

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño y construcción de un túnel de viento a escala

Pablo Enrique Landázuri Mera

Gonzalo Tayupanta, MSc.

Trabajo de titulación presentado como requisito

Para la obtención del título de

Licenciado en Electromecánica Automotriz

Quito, 21 de diciembre del 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Pablo Enrique Landázuri Mera

Calificación:

Gonzalo Tayupanta, MSc.

Firma del profesor

Quito, 21 de diciembre del 2016

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Pablo Enrique Landázuri Mera

Código: 00072690

Cédula de Identidad: 1721398376

Lugar y fecha: Quito, 21 de diciembre de 2016

Dedicatoria

Primero a Dios quien me brinda salud para culminar este objetivo en mi vida, el cual lo realice con esfuerzo y con amor.

Mis padres que fueron quienes han estado con el apoyo, el cariño en cada momento, por cada uno de sus consejos, y lo más importante siempre salir adelante con una mente positiva.

A mi hermano quien es pilar de todo mi familia y el ejemplo, a mis dos hermanas que siempre están hay en todo los momentos durante esta etapa de mi vida, la cual ellas han estado atentas a cada uno de los pasos que daba.

Finalmente a mis maestros, los cuales me han guiado durante esta etapa de universitaria, quienes me ayudaron son sus guías, asesorías al elaborar este trabajo de titulación.

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por darme cada día de vida y seguir cumpliendo cada uno de mis sueños, guiándome a culminar un proyecto más en mi vida.

Agradezco a mis padres, que sacrificio, y esfuerzo incondicional, han sido un pilar fundamental dentro de este proyecto, en el cual acabo mi universidad.

También a mi Universidad San Francisco de Quito y a mis profesores quienes abrieron sus conocimientos para poder desarrollarnos en nuestra en cual ámbito que me encuentre, también por sus enseñanzas y experiencias, para tener un buen desarrollo en mi vida profesional.

RESUMEN

La aerodinámica dentro del túnel de viento en cual se puede observar, las líneas de expresión que tiene el auto, como actúa el viento sobre el automóvil, sabremos cual fue su historia, quienes son los creadores de los túneles, porque se tomó en cuenta lo que el aire hace sobre el auto, la evolución que tuvo el diseño aerodinámico del automóvil durante este cambio, y en cuanto se podía economizar, así se tuvo que ir dando avances en la formación de túneles de viento con el fin de encontrar que rozamiento que tenía el viento con el auto sea el mejor y ayude a tener mayor rendimiento.

En la historia del diseño automotriz fue cambiando, se vio que el viento podía hacer que el auto avance o se retrase dependiendo de las líneas de expresión que tuviera, sin dejar de que el auto pierda su estética, mediante el transcurso de todo esto al llegar a esta nueva época, el coeficiente de rozamiento fue bajando, pero algunos de sus modelos no eran muy vistosos, no se comercializaban, así también la construcción de los túneles de viento tomaron más apertura, hubo marcas automotrices que comenzaron a construir los túneles para enfocarse directamente como actúa el viento sobre sus automóviles, así se tuvo una competencia más específica este tema, algunos autos se desarrollan mediante estos nuevos parámetros para ser más eficientes, esto también es muy utilizado en la fórmula uno para el desarrollo de sus autos y no tengan mucho gasto de combustible.

Tenemos algunos modelos de túneles de viento los que se emplean para estas estadísticas u otros fueron desarrollados mediante la necesidad que se tenía así tenemos túneles sónicos, sub sónicos, hiper sónicos, y otros más, el que es más utilizado en el sector automotriz es sub sónico, este es empleado para los carros, motos y otras cosas más, también se emplearon otros para diversión de la gente.

ABSTRACT

Aerodynamics within the wind tunnel in which you can see, the lines of expression that has the car, how it works the wind on the car, we will know which was its history, who are the creators of the tunnels, because it took into account what air above the car, the evolution that had the aerodynamic design of the car during this change, and as soon as he could save, so had to go giving advances on the formation of wind tunnels in order to find friction that had the wind with the car is the best and help to have higher performance.

In the history of the automotive design was changing, was that wind could make the car forward or delayed depending on the lines of expression that had, without forgetting that the car lost its aesthetics, through the course of all this arriving to this new era, the friction coefficient was down, but some of their models were not very showy they were not marketed, thus also the construction of wind tunnels took more opening, there were automotive mark began to build tunnels for focusing directly as it works the wind on their cars, thus had a more specific competence this matter, some cars are developed through these new parameters to be more efficient, this is also widely used in formula one for the development of their cars and does not have much expenditure of fuel.

We have some models in wind tunnels which are used for these statistics or others were developed by the need that had so we have Sonic tunnels, sub Sonic, hyper Sonic, and others, which is most widely used in the automotive sector is sub Sonic, this is used for trucks, motorcycles and other things, also used others for fun people.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO	1
Universidad San Francisco de Quito.....	2
Derechos de Autor	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
Tabla de Contenido	8
INDICE DE IMÁGENES.....	10
INDICE DE FOTOS.....	11
INDICE DE TABLAS	11
CAPÍTULO 1	12
INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Historia del túnel de viento.....	13
1.2 Autos históricos en el túnel de viento.....	17
CAPÍTULO 2	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Definición del túnel de viento	22
2.2 Clasificación de los túneles de viento	23
2.3 Por la circulación del aire en su interior.....	23
2.3.1 Circulación abierta	23
2.3.2 Túnel de viento de ciclo cerrado	24
2.4 Por la velocidad del fluido en su interior	24
2.4.1 Túnel Subsónico	24
2.4.2 Túnel Transónico	25
2.4.3 Túnel del viento supersónico	26
2.4.4 Túnel del viento hipersónico.....	27
2.5 Por la dirección del flujo.....	27
2.5.1 Túnel de viento vertical.....	27
2.5.2 Túnel del viento horizontal	29
2.6 Componentes de un túnel de viento subsónico	30

2.6.1 Ventiladores	31
1) Ventiladores centrífugos	31
2) Ventiladores axiales	32
2.6.2 Cámara de estabilización	32
1) Paneles	33
2) Pantallas	33
2.6.3 Sección de contracción.....	33
2.6.4 Sección de prueba	34
2.6.5 Dispositivos de medida y observación	34
2.6.6 Difusor	35
CAPITULO 3	36
CONSTRUCCION DEL TUNEL DE VIENTO A ESCALA	36
3.1 Dimensiones del túnel de viento a escala.....	36
3.2 Proceso de construcción de la cámara de pruebas.....	37
3.3 Proceso de construcción de las secciones de contracción y expansión o difusor	38
3.4 Extractor o ventilador.	39
3.5 Construcción de las bases de soporte de los elementos.	40
3.6 Montaje de todos los elementos.	41
CAPÍTULO 4	45
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
4.1 Resultados de Velocidades.....	45
4.2 Resultados del túnel de viento.....	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52
NETGRAFÍA.....	52
GLOSARIO	54

INDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1 Ford T	13
Imagen No. 2 Diseño de carro en forma de gota de agua	14
Imagen No. 3 Citroën CX	15
Imagen No. 4 Túnel de viento de Ford.....	16
Imagen No. 5 Volkswagen XL1	17
Imagen No. 6 GM EV1	18
Imagen No. 7 Tetra T77.....	18
Imagen No. 8 Mercedes Benz CLA	19
Imagen No. 9 Audi A2.....	19
Imagen No. 10 Tesla Modelo S.....	20
Imagen No. 11 Opel Calibra	20
Imagen No. 12 Toyota Prius	21
Imagen No. 13 Túnel de viento	22
Imagen No. 14 Circulación abierta	23
Imagen No. 15 Túnel cerrado.....	24
Imagen No. 16 Túnel subsónico	25
Imagen No. 17 Túnel Transónico	26
Imagen No. 18 Ondas supersónicas	26
Imagen No. 19 Velocidad hipersónica.....	27
Imagen No. 20 Túnel de viento vertical	28
Imagen No. 21 Túnel de viento para juegos	29
Imagen No. 22 Túnel de viento	30
Imagen No. 23 Parte del túnel de viento	31
Imagen No. 24 Tipos ventiladores centrífugos	32
Imagen No. 25 Sección de contracción	33
Imagen No. 26 Sección de prueba	34
Imagen No. 27 Difusor	35

INDICE DE FOTOS

Foto N. 1 Túnel de viento.....	37
Foto N. 2 Sección de prueba	37
Foto N. 3 Difusor	38
Foto N. 4 Sección de Contracción	39
Foto N. 5 Ventilador	39
Foto N. 6 Base del ventilador	40
Foto N. 7 Soporte de las secciones	41
Foto N. 8 Soporte de la sección de pruebas.....	41
Foto N. 9 Sección de contracción, prueba y difusor	42
Foto N. 10 Bases del túnel.....	42
Foto N. 11 Base Pintada y cables de medición.....	43
Foto N. 12 Túnel viento construido.....	43
Foto N. 13 Primeras pruebas.....	44
Foto N. 14 Observación del flujo de aire.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Velocidades de las secciones.....	45
Tabla 2 Datos de la simulación.....	46

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Durante estos últimos años el campo automotriz tiene como propósito el ahorro de combustible en los automóviles, así se han diseñado motores más eficientes que alcanzan velocidades mayores a los 300 kilómetros por hora, las partes de la carrocería más livianas se utilizan fibra de carbono o fibra de vidrio y el uso del túnel de viento es esencial para tener este desarrollo en el campo automotriz.

Vamos a tomar en cuenta la aerodinámica que tienen los autos actuales para poder obtener una mayor velocidad con menor gasto de combustible y menor resistencia al viento en las diferentes pistas o carreteras que tiene el mundo, como así en los grandes campeonatos de autos como son la fórmula 1, que son vehículos de alto rendimiento con altas velocidades, y tiene una influencia sobre los demás modelos de automóviles, donde la aerodinámica es muy fundamental para que el auto pueda tener un mayor desarrollo en la pista y todo esto se lo realiza mediante la medición dentro del túnel de viento, donde vamos a saber cuáles son sus partes, para que nos sirva, y también que se hace modelos a escala para poder ahorrar dinero en su construcción.

Para saber todo esto hay un procedimiento y tiene una variedad de túneles de viento, de todos esto debemos de escoger uno para su estudio, ya que todos los

demás tienen otros objetivos, el más utilizado en el campo automotriz es el túnel de viento subsónico, el cual se encarga de realizar todas estas pruebas y sacar datos para obtener el rendimiento de cada automóvil.

1.1 Historia del túnel de viento

Se tiene datos de 1871, ese año se construyó el primer túnel de viento por parte de Sociedad Aeronáutica de Gran Bretaña por medio Francis Herbet Wenham, esto fue para los aviones donde se emplearon los primeros principios de la aerodinámica, tuvo que pasar más de un siglo para que estos principios se aplique a los automóviles y se empleen en los mismos, se tiene fechas cercanas al año de 1960 donde se comenzó a desarrollar los primeros túneles de viento, relaciones con el campo automotriz, así se vió la importancia de tomar en cuenta el rozamiento que tenía el aire con la carrocería y el flujo de aire que pasaba por debajo del auto, estos dos fueron los principios más importantes que se vieron dentro del túnel de viento.



Imagen No. 1 Ford T

(Club, 2015)

En el modelo de Ford T fue uno de los primeros carros que se comenzó a comercializar, se vio que no se tenía en cuenta nada sobre la aerodinámica en el auto, pero los autos de competencia de 1900, tenían pequeñas curvaturas o líneas de expresión de aerodinámica, en 1921 el diseñador e inventor Edmund Rumpler, construyó un carro semejante a una gota de agua, ya que su coeficiente de fricción era muy bajo (0,27) y el aire tenía una menor influencia y se aprovechaba toda su fuerza en el carro.



Imagen No. 2 Diseño de carro en forma de gota de agua

(Fondo, 2015)

En las décadas de los 50 y 60, se comenzó un estudio más exhaustivo sobre la aerodinámica del auto para tener un mejor rendimiento y menor consumo, así en los coches de competencia ya se comenzó a implementar estas cosas, pero se vio que también esto debía ser utilizado en los carros comunes, entre las marcas de autos estaban Lotus, Citroën y Porsche, quienes ya diseñaron esto pero solo para autos de alta gama.

Citroën fue quien comenzó a cambiar todo eso, al realizar sus pruebas mediante el túnel de viento con autos comunes que circulaban en la ciudad, con todos estos datos se pudo construir el Citroën CX, primero se hizo un prototipo, se volvieron hacer otras pruebas en el túnel de viento, así en 1971 se comenzó a fabricar este auto, el cual tenía un coeficiente de fricción de 0.35, el cual era muy bajo, se lo presentó en los salones más grandes del mundo, causó sensación por el diseño que tenía y el rendimiento que alcanzaba, así durante 18 años este auto fue fabricado, y tenía mucha acogida en el mundo entero.



Imagen No. 3 Citroën CX

(Taringa, 2013)

Al llegar el túnel de viento en el campo automotriz, revolucionó todo sobre el diseño que tenía y la eficiencia que le podían dar a la aerodinámica de los autos, así en los últimos 30 años, los túneles de viento ha sido fundamentales para tener un menor consumo y ganar potencia en los autos, entre los fabricantes más importantes y quienes han construido los túneles de viento está Ford quien tiene en esta época uno

de los túneles de viento más completo de todos y avanzados con tecnología a la vanguardia, el nuevo centro es un simulador capaz de tener condiciones climáticas extremas, como son la temperatura, las lluvias, los vientos , altitud, humedad.

El Coeficiente de fricción o el Cx es la fuerza que sufre un cuerpo en el momento que está dentro de un fluido de aire, es una fuerza que se opone al desplazamiento total del automóvil, tenemos coeficientes que van desde los 0.25 hasta los 0.40, tenemos algunos autos en prototipo que tiene un Cx bajo los 0.25 que llegan hasta los 0.19. El Cx tiene como principal virtud el de dar una mejor eficiencia al diseño del auto sin perder su estética y con esto tener un mejor rendimiento con un gasto menor de combustible. Tiene algunos factores que hacen que este Cx sea mayor o menor, entre ellos está la superficie frontal donde el aire choca, también esta forma de sus espejos, así como la parte frontal donde el aire pase y se dirige hacia la parte posterior.

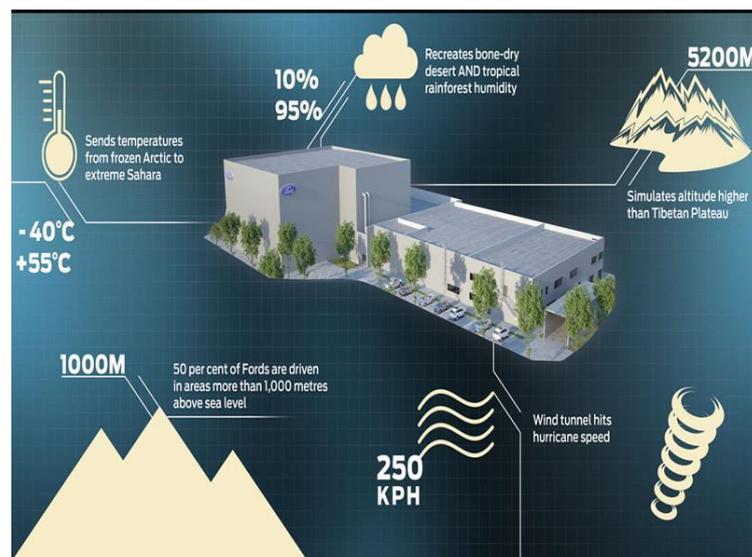


Imagen No. 4 Túnel de viento de Ford

(Mercador, 2014)

1.2 Autos históricos en el túnel de viento.

Entre los modelos y marcas en el sector automotriz, hay coches que se han destacado por tener un coeficiente de fricción más bajo así, tenemos aquí a los mejores en aerodinámica y con mejor fricción, menor consumo y mayor potencia:

- Así tenemos al Volkswagen XL1 tiene un Cx de 0.19, es un híbrido de dos plazas, su motor interno de diésel TDI de dos cilindros de 830 CC.



Imagen No. 5 Volkswagen XL1

(Ingenieria, 2014)

- General Motors EV1 tiene un Cx de 0.195 su fabricación es en 1996, posee dos plazas como sedan, era totalmente eléctrico.



Imagen No. 6 GM EV1

(Ingenieria, 2014)

- Continuamos con un Tetra T77, fabricado en 1935 tiene un Cx de 0.212, fue un coche que se lo realizó en serie, es Checoslovaco, tenía un motor de 3.4 litros



Imagen No. 7 Tetra T77

(Ingenieria, 2014)

- Mercedes Benz CLA salió en 2013 con Cx de 0.22, es el deportivo más actual y aerodinámico que existe, tiene 122 hp a 360 hp, motores de diésel gasolina.



Imagen No. 8 Mercedes Benz CLA

(Ingeniería, 2014)

- Tenemos un Audi A2 el cual es fabricado entre 1999 y 2005, este auto fue comercializado, su Cx era de 0.24, tenía varias opciones, así como de 4 plazas lo que no tenían los demás, y un diseño de gota de agua.



Imagen No. 9 Audi A2

(Ingenieria, 2014)

- Un auto de alta gama es el Tesla Modelo S, tiene motor eléctrico, un potencia de 302 hp, este sedan tiene un Cx de 0.24, tiene una característica las tiraderas de las puertas están incrustadas.



Imagen No. 10 Tesla Modelo S

(Ingenieria, 2014)

- El Opel Calibra es uno de los autos que fue fabricado en 1989 con un Cx de 0.26, venía en versiones de motor delantero transversal, tracción posterior y a las cuatro ruedas, motor de 2.0.



Imagen No. 11 Opel Calibra

(Ingenieria, 2014)

- Toyota Prius es uno de los autos considerados bajos en Cx, tiene 0.27, es un híbrido, su velocidad máxima es de 170 km/h.



Imagen No. 12 Toyota Prius

(Ingenieria, 2014)

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición del túnel de viento

Los túneles de viento tienen como principal función, observar los cambios que tiene el flujo de viento en el coche, está constituido por turbinas las cuales generan un flujo continuo de aire, los cuales tiene algunas clasificaciones.

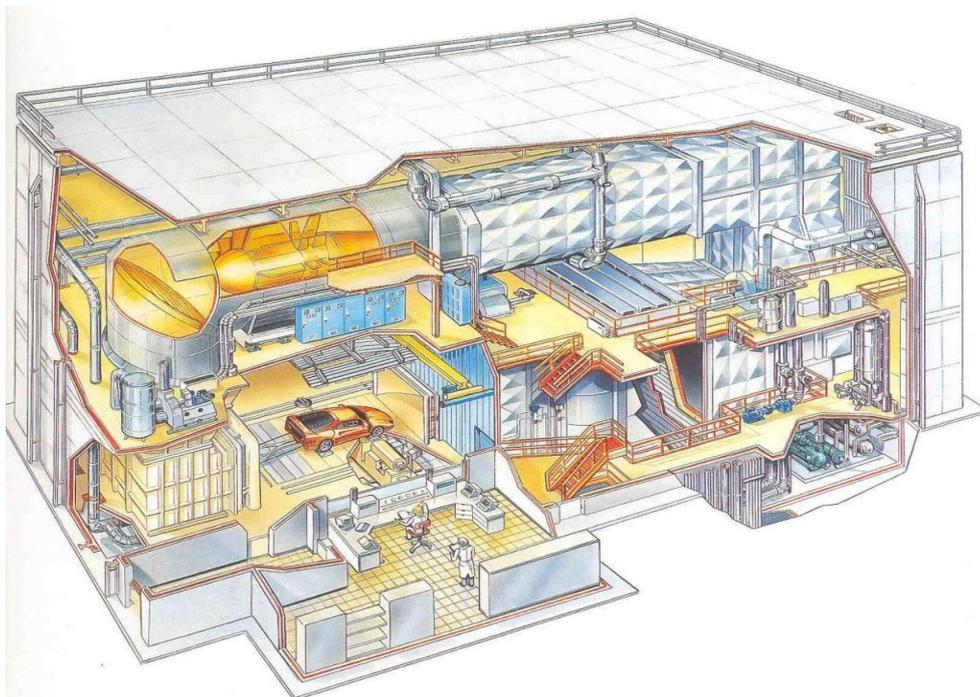


Imagen No. 13 Túnel de viento

(Fórmula1, 2013)

2.2 Clasificación de los túneles de viento

Los túneles de viento tiene algunas clasificaciones, unas de esas es por la circulación, por velocidad y por dirección de flujo de aire, todas estas tiene sus sub clasificaciones, las cuales las vamos a explicar una por una.

2.3 Por la circulación del aire en su interior

2.3.1 Circulación abierta

Estos túneles son los más fáciles de fabricar, el aire ingresa desde el exterior hacia la sección de prueba luego hacia el exterior, existen dos tipos de circulación abierta: la una es aspirada y la otra es soplada, tiene la diferencia por la ubicación de ventilador, el uno está en la entrada y el otro en la salida

El túnel de soplado es el mejor, cuanto tenemos el ventilador dentro del túnel, la sección de prueba tiene más variaciones de flujo que son importantes, en algunos casos se puede aparte el difusor para que los aparatos de medida, esto provoca en algunos casos perdida de potencia, el costo de operación se reduce, mientras el túnel de aspirado tiene menos estabilidad, los fluidos son inestables.

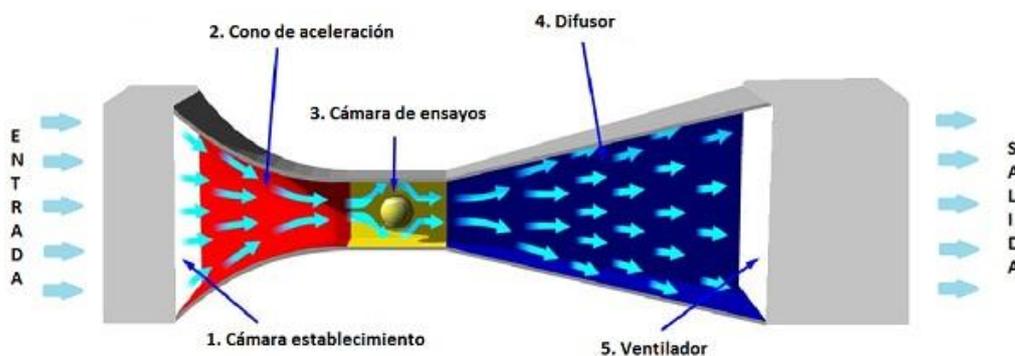


Imagen No. 14 Circulación abierta

(radford, 2010)

2.3.2 Túnel de viento de ciclo cerrado

Este ciclo de túnel cerrado tiene características, como la salida está conectada directamente en la entrada formando un lazo, su construcción es más difícil y son más largos, también debe de ver la fluidez del aire en su interior, los ventiladores deben ser axiales, se colocan compresores en algunas partes del túnel para obtener velocidades muy fuertes.

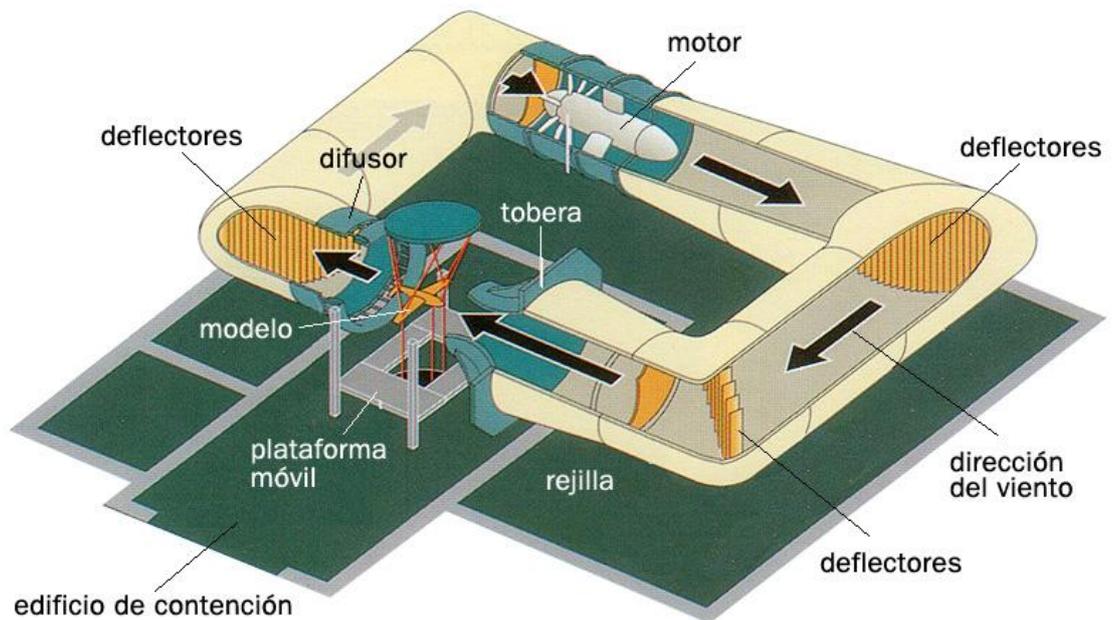


Imagen No. 15 Túnel cerrado

(Reflexionesprohibidas, 2012)

2.4 Por la velocidad del fluido en su interior

Tiene la siguiente clasificación:

2.4.1 Túnel Subsónico

Este túnel permite simular algunos de los fenómenos que suceden en la tierra, en un modelo de escala, esto se lo utiliza en aeronaves, vehículos, hasta en

construcciones civiles, tiene en su interior o en ciertas partes las velocidades llegan hasta los 400 km/h, consta de un ventilador axial.

Tiene algunos modelos que son utilizados dependiendo a los requerimientos que se necesiten.

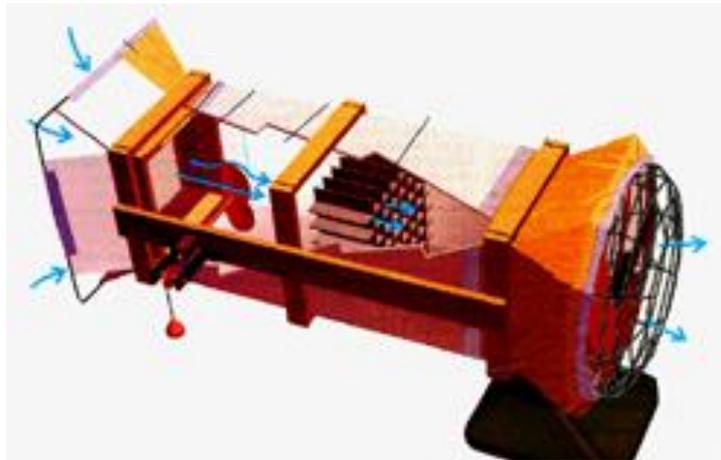


Imagen No. 16 Túnel subsónico

(Facil, 2016)

2.4.2 Túnel Transónico

Estos túneles tienen los mismos principios que los túneles subsónicos pero alcanzan mayores velocidades casi como las del sonido llegando muy cerca a esta velocidad, en la sección de prueba se alcanzan esas velocidades

El flujo Transónico, depende de las velocidades subsónicas que están bajo la velocidad del sonido tiene una medida de Mach 1, estas medidas son las que se utilizan para velocidades dentro del túnel de viento, con supersónicas que tiene un alcance de Mach 2, este flujo va desde Mach 1 hasta Mach 2, estos dos fluidos hacen que se forme el campo Transónico.

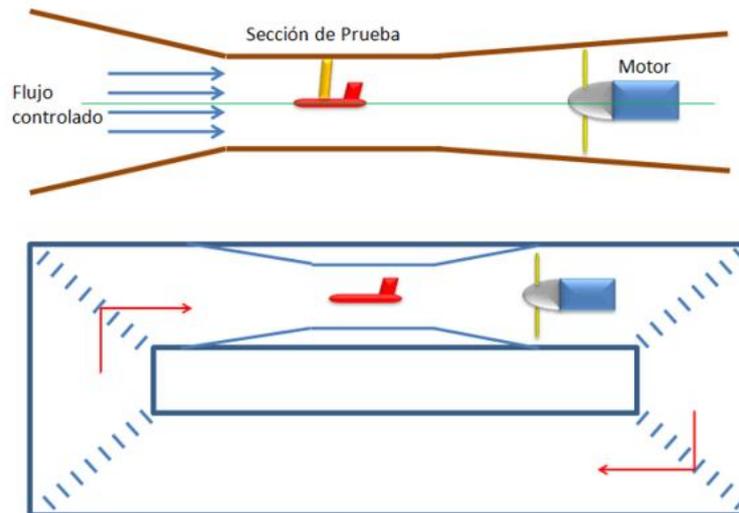


Imagen No. 17 Túnel Transónico

(Kiwiband, 2015)

2.4.3 Túnel del viento supersónico

Los túneles de viento supersónicos tiene una variedad de funcionamientos todo dependiendo para que uso le vayamos a dar en las diferentes arias, estos pueden superar las velocidades del sonido, mayor a 1225 km/h, rompiendo la barrera del sonido.

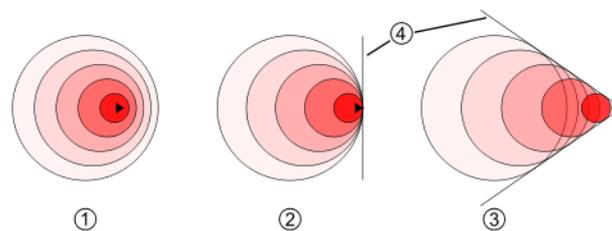


Imagen No. 18 Ondas supersónicas

(Kiwiband, 2015)

1) Subsónico, 2) Mach 1, 3) Supersónico, 4) Onda de choque.

2.4.4 Túnel del viento hipersónico

Las velocidades dentro del túnel de vientos hipersónicos son 5 veces mayores a la velocidad del sonido. Entre los países más desarrollados esta China el cual ya desarrollo un vehículo que alcanza estas velocidades, y lograría velocidades 10 veces mayores a la velocidad del sonido, están creando un túnel de estas magnitudes.



Imagen No. 19 Velocidad hipersónica

(Kiwiband, 2015)

2.5 Por la dirección del flujo

2.5.1 Túnel de viento vertical

Este tipo de túneles son utilizados para el diseño de bombas de caída, bombardeo de picada, aviones en pérdida, algunos casos experimentar caída libre o prácticas de paracaídas.

El flujo de aire en túnel vertical, tiene el movimiento hacia arriba, así que en la cámara superior la gravedad será recompensada con la velocidad del flujo de aire, el nombre que se le dio fue cámara de vuelo, ya que el cuerpo se queda flotando.

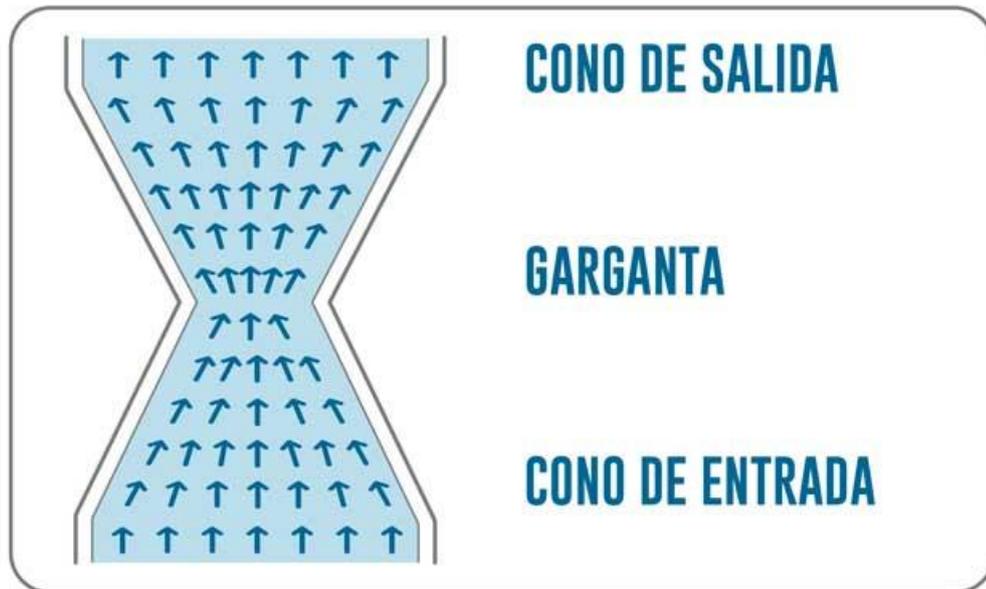


Imagen No. 20 Túnel de viento vertical

(Windoor, 2016)

Los túneles de viento están desde la década del 80 en cuales se utilizaba para las caídas libres, esto empezó en Estados Unidos, así como fue creciendo esto, se lo utilizó para los paracaídas donde ellos practicaban, y esto se extendió hacia los países de Europa, donde en un base militar fue creado uno de los primeros para esta práctica, ahora en la actualidad casi todos los países tiene un túnel de viento vertical, pero España es uno de los países que tiene un túnel de viento recreacional y están por construir otros iguales.

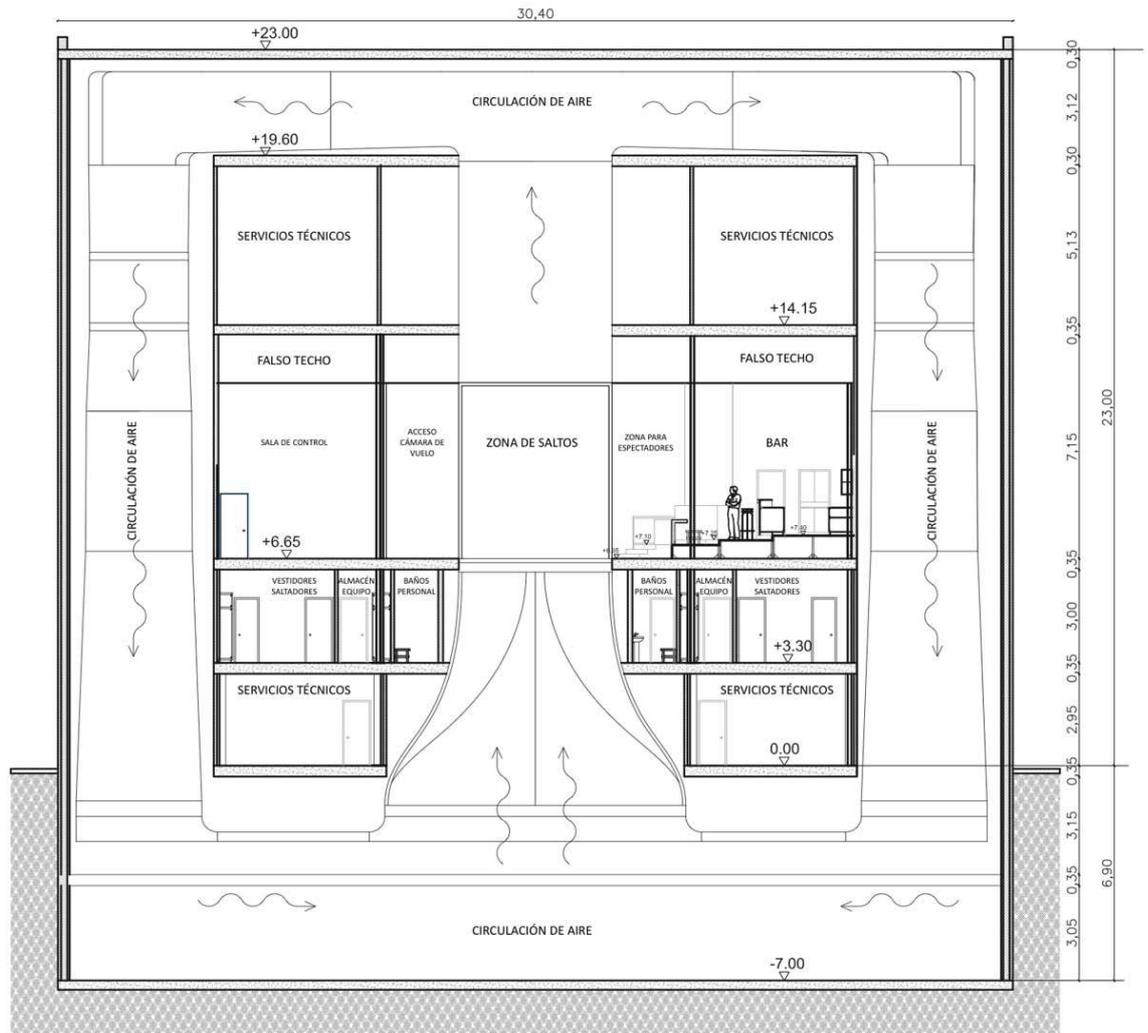


Imagen No. 21 Túnel de viento para juegos

(Windoor, 2016)

2.5.2 Túnel del viento horizontal

El túnel de viento horizontal es el más utilizado en las pruebas de toda índole, y más en el campo automotriz, las velocidades que se pueden alcanzar ya fueron estudiadas anteriormente, este túnel es el más común y tiene un millón de modelos todos estos dependiendo de como se los vaya a utilizar.



Imagen No. 22 Túnel de viento

(Autoproyecto, 2014)

2.6 Componentes de un túnel de viento subsónico

Un túnel de viento también llamada túnel aerodinámico, fue construido con el principio de que se obtenga fluidos rectilíneos y uniformes los cuales se los pueda ver en la cámara de proyectos o sección de prueba, todos estos términos los vamos analizar para tener una mejor definición de ellos, para que sirven dentro del túnel.

La mayoría de los túneles de viento tienen 6 componentes, como los ventiladores, las cámaras de estabilidad, sección de contracción, la sección de prueba donde va el objeto, los dispositivos de medida y observación y un difusor.

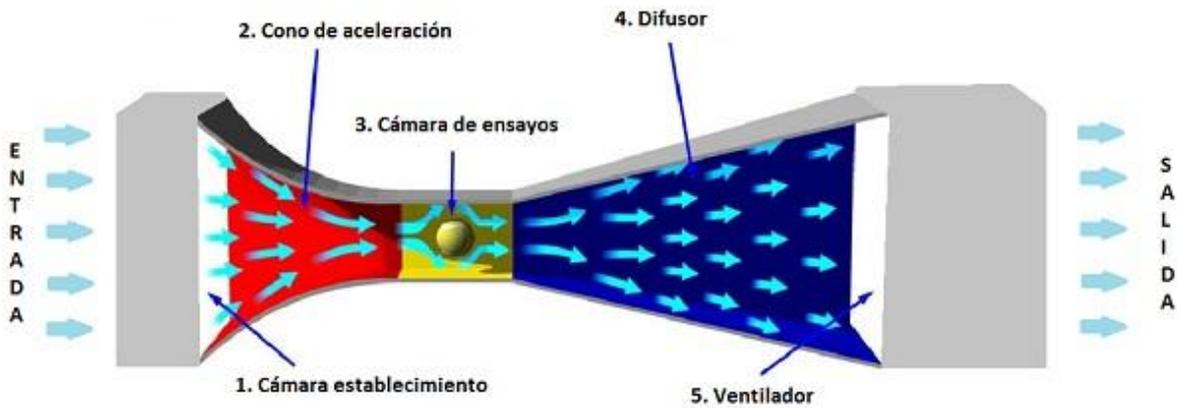


Imagen No. 23 Parte del túnel de viento

(FARRARONS, 2010)

2.6.1 Ventiladores

Tenemos dos clases de ventiladores las cuales los vamos a describir:

1) Ventiladores centrífugos

La dirección en estos ventiladores centrífugos, sigue la trayectoria del eje de entrada y la salida es perpendicular a la misma, existen tres tipos de rotores que están en los ventiladores.

Todos estos ventiladores, tiene estas tres posiciones:

- a) **Curvados hacia adelante:** tiene el rodete hacia el radio de giro.
- b) **Rectos:** estos poseen baja velocidad periférica.
- c) **Inclinados hacia atrás:** estos aumentan su potencial en el caudal.

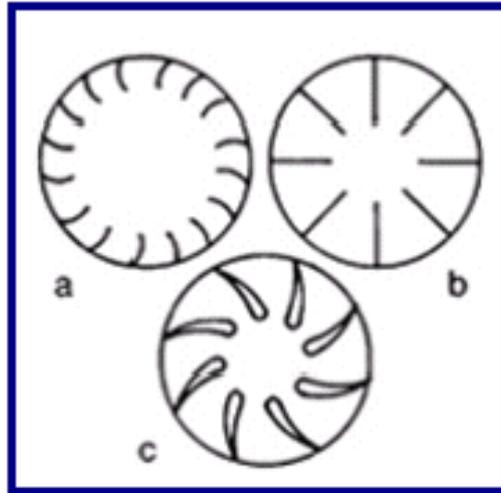


Imagen No. 24 Tipos ventiladores centrífugos

(Unet)

2) Ventiladores axiales

Proporciona un impulso energético en espiral, existen tres tipos básicos los cuales son los más comunes en utilizar:

- a) **Helicoidales:** tiene poca pérdida de carga, son los más utilizados en los modelos a escala.
- b) **Tubulares:** esta dentro de una carcasa cilíndrica, tiene una sección constante.
- c) **Turbo axiales con directrices:** estos pueden tener aletas que enderezan el flujo del aire, son de alto rendimiento.

2.6.2 Cámara de estabilización

Es una zona donde hay un correcto flujo y tenemos unos paneles o pantallas, quienes estabilizan las corrientes de aire.

1) Panales

Función principal es para reducir el desorden del flujo del aire.

2) Pantallas

Estas pantallas tiene la función de crear una caída de presión a través de la relación del área de apertura, otras variantes más dentro del túnel que pueden ser la densidad y flujos.

2.6.3 Sección de contracción

Podemos observar que en esta parte se realiza la disminución de paso de aire en el túnel, como principal objetivo es reducir las variaciones de velocidad, y acelerar el flujo, esta entre la cámara de estabilización y la sección de prueba.

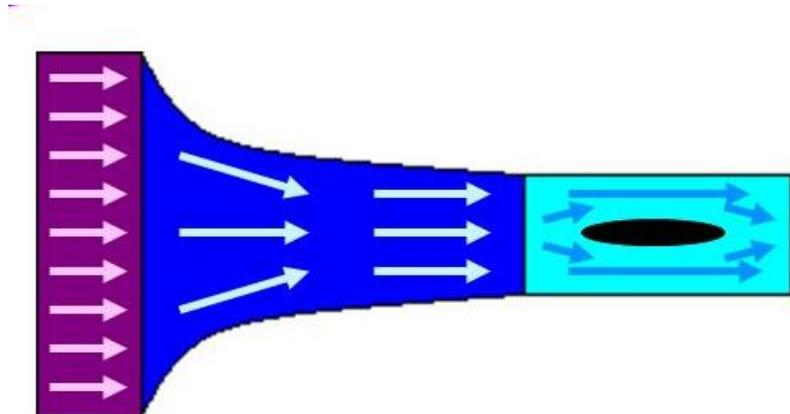


Imagen No. 25 Sección de contracción

(Slideplayer, 2016)

2.6.4 Sección de prueba

Esta sección es donde se instala el modelo a escala para el estudio, la cual debe ser larga dispuesta con los requisitos de prueba, y aquí se alcanza la velocidad máxima de flujo, se tiene corrientes uniformes y paralelas para poder seguir con las mediciones y observaciones.

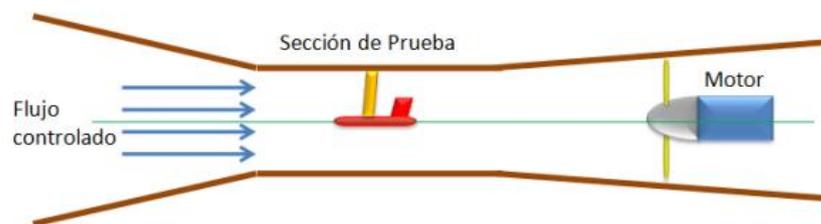


Imagen No. 26 Sección de prueba

(Kiwiband, 2015)

2.6.5 Dispositivos de medida y observación

Se tiene una gran variedad de dispositivos de medida y observación, así el más utilizado en estos túneles de viento subsónicos son el tubo de pitot con la ayuda de un manómetro, estos miden diferencias de presión estática es la que tiene un fluido, apartado del movimiento del auto y de dinámica que es movimiento de los fluidos que están en acción, con esto se puede calcular la velocidad de flujo y la presión dinámica.

Anemómetros son los elementos mecánicos y hay otros con mayor precisión que son de hilo caliente estos dan una medida exacta de los flujos de aire que pasan por el auto y en sus diferentes partes.

2.6.6 Difusor

Tiene como objetivo principal reducir la velocidad de flujo y aumentar su presión, permite que disminuir la pérdida mediante la fricción, se encuentra a la salida de la sección de prueba.

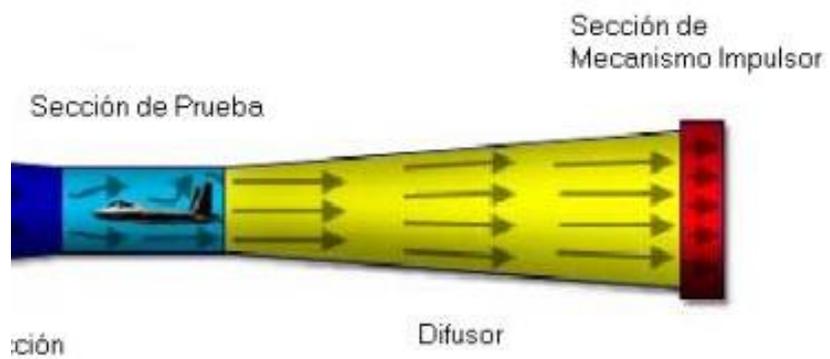


Imagen No. 27 Difusor

(Marin, 2015)

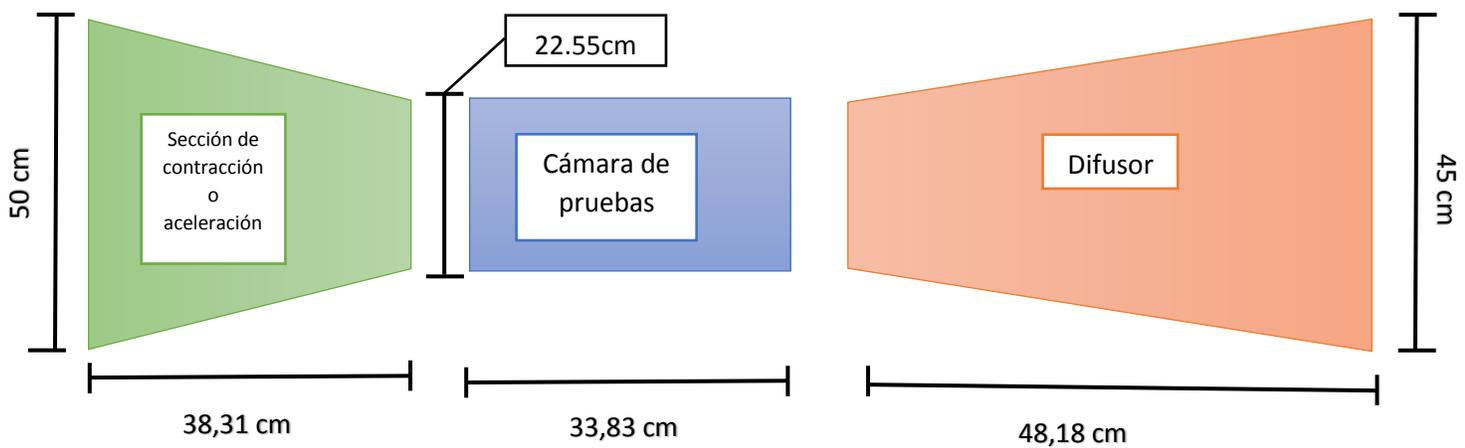
CAPITULO 3

CONSTRUCCION DEL TUNEL DE VIENTO A ESCALA

Como nuestro primer punto para la construcción del túnel de viento, a escala, tomamos las dimensiones de uno real, y lo hicimos a una escala 1:18, al igual los autos que vamos a emplear para las pruebas.

3.1 Dimensiones del túnel de viento a escala

Las medidas del túnel, fueron tomadas de un túnel de viento subsónico el cual es utilizado en su mayoría para las pruebas de los automóviles, en la imagen de abajo vamos a encontrar las medidas de cada parte del túnel.



(Pablo Landázuri, 2016)



Foto N. 1 Túnel de viento

(Pablo Landázuri, 2016)

3.2 Proceso de construcción de la cámara de pruebas.

Establecidas ya las medidas de la cámara de pruebas, procedemos a la cortar, la base la vamos hacer de madera y las demás paredes las vamos a realizar con acrílico de 3 mm, el que va hacer transparente para poder observar y tomar las medidas que vayamos a necesitar, hay también colocamos los instrumentos de medición en diferentes puntos.



Foto N. 2 Sección de prueba

(Pablo Landázuri, 2016)

3.3 Proceso de construcción de las secciones de contracción y expansión o difusor

Igualmente como la cámara de pruebas, vamos a realizar los cortes, la base la vamos hacer de madera y sus otras paredes de acrílico, aquí vamos tener una diferencia entre las bases, y que las dos secciones tiene una forma de trapecio. En estas secciones se puede ver el flujo del aire de entrada y salida, y como el aire pasa por el automóvil, donde el ventilador hace que el aire fluya sobre todo la aerodinámica del auto.



Foto N. 3 Difusor

(Pablo Landázuri, 2016)

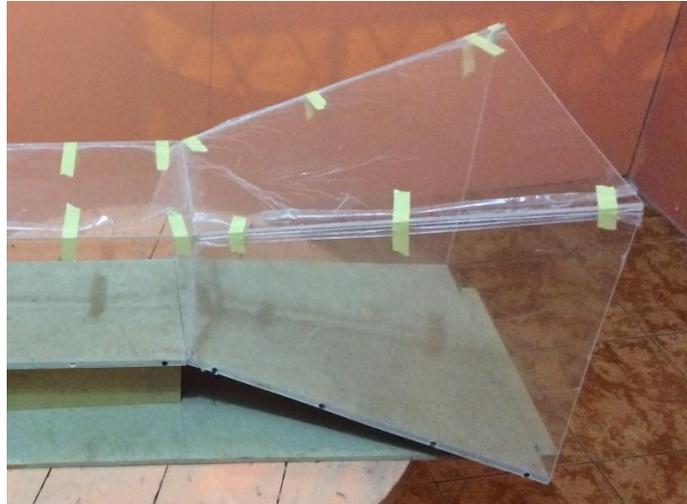


Foto N. 4 Sección de Contracción

(Pablo Landázuri, 2016)

3.4 Extractor o ventilador.

Tomando la escala del túnel de viento, se hizo las medidas para poder adquirir un ventilador, que se ajuste a las características de la escala y tomar todas las mediciones posibles y casi reales, así tenemos, la rotación de velocidad va a ser de 1205 rpm, hélice rotativa de plástico, diámetro de 300 mm, a 12 voltios, tienen 8 hélices que dan toda la fuerza de absorción del aire.



Foto N. 5 Ventilador

(Pablo Landázuri, 2016)

Para el ventilador se le implemento una base fija y unos sujetadores para darle el soporte necesario y con este el ventilador de la dirección adecuada del flujo de aire.



Foto N. 6 Base del ventilador

(Pablo Landázuri, 2016)

3.5 Construcción de las bases de soporte de los elementos.

Con todos los elementos armados, procedemos a construir los soportes, donde van a ir las secciones y el ventilador, tiene una inclinación de 45 grados las secciones de contracción y expansión, también damos un mayor soporte en la sección de prueba, y adecuamos algunos agujeros para poder pasar los cables de medición y esos no interrumpen con el modelo de las bases.



Foto N. 7 Soporte de las secciones

(Pablo Landázuri, 2016)



Foto N. 8 Soporte de la sección de pruebas

(Pablo Landázuri, 2016)

3.6 Montaje de todos los elementos.

A continuación procedemos a formar el túnel de viento con todas las secciones ya mencionadas, juntamos todas las partes.



Foto N. 9 Sección de contracción, prueba y difusor

(Pablo Landázuri, 2016)

Ya construido el túnel de viento ponemos el este sobre las bases, para observar el grado de inclinación que necesitamos, así también procedemos a poner el objeto de prueba dentro del túnel, y que éste se encuentre en una posición uniforme.



Foto N. 10 Bases del túnel

(Pablo Landázuri, 2016)

Todas éstas partes ya juntas, procedemos a pintar la base y poner los cables de las mediciones, también procedemos a montar el ventilador, y ver algunas falencias para darle solución para proceder ya con las primeras pruebas.



Foto N. 11 Base Pintada y cables de medición

(Pablo Landázuri, 2016)

El ventilador lo colocamos el parte de atrás por la sección de contracción o difusor, y procedemos a las primeras pruebas, dando resultados muy aceptables, y como esto ya seguimos a simular todas situaciones del flujo de aire.



Foto N. 12 Túnel viento construido

(Pablo Landázuri, 2016)



Foto N. 13 Primeras pruebas

(Pablo Landázuri, 2016)



Foto N. 14 Observación del flujo de aire

(Pablo Landázuri, 2016)

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de Velocidades

Partes calculadas	Velocidades Simulador	Velocidad Real	Margen de error
Flujo de aire	2.58 m/s	2.18 m/s	0.4 a 0.6 m/s
Sección de pruebas	28.78 m/s	21.56 m/s	7 a 9 m/s
Difusor	9.89 m/s	7.61 m/s	2 a 4 m/s

Tabla 1 Velocidades de las secciones

(Pablo Landázuri, 2016)

Los rangos de velocidades simuladas con las velocidades reales son aceptables, nos estamos basando en los resultados que se dieron con los autos el Comité Automotriz. Los rangos de velocidades reales fueron tomados de un túnel de viento de tamaño real, estos fueron 2.18 m/s en el flujo de aire que hay dentro del túnel, 21.56 m/s en la sección de prueba donde están los autos para ver su aerodinámica, y por último está el difusor que tiene como dato 7.61 m/s, todo estos datos están dados dentro de un metro cuadrado.

4.2 Resultados del túnel de viento

Automóviles	Velocidad	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4
Mercedes Clase C	20 km/h	2,89 m ³ / s	2,29 m ³ / s	2,98 m ³ / s	2,97 m ³ / s
	60 km/h	2,78 m ³ / s	2,27 m ³ / s	2,96 m ³ / s	2,95 m ³ / s
	100 km/h	2,25 m ³ / s	2,26 m ³ / s	2,54 m ³ / s	2,28 m ³ / s
Audi Q7	20 km/h	4,84 m ³ / s	4,95 m ³ / s	5,01 m ³ / s	5,02 m ³ / s
	60 km/h	4,81 m ³ / s	5,01 m ³ / s	5,01 m ³ / s	5,02 m ³ / s
	100 km/h	4,23 m ³ / s	4,78 m ³ / s	5,01 m ³ / s	5,02 m ³ / s
Chevrolet	20 km/h	2,92 m ³ / s	2,16 m ³ / s	2,68 m ³ / s	2,83 m ³ / s
	60 km/h	281 m ³ / s	2,21 m ³ / s	2,48 m ³ / s	244 m ³ / s
	1000 km/h	2,87 m ³ / s	2,18 m ³ / s	2,53 m ³ / s	2,67 m ³ / s

Tabla 2 Datos de la simulación

(Pablo Landázuri, 2016)

Dados los resultados se determinó que todo depende de la utilidad del automóvil para saber que coeficiente de rozamiento, así los SUV tiene un rozamiento mayor porque son más de fuerza, así los automóviles deportivos tiene un rozamiento menor para poder aprovechar toda la potencia y puedan llegar a altas velocidades, así también al aire que llega la auto se aprovecha para a ventilación de los frenos y del motor, así como tiene su desventajas también hay ventajas, las cuales están siendo aprovechadas de la mejor manera posible dentro del campo automotriz en cual se desarrolla cada vez más y tenemos más conocimientos por aprender.

Para dar los resultados y análisis de los mismos, se tiene como principios el estudio de las acciones y sus efectos que hace el aire en un automóvil, así se tiene aire o flujo que

se produce en el exterior del automóvil y su comportamiento en la carretera. Las líneas de expresión que tiene el carro, entre estas hay partes que tiene un concavidad donde choca el aire o zonas viscosas, todo esto puede influenciar en el rendimiento del automóvil para hacer lento o rápido dependiendo de cuanto aire rose la carrocería, con estos afecta las llantas y a la maniobrabilidad del auto.

Los resultados que nos abarcó, estas pruebas fueron realizados a tres carros a escala:

- **Mercedes Clase C: escala 1:18,**

Altura; 144.2 cm: 8.01

Longitud; 468.6 cm: 26.03

Anchura; 180.1 cm: 10

Cx: 0.29

- **Audi Q7: escala 1:18,**

Altura; 174.0 cm: 9.67

Longitud; 505.2cm: 28.07

Anchura; 221.2cm: 12.28

Cx: 0.32

- **Chevrolet: escala 1:18, altura**

Altura; 134.0 cm: 7.45

Longitud; 478.3 cm: 26.57

Anchura; 199.0 cm: 11.06

Cx: 0.27

Todos estos análisis de la aerodinámica del auto es para ver que cada auto tiene un compartimiento diferente, esto también de sus partes complementarias, las cuales son: pasar un límite de velocidad se nota ruidos en el automóvil que influyen, también están, todo el diseño del capot, grados de inclinación del parabrisas, las llantas, los laterales, el alerón, la parrilla, entre más accesorios, estos influyen en el análisis del flujo de aire en el automóvil.

Los cuales dieron resultados muy diversos, y dando a conocer que cada carro depende de la forma de su alerón y sus líneas de expresión que lleva cada carro, así tenemos tres variantes que influyendo en todos estos datos, y que nos llevaron a un cambio de todo lo previsto.

Estas líneas de expresión de las puede cambiar pero sabiendo cuál es su rozamiento con la carrocería, también los alerones, que se les ponga para poder aprovechar el aire también, para poder ganar un poco de potencia, esto más se puede ver en la fórmula uno, donde el aire implica mucho, pero ellos aprovechan todo eso para darle un aerodinámicas mucho más adecuada para cada carrera y los carros no tengan un desgaste de llantas y de combustible, por eso cada automóvil de fórmula uno tiene un ingeniero en aerodinámica para poder aprovechar y ver el mínimo rozamiento de aire en el automóvil de fórmula uno.

CONCLUSIONES

Al concluir el estudio de los túneles de viento en el sector automotriz tenemos las siguientes conclusiones:

- Se pudo ver mediante este estudio de varios túneles, que las diversas construcciones son empleadas para cada necesidad que se tuviera, así el túnel subsónico es el utilizado para nuestro sector automotriz, en el cual podemos ver la influencia que tiene el viento en el diseño de la aerodinámica de los vehículos.
- Se construyó un túnel de viento a escala con los conocimientos y experiencia en el campo automotriz que permitieron realizar pruebas para llevar a la práctica los efectos del viento sobre la aerodinámica de los vehículos.
- Se determinó de acuerdo a los resultados cual es el vehículo que tiene menor coeficiente de rozamiento lo cual lo hace más eficiente en su desempeño.
- Es mejoramiento de la aerodinámica de un vehículo influye directamente en el desempeño del mismo y eso en un ahorro de combustible lo cual es un beneficio para el propietario.

RECOMENDACIONES

Al realizar mi trabajo de investigación y de aplicación que se da en los automóviles, doy las siguientes recomendaciones.

- El estudio del túnel de viento en el sector automotriz llevo a que, no se puede observar todas las variantes que vayamos a tener dentro de la practica pero si minimizar estas, se recomienda poner toda las variaciones posibles para el diseño del automóvil sea eficiente.
- La elaboración de manuales de construcción de diferentes túneles de viento cada uno dependiendo a la necesidad que uno tuviera, y con esto el diseño de cada auto puede ser hasta personalizado, dependiendo del clima y para qué va hacer ocupado.
- Al realizar las mediciones o la construcción de estos se debe de tomar en cuenta la minuciosidad y prolijidad deber ser una tónica constante al trabajar, todas las medidas deben ser exactas para poder sacar un modelo que sea acorde a las variaciones que se tuvieron.

- Con el conocimiento, habilidades y destrezas podemos desarrollar en nuestro país un túnel de viento, ya que nuestro país tiene todas las condiciones para realizar un estudio amplio sobre la influencia en del viento en el automóvil, así dar un diseño para nuestras propias condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

Grupo editorial CEAC. (2003). Manual ceac del automóvil. Barcelona: Editorial Ceac. Pág. 76-87.

APARICIO, VERA DIAZ, Editorial ETS/ 2001 Teoría de los Automóviles, .Pág. 45.

NETGRAFÍA

Autoproyecto. (14 de 06 de 2014). *Autoproyecto*. Obtenido de Autoproyecto:
<http://autoproyecto.com/2013/06/la-aerodinamica-y-el-tunel-del-viento.html>

Club, C. V. (5 de noviembre de 2015). *Cowichan Valley Camera Club*. Obtenido de Cowichan Valley
 Camera Club: http://www.pbase.com/cvcc/pom_03_2008

Facil, C. (18 de 02 de 2016). *Ciencia Facil*. Obtenido de
<http://www.cienciafacil.com/Catalogodeplanos.html>

FARRARONS, R. (20 de 11 de 2010). *F1aldia*. Obtenido de <http://www.f1aldia.com/10650/tuneles-de-viento-i/>

fondo, M. a. (2014). *Motor a fondo*. Obtenido de Motor a fondo: <http://www.motorafondo.net/la-aerodinamica-en-los-coches-historia-y-evolucion/>

Formula1, q. (2013). *que Formula1*. Obtenido de que Formula1: <http://www.que-formula1.com/>

Ingenieria, F. d. (12 de 0 de 2014). *Fieras de la Ingenieria*. Obtenido de Fieras de la Ingenieria:

<http://www.fierasdelaingenieria.com/los-automoviles-mas-aerodinamicos-de-la-historia/>

Kiwiwand. (2015). *Kiwiwand*. Obtenido de kiwiwand:

http://www.wikiwand.com/es/T%C3%BAnel_de_viento

Marin, V. (2015). *Fluidos*. Obtenido de Fluidos:

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html>

radford. (2010). *radford*. Obtenido de radford: <http://www.radford.edu/~chem-web/Physics/im>

Reflexionesprohibidas. (10 de 2012). *reflexionesprohibidas*. Obtenido de reflexionesprohibidas:

<http://reflexionesprohibidas.blogspot.com/2012/10/el-tunel-de-viento-el-gran-desconocido.html>

Slideplayer. (2016). *Slideplayer*. Obtenido de Slideplayer: <http://slideplayer.es/slide/3552252/>

Taringa. (2013). *Taringa*. Obtenido de Taringa: [http://www.taringa.net/posts/autos-](http://www.taringa.net/posts/autos-motos/17003509/El-coche-que-cambio-la-historia.html)

[motos/17003509/El-coche-que-cambio-la-historia.html](http://www.taringa.net/posts/autos-motos/17003509/El-coche-que-cambio-la-historia.html)

Unet. (s.f.). *Unet*. Obtenido de Unet: <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128.htm>

usa, M. d. (2014). *Mercado de dinero usa*. Obtenido de Mercado de dinero usa:

<http://www.mercadodedinerousa.com/Empresas/5562-ford-construye-tunel-de-viento-mas-avanzado-del-mundo.html>

Windoer. (03 de 01 de 2016). *Windoer*. Obtenido de <http://www.windoer->

[realfly.com/es/contents/:slug-3](http://www.windoer-realfly.com/es/contents/:slug-3)

GLOSARIO

- automotriz, vi, 5, 6, 8, 10, 22, 42, 43: movimientos de un cuerpo con su propia autonomía
- carrocería, 5, 6: arte exterior metálica de un vehículo que recubre el motor y otros elementos y en cuyo interior se instalan los pasajeros y la carga
- coeficiente, vi, 7, 8, 10: número que expresa el valor de un cambio en relación con las condiciones en que se produce
- estabilidad, 16, 23: propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación.
- flujo, 6, 15, 16, 18, 20, 21, 25, 26, 27, 28: movimiento de un fluido de aire
- Mach, 19: una medida de velocidad relativa, definida como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto
- prototipo, 8: primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica
- rodete, 24: objeto con forma de rueda o rosca, hecho de un material flexible,
- velocidad, 5, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 24, 26, 27, 28: relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello
- ventiladores, 3, 17, 23, 24, 25: turbo máquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire