}^+ = +15V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_S \leq 10k\Omega$ ) ( $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	65 65	110		dB
$I_{CC}$	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		$V_{CC} = +5V$ 0.7 $V_{CC} = +30V$ 1.5 $V_{CC} = +5V$ 0.8 $V_{CC} = +30V$ 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = +30V$ ) - (note 4) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common-mode Rejection Ratio ( $R_S \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	70 60	80		dB
$I_{source}$	Output Current Source ( $V_{id} = +1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$	20	40	70	mA
$I_{sink}$	Output Sink Current ( $V_{id} = -1V$ ) $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +2V$ $V_{CC} = +15V$ , $V_o = +0.2V$	10	20		mA $\mu A$
		12	50		



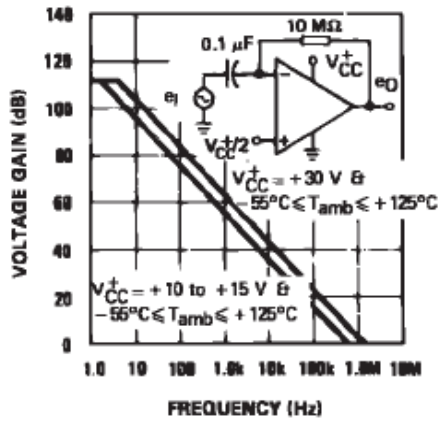
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V <sub>OH</sub>	High Level Output Voltage (V <sub>CC</sub> = +30V) T <sub>amb</sub> = +25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub> R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	27		V
	T <sub>amb</sub> = +25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub> (V <sub>CC</sub> = +5V, R <sub>L</sub> = 2kΩ)	26	28		
V <sub>OL</sub>	Low Level Output Voltage (R <sub>L</sub> = 10kΩ) T <sub>amb</sub> = +25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>		5	20	mV
			20	20	
SR	Slew Rate V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>I</sub> = 0.5 to 3V, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF, unity gain)		0.4		V/μs
GBP	Gain Bandwidth Product V <sub>CC</sub> = 30V, f = 100kHz, V <sub>in</sub> = 10mV R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion f = 1kHz, A <sub>V</sub> = 20dB, R <sub>L</sub> = 2kΩ, V <sub>O</sub> = 2V <sub>pp</sub> C <sub>L</sub> = 100pF, V <sub>CC</sub> = 30V		0.015		%
e <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Voltage f = 1kHz, R <sub>s</sub> = 100Ω, V <sub>CC</sub> = 30V		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV <sub>io</sub>	Input Offset Voltage Drift		7	30	μV/°C
DI <sub>io</sub>	Input Offset Current Drift		10	200	pA/°C
V <sub>O1</sub> /V <sub>O2</sub>	Channel Separation (note 5) 1kHz ≤ f ≤ 20kHz		120		dB

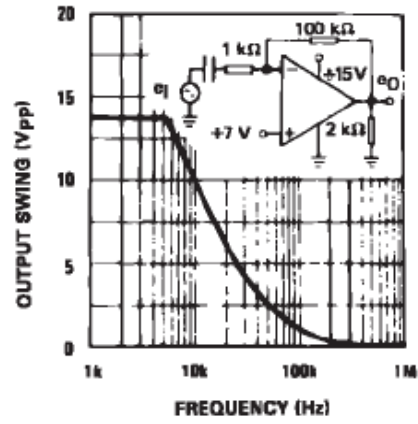
- Notes :**
- Short-circuits from the output to V<sub>CC</sub> can cause excessive heating if V<sub>CC</sub> > 15V. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V<sub>CC</sub>. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
  - The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
  - V<sub>o</sub> = 1.4V, R<sub>s</sub> = 0Ω, 5V < V<sub>CC</sub> < 30V, 0 < V<sub>io</sub> < V<sub>CC</sub> - 1.5V
  - The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V<sub>CC</sub> - 1.5V, but either or both inputs can go to +32V without damage.
  - Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
  - This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V<sub>CC</sub> voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.  
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.



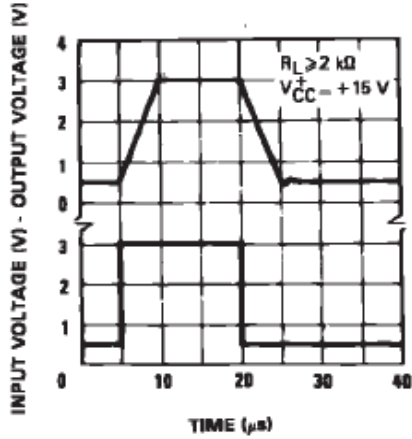
OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE



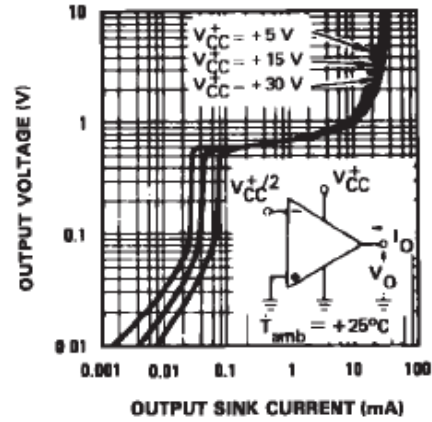
LARGE SIGNAL FREQUENCY RESPONSE



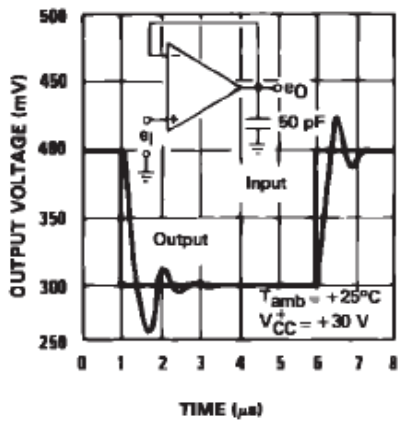
VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE



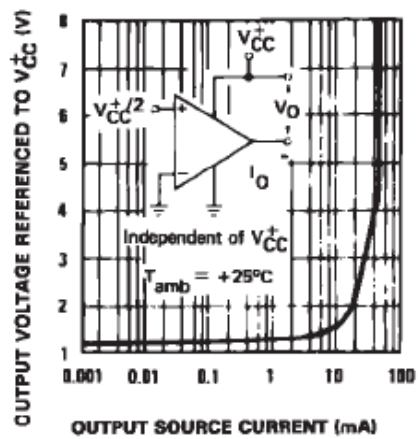
OUTPUT CHARACTERISTICS (CURRENT SINKING)

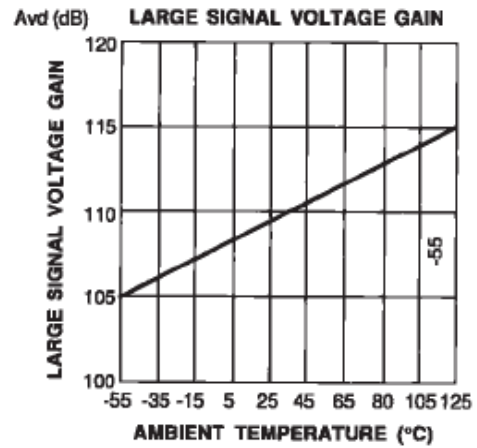
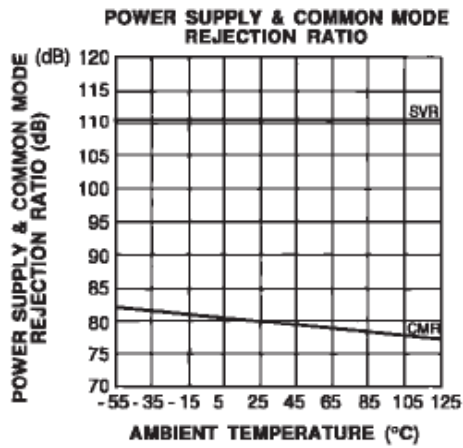
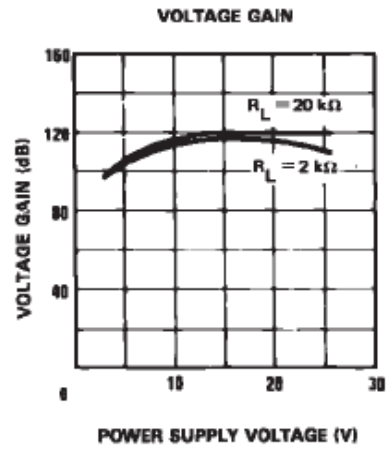
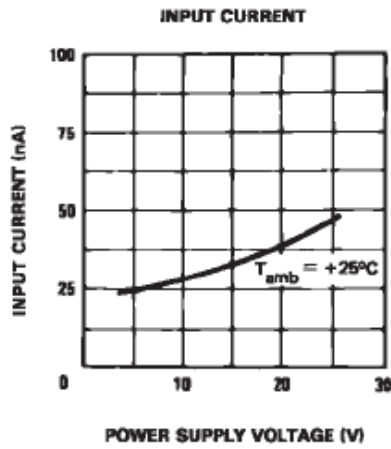


VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (SMALL SIGNAL)

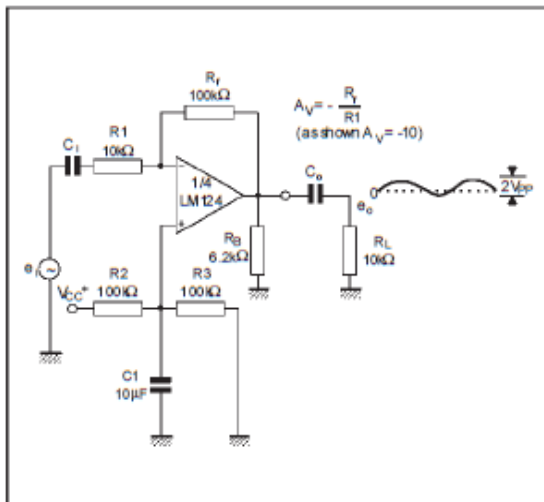


OUTPUT CHARACTERISTICS (CURRENT SOURCING)

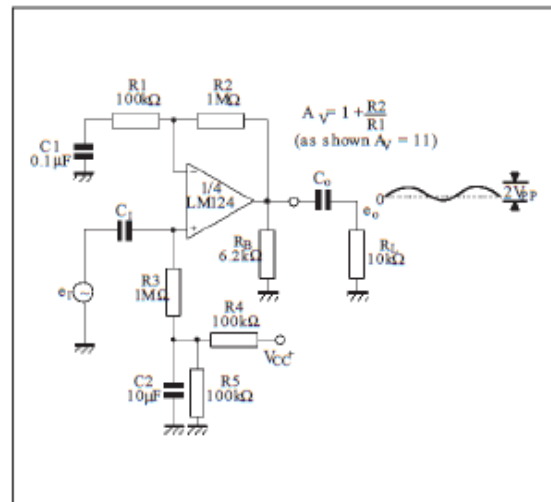




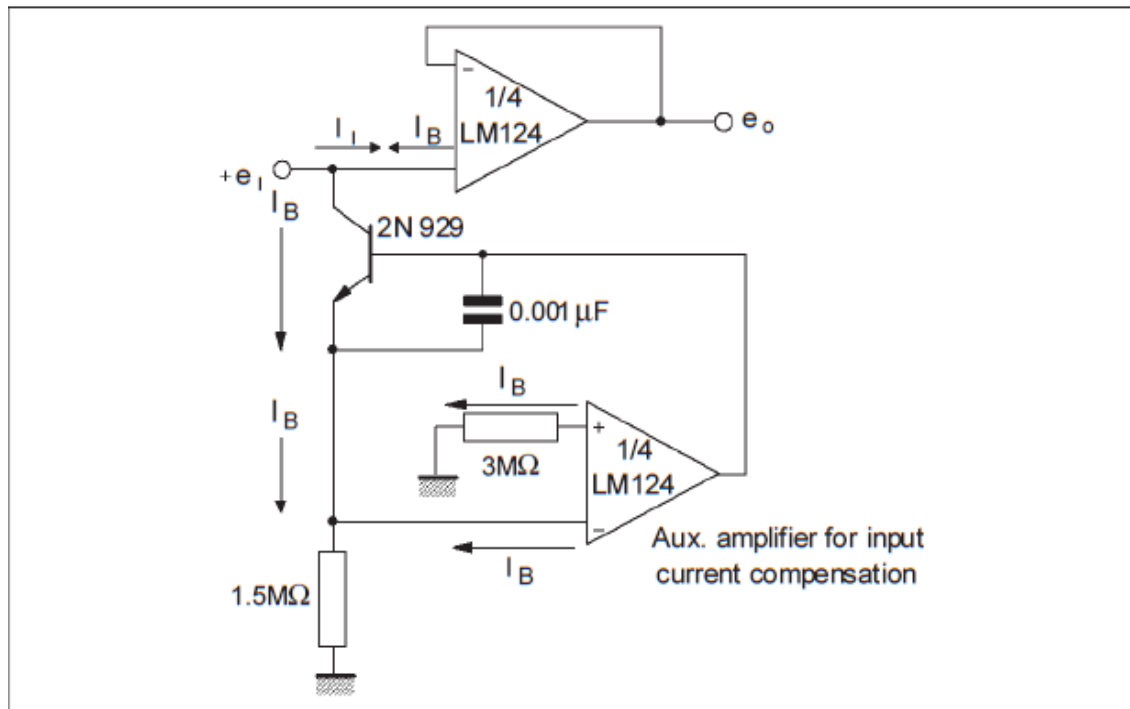
**TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS**  
AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER



**AC COUPLED NON-INVERTING AMPLIFIER**

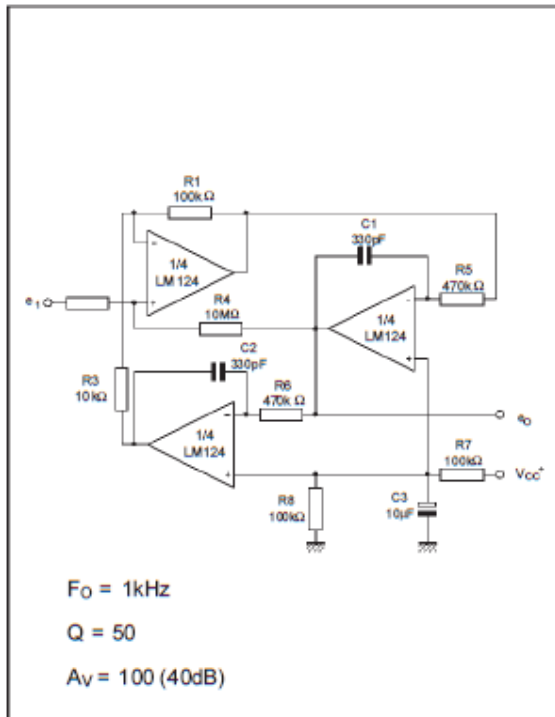


## USING SYMMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)

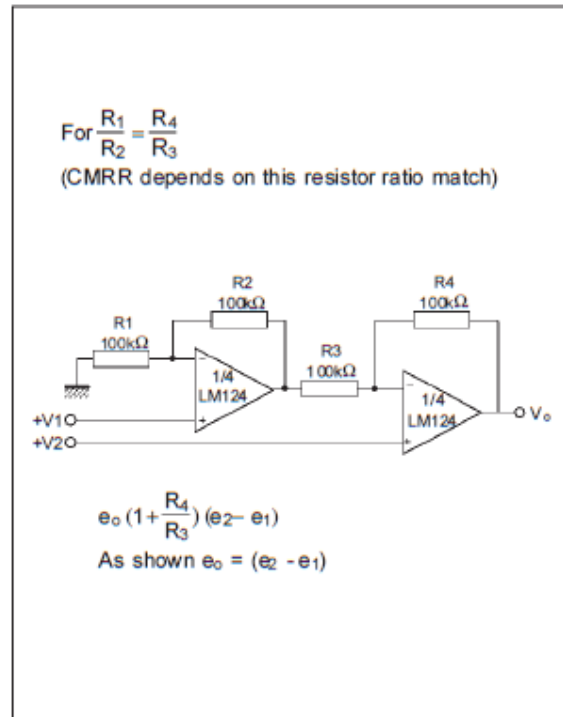


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

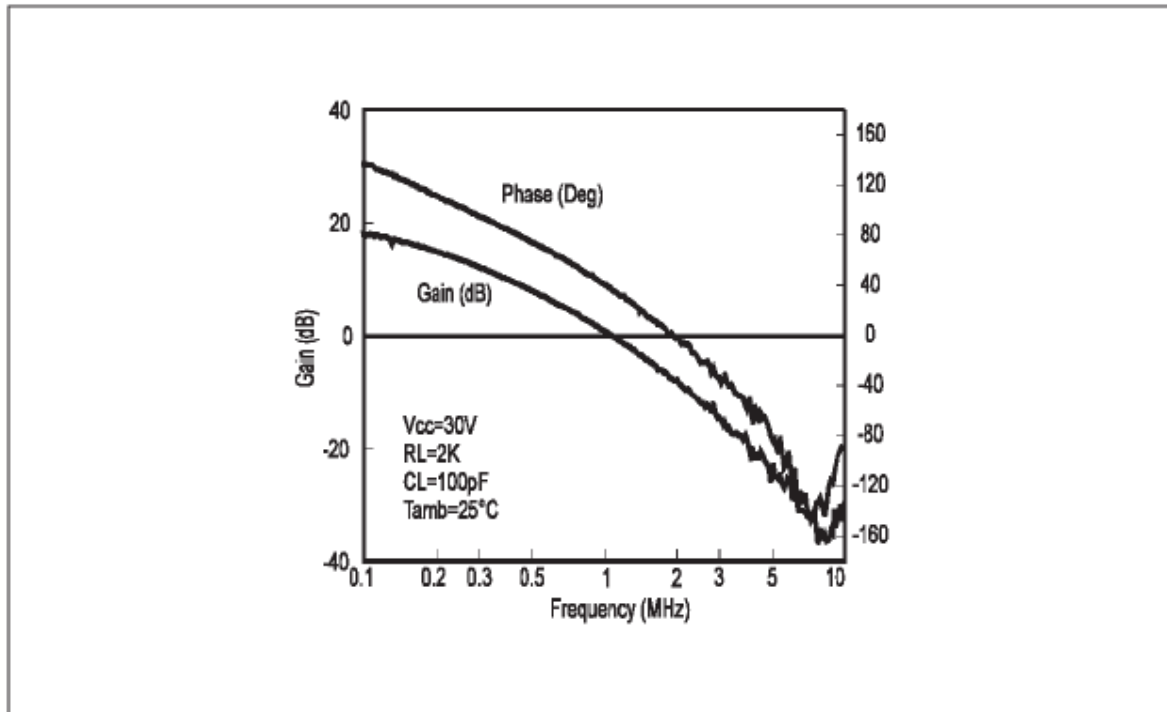
ACTIVER BANDPASS FILTER



HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



VOLTAGE GAIN AND PHASE vs FREQUENCY



- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE : SINGLE SUPPLY : +3V to +30V  
DUAL SUPPLIES : ±1.5V to ±15V

Applies to : LM124-LM224-LM324

\*\* Standard Linear Ics Macromodels, 1993.

\*\* CONNECTIONS :

- \* 1 INVERTING INPUT
- \* 2 NON-INVERTING INPUT
- \* 3 OUTPUT
- \* 4 POSITIVE POWER SUPPLY
- \* 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

\*\*\*\*\*

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15  
CJO=10F

\* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12

CIN 1 5 1.000000E-12

EIP 10 5 2 5 1

EIN 16 5 1 5 1

RIP 10 11 2.600000E+01

RIN 15 16 2.600000E+01

RIS 11 15 2.003862E+02

DIP 11 12 MDTH 400E-12

DIN 15 14 MDTH 400E-12

VOFP 12 13 DC 0

VOFN 13 14 DC 0

IPOL 13 5 1.000000E-05

CPS 11 15 3.783376E-09

DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFN 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

\* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFN 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COUT 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

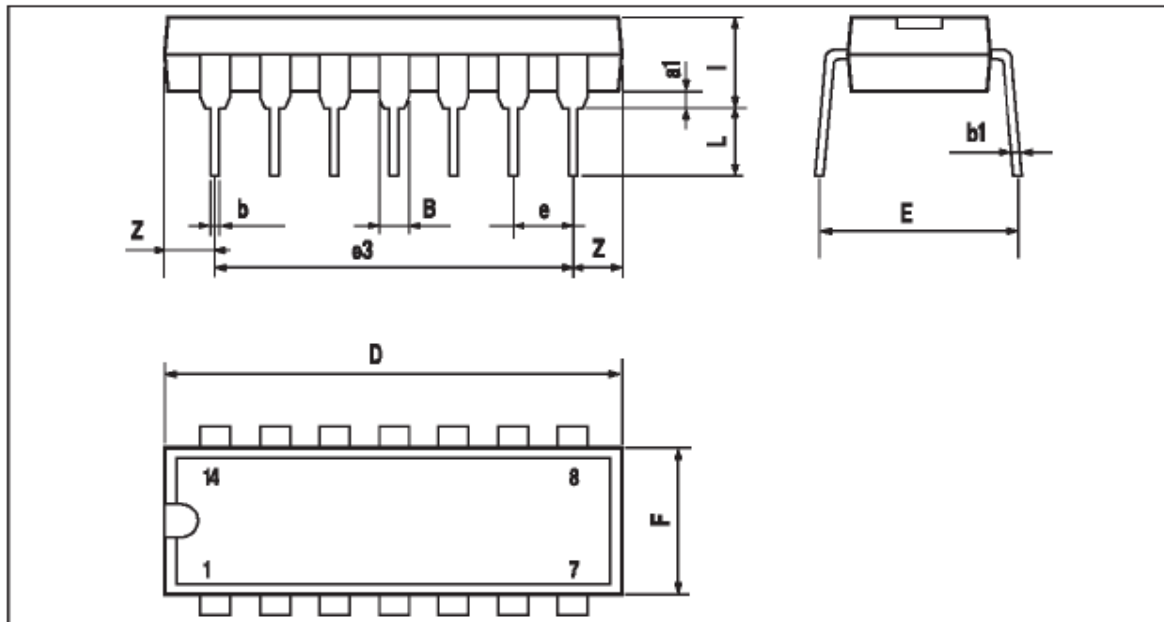
#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V<sub>CC</sub><sup>+</sup> = +5V, V<sub>CC</sub><sup>-</sup> = 0V, T<sub>amb</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Conditions	Value	Unit
V <sub>io</sub>		0	mV
A <sub>vd</sub>	R <sub>L</sub> = 2kΩ	100	V/mV
I <sub>CC</sub>	No load, per operator	350	µA
V <sub>cm</sub>		-15 to +13.5	V
V <sub>OH</sub>	R <sub>L</sub> = 2kΩ (V <sub>CC</sub> <sup>+</sup> = 15V)	+13.5	V
V <sub>OL</sub>	R <sub>L</sub> = 10kΩ	5	mV
I <sub>OS</sub>	V <sub>O</sub> = +2V, V <sub>CC</sub> = +15V	+40	mA
GBP	R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF	1.3	MHz
SR	R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF	0.4	V/µs



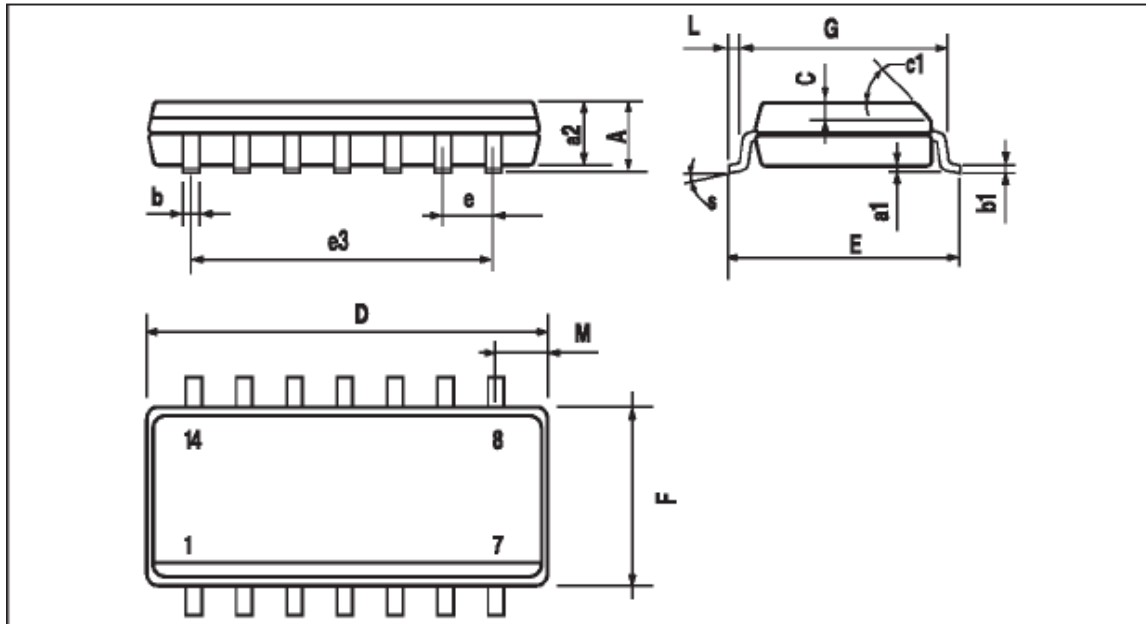
PACKAGE MECHANICAL DATA  
14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

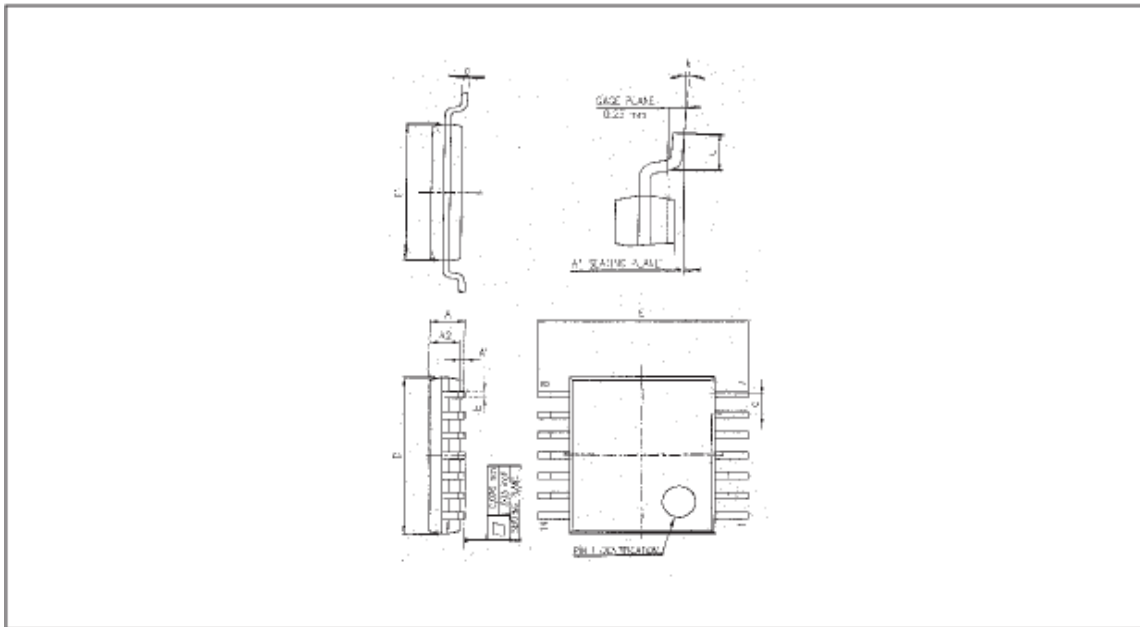


**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
**14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)**



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D	8.55		8.75	0.336		0.334
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S	8° (max.)					

PACKAGE MECHANICAL DATA  
14 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	4.90	5.00	5.10	0.192	0.196	0.20
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
l	0.50	0.60	0.75	0.09	0.0236	0.030

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1999 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

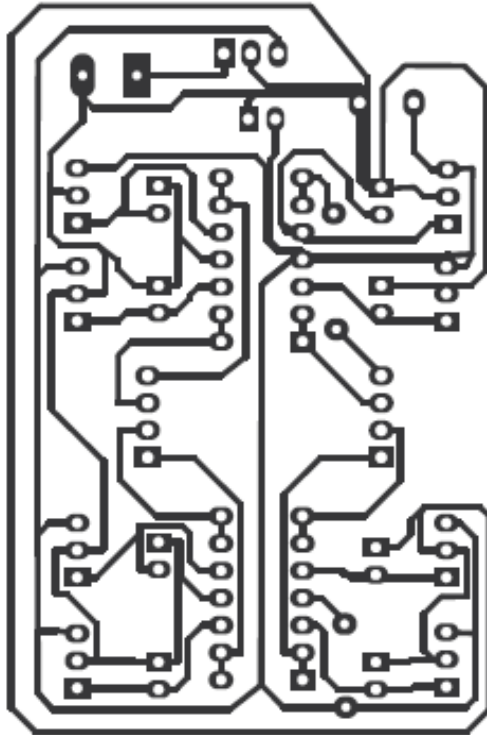
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

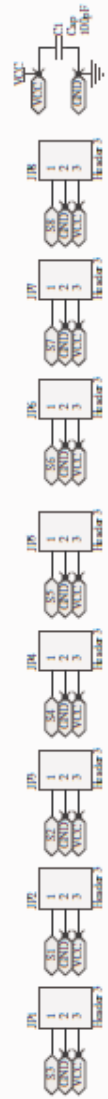
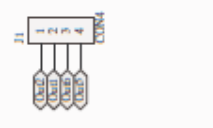
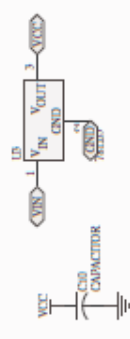
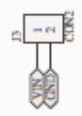
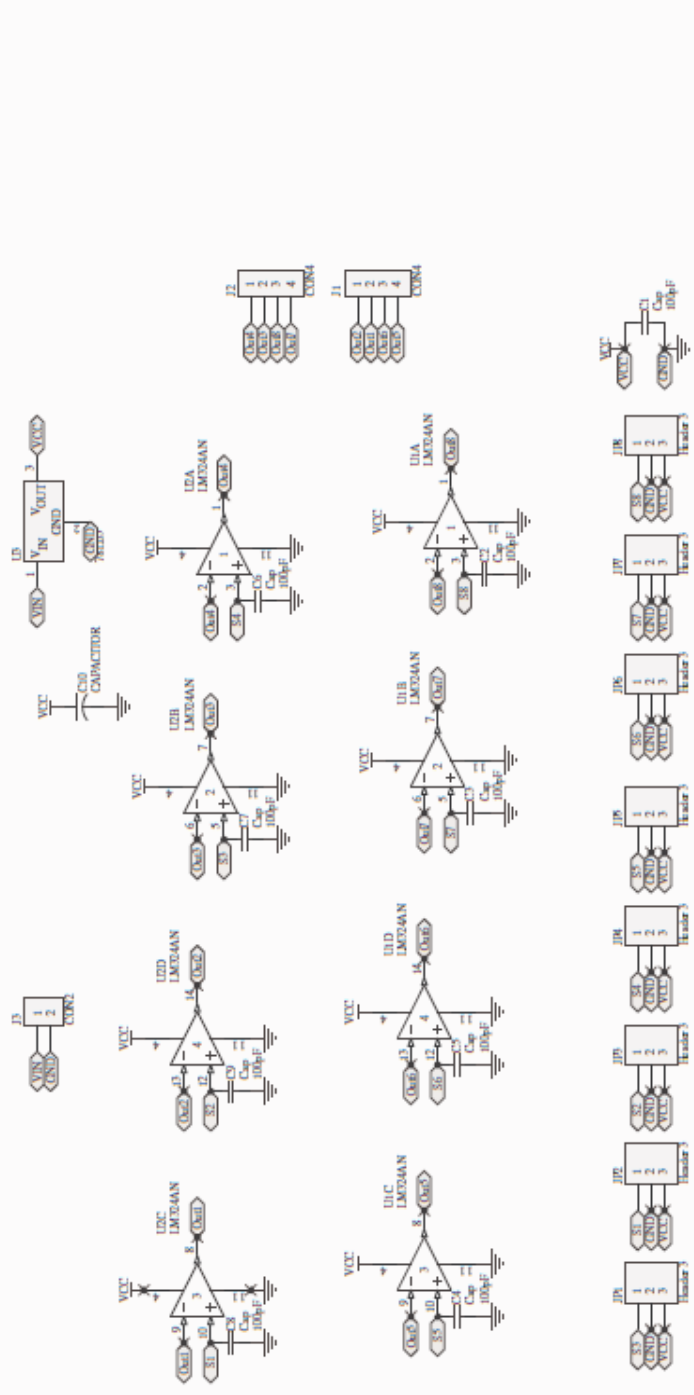
Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco  
The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

© <http://www.st.com>

**ANEXO G**

**“PLACA”**





Title			
Size	Number	Revisi	
AD			
Date	2023/10/10	Sheet of	8
File	D:\Ker\Control\1\anal\SCHEMATIC	Drawn by	

Latacunga, 08 de Septiembre del 2010

Realizado por:

---

DIEGO PINEDA MAIGUA

---

WILLIAM VEGA SANTILLAM

---

ING. JUAN CASTRO C.  
DIRECTOR DE CARRERA  
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

---

DR. EDUARDO VÁSQUEZ A.  
SECRETARIO ACADÉMICO