



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y Construcción de un Túnel de Viento
para el Estudio de Propagación de Flama
en Combustibles Inmiscibles en Agua.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
EN EL AREA DE INGENIERIA MECANICA
P R E S E N T A N**

**SERGIO MARTIN BASTIDA SALGADO
FCO. JAVIER RODRIGUEZ ORTEGA
FLORENTINO SAEZ ESPINOLA**

**DIRECTOR: DR. CESAR TREVIÑO TREVIÑO
ASESOR: DR. JAIME CERVANTES DE GORTARI**

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE DE 1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pag.
Nomenclatura	1
Capítulo No. 1 "INTRODUCCION"	3
1.1 Objetivo de la tesis	3
1.1.1. Antecedentes de la experimentación en combustión	3
1.1.2. Necesidades de realizar pruebas para el estudio de propagación de flama	4
1.1.3. Propuesta de un túnel de viento para el estudio de propagación flama	5
1.1.4. Contenido de la tesis	6
1.2. Objeto de los túneles de viento	7
1.2.1. Clasificación de túneles de viento	7
1.2.2. Antecedentes históricos de los túneles de viento	17
1.2.3. Ventajas y desventajas	19
1.2.4. Aplicaciones de los túneles.	20
Capítulo No. 2 "DISEÑO Y SELECCION DE LA GEOMETRIA DEL TUNEL"	22
2.1. Selección del tipo del túnel	22
2.2. Requerimientos de la construcción	24
2.3. Diseño de los componentes básicos	25
2.3.1. Unidad impulsora	26
2.3.2. Zona de transición	27
2.3.3. Difusor	28
2.3.4. Zona de Calma	31
2.3.5. Tobera o efusor	32
2.3.6. Zona de Pruebas	34

2.3.7 Chimenea	35
2.4 Cálculo de la Relación de Contracción	37
2.5 Cálculo de Pérdidas	38
2.5.1 Pérdidas en el Ventilador	42
2.5.2 Pérdidas en la Zona de Transición	45
2.5.3 Pérdidas en el Difusor	45
2.5.4 Pérdidas en la Zona de Calma	46
2.5.5 Pérdidas en la Tobera ó Efusor	47
2.5.6 Pérdidas en la Sección de Pruebas	48
2.5.7 Pérdidas en la Chimenea	49
2.5.8 Pérdidas debidas al Panal	50
2.5.9 Pérdidas debidas a la Entrada y Salida del Flujo	51
2.5.9.1 Pérdidas debidas a la Entrada del Flujo	51
2.5.9.2 Pérdidas debidas a la Salida del Flujo	52
2.6 Cálculo de la Potencia del Motor	53
Capítulo No. 3 " Análisis de alternativas "	55
3.1 Elementos que constituyen el Túnel de Viento	55
3.1.1 Sistema de Velocidad Variable	55
3.1.2 Sistema de Impulsión de Aire	57
3.1.3 Material para la Zona de Pruebas	60
3.1.4 Material que forma el Cuerpo del Ducto	62
3.1.5 Materiales para el Soporte ó Estructura	64
3.1.6 Unión de las Secciones	64
3.2 Selección de los Elementos que Constituyen el Túnel de Viento	65
3.2.1 Sistema de Velocidad Variable	65
3.2.2 Sistema de Impulsión de Aire	67
3.2.3 Material de la Zona de Pruebas	68
3.2.4 Material que forma el Cuerpo del Ducto	68
3.2.5 Materiales para el Soporte ó Estructura	69
3.2.6 Unión de las secciones	70

3.3 Estudio Económico de Alternativas Globales	71
Capítulo No. 4 "CONSTRUCCION DEL TUNEL DE VIENTO"	81
4.1 Chimenea	82
4.2 Zona de Pruebas	87
4.3 Tobera ó Efusor	92
4.4 Zona de Calma	94
4.5 Difusor	97
4.6 Transición	97
4.7 Unidad Impulsora	98
Capítulo No. 5 " PRUEBAS Y CONCLUSIONES "	103
5.1 Mediciones en la zona de pruebas para su caracterizacion (curva de calibración)	103
5.2 Perfil de Velocidades en la Zona de Pruebas	111
5.3 Curvas de Distribución de Velocidades en la Zona de Pruebas	113
5.4 Perfil de Velocidades a lo largo del Túnel	115
5.5 Muestreo de Caídas de Presiones Estática y Dinámica a lo largo del Túnel	117
5.6 Comprobación de Baja Turbulencia del Flujo de Aire en la Zona de Pruebas	118
5.7 Comportamiento de los Materiales en la Zona de Pruebas	119
5.8 Conclusiones	122
5.8.1 Mejoras en el Diseño	123
5.8.2 Conclusiones de la Construcción	126
5.8.3 Conclusiones de los Resultados	126
Apéndice A Mediciones en la zona de pruebas	128
Apéndice B Experimento de combustión	131
Apéndice C Sistemas de variación de velocidad	135
3.1.1.A Sistema Mecánico de Variación de Velocidad	136
3.1.1.B Sistema Hidráulico de Variación de Velocidad	144
3.1.1.C Sistema Neumático de Velocidad Variable	146
3.1.1.D Sistema Eléctrico de Variación de Velocidad	147
Bibliografía	160

NOMENCLATURA

A	-área transversal de la sección
A ₁	-altura de la sección de la entrada
A ₂	-altura de la sección de la salida
A _{ET}	-área de entrada del túnel
A _{ST}	-área de salida del túnel
b	-es la mitad de A ₂
B	-es la mitad de A ₁
D	-diámetro local ó equivalente
D _o	-diámetro del chorro de aire
D ₁	-diámetro menor
D ₂	-diámetro mayor
g	-aceleración de la gravedad
h _D	-diferencia de niveles en el manómetro diferencial
k	-coeficiente de pérdidas por fricción
k _o	-coeficiente total de pérdidas
L	-longitud de la sección
p	-presión estática
P _m	-potencia del motor
POT _{CH}	-potencia del chorro
POT _S	-potencia suministrada
q	-presión dinámica ó energía cinética
Q	-gasto volumétrico
Re	-número de Reynolds
Rc	-relación de contracción
RE	-relación de energía

- \bar{v} - velocidad media
- α - ángulo de difusión
- P - caída de presión estática
- PE - pérdida de energía
- λ - coeficiente debido a la fricción superficial
- η_v - eficiencia del ventilador
- ρ - densidad del aire
- ρ_{fm} - densidad del fluido manométrico
- PM - perímetro mojado

CAPITULO No. 1

INTRODUCCION

1.1. OBJETIVO DE LA TESIS

Con este proyecto se pretende proporcionar el equipo y los medios adecuados para poder incursionar en el estudio de la combustión de combustibles líquidos inmiscibles en agua y encontrar respuestas a problemas como el de contaminación en el mar, lagos o ríos por derrames de petróleo y sus derivados, estableciendo una alternativa para su control, que sería la de autoextinción de las manchas de petróleo mediante su combustión.

1.1.1. ANTECEDENTES DE LA EXPERIMENTACION EN COMBUSTION

La gran mayoría de los experimentos en combustión se realizan en los E.E.U.U., la U.R.S.S. y Europa principalmente. Se han enfocado sobre todo, a conocer la mecánica de la combustión y de esta manera mejorar la eficiencia de la misma, mediante el establecimiento de modelos matemáticos generados a partir de la experimentación.

Esto reviste gran importancia a nivel mundial debido a la escasez y al constante incremento en el precio de los combustibles en la última década.

1.1.2. NECESIDADES DE REALIZAR PRUEBAS PARA EL ESTUDIO
DE PROPAGACION DE FLAMA.

El objeto de los experimentos es el de obtener las relaciones que existen en la velocidad de propagación del fuego a través de la superficie del combustible de acuerdo a la temperatura del mismo, así como del espesor del volumen de combustible.

En la actualidad se desconocen todavía muchos de los mecanismos que intervienen en el fenómeno de combustión, - particularmente en la combustión de combustibles líquidos-inmiscibles en agua; éste resulta un campo, si no virgen, - sí de grandes posibilidades para la investigación. Esto - aunado a que existen muy pocas publicaciones acerca de éste fenómeno a nivel mundial, representa una gran oportunidad para incursionar de manera importante en éste campo de la investigación sobre todo a nivel de institución. Otros de los fenómenos dentro del campo de la combustión que se pueden estudiar en el túnel de viento son:

- Combustión Catalítica
- Velocidad Crítica de Flama
- Combustión de Gotas
- Pulsación de la Flama
- Etc.

1.1.3. PROPUESTA DE UN TUNEL DE VIENTO PARA EL ESTUDIO DE PROPAGACION DE FLAMA.

El objeto principal de la tesis es proporcionar los medios adecuados para realizar la experimentación, controlando algunas condiciones ambientales entre las que destaca el lograr diferentes velocidades de viento para simular las condiciones bajo las que se realiza el fenómeno de combustión de petróleo u otro combustible líquido. Por otro lado el equipo a utilizar debería ser económico, fácil de operar, y de componentes nacionales.

Se encontró que lo más adecuado para satisfacer nuestros requerimientos era un túnel de viento abierto (La selección del tipo de túnel se describe en el inciso 2.1.) Además del estudio de propagación de flama, también se pueden realizar estudios y simulaciones en los campos de estructuras, hidráulica, meteorología, aerodinámica, etc.

En el caso de este túnel de viento, se puede lograr una simulación de los precipitadores electrostáticos de polvos o cenizas integrados en los ductos de las chimeneas de centrales termoeléctricas, plantas de cemento, etc.

Esta simulación se llevaría a cabo en la transición, parte del túnel que conecta el ventilador (sección circular) con el difusor (sección rectangular), ya que su configuración similar a la de estos equipos.

Como se ve, la construcción del túnel de viento resulta de gran utilidad para la investigación de muchos fenómenos y su costo bastante inferior al de un túnel importado (en México no se fabrican comercialmente).

Con este tipo de trabajos se puede lograr una incipiente tecnología para la construcción de otros túneles de viento.

1.1.4. CONTENIDO DE LA TESIS

Una vez planteado el objetivo de la tesis en la primera parte de este capítulo, en la segunda parte se da un bosquejo general de los distintos túneles de viento, su aplicación y sus antecedentes históricos.

En el capítulo 2 están contenidos los aspectos referentes al diseño de cada uno de los componentes del túnel, así como los cálculos de las pérdidas y de la potencia del motor.

En el capítulo 3 se hace un análisis técnico-económico de las diferentes alternativas en cuanto a materiales y equipos. Al final del capítulo se establece un costo total de la alternativa elegida.

El capítulo 4 describe la metodología, los procesos y los problemas de la construcción del túnel para cada una de las secciones.

Finalmente en el capítulo 5 se hace una descripción de cada una de las pruebas realizadas en el túnel y de los resultados obtenidos. En la segunda parte de este capítulo se establecen las conclusiones para el diseño, la construcción y los resultados obtenidos en las pruebas.

Se incluyen además tres apéndices, el primero se refiere a las mediciones realizadas para determinar la caracterización del túnel. El segundo describe con detalle el experimento de combustión, así como los elementos de apoyo y medición para la realización del mismo. Finalmente en el tercero se describen ampliamente los diferentes sistemas de velocidad variable que podrían utilizarse para controlar la velocidad del viento.

1.2 OBJETO DE LOS TUNELES DE VIENTO

Un túnel de viento es un equipo formado por una unidad impulsora y un ducto, en el cual se distinguen diferentes secciones como son, zona de pruebas, difusor, efusor zona de calma, y que tiene por objeto proporcionar un flujo de aire de características conocidas y controladas.

La información experimental es de gran utilidad para la solución de muchos problemas de ingeniería, particularmente los relacionados con la mecánica de fluidos.

Para obtener ésta información se cuenta, entre otras técnicas, con la del modelo reducido la cual consiste en simular el fenómeno en estudio mediante un modelo a escala, controlando las variables en el que intervienen, para posteriormente extrapolar los resultados al tamaño real, basándose en determinados parámetros adimensionales como son el número de Reynolds, el número de Mach, el número de Froude, etc.

Los túneles de viento junto con la técnica del modelo reducido proporcionan los medios para una rápida, precisa y económica investigación.

1.2.1 CLASIFICACION DE LOS TUNELES DE VIENTO

En la actualidad existe una gran variedad de túneles de viento, los cuales pueden ser clasificados desde diferentes puntos de vista como se muestra en el cuadro sinóptico de la Fig. 1

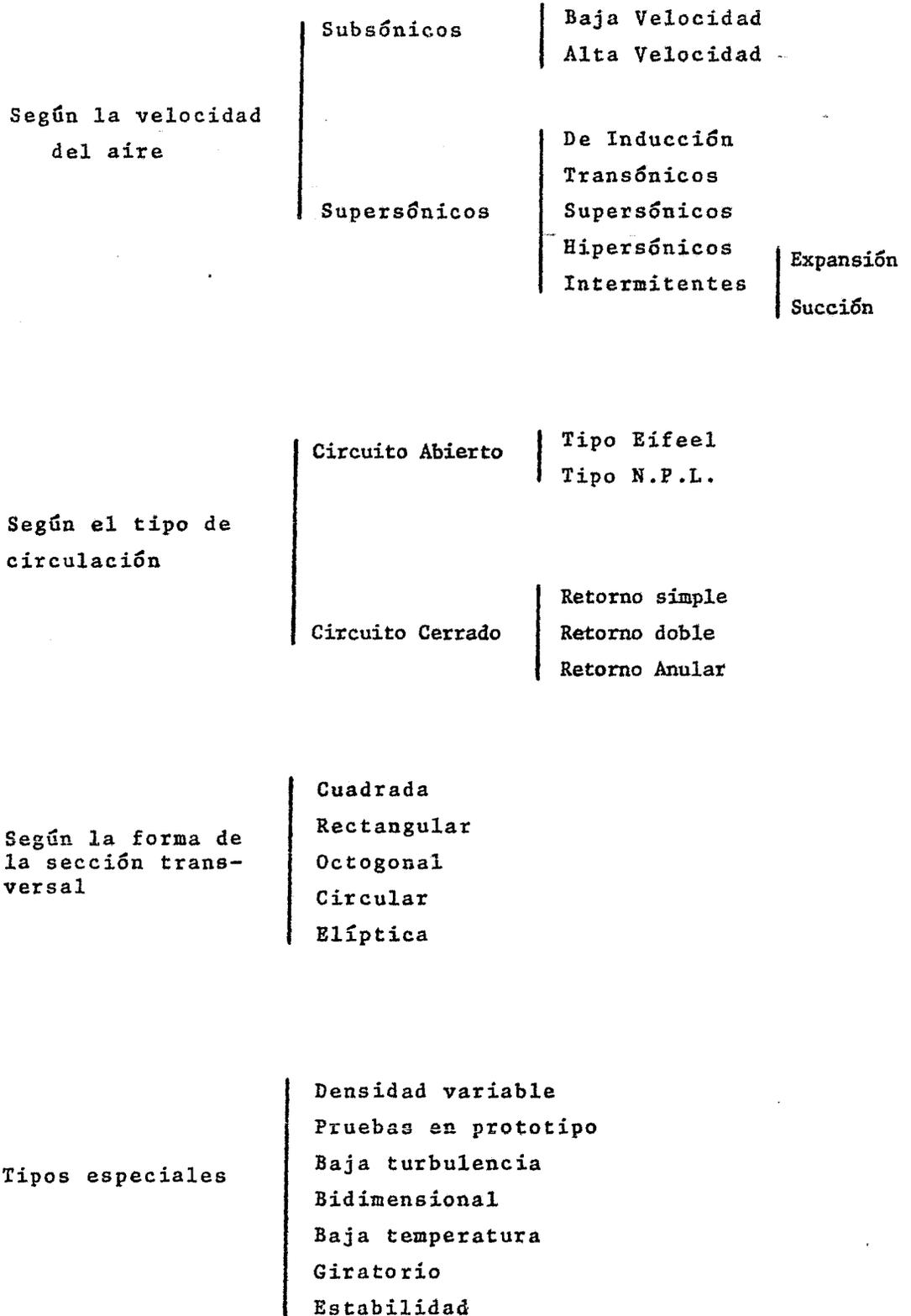


Fig 1. Clasificación de los túneles de viento.

La gran variedad de problemas que se ataca actualmente por medio de túneles de viento requiere que el rango de velocidad varíe desde unos cuantos metros por segundo hasta velocidades mayores a la del sonido.

Dentro del rango subsónico los factores que predominan son los efectos inerciales y viscosos, despreciándose la --compresibilidad del aire. El problema de aumentar la velocidad en la sección de pruebas obliga a fabricar túneles de mayor potencia capaces de soportar grandes presiones.

Los túneles supersónicos (Fig. 2): presentan grandes dificultades, tanto de funcionamiento, como de potencia requerida. Las secciones de prueba deben tener una forma especial para producir el salto a la barrera supersónica, y nuevamente el retorno a la velocidad subsónica, pues se producen grandes pérdidas de energía.

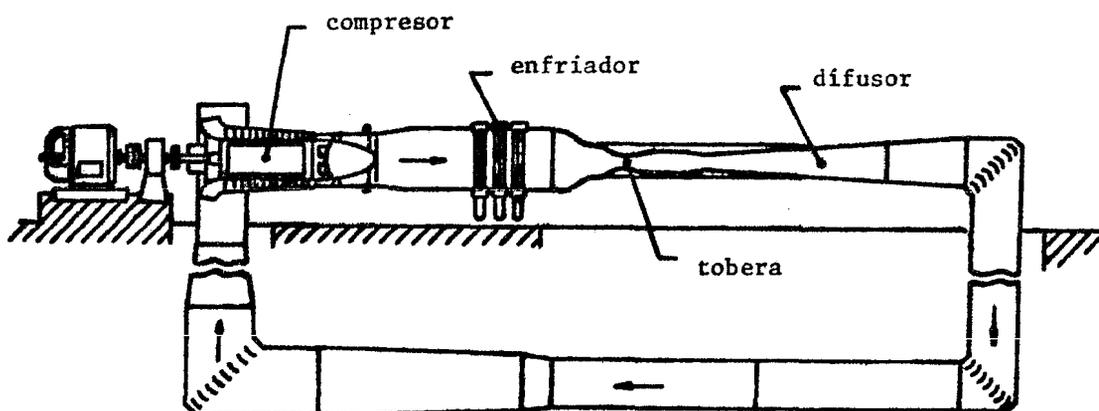


FIG. 2 Túnel de viento supersónico

Las velocidades supersónicas se logran por medio de chiflones colocados después de la etapa de pruebas (inducción) que provocan un vacío que hace pasar el aire por la sección de pruebas a gran velocidad. Otra manera de hacerlo es provocar la corriente de aire mediante grandes esferas al vacío que se abren repentinamente (succión), el movimiento de aire se establece en forma continua pero por poco tiempo, lo que requiere aparatos de medición rápida. Si las esferas a presión se encuentran antes de la sección de pruebas se trata de un túnel de viento supersónico de Expansión.

Los túneles de viento transónicos: operan a la velocidad del sonido, los supersónicos operan a una velocidad mayor a la del sonido y los hipersónicos a un alto grado-supersónico.

Dado que el túnel de viento supersónico tiene más -- bien aplicación en Aeronáutica se describirán solamente ---- los túneles de viento subsónicos que permiten el estudio de fenómenos como los que se quieren analizar en la combustión de combustibles líquidos.

Túnel de viento de retorno simple (Fig. 3): se les llama también tipo Prandtl o Gotinga y actualmente es el más utilizado, tanto en industrias como en centros de estudios, debido a que permite el control de aire (temperatura y humedad) y la disminución de turbulencia por medio de aletas correctoras de flujo, además de que el ventilador ayuda a estabilizar las variaciones del flujo introducidas por el modelo de prueba. Se dispone de una sección de -- pruebas con ventanas que facilita la observación del modelo, así como la instalación del instrumental de medición, el túnel tiene varias puertas de acceso e iluminación interior para facilitar el acceso o inspección del túnel.

En general sólo los túneles de viento con problemas especiales optan por otro tipo de retorno.

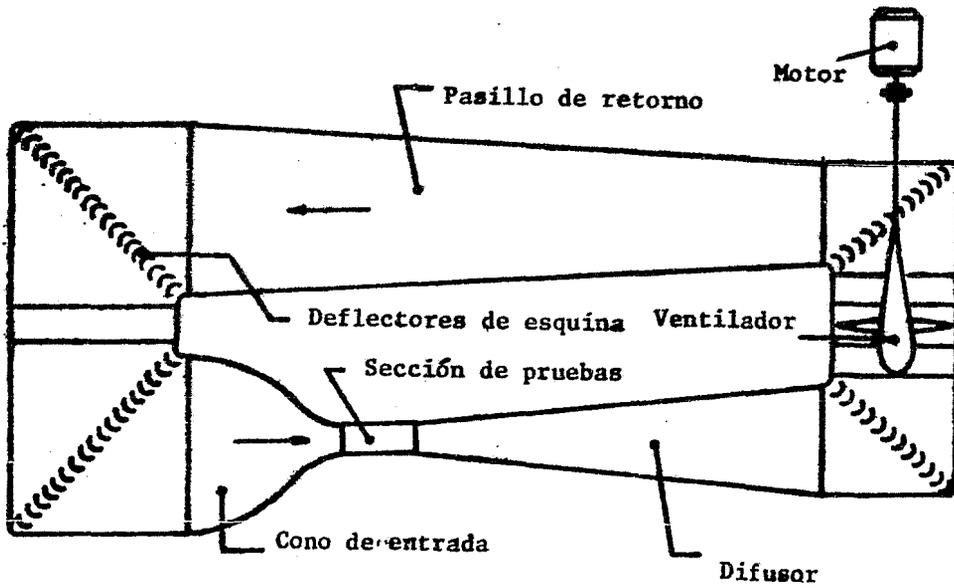


FIG. 3 Túnel de viento de retorno simple

Con respecto a la circulación del aire dentro del - -
túnel de viento, se tienen los siguientes tipos de túneles:

Túnel de viento de Circuito Abierto (Fig. 4): El aire se toma directamente de la atmósfera succionándolo con un ventilador colocado después de la sección de pruebas, de manera que el aire pasa a gran velocidad por la misma y es arrojado nuevamente a la atmósfera por medio de difusores concéntricos que dispersan el chorro de aire.

Actualmente se usan grandes torres colocadas en la entrada y salida del túnel que sirven para sacar el aire y eliminar los efectos ocasionados por las variaciones de la humedad y la velocidad del viento. Existen en uso pocos - túneles de este tipo debido a las dificultades que presentan para su manejo, sin embargo, en ocasiones pueden tener grandes ventajas cuando se quiere lograr un movimiento de baja turbulencia o una corriente constante de aire limpio para probar motores.

El tamaño más comunmente empleado para satisfacer las necesidades de la Industria y la enseñanza tiene una área aproximada de $6m^2$ de sección de pruebas, potenciales de 300 a 500 HP. con velocidades de 200 Km/hora, este tamaño cae dentro del rango de túneles de viento de baja velocidad y se pueden lograr números de Reynolds de 2.5×10^6 para modelos de 60 cm., son económicos, fáciles de construir, de operación sencilla y se obtienen mediciones suficientemente precisas.

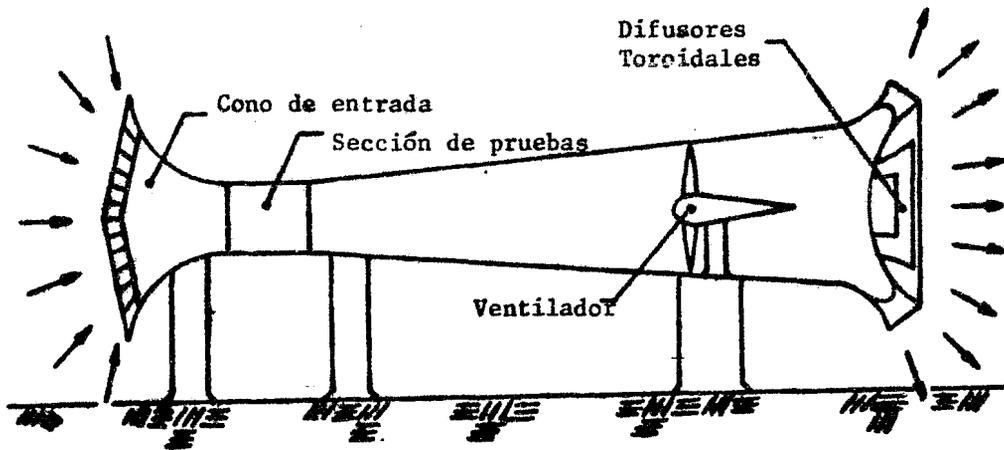


FIG. 4 Túnel de viento de Circuito Abierto

Retorno Doble (Fig. 5): Este tipo de túnel se ha utilizado cuando se requieren bajas velocidades en la sección de prueba a costa de incrementos notables en el área de la misma y en el área de las secciones de los Pasillos de retorno. Un ejemplo de este tipo de túnel es el de Langley Field - - construido para pruebas en prototipo, con el cual se logran velocidades de 190 Km/hora y su sección de pruebas es de -- 18 m. de ancho por 9 m. de altura y que permiten probar aviones pequeños a escala natural. Para modelos de dimensiones mayores se tiene el inconveniente de la formación de un chorro de aire a mayor velocidad en el centro debido a - que las paredes del túnel disminuyen la velocidad del aire que circula en la proximidad de ellas.

Este chorro central produce vibraciones sobre el --- modelo y además, si la relación de contracción es muy grande, el flujo se vuelve extremadamente turbulento y difícil para realizar mediciones.

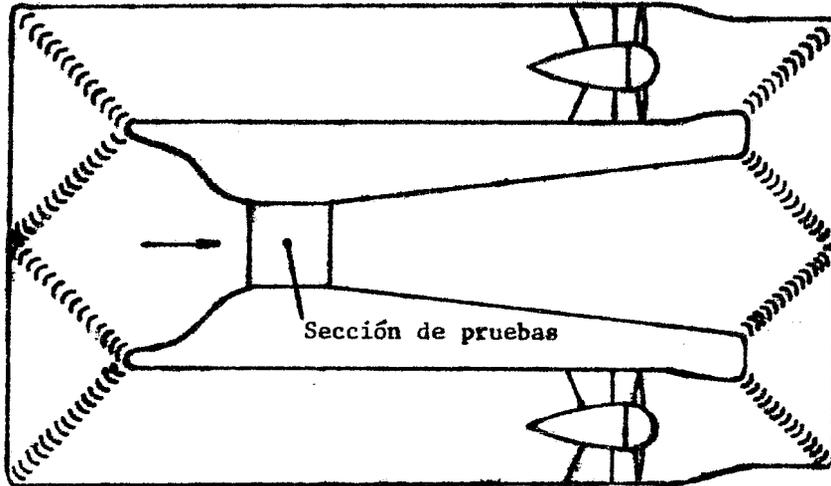


FIG. 5 Túnel de viento de retorno doble

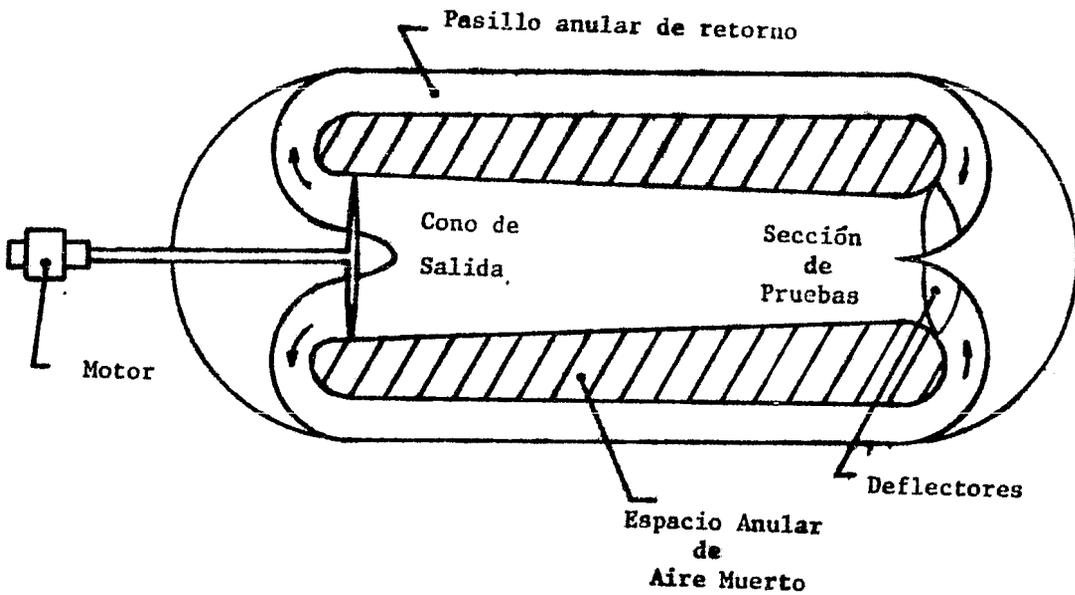


FIG. 6 Túnel de viento de Retorno Anular

Retorno anular (Fig 6): Este túnel se utiliza, cuando las presiones en el interior obligan a una estructura más-resistente. Sin embargo aunque esta solución permite una mayor economía, tiene el inconveniente de la inaccesibilidad a la sección de pruebas durante los ensayos, lo que obliga a efectuar mediciones a control remoto, además del inconveniente, ya antes señalado, de la formación del chorro central y de la excesiva turbulencia del aire.

El túnel de "Densidad Variable" de la N.A.C.A. (National Advisory Committee of Aeronautics), actualmente N.A.S.A. (National Aeronautics and Space Administration) es un ejemplo de éste tipo y en él se logra alcanzar presiones de 20 atmósferas con la ventaja adicional de obtener números de Reynolds mucho mayores, imposibles de alcanzar en los túneles sin presión.

Tipos Especiales

Densidad Variable: Este túnel lo fabricó la N.A.C.A. con el propósito de lograr números de Reynolds muy altos mediante grandes presiones, es el pionero de los túneles de presión y debido a los problemas estructurales se hizo de retorno anular, el flujo es extremadamente turbulento y las mediciones son muy imprecisas y solo se empleó con fines cualitativos, actualmente, este túnel es usado como tanque de presión para túneles supersónicos.

Escala Natural: Se construyó en Langley Field y es capaz de probar aviones pequeños a escala natural en condiciones cercanas al vuelo. Está constituido por un edificio cuyas paredes forman un doble canal de retorno y tiene la ventaja que puede ser revisado el prototipo, y se pueden construir modelos de aviones grandes.

Existen otros túneles similares en Chalais Maudon, Francia y en Moffet Field, California.

Baja Turbulencia: El primer túnel de baja turbulencia fué construído en 1946 por la N.A.C.A. y éste efecto se lo gró con un sistema para trabajar con el aire a presión, además se proyectó con una relación de contracción de 25 a 1, estas medidas que se tomaron para disminuir la turbulencia en la sección de prueba dieron bastante buen resultado.

Estabilidad: En este túnel se hacen pruebas de vuelo libre sobre modelos mediante un chorro de aire horizontal que puede variar de dirección y permite simular el vuelo libre del avión, el modelo se mantiene en suspensión mediante un chorro de aire vertical.

Con este túnel se lograron experimentos muy valiosos para el uso de planeadores y en el diseño estructural de aviones.

Bidimensional: Este tipo de túnel se usa para conocer los efectos del aire en perfiles aerodinámicos tomando en cuenta solo dos dimensiones, tienen una turbulencia muy baja y se han construído túneles que pueden adaptarse a pruebas bidimensionales cambiando solo la parte de la sección de pruebas.

De Baja Temperatura: Este túnel se utiliza para conocer el efecto de las bajas temperaturas para aviones que vuelan a grandes velocidades y a gran altura, sujetos a bajas temperaturas.

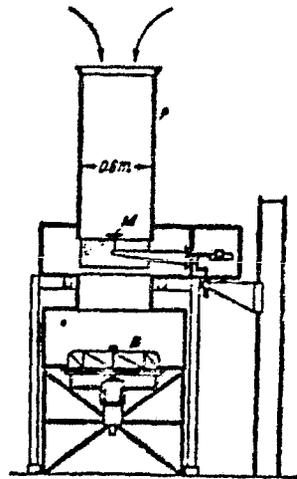
Giratorio: Es un túnel de grandes dimensiones cuya sección de prueba es en forma de anillo y el modelo esta montado sobre un brazo giratorio, se pueden hacer combinaciones con la velocidad axial del túnel y la velocidad tangencial del -- brazo giratorio, lo que permite medir los efectos de una corriente curvilínea. Se usa también para probar anemómetros.

1.2.2 ANTECEDENTES HISTORICOS DE LOS TUNELES DE VIENTO

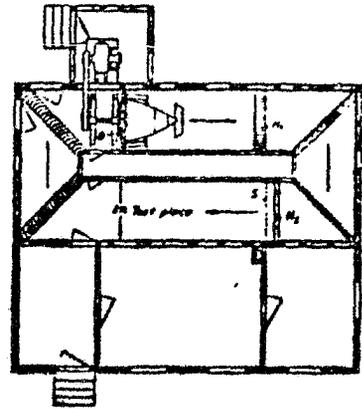
A continuación se muestran las características principales de los primeros túneles de viento. En las figuras se puede apreciar la evolución que tuvieron en sus primeros años, - llegando a una configuración muy parecida a la de los túneles modernos. (Ref 20.)

PRIMEROS TUNELES DE VIENTO

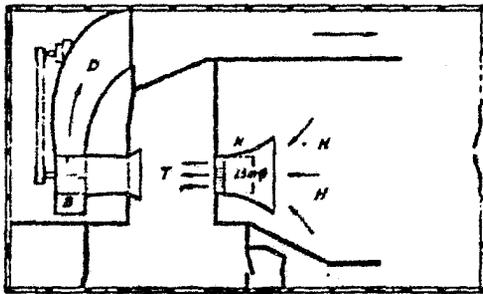
1903; T.E. Stanton; N.P.L.
Círculo Abierto; Flujo in
ducido; velocidad máxima -
10 M/S; 2 pies de diámetro.



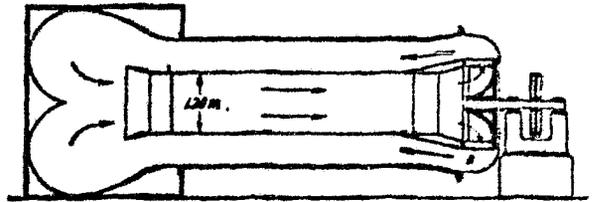
1907; L. Prandtl; Gotinga
Circuito Cerrado; velocidad
máxima 10 M/S; 6 x 6 pies.
Esquema derecho.



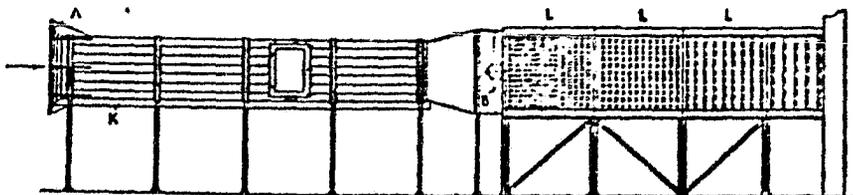
1910; G. Eiffel; Paris
Sección de pruebas abierta;
velocidad máxima 25 M/S
Esquema inferior.

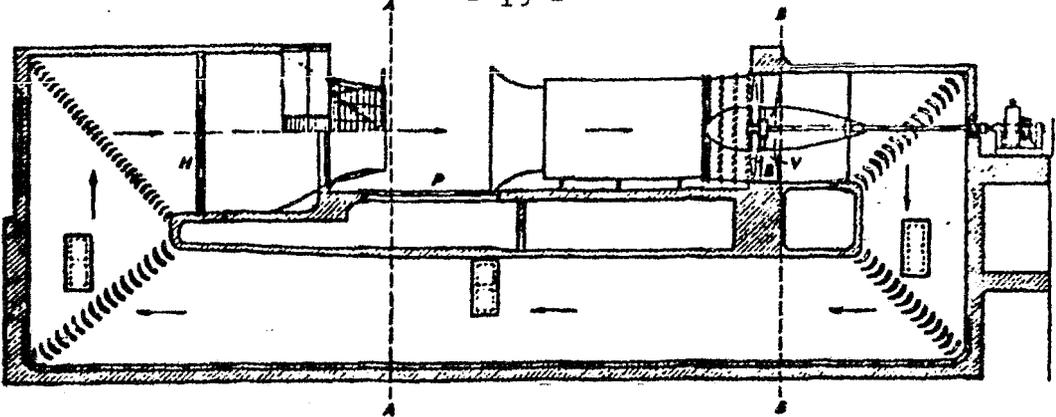


1910; T.F. Stanton; N.P.L.
Circuito Cerrado; 4 x 4 pies.
Esquema inferior.



1912; L. Bairdow y H. Booth; Teddington, Circuito Abierto;
4 x 4 pies; tranquilizador a la salida.





1916; L. Prandtl; Gotinga, Sección de pruebas abierta, presión atmosférica.

1.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TUNELES DE VIENTO

Ventajas:

- Disponibilidades de un flujo controlable de características conocidas para reproducir en el laboratorio los fenómenos que se presentan en los equipos industriales-estructuras y en la naturaleza.
- Posibilidad de realizar pruebas y mediciones en modelos a escala reducida de la situación real y extrapolar los resultados a ésta última si se cumple con los principios de semejanza o similitud.
- El empleo de un fluido abundante, inocuo y barato, que además no requiere de almacenamiento.

- Debido a la baja densidad del aire, los requerimientos estructurales tanto del ducto como de la soportería de los modelos son mínimos.
- Las demandas de potencia, salvo en los túneles de gran tamaño, son menores que las que necesitarían si se empleara un líquido.

Desventajas:

- Dificultad para estudiar fenómenos que se relacionen con ciertas propiedades de los líquidos: cavitación y en general cambios de fase, escurrimientos con una superficie libre, etc.
- Costos elevados tanto de construcción y montaje como de operación en los casos de gran capacidad.

1.2.4 APLICACIONES DE LOS TUNELES DE VIENTO.

Aeronáutica:

- Sustentación y arrastre de aviones y otros vehículos
estabilidad de vuelo; control de la capa límite; diseño aerodinámico y análisis estructural de álabes y perfiles; etc.

Hidráulica:

- Diseño de la geometría de conductos; turbinas, transporte de sedimentos, diseño de compuertas, turbulencia alrededor de cuerpos sumergidos, erosión, etc.

Estructuras:

- Empuje del viento y vibraciones causadas por el flujo en edificios, puentes, chimeneas, torres de transmisión, etc.

Meteorología:

- Simulación de fenómenos meteorológicos, difusión de contaminantes en la atmósfera, etc.

Problemas Especiales:

- Aerodinámica de rotores eólicos, aerodinámica de automóviles y otros vehículos, etc.

Problemas de Combustión y Transferencia de Calor:

- Propagación de flama, combustión catalítica, velocidad crítica, etc.

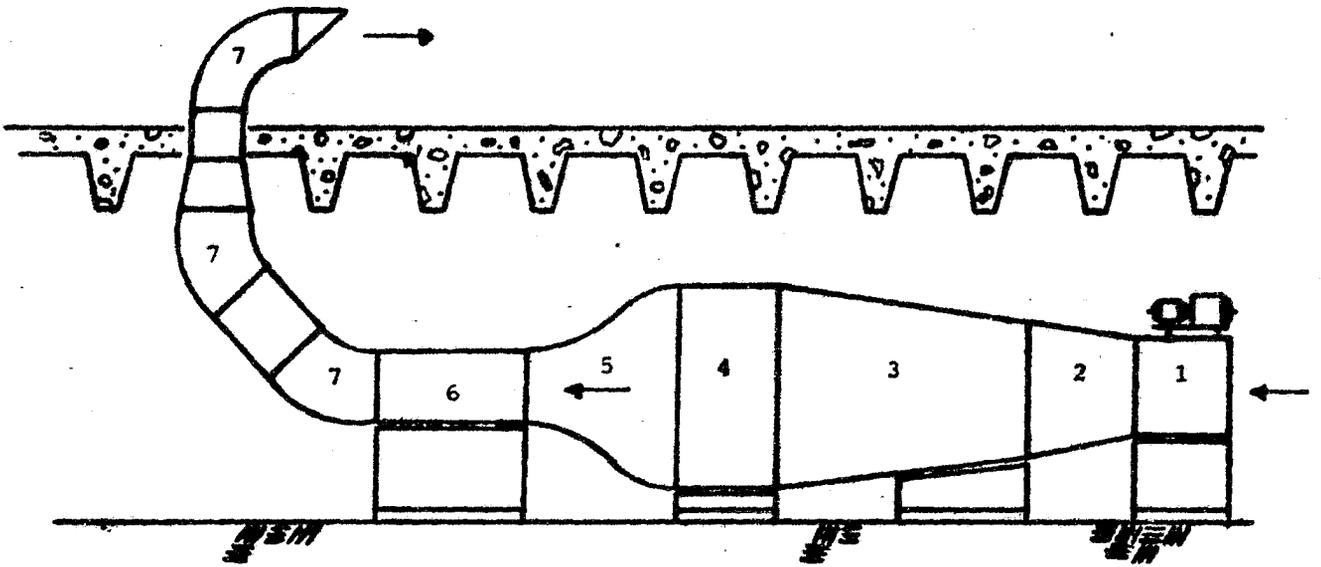
CAPITULO No. 2

"DISEÑO Y SELECCION DE LA GEOMETRIA DEL TUNEL"

2.1 SELECCION DEL TIPO DEL TUNEL

En nuestro caso, la selección de un túnel de viento de circuito abierto fue en cierta manera obligado, dado que su finalidad será el estudio de fenómenos de combustión en los cuales se produce una gran cantidad de gases de escape, humo y cenizas quedando así eliminada la alternativa de recirculación del aire.

Este tipo de túnel se caracteriza por que el ventilador toma el aire directamente de la atmósfera, lo hace circular a lo largo del túnel y lo regresa nuevamente a la atmósfera (Fig.9). La principal ventaja que ofrece este tipo de túneles es su bajo costo de construcción, comparado con los de circuito cerrado, pero también su principal desventaja es que el aire que circula por la zona de pruebas está sujeto a las mismas variaciones en sus propiedades que el aire exterior por lo que es difícil controlar y sobre todo cuantificar las variaciones de sus propiedades dentro de la zona de pruebas. Por esta razón existe un número menor de túneles de este tipo, además de las dificultades que presenta su operación e instrumentación.



1. Unidad impulsora
2. Transición
3. Difusor
4. Zona de calma
5. Tobera o efusor
6. Zona de pruebas
7. Chimenea

Fig. 9 Vista Lateral del Túnel de Viento
(Circuito Abierto)

2.2 REQUERIMIENTOS DE LA CONSTRUCCION

La finalidad que se persigue con la construcción del Túnel de Viento es la de poder reproducir en Laboratorio ciertas condiciones bajo las que se llevan a cabo experimentos sobre combustión.

Para ello se establecieron condiciones con las que debe cumplir nuestro diseño. Dichas condiciones son las siguientes:

- A) La zona de pruebas debe contar con una sección transversal de $0.75 \times 0.50 \text{ m}^2$ y 1.5 m de longitud.
- B) La zona de pruebas debe permitir la visibilidad a su interior por ambos lados, al mismo tiempo que resistir altas temperaturas (150°C como mínimo) en todas sus partes.
- C) El acceso a la parte interior de la zona de pruebas debe ser fácil y directa, permitiendo así la instalación y calibración de instrumentos de medición.
- D) La variación de la velocidad del aire en la etapa de pruebas deberá tener un rango de 0 a 20 m/s, además de proporcionar una variación continua, evitando cambios escalonados de velocidad.
- E) La variación de la dirección del flujo sólo será en dos dimensiones.

Las características anteriormente mencionadas del -- flujo de aire permitirán el estudio experimental de diferentes fenómenos de combustión, tales como: La distribución de temperaturas en la flama, sometida a diferentes - velocidades del viento, la velocidad de las partículas en el frente de la llama, así como los estudios ya mencionados en el capítulo 1.

En todos los antecedentes consultados, se coincidió en que el objetivo del diseño era el estudio de fenómenos relacionados con: Hidráulica, Estructuras, Aeronáutica, - Meteorología ó algunos otros estudios especiales, pero en ningún caso encontramos un diseño destinado al estudio de fenómenos relacionados con combustión, y es por ésta razón que nuestro diseño presenta una nueva alternativa al uso de los túneles de viento, como instrumento para la investigación.

2.3 DISEÑO DE LOS COMPONENTES BASICOS

Los túneles de viento se diseñan de acuerdo con las funciones específicas que van a desarrollar, por tal motivo se tiene una gran diversidad en los componentes de los mismos, tanto en su forma, como en sus dimensiones y colocación, aunque no en su función; o sin embargo todos tiene cuatro componentes esenciales:

efusor
sec. de pruebas
difusor
unidad impulsora

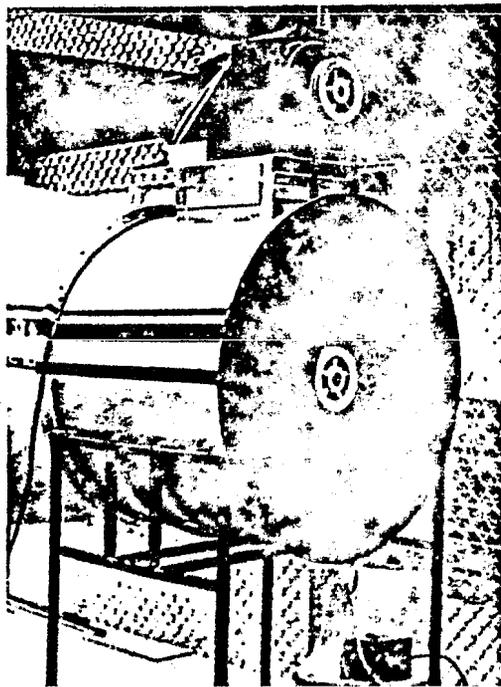
La geometría de cada una de las etapas o secciones del túnel de viento generalmente se seleccionan tomando en cuenta las especificaciones de túneles ya construídos.

Los componenetes de nuestro diseño son las siguientes, mencionadas en el orden en que se encuentran colocadas, tomando como referencia la sección por la que entra el aire.

2.3.1 UNIDAD IMPULSORA

Esta sección consta de un ventilador axial de ocho aspas acoplado por medio de una relación de poleas a un motor trifásico de corriente alterna de 5 HP. el cual a su vez, - está acoplado directamente a un clutch magnético que nos - permite variar la velocidad angular del ventilador, basado en el principio de corrientes parásitas o corrientes Eddy.

La unidad impulsora se encuentra colocada al inicio del túnel, con el objeto de que los gases calientes y los residuos producto de la combustión no afecten de manera alguna el sistema motriz, ya que éste representa aproximadamente un 40% del costo total del túnel, (Foto 1).



Fotografía 1

Unidad Impulsora

2.3.2 ZONA DE TRANSICION

La función de esta etapa es la de cambiar la sección transversal del túnel, de circular que corresponde a la -- sección del impulsor a rectangular que es la correspondencia a la zona de pruebas. El área transversal de ésta etapa se mantiene constante, por lo que la velocidad del aire no varía considerablemente.

La longitud de esta etapa (1.2m) se estableció de manera que el cambio de forma no fuera demasiado brusco, para así evitar altos grados de turbulencia, teniendo en cuenta que el ancho del túnel a partir de esta etapa es constante.

A continuación se muestran fotografías del aspecto -- inicial y final que presenta ésta sección.

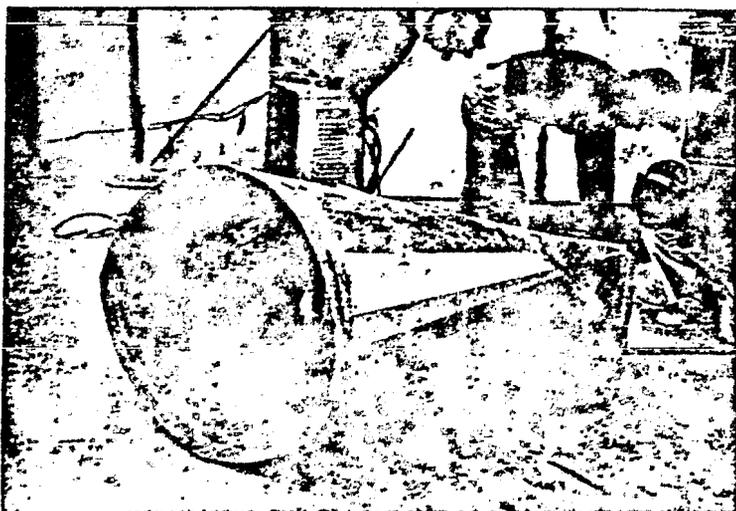
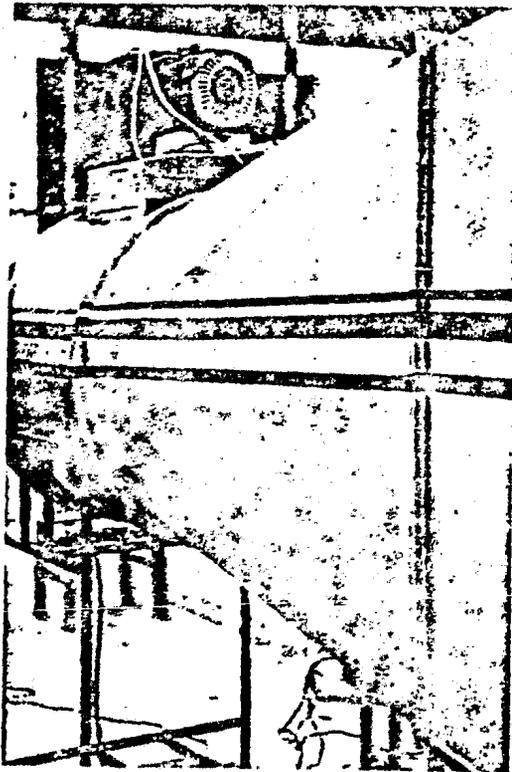


Foto. 2 Aspecto Inicial de la Transición



Fotografía 3 Vista Frontal de la Transición



Fotografía 4 Aspecto final de la Transición

2.3.3 DIFUSOR

El difusor se encuentra colocado entre la zona de transición y la de calma. En ésta zona se convierte la energía cinética del chorro de aire a energía de presión. Al disminuir la velocidad, el grado de turbulencia disminuye, reflejándose en la estabilización del flujo de aire.

Para su dimensionamiento se tomó como parámetro inicial un ángulo de difusión de 8° , éste valor del ángulo de difusión no debe variar mucho del tomado, ya que si su valor es muy pequeño se presentan cambios ligeros entre las uniones de cada una de las etapas resultando el túnel demasiado largo, el caso contrario se presenta cuando el ángulo de difusión es muy grande, repercutiendo en la formación de remolinos convirtiendo el flujo en turbulento. (Ref.1)

Como segunda consideración se tomó una relación de contracción de 2.66 (área transversal a la salida del difusor con relación al área transversal de la zona de pruebas) la cual fué fijada como requisito con el que debería cumplir nuestro diseño. La longitud de ésta sección queda implícitamente definida. A continuación se muestra un esquema de ésta sección:

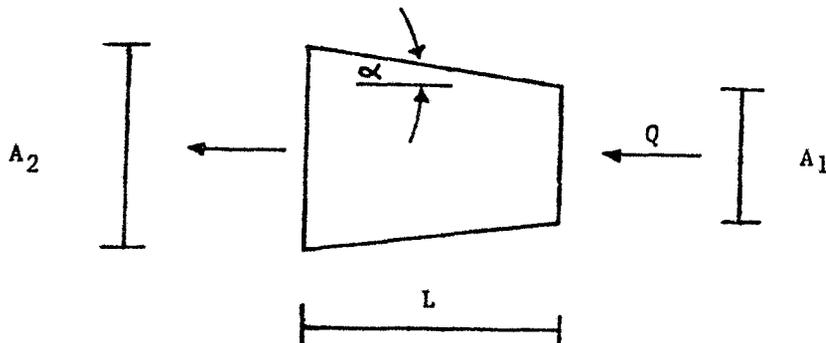


Fig. 9A Vista lateral del Difusor

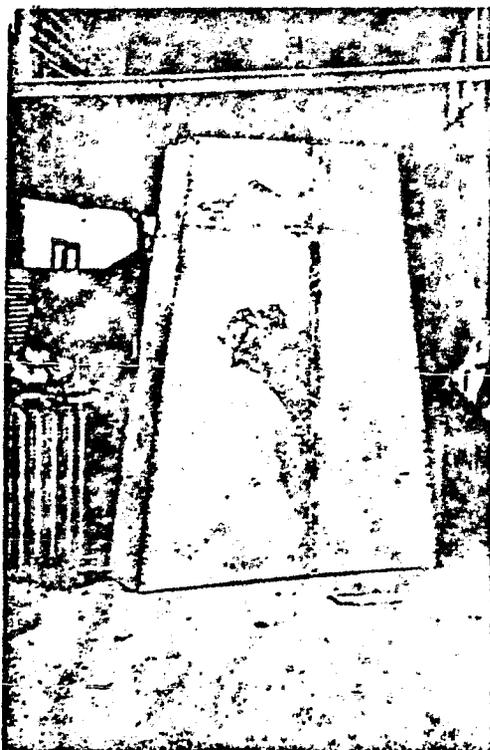
A₁ = Altura de la sección de entrada

A = Altura de la sección de salida

L = Longitud del difusor

α = Angulo de difusión

El valor de "A " result6 ser de 1.34 m. y el de A de 2 m. y tomando un ángulo de difusión de 8° la longitud resulta ser de: 2.5 m, (Foto 5).



Fotografía 5

Difusor

2.3.4 ZONA DE CALMA

La finalidad de esta sección es la de uniformizar el flujo de aire, eliminando las ráfagas turbulentas, producto del impulso del ventilador, mediante el seccionamiento del chorro en ductos rectos de diámetro pequeño. Se recomienda utilizar ductos con longitud de 5 a 10 veces su diámetro.

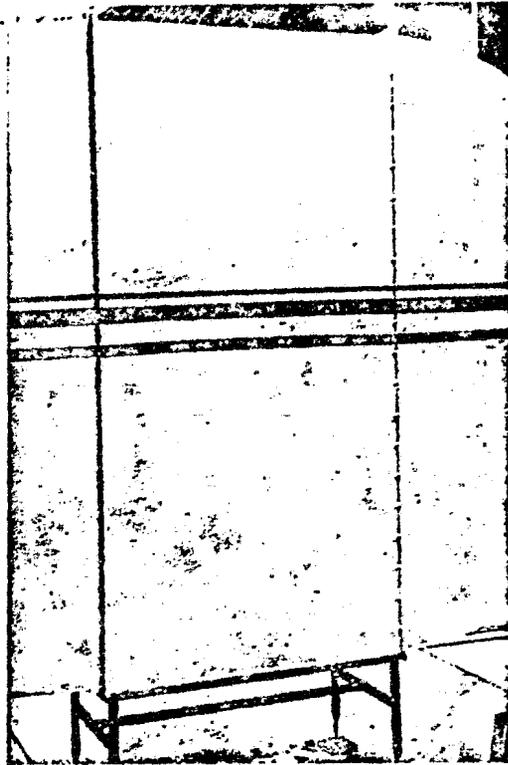
En nuestro caso utilizamos tubos de PVC para uso hidráulico con diámetro de 1.25" y una longitud de 12". Los cuales tienen una relación de $L = 10 D$. (Ref.1)

Los tubos tienen una pared de aproximadamente 2 mm de espesor, la cual produce resistencia al flujo de aire. Para evitar esta resistencia al flujo de aire se desbastó la pared interior del tubo con una herramienta especial, la cual se muestra en las fotografías del capítulo 4.

Esta zona tiene una sección transversal de 0.5 x 2 m y una longitud de 1 m. Las dimensiones de la sección transversal fueron fijados de antemano y su longitud se tomó considerando una relación de longitud igual a dos veces el ancho, la que se estimó adecuada para uniformizar el flujo de aire. (Foto 6).



Tubos de PVC
para el panel
de calma



Fotografía 6 Zona de Calma

2.3.5 TOBERA O EFUSOR

Su finalidad es cambiar en forma gradual el área de la zona de calma al área de la zona de pruebas, y acelerar el flujo de aire para producir las velocidades deseadas en ésta última.(Foto 7)

Su longitud debe ser tal que la distribución de velocidades al final de la zona sea completamente uniforme, y -- que evite problemas locales de separación. El diseño de ésta sección se hace por aproximaciones, con ayuda de la gráfica de la figura 10. (Ref.4)

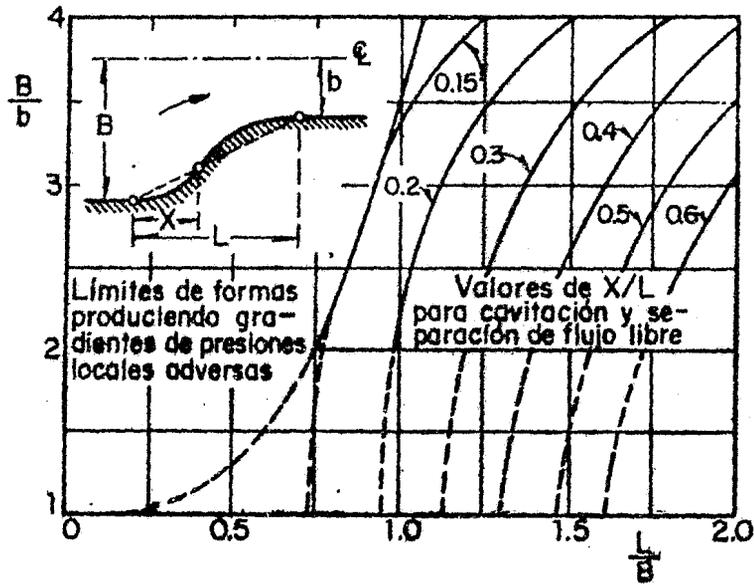


Fig. 10 Características de Contracciones con Perfiles de Arcos Cúbicos

Con los valores de B y b se determinan las relaciones B/b y L/B , siendo L un valor supuesto, con ellas se determina x/L . Esta relación debe quedar dentro de los límites señalados en la figura, para evitar problemas de presiones locales adversas. (Ref.4)



Fotografía 7

Tobera ó Efusor

2.3.6 ZONA DE PRUEBAS

En ésta sección se llevan a cabo los experimentos, y es por ésta razón que su diseño y construcción deben tener un cuidado especial.

Cuando está limitada por paredes rígidas se le puede llamar de "Garganta Cerrada" y cuando es por aire a diferentes velocidades (generalmente en reposo) recibe el nombre de "Túnel de Chorro Abierto". En nuestro caso tenemos un túnel de Garganta Cerrada. (Ref.6)

La zona de pruebas de nuestro diseño tiene una sección transversal rectangular, lo que nos permite obtener una corriente uniforme con bajo grado de turbulencia. Tanto las paredes verticales como las horizontales están construidas con materiales refractarios.

Sus dimensiones obedecen a las necesidades de la experimentación que se llevará a cabo. Tiene una sección transversal de $0.5 \times 0.75 \text{ m}^2$ y una longitud de tres veces su ancho.

La siguiente fotografía muestra el aspecto final de ésta zona.

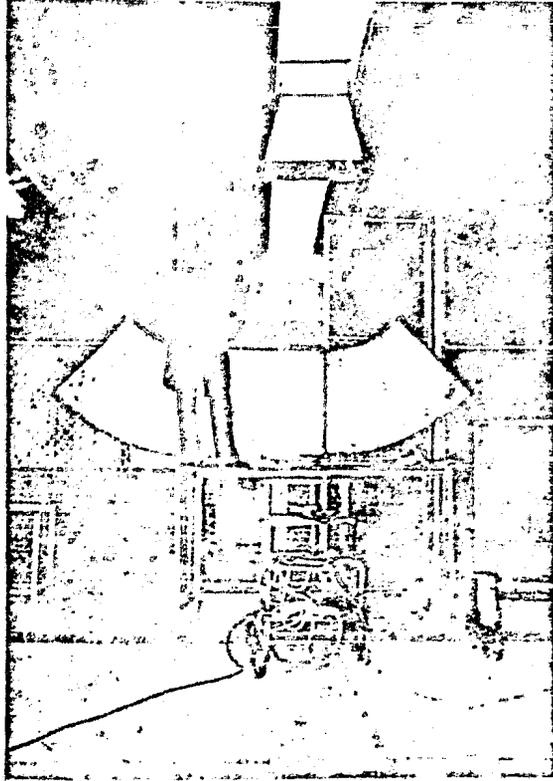


Fotografía 8 Zona de Pruebas

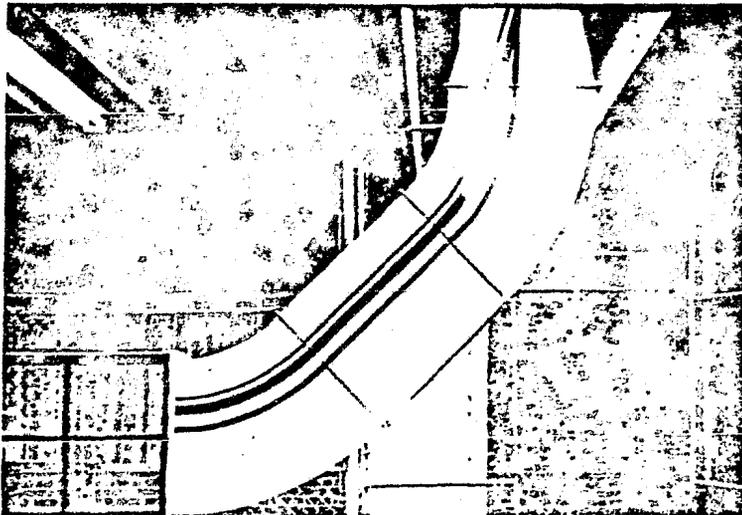
2.3.7 CHIMENEA

Esta zona es el complemento al diseño del túnel, pues la razón de su construcción obedece a la necesidad de instalarlo en un local cerrado y evitar con ésto la contaminación del -- ambiente por los residuos de la combustión. Sus dimensiones y forma fueron establecidos unicamente por los requerimientos del lugar en donde se colocó. Conservando la magnitud del -- área transversal de la sección de pruebas.

Las siguientes fotografías muestran algunos espectos de ésta zona.



Fotografía 9 Chimenea



Fotografía 10 Aspecto Final de la Chimenea

2.4 CALCULO DE LA RELACION DE CONTRACCION

Es la relación que existe entre el área de entrada de la tobera y el área transversal de la sección de pruebas. La relación de contracción tiene como finalidad disminuir la turbulencia del flujo de aire dentro del túnel, por lo que mientras más grande es ésta relación, más disminuye el grado de turbulencia del flujo y se mejora la distribución de velocidades.- (Ref.3).

Si el ángulo de convergencia es pequeño se presentan cambios de forma pequeños entre las uniones de cada una de las etapas resultando el túnel demasiado largo, el caso contrario se presenta cuando el ángulo de convergencia es muy grande, - repercutiendo en la formación de remolinos convirtiendo el -- flujo en turbulento. (Ref.6).

La relación de contracción que tenemos en nuestro túnel-
es:

$$A_{ET} = 0.5 \times 2.0 = 1.000 \text{ m}^2$$

$$A_{ST} = 0.5 \times 0.75 = 0.375 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{1.000}{0.375} = 2.66$$

$$R_c = 2.66$$

DONDE:

R_c = Relación de contracción

A_{ET} = Area de entrada de la tobera

A_{ST} = Area de salida de la tobera

2.5 CALCULO DE PERDIDAS

Haciendo las siguientes suposiciones:

- 1.- El aire es un fluido incompresible
- 2.- El flujo dentro del túnel es permanente y sin pérdidas de volumen.

Podemos utilizar la ecuación de Bernoulli:

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

Donde P es la presión estática, ρ es la densidad del fluido y \bar{v} la velocidad media del flujo. Bajo las mismas condiciones podemos utilizar también la ecuación de continuidad.

$$Q = A_1 \bar{v}_1 = A_2 \bar{v}_2 \quad - (2)$$

Donde A y \bar{v} representan el área y la velocidad media en la sección respectivamente, los subíndices indican el estado inicial y final donde se aplicó la ecuación anterior. La ecuación, de Bernoulli supone que no existen pérdidas; sin embargo éstas se presentan y se traducen en una caída de presión estática originada por la fricción. (Ref.9)

Podemos expresar las pérdidas de determinada etapa -- mediante un coeficiente definido por:

$$k = \frac{\Delta P A}{1/2 \rho A \bar{v}^2} = \frac{\Delta P}{q} \quad (3)$$

Donde ΔP es la caída de presión estática y q es la presión dinámica (Ref.1)

A lo largo del túnel de viento ocurren pérdidas que aparecen como sucesivas caídas de presión estática que son balanceadas por el aumento de la presión estática debido al ventilador.

Las pérdidas de presión estáticas locales se pueden referir a la presión dinámica del chorro de aire en la sección de pruebas, (Ref 1) definiéndose un coeficiente de pérdidas K_0 como:

$$K_0 = \frac{\Delta p}{q} \frac{q}{q_0} = K \frac{q}{q_0} \quad (4)$$

del principio de continuidad se deduce que q varía con el cuadrado del área con lo que se tiene:

$$K_0 = K \frac{A^2}{A^2} \quad (5)$$

o bien:

$$K_0 = K \frac{D^4}{D^4} \quad (5a)$$

donde:

D_0 = diámetro equivalente de la sección de pruebas

D = diámetro local de la sección

A partir de las ecuaciones anteriores podemos definir la pérdida de energía en una etapa como:

$$\Delta E = K \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 \quad (6)$$

la cual puede ser referida a la energía cinética del chorro de aire en la zona de pruebas de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \Delta E &= k \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 \frac{A_0 \bar{v}_0 \cdot \bar{v}_0^2}{A_0 \bar{v}_0 \cdot \bar{v}_0^2} \\ &= k \frac{1}{2} \rho A_0 \bar{v}_0^2 \frac{A \bar{v} \cdot \bar{v}^2}{A_0 \bar{v}_0 \cdot \bar{v}_0^2} \end{aligned} \quad (7)$$

finalmente sustituyendo la ec. (5a) en (7)

$$\Delta E = k_0 \frac{1}{2} \rho A_0 \bar{v}_0^3 \quad (8)$$

RELACION DE ENERGIA

La relación de energía puede ser definida como una medida de la eficiencia del túnel y queda expresada de la siguiente manera:

$$R_E = \frac{\text{Potencia del chorro en la Sección de pruebas}}{\text{Pérdidas en el túnel}} \quad (9)$$

Generalmente es mayor que la unidad lo cual indica que la cantidad de energía almacenada en la corriente de aire es capaz de desarrollar trabajo antes de ser llevada al reposo.

La potencia del chorro está basada en la energía cinética y la cantidad de aire que se maneje, o sea:

$$P_{OTCH} = qQ \quad (10)$$

donde:

$P_{OT_{CH}}$ = Potencia del chorro

q = Energía Cinética = $\frac{1}{2} \bar{v}_0^2 \rho$

Q = Caudal manejado = $A_0 \bar{v}_0$

o sea

$$P_{OT_{CH}} = \frac{1}{2} A_0 \bar{v}_0^3 \rho \quad (11)$$

Siendo:

A_0 = Area de la sección transversal de la zona de pruebas

\bar{v}_0 = Velocidad media en la zona de pruebas

ρ = Densidad del aire

sustituyendo las ec. (8) y (11) en (9) tenemos

$$RE = \frac{\frac{1}{2} \rho A_0 \bar{v}_0^3}{\sum_{i=1}^n k_{0i} \frac{1}{2} \rho A_0 \bar{v}_0^3} \quad (12)$$

Simplificando la ec. anterior queda como:

$$RE = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_{0i}} \quad (13)$$

En la ecuación anterior la relación de energía excluye las eficiencias del motor y del ventilador. Las pérdidas en un túnel son calculadas teniendo en cuenta la geometría de las diferentes etapas que lo componen, dividiéndolas en:

- etapas de sección circular uniforme
- etapas de sección divergente
- etapas con cambio de dirección
- conos de contracción o toberas

2.5.1 PERDIDAS EN EL VENTILADOR

Esta zona tiene forma cilíndrica; para este tipo de secciones la caída de presión en una longitud L esta dada por:

$$\frac{\Delta P}{L} = \left(\frac{\lambda}{D}\right) \left(\frac{D}{2}\right) \quad (14)$$

por lo tanto:

$$k = \lambda \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{D^4}{D^4}\right) \quad (15)$$

donde:

k = Coeficiente de pérdida

D = Diámetro local o equivalente de la sección

D₀ = Diámetro del chorro de aire en la sección de pruebas

λ = Coeficiente debido a la fricción superficial.

Como la zona de pruebas tiene una área transversal rectangular es necesario calcular primeramente su diámetro equivalente (Ref.8)

$$D = 4r$$

donde r esta definida por el cociente del área sobre el perímetro mojado.

$$D_0 = \frac{4A}{PM} = \frac{4(0.75)(0.5)}{2(0.75+0.5)} = 0.6 \text{ m}$$

$$L = 78.9 \text{ cm.}$$

$$D = 92.4 \text{ cm.}$$

$$D_0 = 60 \text{ cm.}$$

$$Re = \frac{D \cdot \bar{V}}{\nu} \quad (16)$$

$$Q = \bar{V}A ; \bar{V} = \frac{Q}{A}$$

donde:

$$Q = 7.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{\pi(0.924)^2}{4}$$

$$A = 0.6706 \text{ m}^2$$

$$\bar{V} = \frac{7.5}{0.6706}$$

$$\bar{V} = 11.185 \text{ m/s}$$

sustituyendo estos valores en la ecuación 16:

$$Re = \frac{(0.924)(11.185)}{0.15 \times 10^{-4}}$$

$$Re = 688 \ 982.44$$

Con $\bar{V} = 11.185 \text{ m/s}$ encontramos el valor de $R = 688 \ 982.44$ y con R , de la Fig. 11 obtenemos el valor de λ por lo que $\lambda = 0.0124$

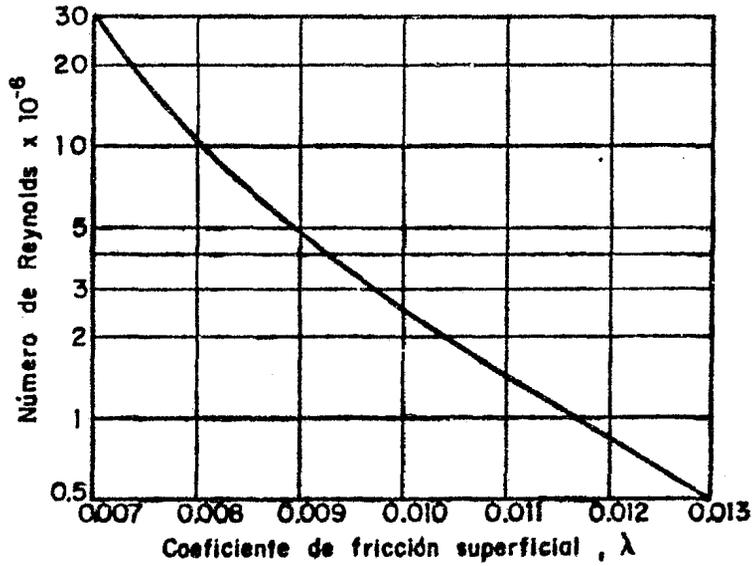


Fig. 11 Coeficiente de Fricción Superficial en Términos del número de Reynolds

y el coeficiente de pérdida queda: $k = 0.0124 \left(\frac{0.789}{0.924} \right) \left(\frac{0.6^4}{0.924^4} \right)$

$k_1 = 0.0018$

2.5.2 PERDIDAS EN LA ZONA DE TRANSICION

En ésta zona permanece constante la sección transversal, - que es igual a la de salida del ventilador, por lo que podemos emplear la misma ecuación que en el inciso anterior y queda:

$$k_2 = 0.0124 \left(\frac{1.200}{0.924} \right) \left(\frac{0.6^4}{0.924} \right)$$

$$k_2 = 0.0028$$

2.5.3 PERDIDAS EN EL DIFUSOR

En ésta sección no sólo ocurren pérdidas por fricción - sino que además existen pérdidas debidas a la expansión que el difusor presenta.

El coeficiente de pérdidas está dado por la siguiente - ecuación. (Ref.1)

$$k = \left[\left(\frac{\lambda}{8 \tan \frac{\alpha}{2}} \right) + 0.6 \tan \frac{\alpha}{2} \right] \left(1 - \frac{D_1^4}{D_2^4} \right) \left(\frac{D_0^4}{D_1^4} \right) \quad (17)$$

donde:

- α = Angulo de divergencia ($\alpha < 8^\circ$)
- D_1 = Diámetro menor
- D_2 = Diámetro mayor
- λ = Coeficiente de fricción promedio
- D_0 = Diámetro del chorro de aire

$$k = \left[\left(\frac{0.013}{8 \tan \frac{8}{2}} \right) + 0.6 \tan \frac{8}{2} \right] \left(1 - \frac{0.722^4}{0.8^4} \right) \left(\frac{0.6^4}{0.722^4} \right)$$

Diámetro menor

$$A = 1.3 \times 0.5 = 0.65 \text{ m}^2$$

$$PM = 2(1.3+0.5)=3.6\text{m}$$

$$D_1 = 0.7222 \text{ m}$$

$$D_1 = \frac{4(0.65)}{3.6}$$

Diámetro mayor

$$A = 2.0 \times 0.5 = 1 \text{ m}^2$$

$$PM = 2(2+0.5)=5\text{m}$$

$$D_2 = 0.8\text{m}$$

$$D_2 = \frac{4(1)}{5}$$

$$k_3 = \left[\left(\frac{0.013}{8 \tan 4} \right) + 0.6 \tan 4 \right] \left(1 - \frac{0.272}{0.4096} \right) \left(\frac{0.1296}{0.272} \right)$$

$$k_3 = \left[\frac{0.013}{0.559} + 0.0419 \right] (0.3359)(0.4764)$$

$$k_3 = 0.0651(0.16)$$

$$k_3 = 0.0104$$

2.5.4 PERDIDAS EN LA ZONA DE CALMA

En ésta zona se encuentra alojado el panel de calma, y su sección transversal es rectangular por lo que podemos -- emplear la ecuación No.15.

$$k = \lambda \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{D_0^4}{D^4}\right) \quad A_4 = 2 \times 0.5 = 1 \text{ m}^2$$

El número de Reynolds tiene un valor de:

$$R = \frac{7.5(0.8)}{0.15 \times 10^{-4}} \quad A_4 = 1 \text{ m}^2 \therefore D = 0.8 \text{ m}$$

$$Re = 400\ 000 \quad 7.5 = 1 (\bar{V})$$

Y de la gráfica de la figura 11 obtenemos un valor de

$$\lambda = 0.013$$

$$\text{por lo que } k_4 = 0.013 \left(\frac{1}{0.8}\right) \left(\frac{0.6^4}{0.8^4}\right) \quad V = 7.5 \text{ m/s}$$

$$k_4 = 0.01625 \left(\frac{0.1296}{0.4096}\right)$$

$$k_4 = 0.0051$$

2.5.5 PERDIDAS EN LA TOBERA O EFUSOR

En ésta fase se consideran las pérdidas por fricción, (y contracción) y el coeficiente de pérdidas se determinan con la siguiente expresión (Ref.1)

$$k = 0.32 \frac{\lambda_{or} L}{D_0} \quad \text{---(18)}$$

DONDE:

$$\lambda_{or} = \text{Coeficiente de fricción} \left(\lambda_{or} = \frac{\lambda_o + \lambda_f}{2} \right) \quad \text{---(19)}$$

L = Longitud de la tobera 1.5 m

D_o = Diámetro equivalente de la sección de pruebas

$$\lambda_{\text{ot}} = \frac{0.0119 + 0.013}{2}$$

$$\lambda_{\text{ot}} = 0.0124$$

Por lo que el Coeficiente de Pérdidas queda:

$$k_5 = 0.32 \left(\frac{0.0124(1.5)}{0.6} \right)$$

$$k_5 = 0.0099$$

2.5.6 PERDIDAS EN LA SECCION DE PRUEBAS

La sección transversal de ésta zona es también rectangular, por lo que podemos utilizar la ecuación No. 7 y tenemos:

$$k = \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{D_0^4}{D^4} \right)$$

Primeramente calculamos el número de Reynolds.

$$A_6 = 0.75 \times 0.5 = 0.375 \text{ m}^2$$

$$D = 0.600 \quad L = 1.5 \text{ m}$$

$$R = \frac{20(0.600)}{0.15 \times 10^{-4}} = 7.999 \times 10^5$$

$$R = 797 \ 971$$

Con el valor del número de Reynolds y la gráfica de la figura 11 obtenemos un coeficiente de fricción superficial igual a $\lambda = 0.0119$.

$$k_6 = 0.0119 \left(\frac{1.5}{0.6} \right) \left(\frac{0.6^4}{0.6^4} \right)$$

$$k_6 = 0.0119 (2.5) (1)$$

$$k_6 = 0.02975$$

Por lo que el valor del Coeficiente de pérdidas es:

$$k_6 = 0.2975$$

2.5.7 PERDIDAS EN LA CHIMENEA

En ésta sección tenemos pérdidas por cambio de dirección y por fricción . Por cambio de dirección tenemos la siguiente expresión:

$$k_7 = 0.1 \frac{4.55}{(\log_{10} Re)^{2.58}} \frac{A_0^2}{A^2} \quad (20)$$

$$k_7 = 0.1 \frac{4.55}{(\log_{10} 799\ 971)^{2.58}} \frac{0.1406}{0.1406}$$

$$k_7 = (0.1) \frac{4.55}{97.584} (1)$$

$$k_7 = 0.0046$$

$$k_7 = 0.0046 \times 2 = 0.0092$$

$$k_7 = 0.0092$$

Por longitud del túnel tenemos:

$$k = 0.0119 \left(\frac{5}{0.691} \right) \left(\frac{0.60^4}{0.6^4} \right)$$

$$k = 0.0119 (8.333)$$

$$k = 0.099$$

El valor de las pérdidas totales es de 0.1083

2.5.8 PERDIDAS DEBIDAS AL PANAL

En ésta sección del túnel, se uniformiza el flujo de aire. El panal está compuesto por un conjunto de tubos cilíndricos; como se explicó en el inciso 2.3.4

La sección transversal de estos tubos es principalmente: cilíndrica, cuadrada ó hexagonal.

La constante de pérdidas está cuantificada por datos experimentales, basados en la superficie de contacto que presenta el panal al chorro de aire.

El arreglo utilizado en nuestro túnel no es frecuentemente empleado, por lo que no encontramos un valor determinado del coeficiente de pérdidas. Pero basados en la manera de cuantificar éste y los diferentes arreglos ya cuantificados estimamos una constante de pérdidas de $k_0 = -0.25$ (Ref. 1).

Por lo que es el coeficiente de pérdidas total en ésta zona está dado por:

$$k = \frac{k_o D_o^4}{D^4} \quad (21)$$

donde:

$$k_o = 0.25$$

$$D_o = 0.6 \text{ m}$$

$$D = 0.8 \text{ m}$$

por lo tanto:

$$k_g = 0.25 \frac{0.6^4}{0.8^4}$$

$$k_g = 0.0791$$

2.5.9 PERDIDAS DEBIDAS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL FLUJO

Además de las pérdidas en el cuerpo del túnel, es importante considerar las pérdidas debidas a la entrada y salida del flujo de aire en el túnel. Estas pérdidas se obtuvieron gráficamente (Ref. 2) y son las siguientes:

2.5.9.1 PERDIDAS DEBIDAS A LA ENTRADA DEL FLUJO

En nuestro caso el ventilador tiene bridas, por lo tanto le corresponde la curva A de la fig. 11

en donde D_o (Diámetro del chorro) = D_c (Diámetro equivalente),
entonces:

$$\frac{D_o}{D_c} = 1$$

Entrando con éste cociente en la gráfica obtenemos $k_E = 0.5$

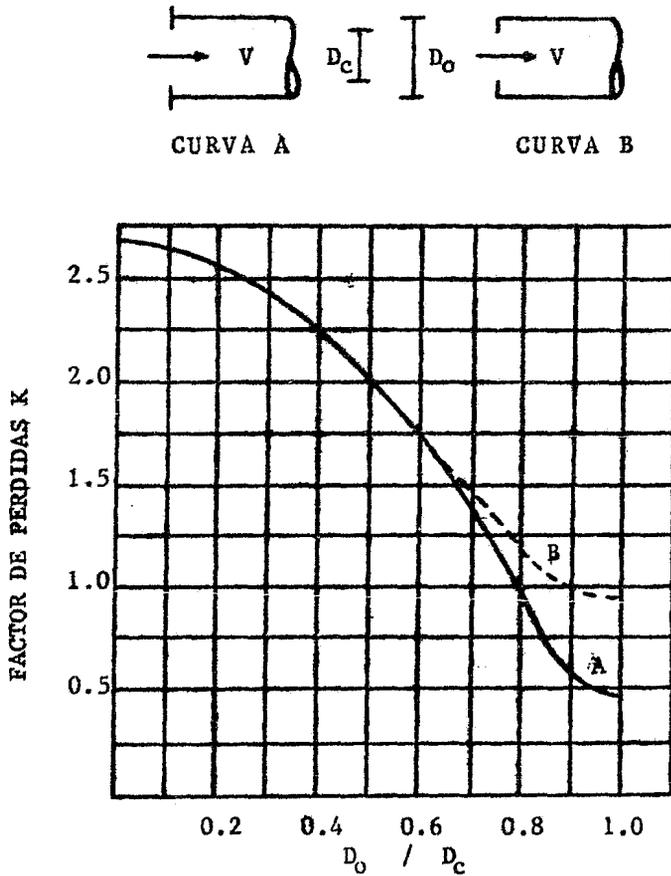


Fig. 11

2.5.9.2 PERDIDAS DEBIDAS A LA SALIDA DEL FLUJO

Estas pérdidas se consideraron con el inciso 2.6.7 y tienen un valor de $k_s = 0.3020$

Los resultados de los coeficientes de pérdidas se resumen en la siguiente tabla:

ZONA	ko
Ventilador	0.0018
Transición	0.0028
Difusor	0.0104
De Calma	0.0051
Efusor	0.0099
Pruebas	0.02975
Chimenea	0.1083
Panal	0.0791
Entrada	0.5000
Salida	<u>0.3020</u>

$$\sum ko = 1.04915$$

Tabla 2.1 Resumen de los Coeficientes de Pérdidas

2.6 CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

El incremento de la pérdida de energía en cada parte del túnel se puede expresar en la forma:

$$\Delta PE = k \frac{1}{2} \rho_{AV}^3 \quad \text{---(22)}$$

Transformando obtenemos

$$\Delta PE = ko \frac{1}{2} \rho_{Ao} \bar{V}_o^3$$

como
$$\Delta PE_T = \sum ko \frac{1}{2} \rho_{Ao} \bar{V}_o^3$$

Sustituyendo las expresiones anteriores en la expresión para el cálculo de la relación de energía, obtenemos:

$$R_E = \frac{1/2 \rho A_o \bar{V}_o^3}{k_o 1/2 \rho A_o \bar{V}_o^3} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_o}$$

La potencia del motor la podemos determinar a partir de la expresión siguiente:

$$P_m = \frac{\sum k_o \rho A_o \bar{V}_o^3}{2 \eta} \quad - (23)$$

DONDE:

k_o = Coeficiente total de pérdida

ρ = densidad del aire

A = Area de la zona de pruebas

V = velocidad del flujo en la zona de pruebas

η = Eficiencia del motor.

Suponiendo una eficiencia en el motor del 70% y sustituyendo valores en la ecuación 14, tenemos:

$$P_m = \frac{1.0491(0.92)(0.375)(20)^3}{2(0.7)}$$

$$P_m = 2068.22 \quad W$$

$$P_m = 2068.22 (1.341 \cdot 10^{-3}) = 2.77 \text{ HP}$$

∴ La potencia necesaria para cubrir los requerimientos del proyecto es de aproximadamente 3 HP .

CAPITULO No. 3

" ANALISIS DE ALTERNATIVAS "

En éste capítulo se pretende justificar técnica y económicamente cada uno de los elementos que forman parte del presente proyecto puesto que se desea encontrar una alternativa que sea económica y que satisfaga las necesidades para las que fué diseñado.

Analizaremos, y a continuación seleccionaremos, separadamente cada uno de los elementos que constituyen el túnel de viento, y despues de haber seleccionado la mejor alternativa se unificará todo, para realizar un estudio económico-global.

3.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL TUNEL DE VIENTO.

3.1.1 SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE

Un sistema de velocidad variable es aquel que puede - modificar su velocidad; ya sea en forma uniforme ó en forma escalonada, de acuerdo a las necesidades específicas.

Para obtener una variación en la velocidad de la corriente de aire en la zona de pruebas, existen varios métodos:

- a) Un método es hacer variar la velocidad angular del ventilador.
- b) Un segundo método es dotar al ventilador de un mecanismo para variar el paso de la hélice del ventilador.
- c) Una tercera opción sería colocar mamparas móviles que ofrecieran una cierta resistencia al flujo de aire.

Debido a que la opción b) era costosa y complicada y que las mamparas traerían consecuencias negativas en el flujo de aire se descartaron estas opciones.

Los sistemas de velocidad variable que nos pueden modificar la velocidad angular del ventilador los podemos dividir en 4 grupos de acuerdo al elemento motriz que requieren para suministrar los cambios de velocidad:

- a) Sistema mecánico de variación de velocidad
- b) Sistema hidráulico de variación de velocidad
- c) Sistema neumático de variación de velocidad
- d) Sistema eléctrico de variación de velocidad

Una descripción con detalle de estos sistemas y sus subdivisiones se anexa en el apéndice c.

3.2.1 SISTEMA DE IMPULSION DE AIRE

Para el funcionamiento del túnel de viento es necesario tener un flujo continuo de aire dentro de todas las secciones que lo constituyen; para lograr esto es necesario contar con un sistema de impulsión de aire el cual en nuestro caso es un ventilador ya que como se mencionó antes, entrega un flujo -- constante de aire.

Existen dos tipos de ventiladores: axiales y centrífugos, de los cuales describiremos sus principales características a continuación:

- a) Manejan caudales o gastos en un rango bastante amplio
- b) Manejan el fluido a bajas presiones
- c) Su funcionamiento es simple
- d) Convierten la carga de velocidad en presión
- e) El fluido manejado no se ensucia al pasar por el ventilador
- f) Su funcionamiento es relativamente silencioso a bajas capacidades

El ventilador de tipo axial proporciona mayor gasto, a bajas presiones, mientras que el centrífugo proporciona menor gasto y presiones ligeramente mayores. (Ver figuras 19A y 19B).

Debido a que requeríamos un gasto bastante grande ($7.5 \text{ m}^3/\text{s}$) y a que manejaríamos presiones muy bajas se seleccionó un ventilador de tipo axial. Tanto el motor como el ventilador se les encuentra comercialmente, las especificaciones de ambos se mencionan en el capítulo 4.

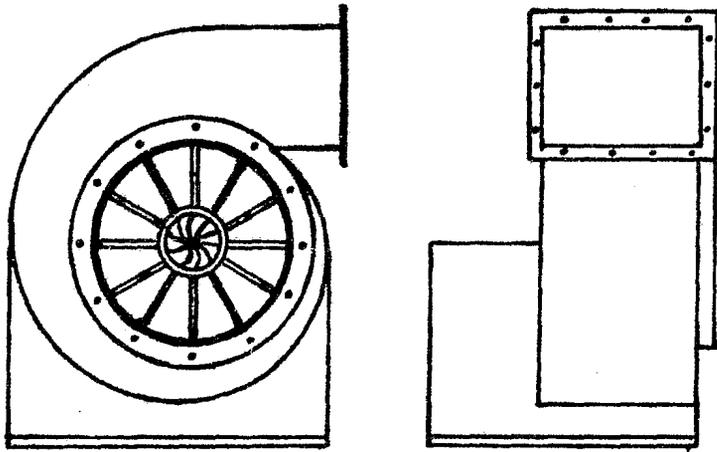


Fig. 19 A Ventilador tipo Centrífugo

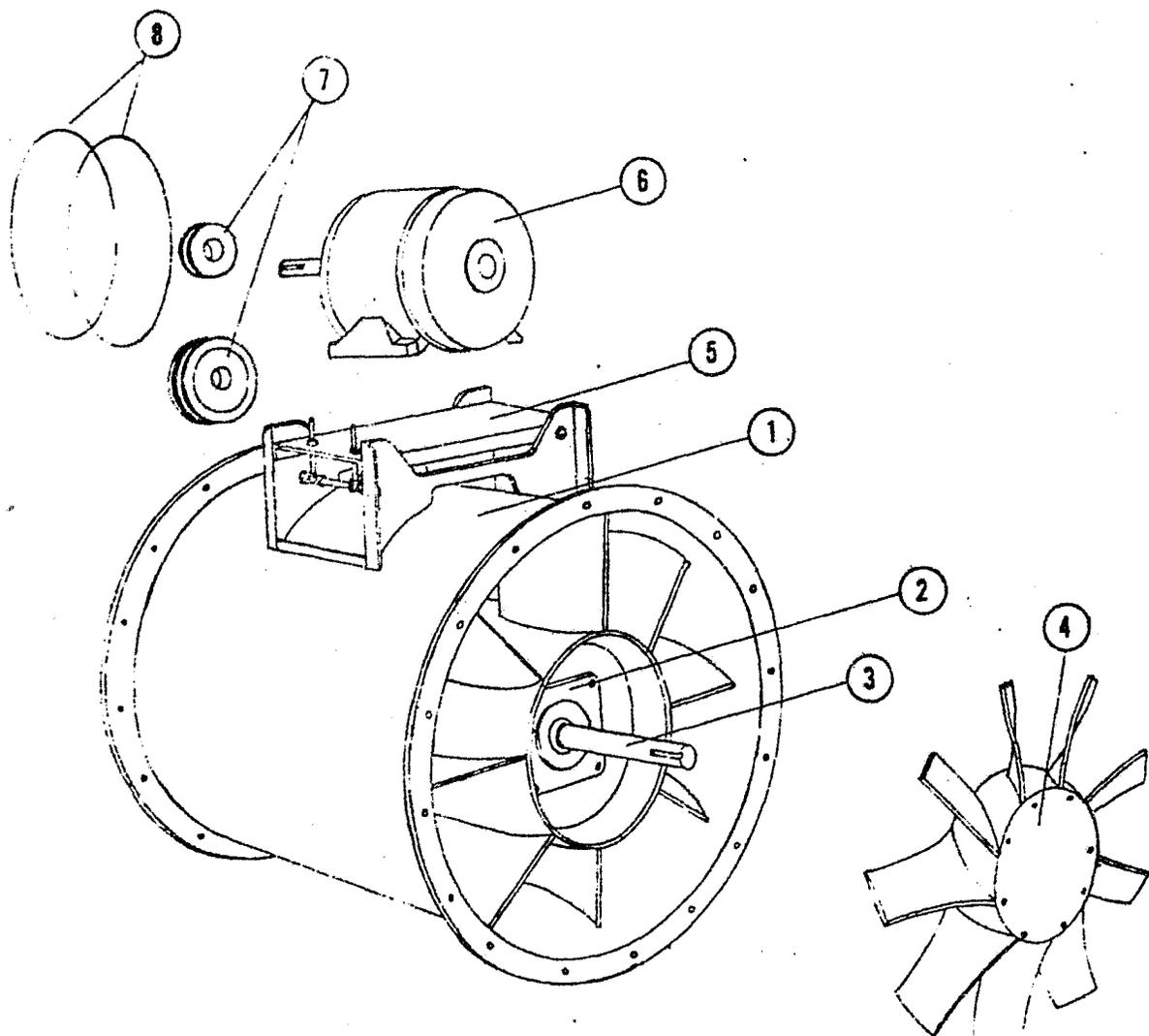


Fig. 19 B Ventilador tipo Axial, arreglo con Motor Exterior

DESCRIPCION DE PARTES

- | | | | |
|---|-------------|---|----------------|
| 1 | DUCTO | 5 | BASE DEL MOTOR |
| 2 | RODAMIENTOS | 6 | MOTOR |
| 3 | EJE | 7 | POLEAS |
| 4 | HELICE | 8 | BANDAS |

3.1.3. MATERIAL PARA LA ZONA DE PRUEBAS

Debido a la naturaleza del túnel de viento, es necesario que en la zona de pruebas exista la mayor visibilidad posible, es por ésto que dentro de las características del material a elegir deberá estar la de ser transparente, con la finalidad de poder apreciar completamente el interior de la zona.

Otra de las características es la de ser rígido, debido a esto los materiales que cumplen con las características anteriores, son:

- a) Acrílico
- b) Cristal

El acrílico se descartó debido a que se espera tener altas temperaturas en la zona de pruebas, quedando como única opción el empleo del cristal. Este material sólo se utilizará en las paredes verticales de la zona de pruebas (Ver fig. 20). Una de estas paredes es desplazable, teniéndose el riesgo de que al realizar este movimiento en forma brusca el cristal se rompiera, por esta razón se decidió incrementar el espesor del vidrio a fin de aumentar su resistencia.

Por otro lado, si se presentaran temperaturas tan altas como para poder estrellar el cristal por cambios de temperatura por esfuerzos internos tendríamos problemas; para evitar ésto decidimos utilizar un cristal tratado termicamente resistente a la temperatura y a las variaciones de ésta.

En cuanto a las paredes horizontales de la zona de pruebas, deberá tenerse en cuenta las siguientes características:

- a) resistencia mecánica
- b) resistencia térmica
- c) aislante térmico

En la zona de pruebas se introducirán modelos físicos los que tienen un peso propio. Por lo que el piso de la zona de pruebas deberá tener la suficiente resistencia como para poderlo soportar, además de poder soportar el instrumental requerido en la investigación.

Entre los materiales que cumplen con estas características están la fibra de vidrio y lámina. El acrílico y la madera no cumplen con las características de resistir a altas temperaturas, para lo cual se puede seleccionar el asbesto ó alguna arcilla refractaria.

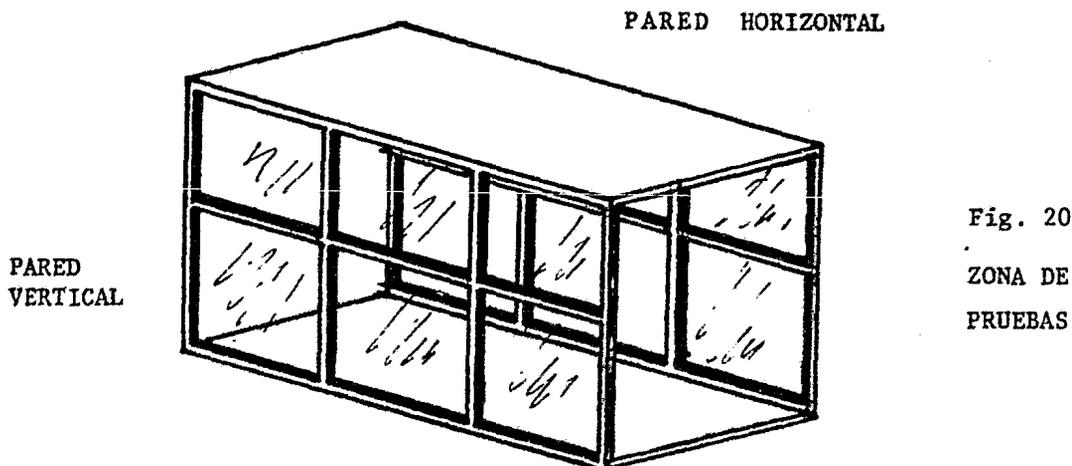


Fig. 20
ZONA DE
PRUEBAS

3.1.4. MATERIAL QUE FORMA EL CUERPO DEL DUCTO

Las características que debe cumplir el material para formar el cuerpo del ducto son:

- a) Resistencia Mecánica
- b) Facilidad de trabajarse y unirse
- c) Resistencia a la corrosión y al medio ambiente
- d) Que sea un material comercial fácil de conseguir
- e) Deberá ser posible doblarlo ó conformarlo

Los materiales factibles son lámina de acero, madera, fibra de vidrio, lámina de aluminio, acrílico.

Empezaremos por analizar la madera, la cual presenta - las siguientes características, tiene buena rigidez, es fácil de trabajar, existe en diversas medidas y formas comercialmente, se pueden obtener acabados muy tersos; las desventajas que presenta son: no tiene buena resistencia al medio ambiente a menos que se le proteja con barnices especiales, otra desventaja y quizá la mayor es que es combustible; y - en la presente investigación, los estudios que se van a realizar, son con combustibles altamente inflamables, lo cual resulta muy peligroso.

La utilización de láminas de acrílico es una buena opción dada su resistencia, su rigidez su bajo peso, facilidad de trabajarse y de moldearse, teniendo un excelente acabado superficial. Una de sus desventajas es que es deformable por calor, por lo que en presencia de incrementos de temperatura las secciones del túnel tenderían a perder su forma, lo-

que ocasionaría variaciones en el flujo del aire; el costo del acrílico es otra de las desventajas, ya que la cantidad de material requerido es muy grande.

De las ventajas que presenta la fibra de vidrio están entre otras la ligereza, el acabado superficial, facilidad de -- moldearse, no presenta corrosión; sus desventajas son: requiere moldes para poder fabricarse, tiene mediana rigidez, no presenta resistencia al impacto, que resulta perjudicial en caso de malos manejos de material.

La lámina de acero reúne la mayoría de los requisitos pedidos, pues por su resistencia mecánica es ampliamente utilizada, tiene cierta facilidad de trabajarse, no presenta riesgos de combustión, es un material muy comercial y fácil de conseguir, su costo no es muy elevado; entre las desventajas que -- presenta están la de su peso, ya que si se requiere que en las paredes del túnel no haya pandeo, ni flexiones, dado que las -- secciones son de grandes dimensiones, es necesario que el espesor de la lámina se incrementara, para evitar los reforzamientos en las secciones, lo que trae como consecuencia un aumento en el peso y costo del túnel.

Otra desventaja es que para tener resistencia a la corrosión necesita un tratamiento adicional, lo que incrementa su -- costo. La lámina de aluminio presenta buenas características en cuanto a su ligereza resistencia mecánica, etc. pero su principal desventaja es su alto costo, otra desventaja es que no -- se puede unir fácilmente por procesos de soldadura y requiere por lo tanto de uniones por medio de tornillos, remaches, etc.

3.1.5. MATERIALES PARA EL SOPORTE O ESTRUCTURA

Existe una gran variedad de perfiles para construir una estructura de soporte para poder asentar el túnel. Circulan en el mercado una infinidad de materiales de diferentes secciones transversales, tales como redondas, cuadradas, rectangulares, huecas, etc. La mayoría son de acero, lo que las -- hace ser las más adecuadas para estructuras.

Por su resistencia a la flexión y a la compresión, entre los materiales a escoger están ángulo, solera, tubo, barra cuadrada hueca, barra redonda maciza ó una combinación -- de varias de ellas. La selección dependerá de su relación, -- resistencia mecánica, peso, dimensiones.

3.1.6. UNION DE LAS SECCIONES

Las uniones del túnel deberán presentar varias características de diseño, dependiendo de la sección de que se trate; ya que las características de las uniones en la zona de pruebas son diferentes a las que existen en las uniones del cuerpo con la estructura ó de la unidad motriz con la trans-- sición. Para las secciones que estuvieran en presencia de -- vibraciones se sugirieron empaques de hule para amortiguar -- lo más posible las vibraciones.

Para las uniones entre secciones se requieren marcos -- rígidos por lo que será necesario que sean de metal y más -- específicamente de fierro.

Existirán otro tipo de uniones las cuales tendrán la finalidad de servir solamente como sello para evitar fugas de aire; para este propósito existen varios materiales como silicones, aislantes plásticos, aceros plásticos, rellenos plásticos, etc.

El silicón tiene la desventaja de no resistir altas temperaturas, aunque es fácil de aplicar.

El acero plástico es una mezcla de un metal y un epoxico, el metal puede ser aluminio si se quiere resistencia a las altas temperaturas y fierro si se necesita resistencia mecánica ó resistencia al impacto, una vez curado ó --fraguado forma una masa metálica muy dura, la que proporciona excelente acabado superficial.

3.2 SELECCION DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL TUNEL DE VIENTO.

Como se ha mencionado, es este punto seleccionaremos materiales y equipos que formarán el túnel de viento, después de analizar detalladamente sus características descritas en el punto anterior.

3.2.1. SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE

La selección del equipo de velocidad variable se hizo en base, a las características prefijadas de velocidad en -

la sección de pruebas: por la potencia necesaria para vencer las pérdidas en el túnel y por las ventajas técnicas que presentaba.

De todos los sistemas de variación de velocidad descritos en el apéndice C solo se seleccionaron tres, los cuales son:

- a) Motor de C.D. con control electrónico (pag. 151)
- b) Motor de C.A. con motovariador magnético y control electrónico (pag. 155)
- c) Motor de C.A. y variación de velocidad por poleas cónicas y banda deslizante. (pag. 143)

Las dos primeras opciones a), b) nos proporcionan un mayor rango de velocidad controlada, además de que su control tiene una respuesta mucho más sensible.

La opción c) presenta la ventaja de que su costo de adquisición es menor, aunque su desempeño técnico no es comparable con las dos opciones anteriores, ya que su variación de velocidad no es muy controlada y no es amplio su rango de variación debido a que está limitado por el diámetro de las poleas.

El único requisito con que deben de contar es la potencia de 5 HP a 1150 RPM

3.2.2. SISTEMA DE IMPULSION DE AIRE

Para nuestro diseño se seleccionó un ventilador de aire tipo axial, el cual proporciona alto gasto volumétrico y bajas presiones. Teniendo el tipo de ventilador se procedió a establecer sus características de funcionamiento en base a nuestras necesidades, tales como gasto volumétrico, las RPM y la presión estática; el 2o. paso fué establecer el arreglo del ventilador, con relación a la unidad motriz, existían -- dos tipos de arreglos: a) el arreglo con motor acoplado directamente a la flecha del ventilador y montado dentro del ducto, b) el arreglo con motor exterior, acoplado a la flecha del ventilador mediante poleas y bandas.

El arreglo seleccionado fué el de motor exterior, ya que aunque presentaba desventajas tales como la de elementos adicionales para poderse acoplar al ventilador, lo que trae como consecuencia que su diseño aerodinámico no sea tan eficiente; presentaba la ventaja de que el aire al pasar por el ducto -- del ventilador no incrementaría su temperatura debido al calentamiento del motor cuando esta funcionando, además de que no se tenía aun el tipo de unidad motriz a instalar en el ventilador, por lo que no se sabía si podría alojarse en el interior del ducto.

Las tres opciones de sistema de velocidad variable se -- pueden ajustar a trabajar en el exterior del ducto del ventilador, necesitando únicamente construir una base para instalarlos en el exterior.

3.2.3. MATERIAL DE LA ZONA DE PRUEBAS

De los materiales descritos anteriormente se seleccionó:

- a) Para las paredes verticales un cristal templado resistente a la temperatura
- b) Para las paredes horizontales, lámina galvanizada recubierta de asbesto.

3.2.4. MATERIAL QUE FORMA EL CUERPO DEL DUCTO

Para la selección de este material se tomaron en cuenta varios aspectos:

El aire a la salida de la zona de pruebas va a ser una mezcla de aire caliente, con gases producto de combustión; por lo que debido a su composición química, el proceso de corrosión se iba a acelerar, con lo cual era evidente que la lámina de fierro no iba a cumplir con las características necesarias establecidas durante el diseño.

Mediante un recubrimiento superficial de la lámina, la resistencia a la corrosión aumenta, alargando el tiempo de vida útil del túnel, este tipo de recubrimiento podría obtenerse mediante un proceso de galvanizado.

Se seleccionó lámina calibre 14 para evitar reforzar las secciones del túnel.

3.2.5. MATERIALES PARA EL SOPORTE O ESTRUCTURA

Para la estructura de soporte del túnel se seleccionó el perfil tubular rectangular PTR, obedeciendo a ciertos criterios los que se compararon parcialmente con las características del ángulo estructural de fierro.

- a) La resistencia a la flexión del PTR era mayor que la del ángulo en cargas axiales.
- b) Esteticamente luce mejor un banco de PTR, que uno de ángulo.
- c) Las uniones de PTR son más sencillas de realizar que las de ángulo.
- d) La resistencia a la flexión ó al pandeo del PTR cuando esta en forma de viga apoyada aumenta casi al doble por tener dos veces la sección del ángulo.
- e) Para efectos de construcción del sistema de nivelación se amoldaba más el PTR a nuestros requerimientos, que el ángulo.

Se seleccionó un PTR, cuadrado de 1" por lado y 1/8" de espesor.

3.2.6. UNION DE LAS SECCIONES

Para la unión de las secciones se seleccionaron los -- siguientes materiales, tomando en cuenta el tipo de sección y la función que tendría:

- a) Unión Ventilador Transición.- Durante el diseño se encontró, que un efecto perjudicial, como la vibración producida por motor y ventilador, podría aislarse del resto del túnel de viento, si no se unía rígidamente el ventilador a la transición, para lograr esto se ideó sellar el espacio entre una y otra -- sección con tela ahulada, la que serviría como junta de expansión y contracción, no transmitiendo la vibración producida.
- b) Unión de Secciones del Cuerpo del Túnel.- Estas se diseñaron para darle rigidez al túnel por lo que se seleccionó un material rígido y resistente, se encontró que la solera de fierro era lo más adecuado a nuestros propósitos.
- c) Uniones de Cristales en la Sección de Pruebas.- Para este tipo de uniones, en el que la temperatura era un factor importante, se seleccionó un tipo de material llamado, acero plástico del que ya se describieron sus características. Este, además de impartir adhesión entre las piezas, resulta de una dureza mayor y acabado similar al cristal.
- d) Unión de las Secciones del Túnel con la Estructura.- Estructura con Piso y Motor con Ventilador; para este tipo de unión se seleccionaron dos tipos de hules.
 - a) Hule delgado para la unión de las secciones con la estructura, con el fin de evitar el contacto de metal con metal si se presentaban vibraciones.

b) Hule esponja para los lugares donde existía mayor vibración, por un lado y por el otro, para lograr -- un perfecto apoyo entre las partes a unirse como pueden ser las bases de la estructura, en donde el hule absorbe las irregularidades del piso con el fin de -- lograr que los bancos asienten completamente, además de servir también como amortiguamiento entre piso y estructura si existieran movimientos del túnel.

e) Unión de Sello entre Secciones.- Para éste propósito se -- seleccionó el rellenedor plástico, el cual por sus -- características de fácil instalación, buena dureza -- despues de su secado, perfecta adhesión y sellado y -- facilidad de lijarse se escogió para los acabados in -- teriores del túnel.

3.3 ESTUDIO ECONOMICO DE ALTERNATIVAS GLOBALES

Una vez seleccionados los materiales y equipos requeridos estudiaremos las alternativas globales; de unos materiales con un equipo y de otro equipo con otros materiales hasta lograr -- conjuntar la mejor opción.

Para lograr ésto, fué necesario recabar una serie de datos entre proveedores a fin de poder realizar el estudio económico. Primeramente se elaboraron dos cotizaciones; algunos de los materiales permanecen iguales en los dos estudios y básicamente -- cambian en la unidad de variación, de velocidad, debido a que -- como se menciona en el punto 3.2.1. se tienen 3 alternativas; -- de éstas se escogieron primeramente el sistema de motor de C.D. con control electrónico y el de poleas cónicas con banda desli-zante y motor de C.A. como se muestra en la siguiente tabla --- comparativa.

TABLA		ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B	
No.	Cantidad	Descripción	Costo *	Descripción	Costo *
1	96 Mts.	Tubo PVC 1 1/2" ø	2,080.00	IDEM	2,080.00
2	100 Pzas	Remache POP AM-54 (5/32" x 3/8")	100.00	IDEM	100.00
3	1 bote	Resanador Plástico	120.00	IDEM	120.00
4	1 bote	Adhesivo para PVC	350.00	IDEM	350.00
5	1 cartucho	Silicón	300.00	IDEM	300.00
6	70 Mts.	Angulo de 3/4" x 1/8"	5,000.00	IDEM	5,000.00
7	12 Mts.	Perfil de Aluminio	2,000.00	IDEM	2,000.00
8	1 bote	Pegamento Epóxico	100.00	IDEM	100.00
9	1	Lámina de Asbesto de 1,5 x 0.5 Mts.	500.00	IDEM	500.00
10	1	Chimenea	3,000.00	IDEM	3,000.00
11	1	Motovariador: a) Motor C.D. Mca. Powertron 5 H.P. 2,457 US. DLLS. b) Control de Velocidad Mca. Pillartectron 220V 60 Hz. 2 fases \$ 35,111.00	150,590.00	Motovariador: a) Motor C.A. 5 H.P. 3 fases, Mca. General Electric \$ 20,000.00 b) Control de Poleas cónicas y bandas desli- zantes \$ 6,000.00	26,000.00
12	12	Cristal templado de 6 mm espesor de 48.5 x 50.0 cms.	8,100.00	IDEM	8,100.00
13	282 Kgs.	Lámina negra de acero cortada y do- blada: a) tableros \$ 14,833.20 b) Transición \$ 11,000.00	25,833.20	IDEM	25,833.20

* Precios de 1982

14	1	Ventilador Mca. Armee Chicago tipo axial-airfoil, di- seño 13, tamaño 365-8 arreglo BDD.	57,660.00	IDEM	57,660.00
		SUB-TOTAL	255,733.20		131,143.20
		+2% de variación en los precios estimados	5,114.66		2,622.86
			260,847.86		133,766.06
		+10% I.V.A.	26,084.78		13,376.60
		T O T A L	\$286,932.64		\$147,142.66

Como se puede apreciar existe una diferencia muy grande casi el 100% de precio total entre una y otra. Por lo que se trató de analizar más cuidadosamente las 2 alternativas para poder emitir un resultado satisfactorio.

Como los materiales permanecen constantes entre la alternativa A y la B y el ventilador es el mismo para ambos - nos enfocaremos, unicamente a las unidades de variación de velocidad.

En la alternativa A el motovariador está formado por un motor de C.D. el cual es de importación, el control electrónico es de fabricación nacional, aunque las piezas por las que está constituido son de importación por lo que en caso de desperfectos en el sistema, sería necesario importar refacciones ó en caso contrario tener desde un principio un lote de refacciones para poder solventar cualquier problema.

Por estas razones y además por motivos referente a la importación del equipo, como son el tiempo de entrega y el pago de impuestos de importación por parte del proveedor, el cual los carga en el precio total, se rechazó esta alternativa.

La alternativa B que es la de variación de velocidad por poleas cónicas que fué la que quedó, se estudió más detenidamente y se llegó a las siguientes conclusiones de carácter técnico:

- a) Es necesario parar el motor y el ventilador para poder cambiar de velocidad.
- b) El ajuste de velocidad no es muy fino.
- c) Su rango de variación de velocidad es pequeño
- d) No requiere mucho mantenimiento
- e) Esta sujeto a desgaste por tener piezas en constante contacto mecánico.
- f) El sistema consume una buena parte de la potencia que entrega el motor.
- g) Existe deslizamiento entre las poleas lo que ocasiona pérdida de potencia.

Debido a que la zona de pruebas está alejada de la -- unidad motriz es difícil estar parando el motor para cambiar de velocidad e ir de nuevo a la zona de pruebas. Por lo anterior y en vista de que no reunía, completamente las condiciones técnicas ésta alternativa fué rechazada.

Tratando de satisfacer la mayoría de las deficiencias -- de las alternativas A y B se llegó a la alternativa C, en la cual el motovariador es de tipo electromagnético y tiene las siguientes características. (ver apéndice C pag. 155)

- a) El variador, el control electrónico y el motor, son de -- fabricación nacional con piezas también nacionales, contando con partes de repuesto comerciales.
- b) No se requiere parar el motor para cambiar de velocidad
- c) Su rango de variación es tan grande como sean las RPM del motor, ya que varía desde aproximadamente cero hasta las -- RPM del motor, siendo por lo tanto de ajuste fino de velo ci dad.
- d) No tiene demasiado desgaste debido a que la ausencia de -- piezas en contacto mecánico.
- e) Su control electrónico se puede instalar alejado del motor por lo que se puede variar la velocidad desde la misma zo na de pruebas.

En la siguiente table se muestra el estudio de costeo -- realizado..

TABLA		ALTERNATIVA C	
No.	Cantidad	Descripción	Costo Total *
1	96 Mts.	Tubo PVC 1 1/2" ϕ	2,080.00
2	100 Pzas.	Remache POP AM-54 (5/32" x 3/8")	100.00
3	1 bote	Resanador Plástico	120.00
4	1 bote	Adhesivo para PVC	350.00
5	1 cartucho	Silicón	300.00
6	70 Mts.	Angulo de 3/4" x 1/8"	5,000.00
7	12 Mts.	Perfil de aluminio	2,000.00
8	1 bote	Pegamento Epóxico	100.00
9	1	Lámina de Asbesto de 1.5 x 0.5 mts.	500.00
10	1	Chimenea	3,000.00
11	1	Motovariador: Motor C.A. con variador electromagnético y control electrónico de velocidad, 5 H.P. rango de variación de 300 a 1750 RPM	88,500.00
12	12	Cristal templado de 6 mm de espesor de 48.5 x 50.0 cm.	8,100.00
13	282 Kgs.	Lámina negra de acero cortada y doblada a) Tableros \$ 14,833.20 b) Transición de 0.924 m ϕ , long x 0.550 x 1.3 m de base x 1.2 m altura \$ 11,000.00	25,833.00
14	1	Ventilador Mca. Armee Chicago tipo axial airfoil diseño 13, tamaño 365-8, arreglo BDD	57,600.00
		SUB-TOTAL	193,643.20
		+2% de variación en los precios estimados	3,872.86
			197,516.06
		+10% de I.V.A.	19,751.60
		T O T A L	\$ 217,267.66

* Precios de 1982

Como se puede apreciar el costo total de esta alternativa se encuentra intermedio entre el costo de la alternativa A y el de la B, sin embargo cumple con más condiciones que ninguna de las dos alternativas anteriores.

Merece un comentario especial lo siguiente: Después de haber seleccionado a la alternativa C como la más viable de las tres alternativas presentadas se procedió a realizar los trámites necesarios para la adquisición de los materiales, de safortunadamente y en forma inesperada sucedieron cambios en la paridad del peso por la fluctuación de éste y empiezan a cambiar los precios, por lo que el análisis de costos anterior solo sirve como referencia de un costo, en un tiempo y paridad anterior del peso, teniendose que realizar otro costeo más exacto el cual se presenta a continuación, y que por lo tanto resulta ser el costo final del presente proyecto.

		Costeo Final	
No.	Cantidad	Descripción	Costo Total *
1	1	Moto variador Mca. EDDY Matic, de 5 H.P. motor 220/440, 5 H.P. 3 fases, 60 Hz. 1750 RPM	93,000.00
2	1	Ventilador Mca. arnee Chicago, tipo axial, airfoil diseño 13, tamaño 365-8 arreglo BDD	57,600.00
3	20	Cristal templado 6 mm de espesor de 37.5 x 50.0 cm. incluye el biselado de 4 lados	26,000.00
4	216 mts.	Tubo hidráulico de PVC de 1" ø de diámetro	7,200.50

* Precios de 1982

5	2	Poleas 7" 2 RA maquinadas	2,723.20
6	2	Bandas A-82	1,159.20
7	1	Guña de 1/4"	23.00
8	3 tramos	Solera de 1/4" x 1"	1,393.11
9	8 tramos	PTR de diferentes medidas	10,773.20
10	3 tramos	Perfil 109-18 Prol	1,863.00
11	1 tramo	Perfil 146-18 prol	931.50
12	12 Kgs.	Perfil	2,070.00
13	1 caja	Tornillo de 3/16" x 1"	303.60
14	20 Pzas	Tornillo de 3/16" x 2"	126.50
15	300 Pzas	Tornillo de 3/16" x 3/4	656.00
16	20 Pzas	Tornillo de 2 1/4" x 2"	207.00
17	50 Pzas	Tornillo de gota de 1/4" x 1/2"	258.75
18	32 Pzas.	Tuerca hexagonal de 1/2" 6 NC	258.75
19	1 lt.	Pegamento para PVC	1,404.15
20	7 lts.	Rellenador Plástico	3,727.50
21	1 lt.	Resistol 5000	975.20
22	3 botes	DEVCON C-500	3,622.50
23	6 lt.	Pintura de aceite color aluminio	3,003.84
24	1 lt.	Esmalte No. 117	365.99

25	1 Pza	Sellador cartucho bostik 3035, 320 ml.	267.95
26	1 Pza	Lámina asbesto lit plana de 1.53 x 1.00 mts.	1,054.06
27	1	Barra circular de bronce de 22.2 mm	881.80
28	6	Balines de 11/16" de diámetro	345.00
29	10 Pzas	Lijas de agua No. 100	529.00
30	3 Pzas	Lijas rojas No. 000	77.62
31	10.5 mts.	Hule esponja No. 146	2,908.50
32	8.5 Mts.	Hule liso	2,975.00
33	3 Kgs.	Soldadura 6013 de 3/32"	909.00
34	2	Varilla de 12.7 mm	529.00
35	20 mts.	Cable de acero cod. 2242003 cordón azul con alma de fibra tipo cobra de 3/16 D-19377/2354, cam 1149-1	2,838.20
36	12	Perros galvanizados de 3/16"	731.40
37	300 Kgs.	Lámina galvanizada cal 14 incluye material corte, dobléz, armado y soldadura	55,000.00
		SUB-TOTAL	288,692.52
		+ 25% de variación en los precios estimados y costos varios	7,217.31
			295,909.83
		+ 10 % I.V.A	29,590.98
		T O T A L	\$ 325,500.81
		* Precios de 1982	

Conclusiones: Como se aprecia finalmente algunos materiales cambiaron y se incluyeron otros diferentes, esto fué debido principalmente a las diferencias de precios existentes en el mercado y al avance y a la constante mejora del -- proyecto en cuanto a su diseño respectivamente.

Debido al tiempo de entrega tan largo en algunos de los materiales y equipos, fué necesario pedirlos inmediatamente despues de la aceptación de la propuesta C, por lo que sus - precios no cambian de la alternativa C a la alternativa C mo dificada.

CAPITULO No. 4

"CONTRUCCION DEL TUNEL DE VIENTO"

En éste capítulo se describirán los procesos de construcción seguidos, desde la fabricación de las secciones del túnel hasta el acabado final.

Para el cuerpo del túnel se utilizó lámina galvanizada calibre 14, este calibre se seleccionó con la idea de eliminar vibraciones, pandeos ó deformaciones, producto del flujo de aire y de las presiones inherentes a él, evitando así una estructura adicional de refuerzo, aunque para su fabricación se requirió de máquinas herramientas de mayor capacidad, con las que no se cuenta en los talleres de manufactura de nuestra Facultad, por lo que para su fabricación se acudió a un taller especializado, al que se le proporcionó el desarrollo de cada una de las secciones que componen el túnel.

Debido al espesor de la lámina y a las dimensiones del túnel fué necesario construir varias secciones por separado, a fin de poder transportarlas con cierta facilidad y ser acopladas posteriormente en el lugar de operación del túnel (laboratorio de Termofluidos de la Facultad de Ingeniería).

4.1 CHIMENEA

Esta sección consta de siete piezas, que son los mostrados en la siguiente figura:

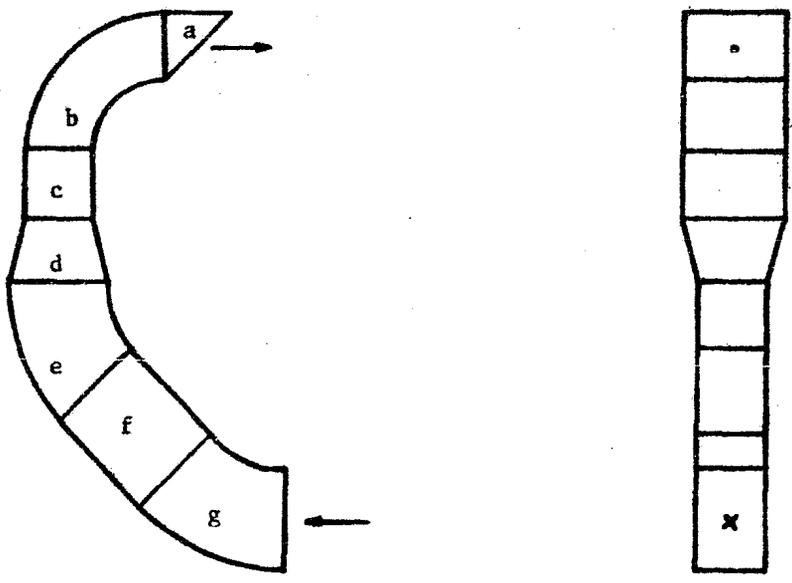


Fig. 21 Chimenea

- a) Cubierta contra lluvia
- b) Codo a 90°
- c) Sección recta
- d) Transición
- e) Codo a 45°
- f) Sección recta
- g) Codo a 45°

Como ya se mencionó, el material utilizado fué lámina galvanizada calibre 14. Todas las piezas a excepción de la cubierta, están constituidas por 4 caras, las cuales se unieron con soldadura de arco eléctrico, cuidando que el cordón de soldadura quedara por la parte exterior y así obtener un acabado primario interior aceptable.

Cada una de las piezas cuenta con cejas ó bridas para poder ser unidas entre si mediante tornillos. Para asegurar paralelismo entre las caras y facilitar el acoplamiento de las distintas partes se emplearon marcos de solera de fierro de $3/4"$ x $1/8"$, lo que proporcionó una rigidez adicional.

Los marcos se construyeron de 4 partes, cada una de ellas tenía cortes a 45° en los extremos, permitiendo escuadrar y unir los marcos mediante soldadura de arco eléctrico. Posteriormente se le hicieron barrenos de $3/16"$ de diámetro espaciados cada 10 cm. Se construyeron 6 marcos para la chimenea.

Una vez terminados los marcos se presentaron en cada una de las piezas con el objeto de barrenar las cejas, tomando como referencia los barrenos de los marcos, logrando con esto una buena unión entre las partes. Un detalle del acoplamiento entre dos piezas se muestra en la siguiente figura.

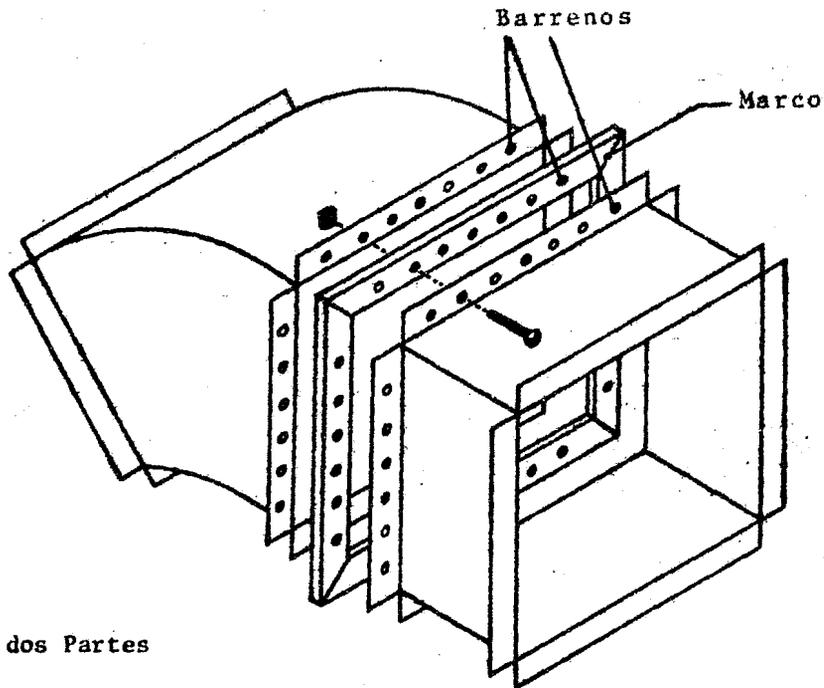
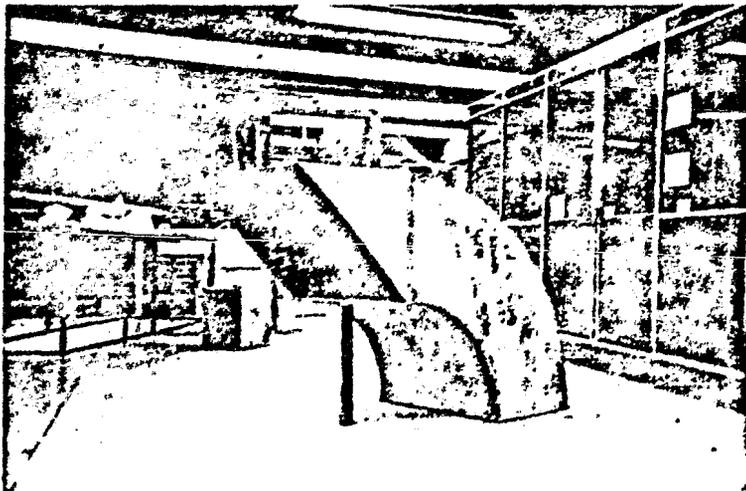


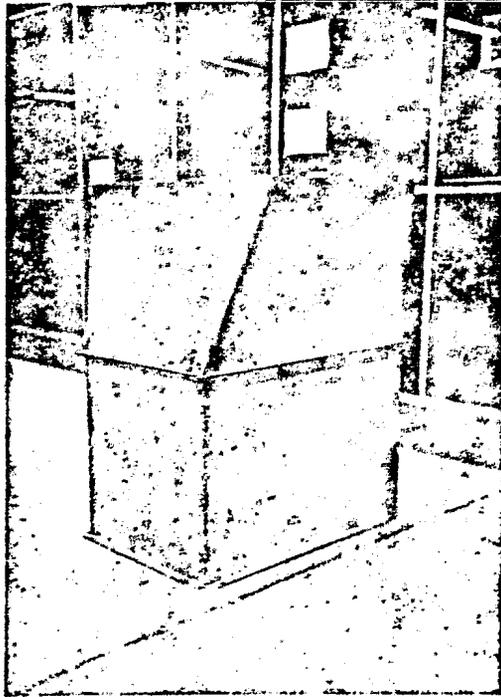
Fig. 22

Unión entre dos Partes

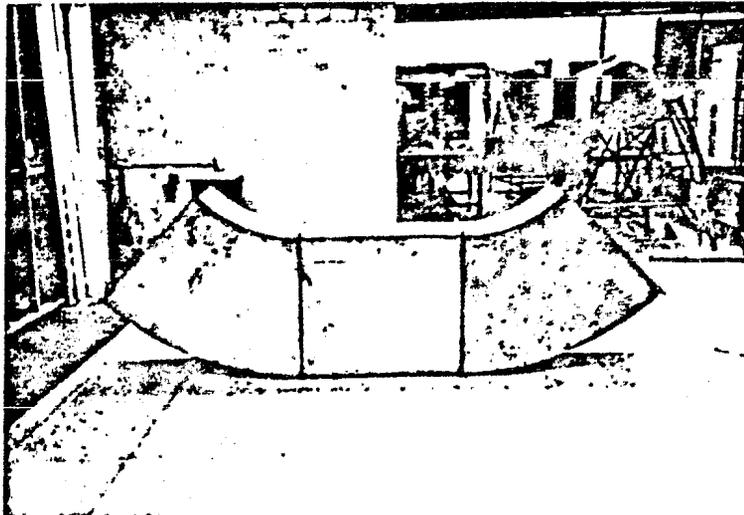
Para el montaje de la chimenea, las piezas se agruparon en 3 partes como se ilustra en las siguientes fotografías.



Fotografía 11 Cubierta contra Lluvia y codo a 90°



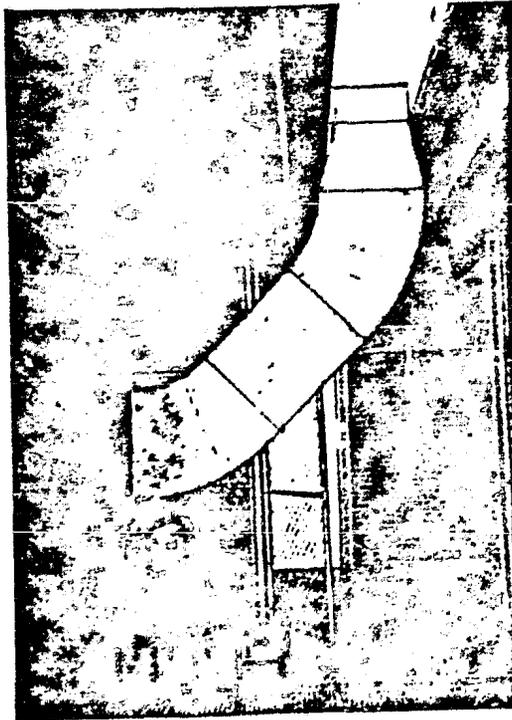
Fotografía 12 Sección Recta y Transición



Fotografía 13 Codos a 45° y Sección Recta

Una vez unidas y antes de ser montadas, se les aplicó relleno plástico en las uniones interiores con el fin de lograr el sellado entre uniones y mejorar el acabado primario. Para disminuir asperezas se afinó con lija de agua -- # 100, hasta obtener un acabado superficial similar al de la lámina.

Para el montaje se aprovechó el espacio existente entre dos vigas del techo, quedando en la parte exterior el codo -- a 90° y la cubierta. Una vez colocadas y aseguradas, estas -- piezas sirvieron como soporte para las demás partes de la -- chimenea. A continuación se niveló y alineó todo el conjunto, quedando su altura como referencia para el montaje de to do el cuerpo del túnel, como se puede apreciar en la siguiente fotografía.



Fotografía 14 Montaje de la Chimenea

4.2 ZONA DE PRUEBAS

Como ya se comentó, la zona de pruebas requería de materiales resistentes a las altas temperaturas y que además proporcionaran buena visibilidad al interior de la misma.

Para las paredes verticales se seleccionó cristal tratado térmicamente de 6mm de espesor con unas dimensiones de 37.5 cm x 50 cm. Estas obedecen a que el proveedor solo tenía capacidad para fabricar cristales de 50 cm x 50 cm como máximo. Se colocaron 6 cristales de 37.5 cm x 50 cm en cada pared, obteniéndose con esto la ventaja de poder sustituir cualquiera de los cristales que sufriera daños a causa de las dilataciones y esfuerzos generados por los cambios de temperatura.

Las paredes horizontales son del mismo material que el cuerpo del túnel, recubiertas con lámina plana de asbesto de 6 mm de espesor y atornilladas a bastidores de perfil tubular rectangular (PTR) de 1" x 1" y 1/8" de espesor como se muestra en la siguiente figura.

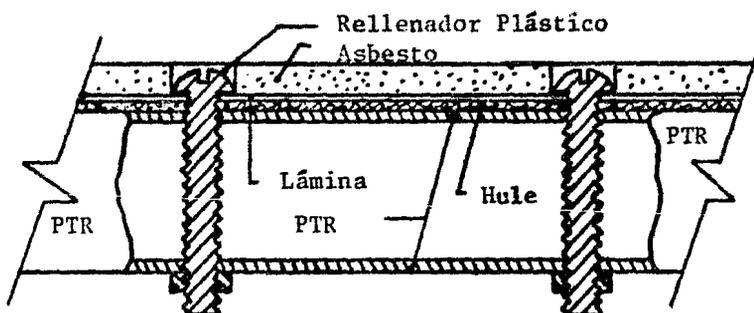
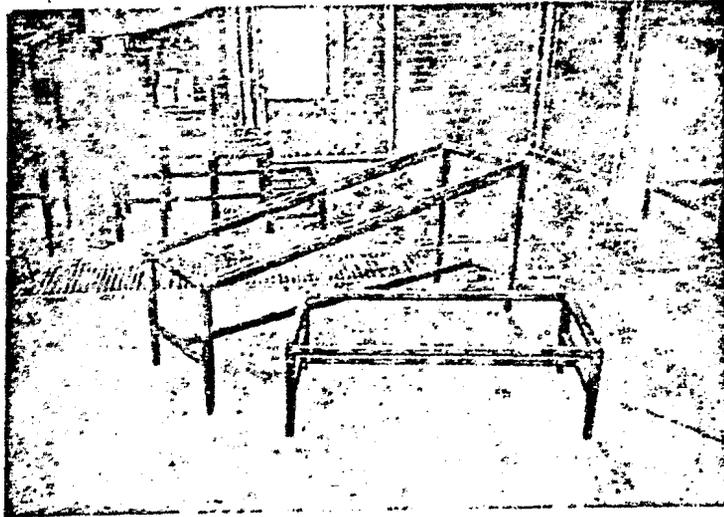


Fig. 23 Detalle de la Pared Horizontal

Tanto la zona de pruebas como las demás secciones del -
túnel requirieron de la construcción anticipada de bancos de
soporte para comenzar su montaje. Se construyeron 4 bancos -
de PTR de 1" x 1" x 1/8" de espesor soldados, dos de los cua
les se muestran en la siguiente fotografía:



Fotografía 15 Bancos de Soporte

La resistencia mecánica de este tipo de perfil sobrepasa
las necesidades de carga de los bancos, aunque su aparienci-
no sea muy robusta ni estética. En las patas de cada uno de
los bancos se instaló un sistema de nivelación, el cual se i--
lustra a continuación:

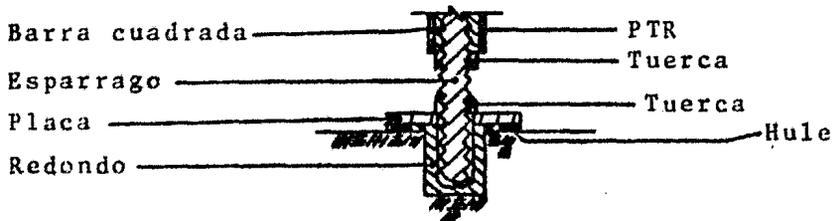


Fig. 24 Mecanismo de Nivelación

Los materiales empleados fueron: placa de acero de 3/8" de espesor, espárrago de 1/2" de diámetro con cuerda standard cold roled de sección cuadrada de 3/4" y redondo de 1 1/4" de diámetro. Este sistema funciona independientemente en cada pata, lo que permite alinear y nivelar las secciones del túnel entre si con gran facilidad; para lograr esto se hace girar el espárrago mediante una tuerca soldada en su parte interior, como se puede apreciar en la figura anterior.

Los bancos tienen aislamiento entre las placas y el piso, y entre el banco y la sección a soportar. Esto con el fin de evitar vibraciones. El aislamiento es de hule de distintos espesores.

Una vez instalado y alineado el banco de la zona de pruebas se montó la pared horizontal inferior con su recubrimiento de asbesto (todo atornillado al banco) y ésta a su vez se atornilló a la parte inferior de la chimenea. La pared horizontal superior se colocó posteriormente.

Para soportar y fijar los cristales se construyó un bastidor de PTR sobre el que se acomodaron los cristales, y posteriormente se les aplicó acero plástico como medio de fijación.

Los cristales fueron previamente bicelados para lograr una unión más firme. Un detalle de esto se muestra en la siguiente figura:

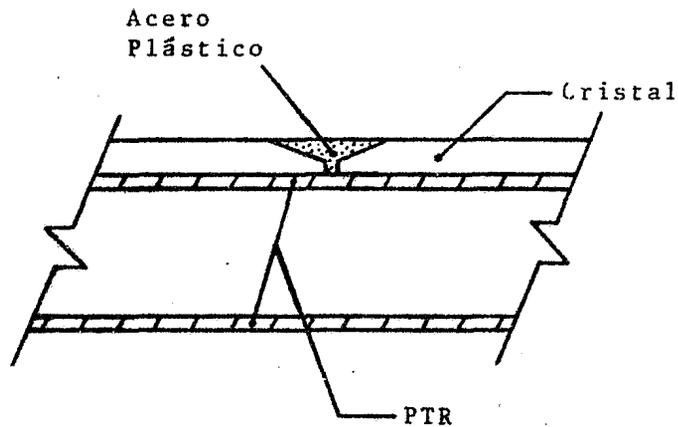


Fig. 25 Detalle de la Fijación de dos Cristales

Una de las paredes verticales es móvil para tener acceso al interior de la zona de pruebas. Con éste propósito se diseñó y construyó un sistema a base de rieles y carretillas de "bola", el cual permite desplazamientos de la pared tanto en sentido longitudinal como transversal.

Los rieles son de lámina negra calibre 11 soldados al cuerpo del túnel. Las carretillas son de barra redonda de bronce de 7/8" de diámetro a la que se le hizo una concavidad para alojar un balín de acero que sirve de rodamiento. La barra de bronce está a su vez alojada en un PTR, el cual se soldó al bastidor de los cristales. Se colocó un total de 6 carretillas, 3 en la parte superior y 3 en la parte inferior del bastidor, como se puede apreciar en la figura siguiente:

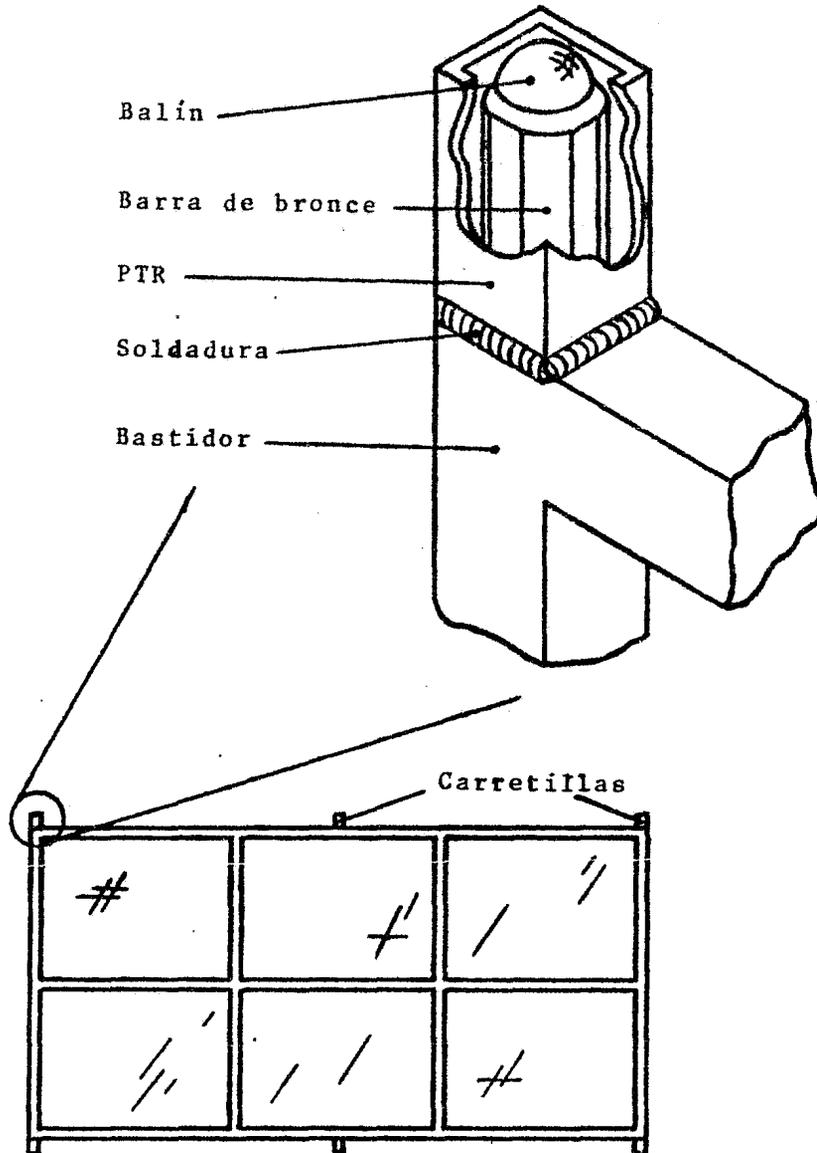


Fig. 26 Sistema de Carretillas

La concavidad en la barra de bronce se hizo con una herramienta fabricada especialmente para este fin. Dicha herramienta trabaja igual que una broca, siendo su perfil de corte exactamente igual a la porción del balón alojado. Para lograr esto fué necesario hacer una plantilla en lámina con las dimensiones del balón, y luego con la ayuda de esta plantilla se esmeriló el perfil de corte en una solera de fierro de 3/4" x 1/4". A continuación se le dió el ángulo adecuado de corte y se le sometió a un templado con el objeto de que la herramienta no se desafilara al estar trabajando.

La otra pared vertical es similar a la móvil, pero sin carretillas ni rieles pues va fija al cuerpo del túnel mediante tornillos.

4.3 TOBERA O EFUSOR

Para la fabricación de ésta sección fué necesario dividirla en seis partes debido a sus dimensiones. Por la forma que presenta, su construcción resultó más compleja que otras secciones. Para realizar los cortes curvos se utilizó una máquina especial con cortadores de disco, como se puede ver en la siguiente fotografía.



Fotografía 16 Máquina para Cortes Curvos

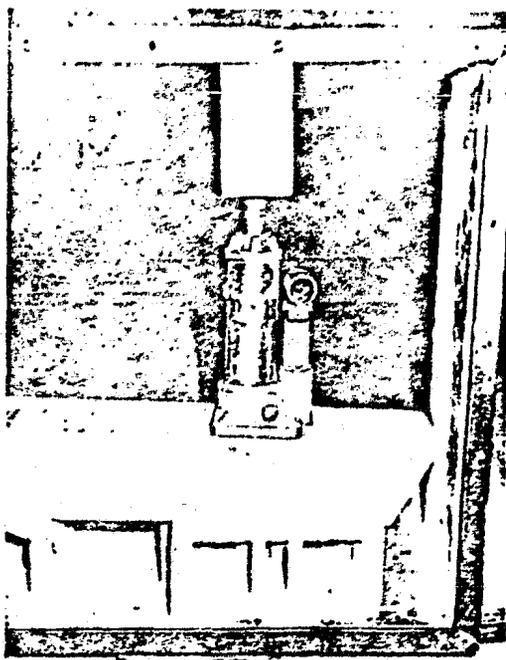
Las paredes laterales se hicieron soldando dos partes, - por lo que fué necesario esmerilar el cordón de soldadura por la parte interior, y posteriormente se procedió a darle el acabado siguiendo los pasos mencionados en el inciso correspondiente a la chimenea.

Debido a sus dimensiones y a la deformación producida por los cordones de soldadura fué necesario utilizar marcos de solera de fierro de 1" x 1/4" con el fin de contrarrestar dicha deformación y facilitar su acoplamiento con las otras secciones.

Para poder alinear las cejas de la sección con los marcos y poder barrenar, fué necesario el empleo de un gato hidráulico como se puede apreciar a continuación en la fotografía:

Fotografía 17

Alineación de las
Secciones con los Marcos



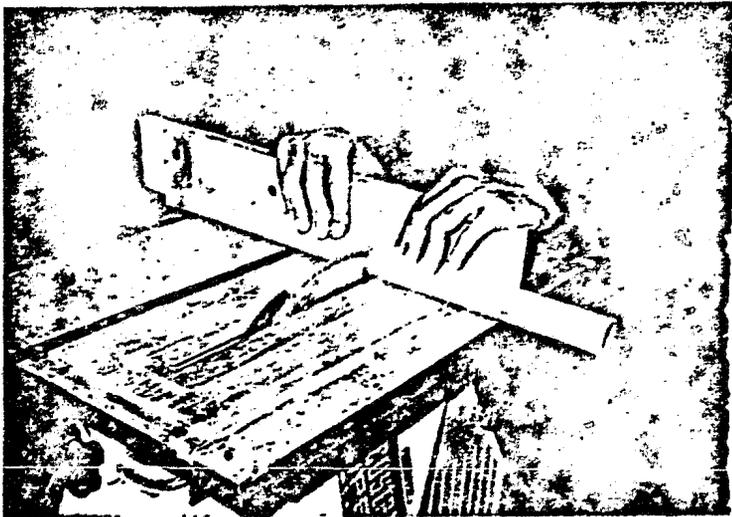
Esta sección se proyectó sin banco de soporte, pues para su montaje se aprovechan los bancos de las secciones adyacentes, optimizando así los materiales utilizados en la estructura de soporte.

4.4 ZONA DE CALMA

Esta sección fué construida mediante la unión de cuatro partes soldadas. La unión con las otras secciones se realiza también con bridas atornilladas y, al igual que todo el interior del túnel, se le aplicó rellenedor plástico para proporcionarle buenas características en el acabado.

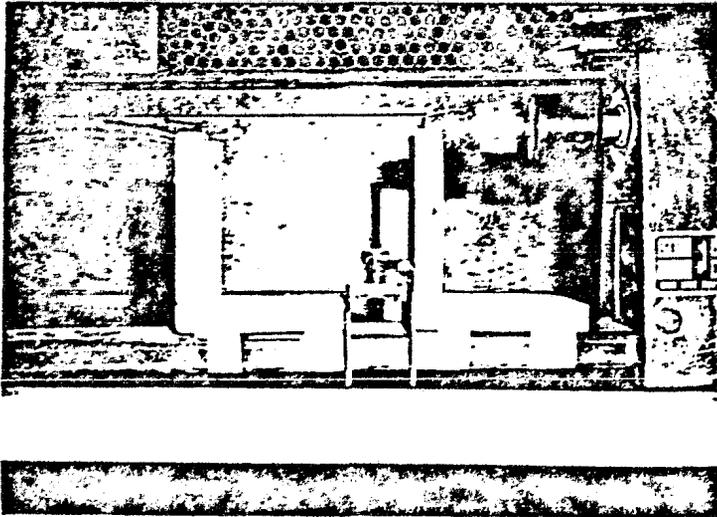
En su interior se encuentra alojado el panel de calma, - construido con tubos de PVC cuyas dimensiones se mencionaron en la sección 2.3.4 .

Debido a que su presentación comercial es de 6 m de longitud, fué necesario construir un dispositivo que asegurara exactitud y rapidez en los cortes, ya que el panel está compuesto de cerca de 900 tubitos, los cuales están agrupados en módulos de 25 tubos cada uno, como se puede ver en la siguiente fotografía:



Fotografía 18 Dispositivos para corte de los tubos PVC

Como el tubo tenía un espesor de pared de 2mm aproximadamente, lo cual podría provocar turbulencia en el flujo de aire se hizo necesario avellanar el interior de los extremos de cada tubo, obteniéndose con esto un perfil más aerodinámico. Para ello se torneó una herramienta de forma cónica a la cual se le colocó un recubrimiento de lija de esmeril, como se muestra colocada en el torno en la siguiente fotografía:



Fotografía 19 Herramienta para Avellanado

Para la formación de los módulos se utilizó cemento especial para PVC. El panel está compuesto de 36 módulos.

Esta sección está soportada por un banco al igual que la etapa de pruebas.

4.5 DIFUSOR

Esta sección es la de mayores dimensiones, por lo que requirió para su construcción de 12 partes soldadas, siendo necesario esmerilar los cordones de soldadura en las paredes interiores. Por su tamaño presentó las mayores deformaciones, y para corregirlas se utilizó marcos de solera de manera similar a las demás secciones.

Para su soporte se tiene un banco que abarca un poco más de la mitad de la sección, repartiéndose la carga en éste banco y el de la zona de calma.

4.6 TRANSICION

Fue la sección que más complejidad presentó a consecuencia de su trazo y de los dobleces que tiene.

Se construyó en dos partes simétricas soldadas y siguiendo el mismo proceso que las demás secciones en cuanto alineado y acabado superficial.

En la sección circular se colocó un anillo de ángulo de 1 1/2" x 3/16" para darle forma y rigidez a la pieza, así como proveerla de brida para acoplarla al ventilador.

Al igual que la tobera no cuenta con banco de soporte - quedando la sección como una viga en cantiliber cuyo apoyo - está en la unión con el difusor, la cual es atornillada.

Con el fin de evitar que las vibraciones producidas por la unidad impulsora se propagaran al cuerpo del túnel se aisló ésta última, quedando separadas las bridas de la transición y del ventilador.

En el interior de ambas bridas se colocó un faldón de lona ahulada pegada, con el fin de evitar fugas de aire y a la vez impedir la transmisión de las vibraciones.

4.7 UNIDAD IMPULSORA

Como ya se mencionó en la sección 2.3.1 , la unidad impulsora está compuesta por un ventilador axial de 8 aspas, - de diseño comercial cuya especificación es la siguiente:

BDD-365-826-5-1150

DONDE:

BDD: es el arreglo con bandas y poleas

365: es el tamaño del ventilador

826: es el modelo del ventilador

5: es la potencia en H.P. del motor

1150: son las RPM del motor

El motovariador está compuesto por un motor eléctrico de C.A. jaula de ardilla, 220/440 volts, 60 ciclos de 5 HP, 1730 RPM, trifásico y por un cloutch magnético que funciona basado en el principio de corrientes parásitas EDDY, su potencia es de 5 HP de 1730 RPM, el cual transmite un par constante a velocidad variable.

Para la gobernación del motovariador se cuenta con un -- control electrónico con el que se regula la velocidad angular.

La transmisión del motovariador al ventilador es por medio de bandas y poleas se estableció teniendo en cuenta el es pacio disponible para ellas en el cubrebandas del ventilador, por lo que el diámetro seleccionado fue de 8" . El tipo de banda, así como el número de ellas se determinó de la siguien te manera:

Motor eléctrico: 5 HP, 1750 RPM
Ventilador: 1750 RPM
Distancia entre centros = 31,5"

Diámetro de polea: 8"

Relación 1:1

a) De la tabla 15-5 (Ref. 14) se tiene un factor de servicio
FS = 1.2 para 50% de sobrecarga

b) De la tabla 15.2 (Ref. 14) se obtuvo el tipo de banda
banda sección A

c) Diámetro de polea: 8"

d) Distancia entre centros 31.5"

hp (diseño) = hp x FS = 5(1.2) = 6 hp

como la relación es 1:1, D=d y el ángulo de contactos = 180°

$$L = 4c^2 - (D-d)^2 + \frac{1}{2} (D_e + d_e)$$

$$L = 4(31.5)^2 - 0 + \frac{1}{2} (8(3.1416) + 8(3.1416))$$

$$L = 88.1327"$$

∴ tenemos una banda A88

e) de la tabla 15.2 (Ref. 14) una banda A88 tiene una longitud
de paso de 89.3"

$$V = \frac{dn}{12} = \frac{(8)(1750)}{12} = 3665.2 \text{ ppm}$$

De la tabla 15.3 (Ref. 14) se tiene:

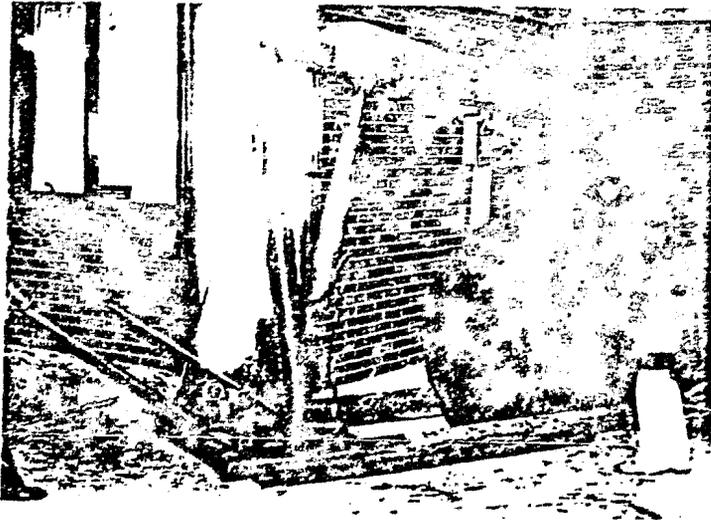
potencia nominal /banda = 3.0 hp

hp/banda = 3 (1.05) = 3.15 hp

$$\text{No. bandas} = \frac{\text{hp diseño}}{\text{hp/banda}} = \frac{6}{3.15} = 1.9$$

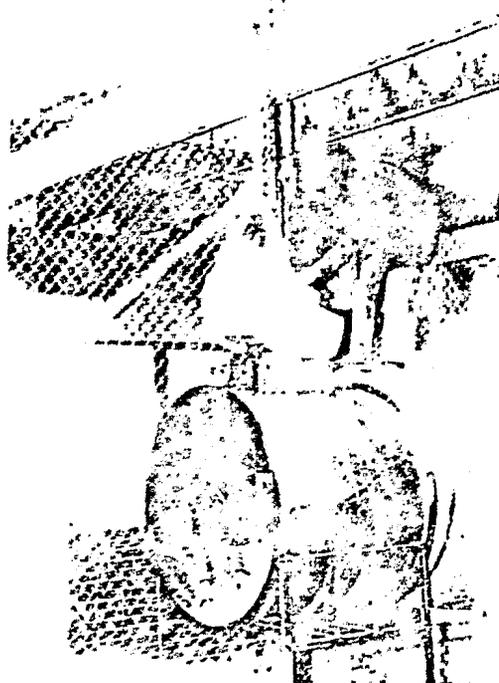
∴ se requieren 2 bandas A88

Debido a la forma del ventilador y sus dimensiones, el banco utilizado para soportarlo es más ancho y más robusto y al igual que los demás está provisto del mismo sistema de nivelación. El peso aproximado de éste conjunto es de 350 Kg. por lo que se utilizó para su montaje de una pequeña -- grúa como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía 20 Montaje del Ventilador

Para el montaje del motovariador se empleó un malacate de 2 tons. de capacidad, el cual se sujetó en una barra de acero apoyada entre dos vigas del techo como se ilustra a -- continuación:



Fotografía 21 Montaje del Motovariador

Para hacer el ajuste de las bandas el ventilador cuenta con una placa base desplazable en el sentido vertical.

Finalmente para darle buena apariencia y protegerlo del medio ambiente se le aplicó esmalte color aluminio al cuerpo del túnel y esmalte negro a los elementos de soporte y al mo tovariador.

CAPITULO No. 5

" PRUEBAS Y CONCLUSIONES"

En éste capítulo se pretende determinar las condiciones de operación del túnel de viento e interpretar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas a que fué sometido, y en relación a estos resultados señalar que modificaciones son -- convenientes para mejorar su funcionamiento.

Se realizaron un total de ocho pruebas diferentes para el estudio general de funcionamiento del túnel, las cuales se describen a continuación.

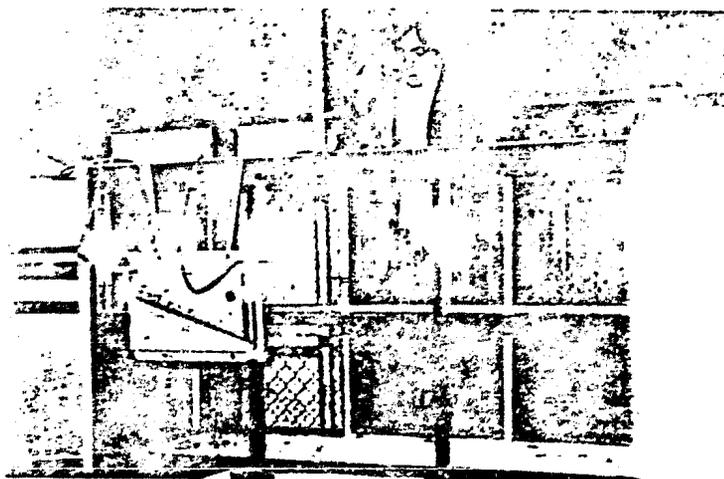
5.1 MEDICIONES EN LA ZONA DE PRUEBAS PARA SU CARACTERIZACION (CURVA DE CALIBRACION)

Esta curva nos proporciona la relación entre la velocidad media del flujo de aire en la zona de pruebas y la escala del control electrónico de mando del motovariador. Para la construcción de esta curva se procedió de la siguiente manera:

Para obtener la velocidad media se empleó un tubo de Pitot estático conectado a un manómetro diferencial múltiple inclinado, cuyo fluido manométrico era agua, la cual tiene un peso específico relativamente alto, lo que proporcionaba una-

resolución pequeña, complicando la toma de las lecturas. Por ésta razón se determinó utilizar un manómetro diferencial de mayor sensibilidad, con un fluido manométrico de menor peso específico en el que se obtuvieron lecturas más precisas.

En la siguiente fotografía se ilustra el equipo empleado y el procedimiento seguido en la prueba.



Fotografía 22 Equipo y Procedimiento Empleado

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente un tubo de Pitot estático introducido en una corriente fluida.

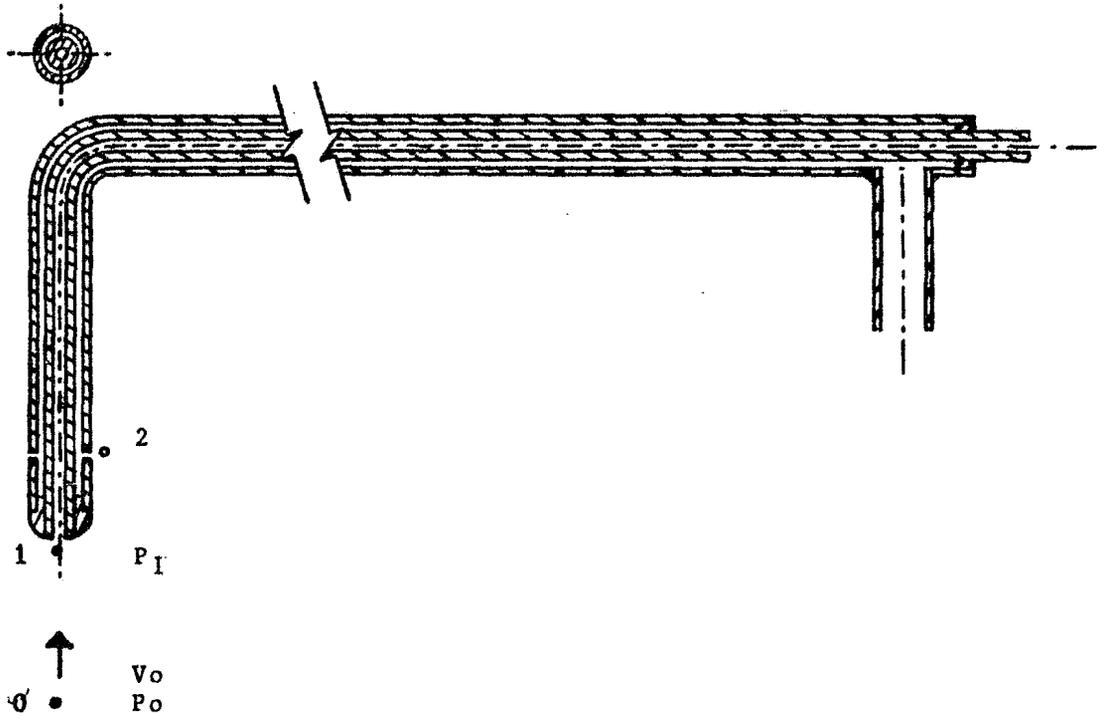


Fig. 27 Tubo de Pitot Estático

Poniendo en contacto el tubo con el fluido, en donde las líneas de corriente de éste son paralelas al eje del tubo y de sentido opuesto, se produce una perturbación que se traduce en la formación de un punto de estancamiento en 1 de manera que:

P_1 = presión total ó de estancamiento

V_1 = 0

En el punto 0 la corriente no perturbada tiene una presión P_0 y una velocidad V_0 , que es justamente la velocidad - que se desea determinar.

Despreciando las diferencias de velocidad y de alturas (energías cinética y potencial) entre los puntos 0 y 2, - que suelen ser muy pequeñas por ser el tubo muy fino y es-- tar la corriente en el punto 2 ya normalizada después de la perturbación en 1, y despreciando también las pérdidas por fricción se tiene que:

$$V_0 = V_2 = V \quad (25)$$

$$P_0 = P_2 \quad (26)$$

En el punto 2 hay un tubo piezométrico con varios orificios laterales que no perturban la corriente, y que miden por tanto la presión estática.

Al aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos 0 y 1 se obtiene que:

$$P_0 + \frac{\rho V_0^2}{2g_c} = P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2g_c} \quad (27)$$

Teniendo en cuenta lo expresado en las ecuaciones (24) a (26) la ecuación (27) se convierte en:

$$\frac{\rho V^2}{2g_c} = P_1 - P_2 \quad (28)$$

En donde $P_1 - P_2$ es la diferencia entre la presión total y estática, o sea la presión dinámica, la cual viene dada por:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho_{fm} g}{g_c} h_v \quad (29)$$

Sustituyendo la ecuación (29) en la (28), resulta finalmente que:

$$V = \left(2g \frac{\rho_{fm} h_v}{\rho} \right)^{1/2} \quad (30)$$

donde:

v = velocidad del fluido

ρ_{fm} = densidad del fluido manométrico

ρ = densidad del aire

h_v = diferencia de niveles en el manómetro diferencial

g = aceleración de la gravedad

Desde un punto de vista estricto, la ecuación (30) evalúa la velocidad teórica, la velocidad real se obtiene al multiplicar la velocidad teórica por un coeficiente de velocidad del tubo de pitot estático que oscila de 0.97 a 1.03 y el cual se determina experimentalmente, si el tubo de pitot estático se orienta paralelamente a las líneas de corriente, en la mayor parte de los problemas de ingeniería puede tomarse para el coeficiente de velocidad un valor unitario como en nuestro caso.

Debido a que la velocidad del aire circulando por el ducto no es uniforme en toda la sección transversal, es preciso efectuar una serie de mediciones en diferentes puntos de la sección, a fin de obtener un valor promedio.

En la siguiente figura se representa la sección transversal de la zona de pruebas, indicándose sobre ella los puntos en los que se colocó el tubo de pitot para sondear la vena de fluido.

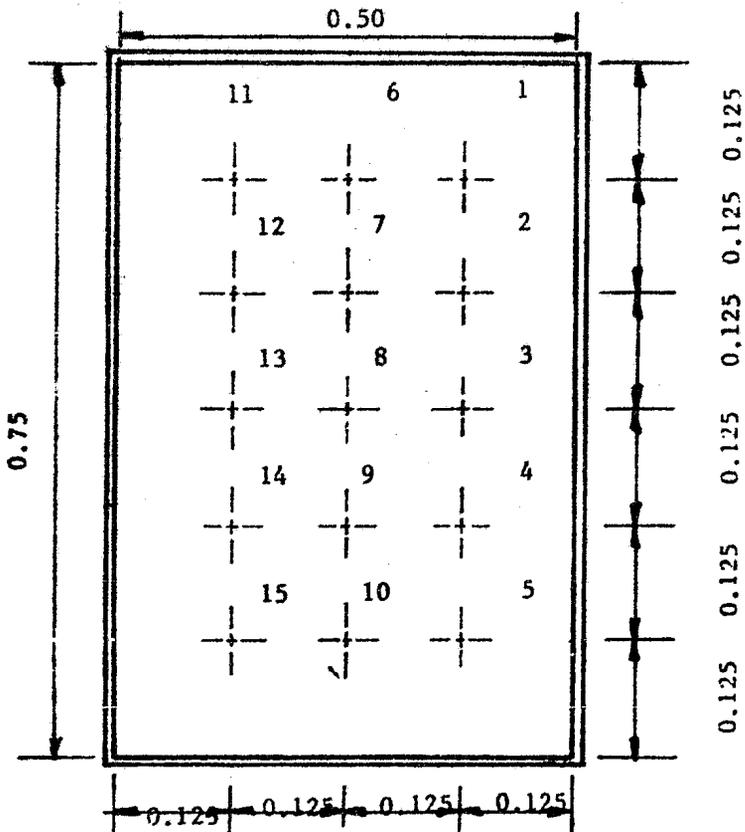


Fig. 28 Puntos de lectura en la Sección Transversal de la Zona de Pruebas

Se consigue emplazar el tubo de pitot exactamente en las posiciones requeridas a través de tres orificios en la pared horizontal superior de la zona de pruebas, y con cinco marcas de la profundidad hechas sobre el eje vertical del tubo. Los orificios están en la parte media de la zona de pruebas.

Con esto se realizaron 15 mediciones siendo la velocidad media:

$$\bar{V} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \bar{V}_i \quad (31)$$

Los datos y resultados obtenidos en la prueba se encuentran en las tablas 5.1 y 5.1a del apéndice A. Un resumen de los datos de la tabla 5.1 se muestran a continuación en la tabla 5.1'

	E	RPM	hr(mmca)	h _D (mmca)	\bar{V} (m/s)
	1	5	000	0.0	0.000
	2	10	130	0.2	0.106
	3	15	234	0.3	0.140
	4	20	325	1.0	0.506
	5	25	434	1.5	0.980
	6	30	590	2.0	1.453
	7	35	650	2.8	1.993
	8	40	750	4.0	2.653
	9	45	850	5.0	3.446
	10	50	930	6.0	4.080
	11	55	980	6.5	4.560
	12	60	1040	7.5	5.240
	13	65	1050	8.0	5.360
	14	70	1070	7.5	5.270
	15	75	1080	7.3	5.560
	16	80	1090	7.3	5.100
	17	85	1100	8.2	6.006
	18	90	1070	8.0	5.653
	19	95	1065	7.8	5.460
	20	100	1060	8.0	5.680

Tabla 5.1 Datos y Resultados tomados en la Zona de Pruebas, bajo las siguientes condiciones:
 $\phi = 62\%$ y $T_{bs} = 17.7\text{ }^{\circ}\text{C}$

La curva de calibración obtenida se muestra en la gráfica de la siguiente figura. En ella podemos observar que el comportamiento del sistema sigue una curva logarítmica, a medida que la escala del control aumenta, las diferencias de velocidades son cada vez menores.

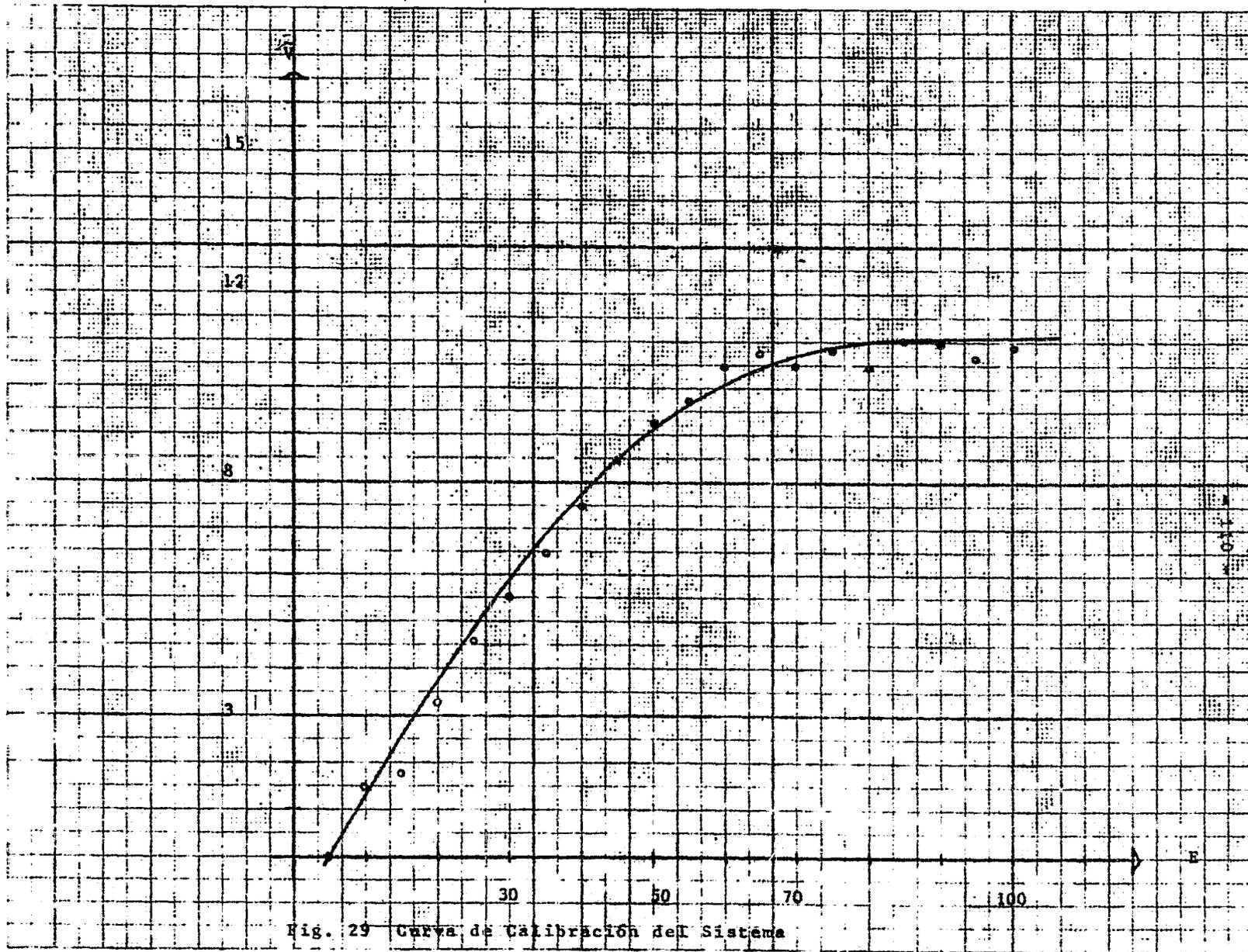


Fig. 29 Curva de Calibración del Sistema

5.2 PERFIL DE VELOCIDADES EN LA ZONA DE PRUEBAS

Para realizar ésta prueba se hicieron barrenos a la entrada y salida de la zona de pruebas de la misma forma en que se hicieron para la prueba anterior, siendo finalmente un total de 9 perforaciones y 45 lecturas, realizadas a la máxima-velocidad.

Se procedió de igual forma que en la prueba anterior, -- las lecturas y resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.2

	ENTRADA	PARTE MEDIA	SALIDA
	\bar{V} (m/s)	\bar{V} (m/s)	\bar{V} (m/s)
1	11.00	11.37	11.46
2	10.41	10.71	10.81
3	9.79	10.51	10.41
4	10.00	10.51	10.41
5	11.00	11.37	11.46
6	11.09	12.09	11.00
7	10.21	10.81	11.09
8	10.11	10.21	10.41
9	10.11	10.21	10.31
10	11.09	12.09	11.00
11	10.90	11.00	11.09
12	10.31	10.41	10.41
13	9.79	10.31	10.31
14	9.79	10.41	10.31
15	10.90	11.00	11.09

Tabla 5.2 Muestreo de Velocidades a lo largo de la Zona de Pruebas

Tomando un alzado de la zona de pruebas encontramos una distribución de velocidades muy singular, como se muestra en la siguiente figura:

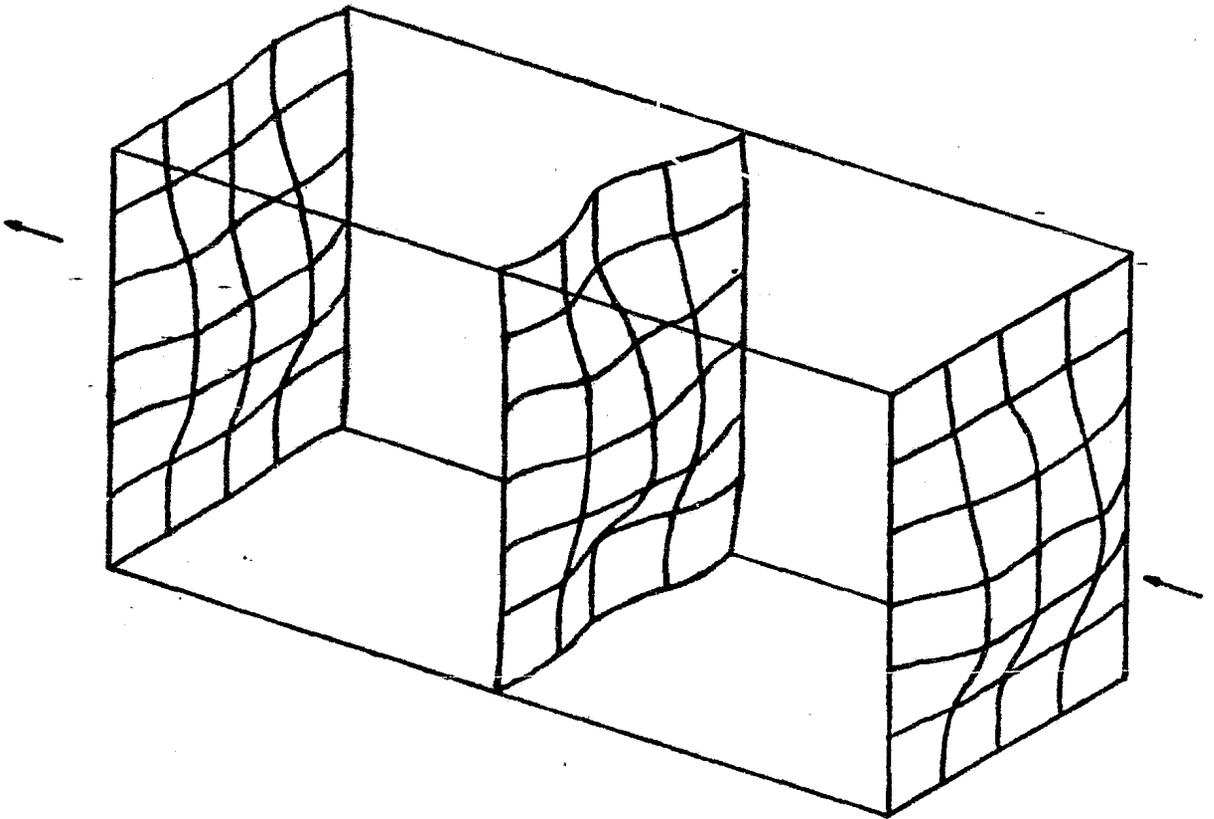


Fig. 30 Distribución de Velocidades en la Zona de Pruebas

Como se puede apreciar éste perfil presenta velocidades mayores en la proximidad con las paredes y velocidades menores a medida que se acerca al centro de la zona de pruebas, -contrariamente a lo esperado.

De igual manera tomando un plano horizontal se presenta esta distribución de velocidades. Suponemos que este fenómeno es debido a la aceleración que sufre el flujo de aire al ser sometido a una contracción, con altos valores en la relación de áreas entrada-salida.

5.3 CURVAS DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN LA ZONA DE PRUEBAS

Basados en la información obtenida en la prueba anterior se construyeron las curvas de distribución de velocidades a la entrada, parte media y salida de la zona de pruebas.

Los porcentajes indican la variación de la velocidad en la zona en cuestión respecto a la velocidad que se tiene en el centro de la zona de pruebas. A continuación se ilustran estas curvas:

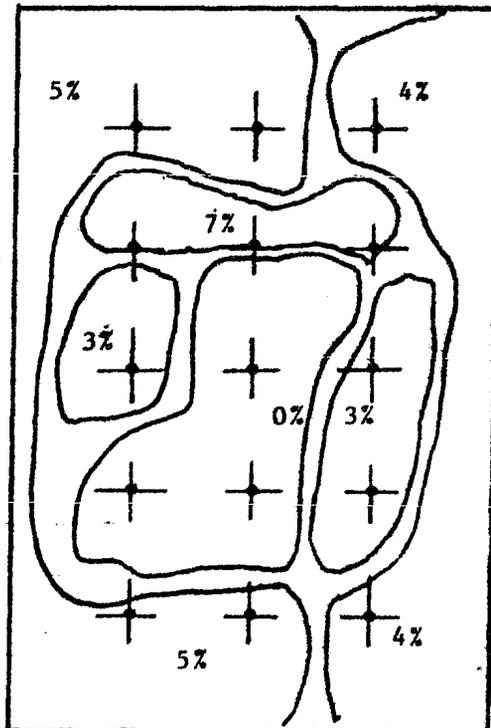


Fig. 31A Curvas de Distribución de Velocidad a la Entrada de la Zona de Pruebas.

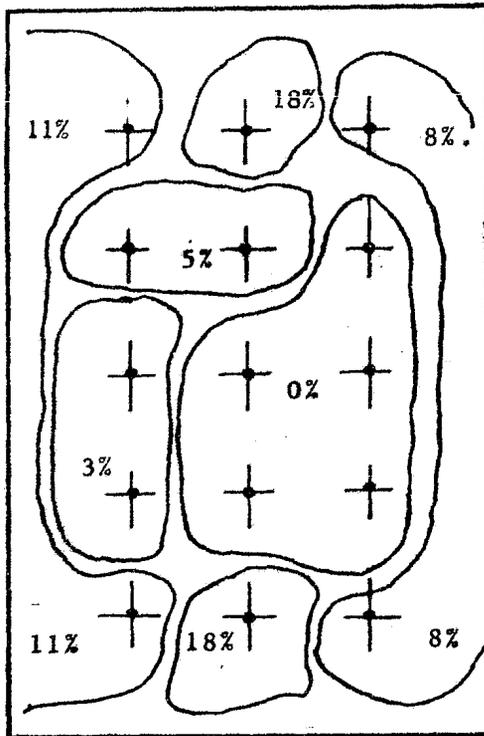


Fig. 31B Curvas de Distribución de Velocidad en la parte media de 1ª zona de pruebas

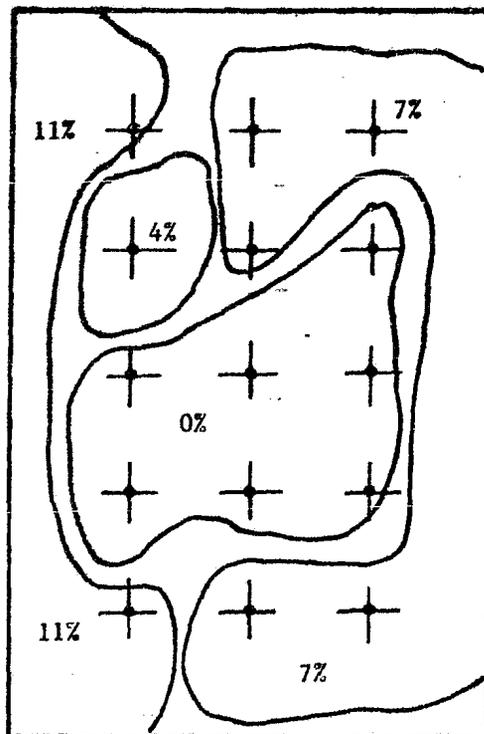


Fig. 31C Curvas de Distribución de Velocidad de Salida de la Zona de Pruebas

Como se puede apreciar el valor de la velocidad mayor en las paredes de la sección de pruebas que en el centro, - además que a medida que se avanza a lo largo, de la sección - de pruebas la velocidad toma una distribución más uniforme.

Este fenómeno no es extraño, se han publicado artículos de pruebas semejantes en otros túneles de viento en las que se presentaron comportamientos similares (Ref. 17)

5.4 PERFIL DE VELOCIDADES A LO LARGO DEL TUNEL

Esta curva nos proporciona una idea del comportamiento del chorro de aire a lo largo de todas las secciones -- que componen el túnel.

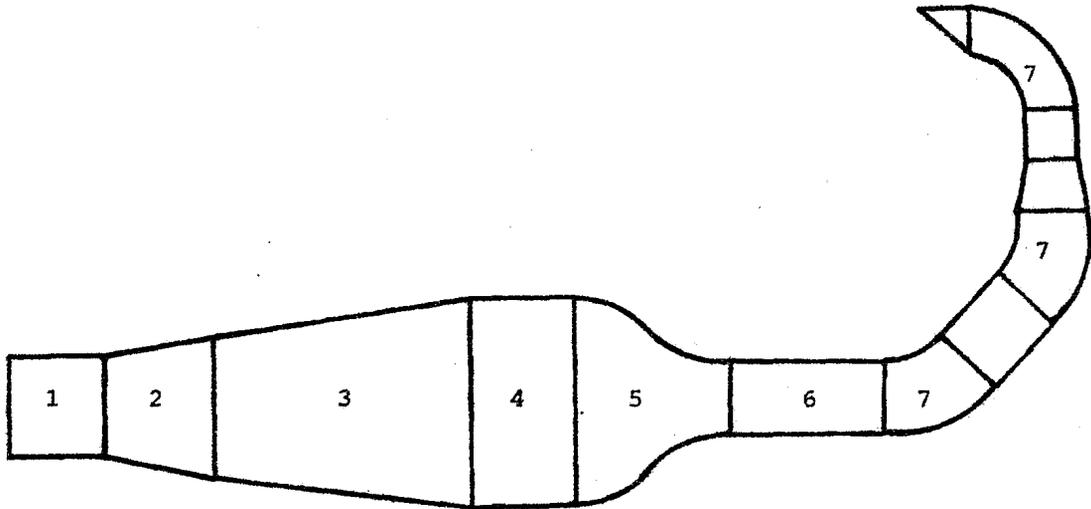
Para su construcción se tomó como base el gasto volumétrico determinado en la zona de pruebas; y utilizando la ecuación de continuidad (4) se puede determinar la velocidad media en cada una de las secciones.

En la tabla 5.3 se muestran los resultados en cada -- sección.

ZONA	\bar{v} (m/s)	h_D (mmca)
ENTRADA VENTILADOR	6.00	2.0
ENTRADA TRANSICION	11.37	6.2
ENTRADA DIFUSOR	11.28	6.1
ENTRADA PANAL	3.31	0.6
ENTRADA TOBERA	3.03	0.5
ENTRADA PRUEBAS	11.00	5.8
ENTRADA CHIMENEA	10.90	5.7
SALIDA CHIMENEA	10.51	5.3

Tabla 5.3 Velocidad media en cada sección

Para mayor claridad se presentan los resultados en la siguiente figura:



- 1) Unidad impulsora
- 2) Transición
- 3) Difusor
- 4) Zona de calma
- 5) Tobera o efusor
- 6) Zona de pruebas
- 7) Chimenea

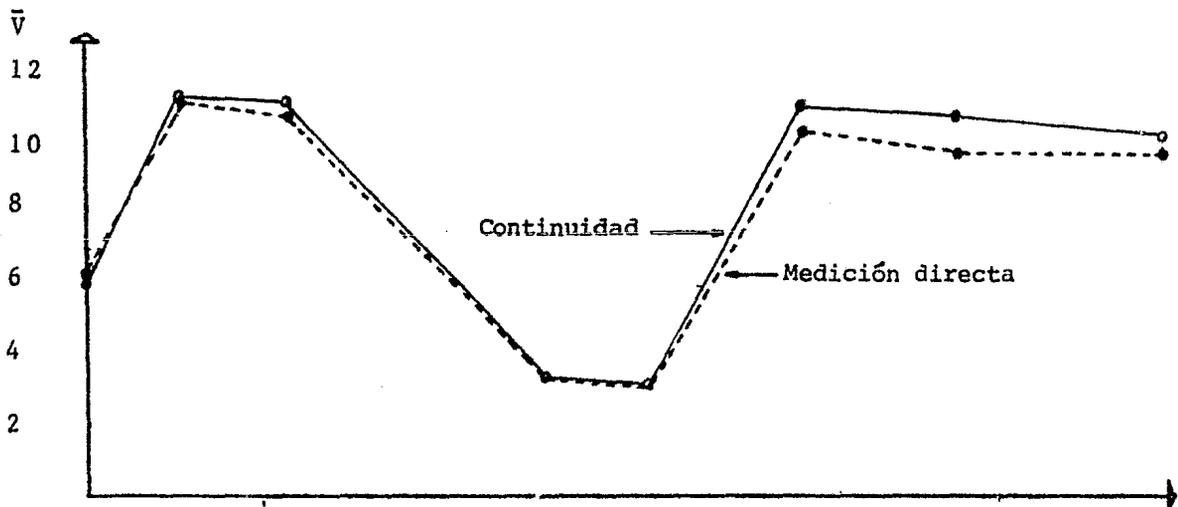


Fig. 32 Diagrama de Velocidades a lo largo del Túnel

5.5. MUESTREO DE CAIDAS DE PRESIONES ESTATICA Y DINAMICA A LO LARGO DEL TUNEL.

Como no fué posible obtener la velocidad de diseño en la zona de pruebas (20 m/s) fué necesario realizar un muestreo de las caídas de presión en cada una de las secciones del túnel con el objeto de determinar en cual de ellas se tenían las mayores pérdidas y buscar las soluciones adecuadas para mejorar el funcionamiento del túnel.

Los datos obtenidos en esta prueba se muestran en la tabla 5.4 la prueba se realizó a la máxima velocidad.

ZONA	h_D	h_E	hr
ENTRADA VENTILADOR	2.0	-55	53
ENTRADA TRANSICION	6.5	3.0	9.5
ENTRADA DIFUSOR	6.0	3.0	9.0
ENTRADA PANAL	0.6	7.0	7.6
ENTRADA TOBERA	0.5	7.0	7.5
ENTRADA PRUEBAS	5.1	2.2	7.3
ENTRADA CHIMENEA	5.0	2.1	7.1
SALIDA CHIMENEA	4.9	2.0	6.9

Tabla 5.4 Caída de Presiones a lo largo del Túnel en m.c.a.

Se observó que a la entrada y salida del ventilador el aire circula con un spín muy fuerte, avanzando con una trayectoria helicoidal.

Por la forma que presenta la entrada del ventilador, - el coeficiente de pérdida por fricción es relativamente alto (Ref. 2) además se notó que se forman vórtices en el flujo de aire.

Todos estos factores incrementan las pérdidas de presión. Para tratar de disminuir éstas pérdidas se proponen soluciones, mencionadas en el inciso 5.9 .

5.6 COMPROBACION DE BAJA TURBULENCIA DEL FLUJO DE AIRE EN LA ZONA DE PRUEBAS

Para este fin se construyó un peine de hilos de seda sujetos a una costilla metálica con perfil aerodinámico. La separación entre hilos fué de 3 cm.

El peine cubría toda la sección de pruebas en su eje vertical, permitiendo visualizar las corrientes de aire al arrastrar los hilos.

La prueba se realizó a diferentes velocidades hasta alcanzar la máxima (11m/s).

Los resultados obtenidos de la observación demostraron que el flujo de aire presenta baja turbulencia.

3.7 COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE LA ZONA DE PRUEBAS

Esta evaluación consistió en someter los materiales de la zona de pruebas a los efectos del choque térmico producto de las altas temperaturas generadas en la combustión durante la experimentación.

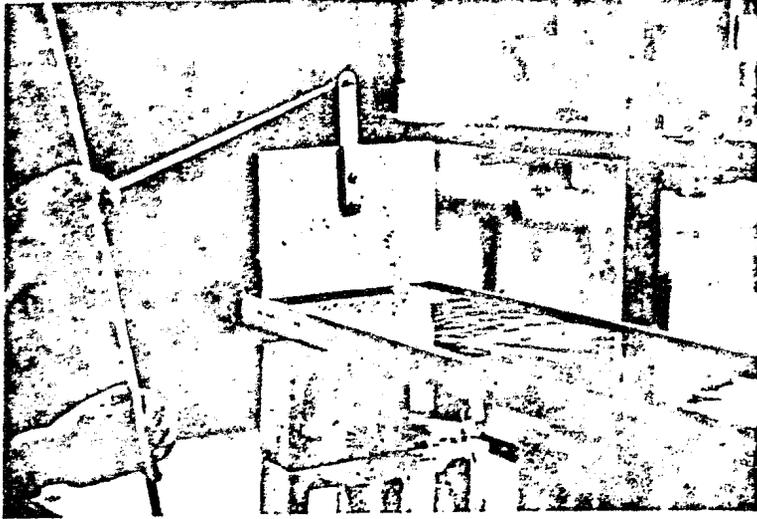
Como se mencionó en el capítulo uno, el combustible se quemaba en charolas que van colocadas en el interior de la zona de pruebas.

Se hicieron pruebas de propagación de flama tanto en la dirección del aire como a contra flujo y a distintas velocidades. Estas pruebas no se instrumentaron pues su carácter sólo fué demostrativo.

Los materiales resistieron perfectamente las elevadas temperaturas, y se comprobó el buen funcionamiento de la chimenea.

El sistema de la puerta móvil resultó satisfactorio y mejor de lo esperado, pues es de fácil accionamiento y permite trabajar con completa libertad en el interior de la zona de pruebas.

En las siguientes fotografías se muestran aspectos de las pruebas.



Fotografía 23 Confinado del Combustible para su Encendido



Fotografía 24 Propagación de la Flama en el Sentido del Flujo de Aire



Fotografía 25 Propagación de Flama en el sentido del flujo de Aire a la máxima Velocidad.



Fotografía 26 Propagación de flama en contraflujo.

5.8 CONCLUSIONES

En éste inciso además de las conclusiones, presentamos - las posibles alternativas para tratar de alcanzar los requerimientos iniciales ó dicho de otra manera, tratar de solucionar el problema de la baja velocidad obtenida en la zona de pruebas.

En base a la experiencia adquirida en las diferentes fases del proyecto, desde su diseño hasta la puesta en servicio y pruebas podemos concluir que la construcción de túneles de viento para fines didácticos o de investigación es relativamente fácil de realizar, además de que los materiales y equipos que se utilizan se encuentran disponibles en el mercado nacional lo que representa un ahorro en tiempo de adquisición y de dinero.

Toda la construcción del túnel, a excepción de la realizada en el taller mencionado en el cap. 4, se llevó a efecto en los Laboratorios de Máquinas Térmicas y de Fluidos y Térmica con la herramienta y máquinas-herramienta disponibles en los mismos.

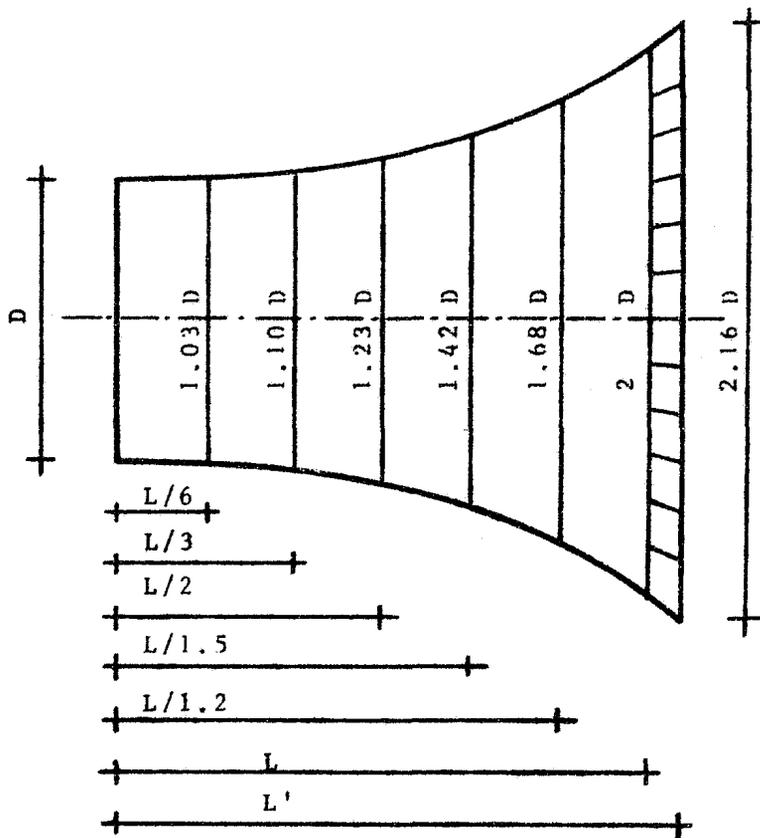
Como se ha visto, la construcción de túneles de viento - así como la de otros equipos puede ser llevada a cabo en Instituciones como las Universidades, Tecnológicas, etc. aprovechando sus propios recursos, tanto humanos como económicos, -- así como las instalaciones con las que cuentan resolviendo -- sus necesidades específicas de equipos.

En nuestro caso surge la inquietud de mejorar el diseño del túnel de viento, así como la de corregir las fallas que se presenten. Haciendo este tipo de mejoras se podría llegar a un diseño tal que pudiera sustituir la importación de túneles de viento didácticos (un túnel importado como el que se encuentra en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería costaba alrededor de \$ 1,500,000,00 (pesos de 1982)

5.2.1. MEJORAS EN EL DISEÑO

De acuerdo a la experiencia adquirida en la construcción del túnel de viento, las visitas realizadas a los diferentes túneles de viento que a la fecha existen en el D.F. y a la consulta de bibliografía especializada en el tema podemos concluir que es necesario la instalación de un cono de entrada, el cual proporciona un cambio paulatino de la velocidad del aire a la entrada del ventilador, eliminando los remolinos ó vortices que se presentan con la disposición actual.

El diseño de éste elemento se describe a continuación.
(Ref. 12).



$$\frac{L'}{D} = 2.06$$

donde: L' = longitud del colector
 D = diámetro mínimo del colector

$$\frac{L}{D} = 1.95$$

donde: L = longitud a partir de la sección de salida de las guías

Con el objeto de romper el spin que le transmite el ventilador al aire es necesario la instalación de un dispositivo antigiro. Este dispositivo puede presentar diferentes formas, en nuestro caso estará constituido por varias aletas-fijas (de 4 a 8) soldados en forma radial en el interior de la carcasa del ventilador, con cierto ángulo que se determinará experimentalmente.

En algunos de los túneles visitados la solución a éste problema fué la instalación de dos ventiladores en serie con giros opuestos como es el caso de los túneles del I.P.N. y la U.I.A.

Otra mejora que suponemos conveniente es la de dotar al cubrebandas del ventilador de un perfil aerodinámico, el cual presentaría mucho menor resistencia al flujo de aire en la succión.

Existen otras alternativas para aumentar la velocidad del chorro de aire en la sección de pruebas, pero representan grandes erogaciones. Entre estas alternativas están:

- Utilizar un motor de mayor potencia lo que representa un -
motovariador de mayor capacidad.
- Cambiar el ventilador por otro del tipo centrífugo de mayor
capacidad.
- Añadir otro sistema motriz en serie ya sea a la entrada ó-
salida del túnel.
- Diseñar y sonstruir una nueva hélice para la unidad impul-
sora.

5.8.2. CONCLUSIONES DE LA CONSTRUCCION

Respecto a los materiales y procesos empleados en la construcción podemos decir que fueron los adecuados ya que su comportamiento fué el esperado, con lo que se obtuvo estética, funcionalidad y simpleza.

Se recomienda el uso de bridas atornilladas entre las secciones, ya que permiten fácilmente el desacoplamiento de cualquier sección para su modificación, reparación ó simplemente para permitir el acceso a cualquier parte del túnel.

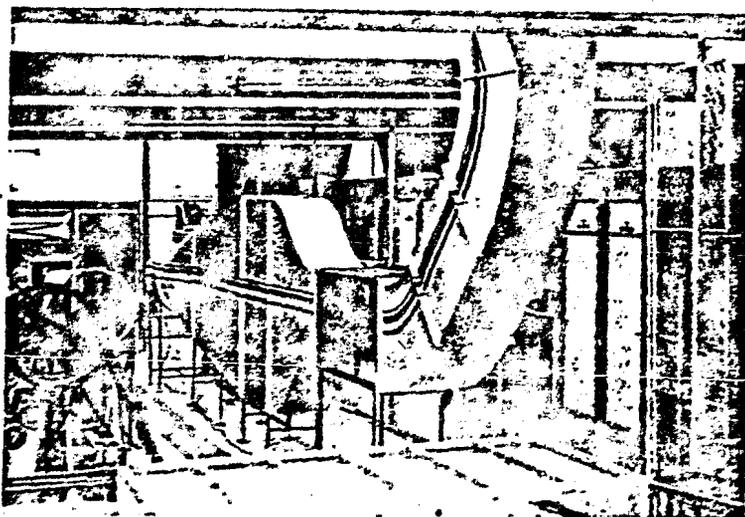
Otra recomendación que consideramos conveniente señalar es el uso del sistema de nivelación empleado, pues permite alinear fácil y rápidamente cualquier sección, no importando sus dimensiones y peso. (sin sobrepasar la capacidad del sistema) .

5.8.3. CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que el ventilador está diseñado para funcionar como extractor, y su comportamiento como inyector provoca que sea funcionalmente deficiente como ocurre en nuestro caso. Estos datos técnicos no los especifica el fabricante así como tampoco especifica como realiza las mediciones para la construcción de las gráficas de operación a partir de los cuales se selecciona el equipo.

Para ver como funcionaba el ventilador sin una etapa de carga antes del impulsor (longitud de la carcaza) se procedió a girar el ventilador 180° y a la vez cambiar la polaridad del motor a fin de no variar el sentido del flujo, observándose una disminución de la presión, estática-negativa en la succión pero también una disminución de las presiones estáticas y dinámica en la zona de pruebas lo que se traduce en la obtención de una velocidad menor que en la disposición anterior.

El único problema que queda por resolver es el de la baja velocidad del flujo de aire en la zona de pruebas.



Fotografía 27 Aspecto Final del Túnel

A P E N D I C E A

E	RPM	h_T (mmc.a.)	h_D (mmc.a.)																\bar{V} (m/s)		
1	5	000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000
2	10	130	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.487
3	15	234	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.709
4	20	325	1.0	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	3.249
5	25	434	1.5	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	4.522
6	30	590	2.0	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	5.506
7	35	650	2.8	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9	2.1	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	6.449
8	40	750	4.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.8	2.8	2.6	2.6	2.5	2.8	2.7	2.5	2.6	2.8	2.7	2.7	2.7	7.441
9	45	850	3.0	4.0	3.5	3.4	3.2	4.0	3.6	3.2	3.2	3.2	3.6	3.5	3.2	3.2	3.4	3.5	3.5	3.5	8.480
10	50	930	6.0	4.6	4.0	3.9	3.9	4.6	4.2	4.6	3.9	4.0	4.2	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0	9.927
11	55	980	6.5	5.0	4.5	4.3	4.3	5.0	5.0	4.4	4.3	4.4	5.0	4.6	4.4	4.2	4.4	4.6	4.6	4.6	9.755
12	60	1040	7.5	5.8	5.0	5.0	5.0	5.8	5.8	5.0	5.0	5.0	5.8	5.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.2	5.2	10.456
13	65	1050	8.0	6.0	5.5	5.1	5.1	6.0	5.8	5.1	5.1	5.1	5.8	5.2	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	10.576
14	70	1070	7.5	6.0	5.3	5.0	5.0	6.0	5.6	5.2	5.0	5.0	5.6	5.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.2	5.2	10.486
15	75	1080	7.3	6.0	5.5	4.8	5.0	6.0	5.3	5.0	5.0	5.0	5.3	5.2	5.0	5.0	5.2	5.2	5.2	5.2	10.771
16	80	1090	7.3	5.9	5.1	4.8	4.9	5.9	5.3	5.0	4.8	4.9	5.3	5.0	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	10.316
17	85	1100	8.2	6.8	6.3	5.6	5.6	6.8	6.6	6.2	5.6	5.6	6.6	6.0	5.5	5.5	5.4	6.0	6.0	6.0	11.189
18	90	1070	8.0	6.2	5.8	5.4	5.2	6.2	6.2	5.6	6.2	5.3	6.2	5.9	5.4	5.3	5.6	5.9	5.9	5.9	10.906
19	95	1065	7.8	6.2	5.3	5.1	5.2	6.2	6.0	5.4	5.0	5.1	6.0	5.5	5.2	5.1	5.1	5.5	5.5	5.5	10.615
20	100	1060	8.0	6.2	5.5	5.3	5.3	6.2	7.0	5.6	5.0	5.0	7.0	5.8	5.2	5.1	5.2	5.8	5.8	5.8	10.887

Tabla 5.1 Muestreo de Presiones Dinámicas en la Zona de Pruebas, tomadas bajo las siguientes condiciones:
 $\phi = 62\%$ y $T_{bs} = 17.7\text{ }^\circ\text{C}$ a las 16 hrs.

E	RPM	h_T (mmc.a.)																h_D (mmc.a.)	\bar{V} (m/s)	
1	5	000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
2	10	124	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.45
3	15	216	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.94
4	20	284	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	2.40
5	25	402	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	3.95
6	30	560	1.8	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	4.76
7	35	660	2.4	1.9	1.7	1.6	1.6	1.9	1.9	1.8	1.8	1.6	1.9	1.8	1.6	1.5	1.6	1.8	1.8	6.21
8	40	760	3.6	2.3	2.2	2.4	2.7	2.3	2.5	2.4	2.3	2.2	2.5	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	7.00
9	45	870	4.9	3.6	3.2	3.1	3.1	3.6	3.3	3.1	3.0	3.0	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	3.2	3.2	8.18
10	50	910	5.5	4.1	3.7	3.5	3.6	4.1	4.0	3.8	3.5	3.6	4.0	3.8	3.5	3.5	3.5	3.8	3.8	8.85
11	55	990	6.2	4.8	4.5	4.4	4.3	4.8	4.8	4.4	4.2	4.1	4.8	4.4	4.1	4.0	4.1	4.4	4.4	9.61
12	60	1020	7.5	5.7	5.1	4.8	4.9	5.7	5.5	5.3	4.9	5.0	5.5	5.2	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	10.42
13	65	1060	7.8	5.8	5.2	5.0	5.0	5.8	5.6	5.2	5.0	5.2	5.6	5.4	5.0	4.9	5.0	5.4	5.4	10.51
14	70	1050	7.6	5.9	5.1	4.8	4.9	5.9	5.8	5.1	5.0	5.0	5.8	5.3	5.0	5.0	5.1	5.3	5.3	10.51
15	75	1050	7.2	5.8	5.2	4.8	5.0	5.8	5.4	5.0	4.8	5.1	5.4	5.2	5.0	4.9	5.0	5.2	5.2	10.42
16	80	1050	7.5	6.0	5.1	4.6	5.0	6.0	5.8	5.0	4.6	4.9	5.8	5.2	4.9	4.9	5.0	5.2	5.2	10.45
17	85	1100	8.3	6.8	6.3	5.6	5.6	6.8	6.6	6.2	5.6	5.6	6.6	6.0	5.5	5.5	5.4	6.0	6.0	11.57
18	90	1070	7.8	6.2	5.8	5.4	5.2	6.2	6.2	5.6	5.2	5.3	6.2	5.9	5.4	5.3	5.6	5.9	5.9	10.93
19	95	1050	7.6	6.2	5.3	5.1	5.2	6.2	6.0	5.4	5.0	5.1	6.0	5.5	5.2	5.1	5.1	5.5	5.5	10.70
20	100	1045	7.5	6.1	5.5	5.0	5.0	6.1	5.8	5.2	5.1	5.0	5.8	5.5	5.1	5.0	5.1	5.5	5.5	10.63

Tabla 5.1 A Muestreo de Presiones Dinámicas en la zona de Pruebas tomadas bajo las siguientes condiciones:

$\phi = 70\%$ y $T_{bs} = 19.5\text{ }^\circ\text{C}$ a las 11 hrs.

A P E N D I C E B

APENDICE B

EXPERIMENTO DE COMBUSTION:

Para el estudio de propagación de flama en combustibles líquidos ó condensados inmiscibles en agua, se ha implementado un experimento (Ref. 21) consistente en quemar una capa de combustible con un espesor de 3 a 8 mm distribuida uniformemente sobre un volumen de agua de 16 a 20 mm de espesor.

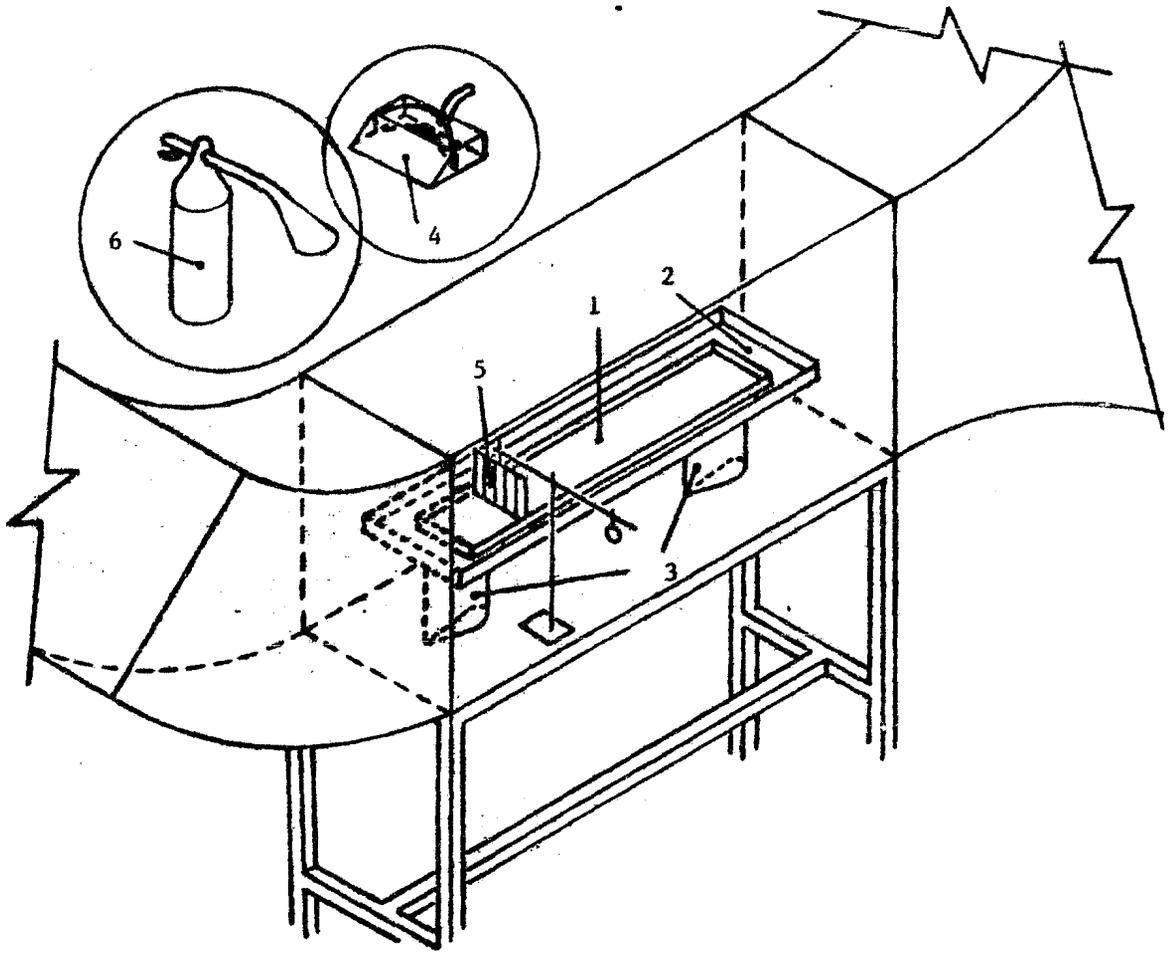
Para dar agilidad, control y precisión en las pruebas se cuenta con una serie de elementos de apoyo, como son:

- Charolas de quemado
- Charolas de contención
- Base de nivelación
- Distribuidor ó Vertedor de combustible
- Barrera confinadora de combustible
- Extinguidores

En la figura 7 se muestran estos elementos y su posible localización dentro de la zona de pruebas del túnel de viento.

La detección y registro del paso del frente de flama se lleva a cabo mediante termopares, auxiliándose con los equipos mostrados en los diagramas de bloque de la figura 8.

Los termopares detectan las temperaturas en determinados puntos, tanto en el combustible como en el medio ambiente. Además de la detección y registro del frente de flama se registran temperaturas y se mide el tiempo -- que tarda la flama en pasar entre termopar y termopar.



- 1.- Charola de quemado
- 2.- Charola de contención
- 3.- Bases de nivelación
- 4.- Distribuidor
- 5.- Barrera confinadora
- 6.- Extintor

Fig. 7 Equipo de Apoyo



Instrumentación para la medición con termopar y grabación



Instrumentación para la medición con termopar y graficación

Fig. 8 Instrumentación para detección y medición.

A P E N D I C E C

Apéndice C.

3.1.1.A SISTEMA MECANICO DE VARIACION DE VELOCIDAD

Existe una subdivisión para los sistemas mecánicos de variación de velocidad, esto se debe a que utilizan diferentes elementos para proporcionar la variación de velocidad. Esta variación se obtiene en general por medio de la fricción existente entre los elementos motrices.

Los sistemas de variación mecánica se dividen en:

3.1.1.A.1 VARIACION DE VELOCIDAD POR MEDIO DE POLEAS DE PLATOS CONICOS Y BANDA DE HULE O BANDA METALICA (PLANAS)

Este sistema está formado por un motor de corriente alterna, que tiene acoplada una polea llamada motriz. en la misma flecha, la cual se puede abrir ó cerrar; esta proporciona movimiento a otra polea, llamada polea de carga, la que se puede abrir ó cerrar también, está acoplada a la carga que se requiere mover, la transmisión del movimiento es por una banda, se puede utilizar una banda estriada ó una banda plana metálica.

El funcionamiento es el siguiente:

Cuando la polea motriz A se abre y la banda alcanza el diámetro menor, Fig. 12, la polea B se cierra y tiene el diámetro mayor obteniéndose una disminución de la velocidad y cuando la polea A se cierra y la B se abre, la velocidad aumenta.

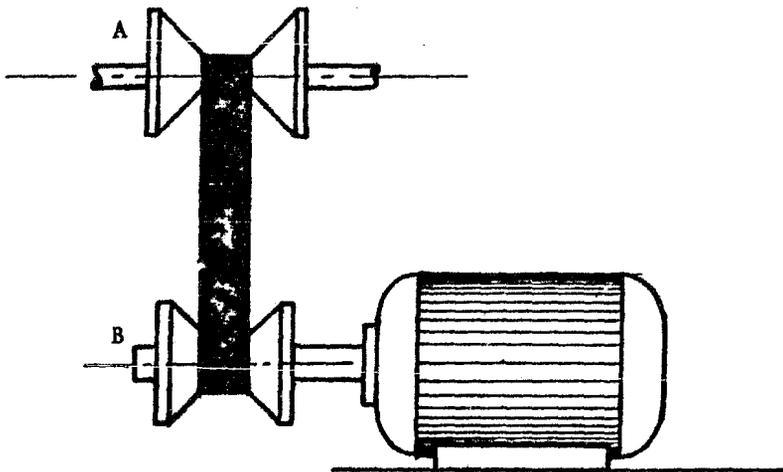


Fig. 12 Variación de Velocidad por Poleas de Platos Cónicos

El variador mecánico de éste tipo multiplica ó divide el par motor proporcionado por el motor eléctrico, existiendo tres casos:

- a) En el primer caso las RPM de la polea motriz y las de la polea de carga son iguales por lo que se transmite el mismo par que tiene el motor, en este caso se tiene una relación de velocidad de 1:1 .
- b) Cuando la relación de velocidad es mayor de 1:1 o sea que las RPM de la polea de carga son mayores que las de la polea motriz, por lo que el par baja en proporción al incremento en la relación de velocidad.
- c) Cuando las relaciones de velocidad son menores de 1:1, las RPM de la polea de carga son menores que las de polea motriz con lo que aumenta el par en razón a la disminución de la relación de velocidad.

La banda en estos sistemas juega un papel muy importante ya que debe resistir una sobre tensión de aproximadamente un 200% sin reventarse, la banda siempre se encontrará a compresión y a tensión constante, por lo que la falla de ésta sucede por fatiga de las cuerdas que la forman. Las cuerdas son de fibra para elevar su resistencia, las capas exteriores de la banda son de hule suave, ya que están a tensión y las capas interiores son de un hule más duro, debido a que trabajan a compresión.

Los inconvenientes que presenta este tipo de sistema son: el corto rango de variación, El sistema es muy voluminoso y pesado, son de difícil reparación, en otros casos puede existir un cierto deslizamiento de la banda lo que baja la eficiencia en la transmisión. Al igual sucede cuando cae grasa ó aceite en los platos de las poleas ocasionando que la banda --

patine, otro inconveniente es la inexactitud de la variación de velocidad así como también la pérdida de potencia para altas velocidades. Su principal ventaja es su bajo precio en comparación con otros sistemas, aunque cuando se utiliza banda metálica su precio aumenta, incrementándose además por -- otro lado su exactitud y su durabilidad.

3.1.1.A.2 VARIACION DE VELOCIDAD POR ENGRANES CONCENTRICOS

Este sistema consiste en dos conos metálicos estriados- (Fig. 13), que al separarse ó juntarse dan mayor ó menor diámetro y así varían la velocidad al igual que el sistema de poleas de platos cónicos deslizables.

El sistema es practicamente obsoleto, por su corto rango de velocidad, por lo difícil de reparar, por lo incomodo de su diseño, por su inexactitud en la variación de velocidad y por dividir la velocidad y potencia cuando se aumenta la velocidad.

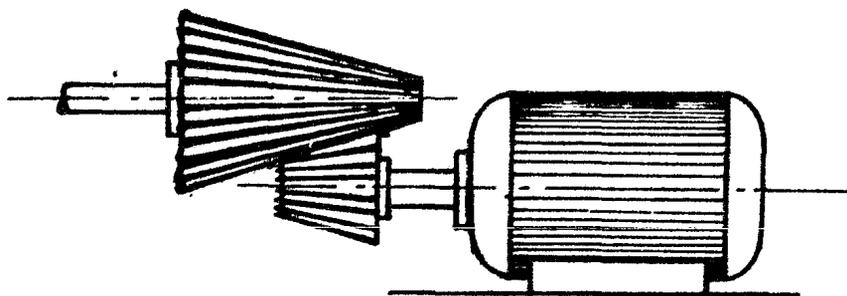


Fig. 13 Variación de Velocidad por Engranes Concéntricos

3.1.1.A.3 VARIACION DE VELOCIDAD POR POLEAS PERPENDICULARES

Consiste en dos poleas perpendiculares de las cuales - una le proporciona movimiento por rozamiento a la otra, y al ocupar diámetros pequeños la velocidad baja y al ocupar diámetros mayores la velocidad aumenta. (Ver Fig. 14).

Este sistema es obsoleto por su corta duración, falta de exactitud y difícil mantenimiento.

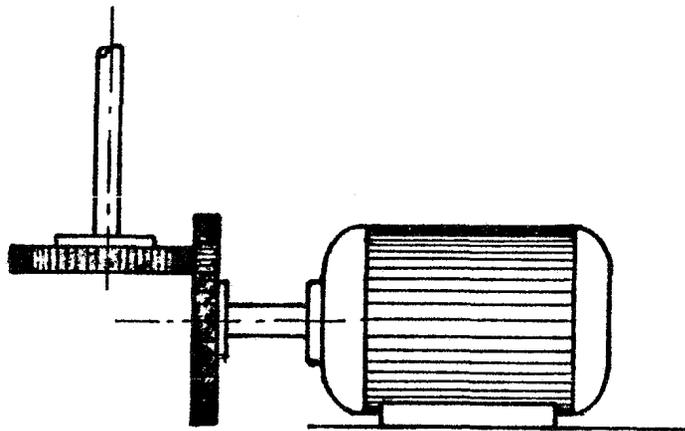


Fig. 14 Variación de Velocidad por Poleas Perpendiculares

3.1.1.A.4 VARIACION DE VELOCIDAD POR BOLAS DE ACERO

El sistema está compuesto de 2 esferas metálicas de acero de alta calidad, que están sujetas en el centro por un anillo, que les permite moverse en un ángulo determinado, y - por rozamiento transmiten movimiento a otro anillo metálico- y dependiendo del diámetro de la esfera que este en contac- to con los anillos será la velocidad obtenida. (Ver Fig.15)

Las desventajas de utilizar este equipo son lo difícil- de su reparación, tiene corto rango de velocidad, no es co- mercial por su elevado precio.

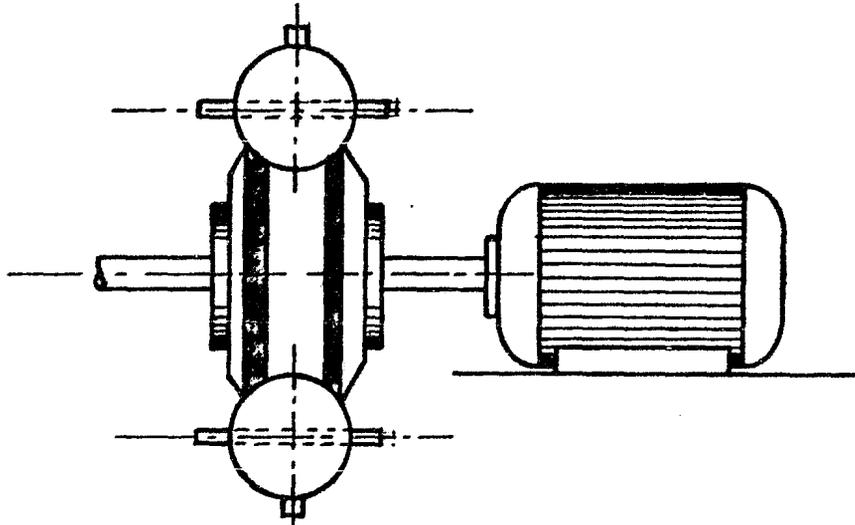


Fig. 15 Variación de Velocidad por Bolas de Acero

3.1.1.A.5 VARIACION DE VELOCIDAD POR POLEAS ESCALONADAS

Consiste en una serie de poleas colocadas una sobre otra, montadas en dos flechas, una de ellas va de arriba a abajo, de un diámetro menor a un diámetro mayor y la otra flecha tiene, de arriba a abajo, un diámetro mayor y va hacia un diámetro menor. Cada una de las poleas coincide con una polea de la otra flecha. El rango de velocidad depende del número de escalonamientos ó poleas con que se cuente. (Ver Fig. 16),

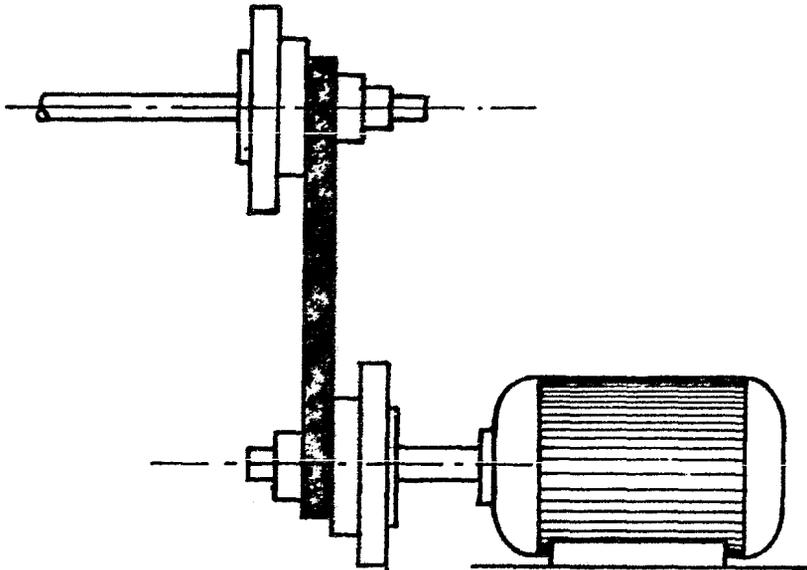


Fig. 16 Sistema de Poleas Escalonadas

Este sistema es muy antiguo y molesto de operar, ya que solamente se pueden obtener de 3 a 5 rangos de velocidad y - para lograrlo se requiere parar el motor y cambiar de posición la banda, es por lo tanto un sistema deficiente para el control de velocidad.

3.1.1.A.6. VARIACION DE VELOCIDAD POR POLEAS DE PLATOS CONICOS PERO CON BANDA "V"

Este sistema es muy similar al descrito en el inciso -- 3.1.1.A.1. usa poleas cónicas de velocidad variable, la diferencia estriba en que puede ser montado con doble juego de platos, dando lugar a un mayor rango de velocidades, la banda que utiliza es en forma de "V", su precio es más bajo que el sistema descrito en el inciso antes mencionado pero aún sigue limitado en su rango y en precisión. Además de seguir siendo voluminosos. (Ver. Fig. 17).

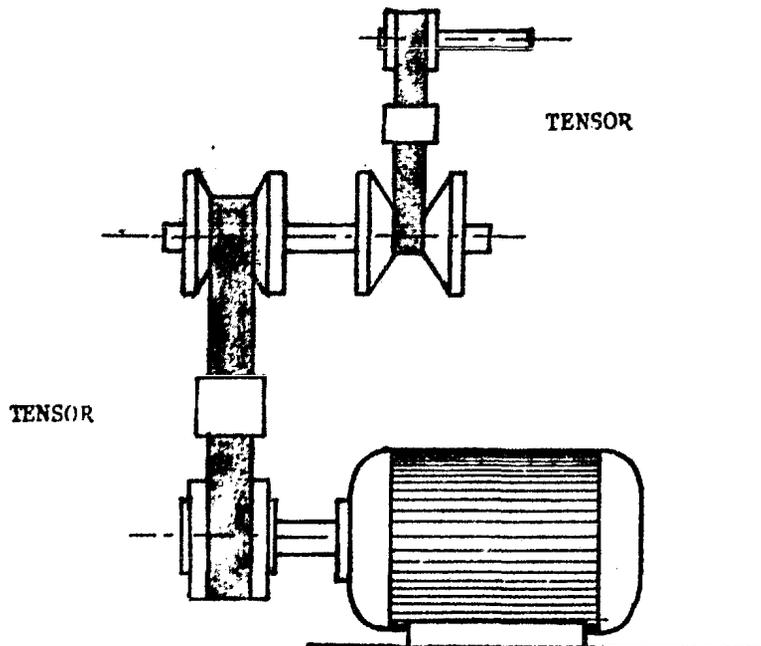


Fig. 17 Sistema de Platos Cónicos v Banda tipo "V"

3.1.1.B. SISTEMA HIDRAULICO DE VARIACION DE VELOCIDAD.

Este sistema está formado por un tanque ó depósito de aceite, una bomba accionada por un motor eléctrico y un motor hidráulico que es semejante a una pequeña turbina la cual es de aletas. (Ver. Fig. 17.B).

Existen dos tipos que son los más usados; se diferencian por el tipo de bomba que utilizan: uno utiliza una -- bomba con degollamiento de flujo.

El primer sistema está formado por un motor eléctrico que mueve una bomba de pistones cuyo funcionamiento es el-bombear aceite de un depósito a un motor hidráulico, esta-bomba es de desplazamiento variable, ya que acorta ó alarga la carrera de los pistones consiguiendo con esto que se bombée mayor o menor flujo, la carrera es controlada por -- una manivela que esta en el exterior de la bomba.

El aceite es mandado a través de mangueras a un motor hidráulico que es muy compacto y potente y es semejante a una turbina.

La otra versión del sistema hidráulico es semejante a la anterior. La diferencia básica consiste en que se obtura o desvía el flujo de aceite, haciendo que se mande mayor ó menor cantidad de aceite al motor.

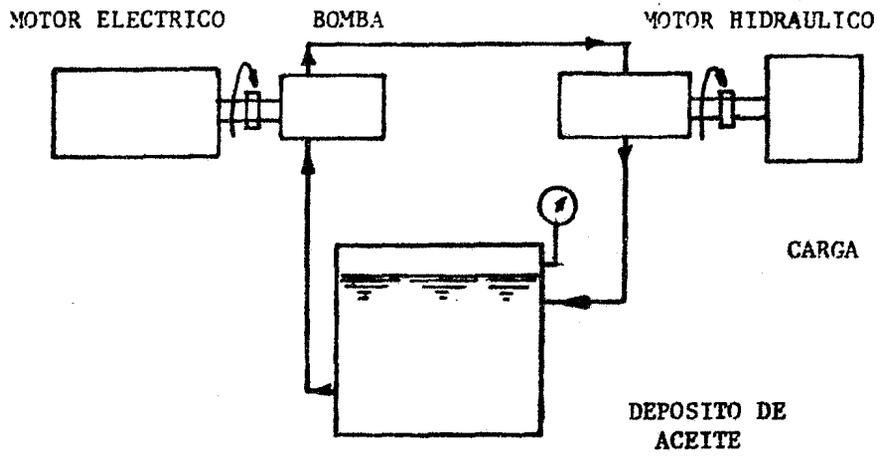


Fig. 17A Diagrama de Bloques del Sistema Hidráulico

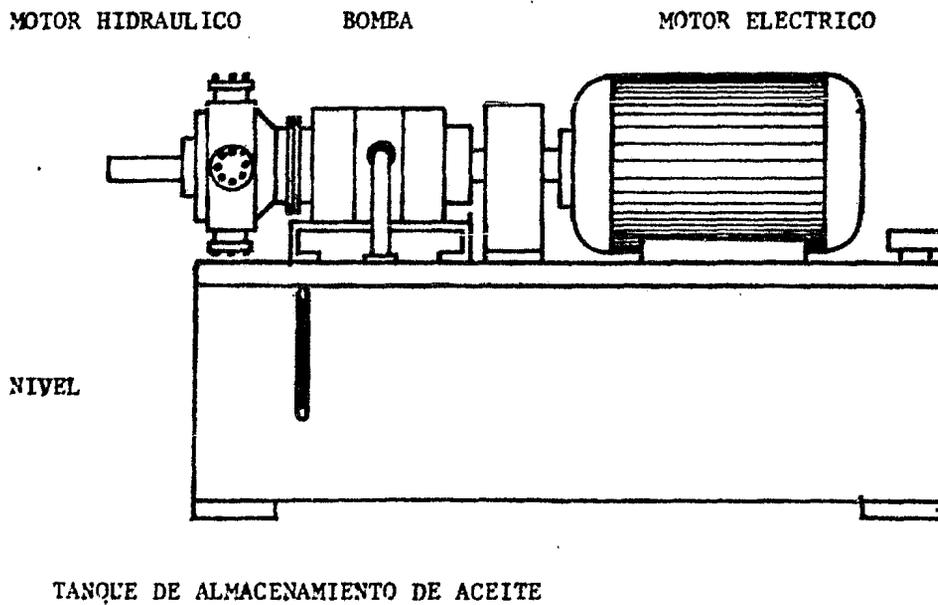


Fig. 17B Sistema Hidráulico de Variación de Velocidad

Este sistema es muy potente y desarrolla elevados pares de motor, trabaja muy bien a bajas velocidades, casi no necesita mantenimiento y se puede convertir a un sistema a prueba de explosión. Se usa en trabajos rudos, se puede obtener con freno brusco ó freno amortiguado y también con reversa instantánea con todo el torque. Sus desventajas son, su voluminosidad debido al depósito de aceite; su costo por la cantidad de componentes que requiere, como son el motor eléctrico, la bomba el depósito, las válvulas, las mangueras, el motor hidráulico, etc. además de que su ajuste no es muy fino, es decir no se tiene precisión en la velocidad de salida.

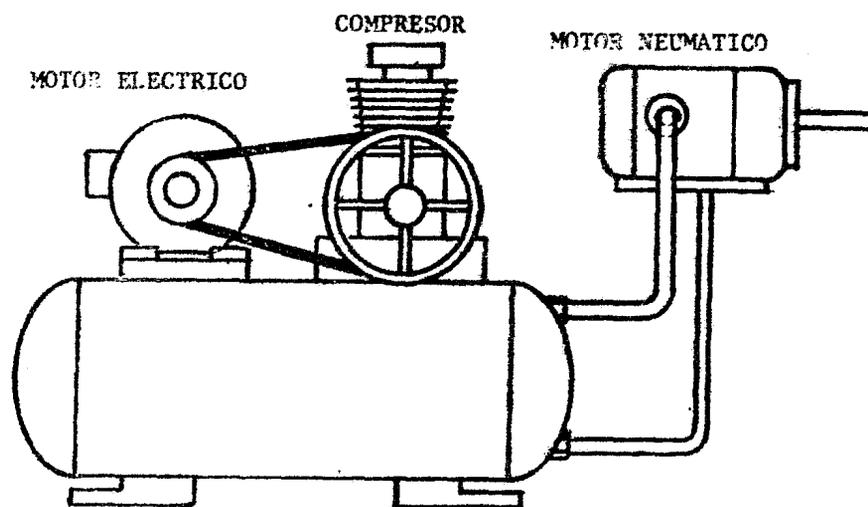
3.1.1.C. SISTEMA NEUMATICO DE VELOCIDAD VARIABLE

Para este sistema se emplea un compresor, un tanque de almacenamiento, un motor neumático (turbina), un reductor (opcional), mangueras y válvulas.

Los componentes formados por el compresor y el tanque de almacenamiento son equipos muy usados en la industria. El motor neumático es una turbina de paletas que giran al recibir el flujo de aire. Debido a que estos equipos desarrollan altas velocidades es necesario en ocasiones adaptar reductores de velocidad; el control de velocidad es por medio de una válvula, la que controla el flujo de aire a la turbina, estas válvulas pueden ser manuales u operadas a control remoto. (Ver. Fig. 18).

Las desventajas que presenta este sistema son la cantidad de componentes que requiere para su funcionamiento, ya que para mover el motor ó turbina se requiere de un motor para mover un compresor, un depósito para almacenar aire, lo que implica un espacio muerto muy voluminoso, un-

motor neumático para transformar la energía mecánica; y en ocasiones un reductor de velocidad; otra desventaja que presenta es que el par desarrollado depende del flujo de aire lo mismo que la velocidad de salida del motor.



TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AIRE

Fig. 18 Sistema Neumático de Variación de Velocidad

3.1.1.D SISTEMA ELECTRICO DE VARIACION DE VELOCIDAD

Existen diferentes alternativas para variar la velocidad por medio de sistemas eléctricos entre ellas están las siguientes formas:

3.1.1.D.1. SISTEMA POR VARIACION DE FRECUENCIA

Este sistema consiste en un motor de corriente alterna, conectado a un control electrónico que es de lo más moderno, pero a su vez es muy costoso y muy complicado analizado electronicamente, y requiere personal muy capacitado para poderle dar mantenimiento, es decir personal con amplios conocimientos en electrónica.

Su funcionamiento es de la siguiente manera:

La corriente entra a la primera parte del control donde se rectifica la C.A. en C.D. , en la siguiente sección del control, convierte la C.D. en C.A. pero con regulación de frecuencia, enseguida la corriente pasa por una sección donde se autorregula y estabiliza, protegiendo el circuito electrónico, todo esto aunado a su alta precisión y a su compacticidad, lo hacen muy versatil y de gran utilidad, pero con un costo demasiado elevado.

3.1.1.D.2. SISTEMA CON MOTOR DE C.A. DE ANILLOS ROZANTES

Este sistema es relativamente sencillo, esta formado -- por un motor eléctrico de C.A. y un banco de resistencias ó unas resistencias variables, el motor tiene embobinados tanto en el rotor como en el estator ó campo. El motor no es de inducción ya que el rotor es alimentado desde el exterior por medio de unos anillos rozantes y unas escobillas comunmente-

llamadas carbones, estos estan conectados directamente a las resistencias variables. Estas resistencias tienen como función el disminuir ó aumentar el voltaje que va al motor y por consiguiente varía la velocidad. Un problema que presenta es que no mantiene el par motor ya que este varía con la velocidad angular del rotor, adicionalmente a esto, está el problema de la disipación de calor en las resistencias por lo que es necesario tener un banco de resistencias con suficiente espacio como para poder disipar ese calor, lo que se traduce en un equipo voluminoso. (Ver Fig. 18 A)

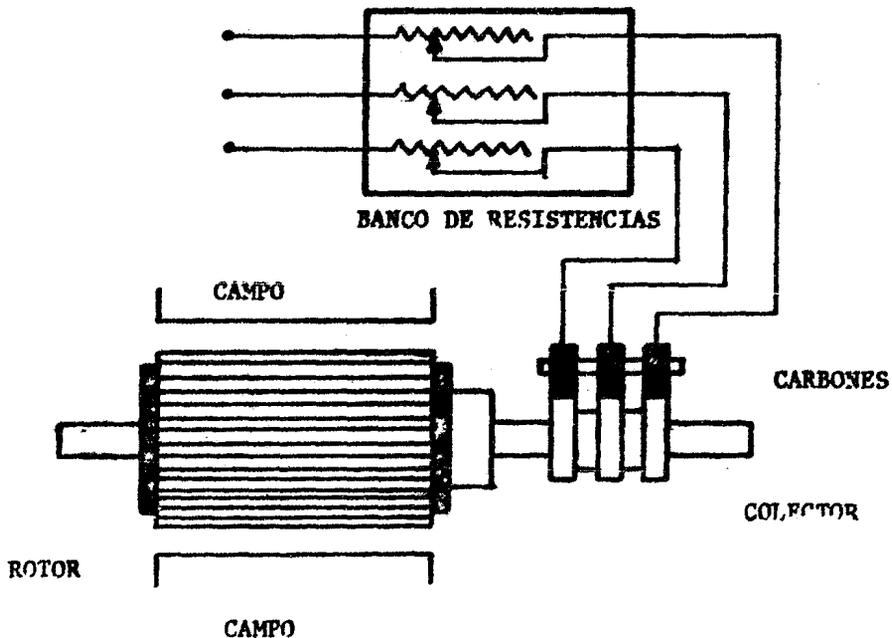


Fig. 18 A Sistema de Motor de C.A. controlado por Resistencias Eléctricas

3.1.1.D.3. SISTEMA CON MOTOR DE C.A. DE CONMUTADOR DESPLAZABLE.

El sistema está formado únicamente por un motor de C.A. el cual tiene la característica de llevar un colector ranurado en donde hacen contacto unas escobillas ó carbones.

Su funcionamiento es el siguiente:

Los carbones van montados en un soporte, la variación de velocidad se obtiene al cambiar la posición del soporte de los carbones, lo que se traduce en un cambio en el tiempo de conmutación y por consiguiente el motor se acelerará ó desacelerará.

Este sistema tiene un rango de variación de velocidad muy pequeño además de que también cambia su par motor al cambiar de velocidad.

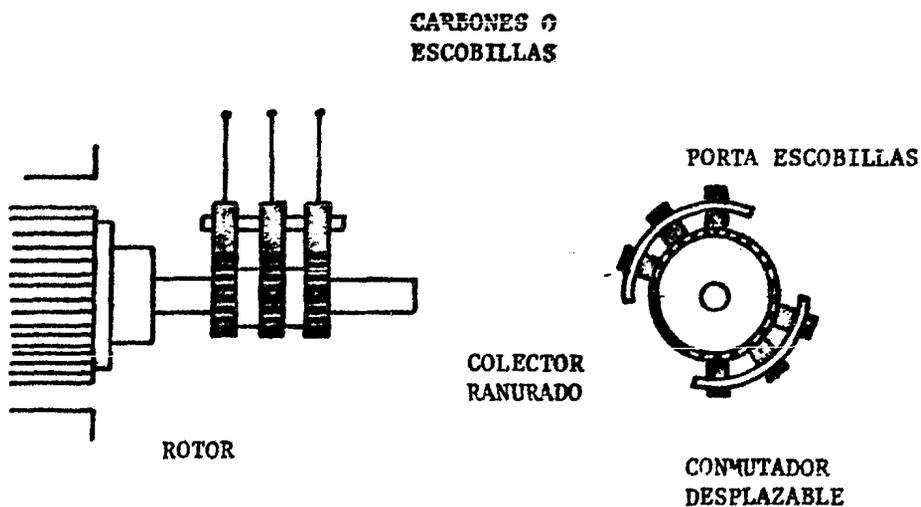


Fig. 18 B Sistema de Conmutador Desplazable

3.1.1.D.4. SISTEMA CON MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA (C.D.)

El motor de C.D. es uno de los más versátiles y más empleados para poder variar la velocidad, ya que no requiere de aditamentos mecánicos especiales para la variación. Para poder variar su velocidad sólo se tiene que regular el voltaje de alimentación. Esto se logra por medio de un reóstato ó un potenciómetro; al bajar el voltaje de alimentación baja la velocidad del motor y al subir su voltaje, sube su velocidad, de igual manera es la variación de su par motor, teniendo su máximo, cuando -- trabaja a la velocidad máxima.

En éste tipo de máquina el problema principal no es la variación de velocidad sino la alimentación del motor.

Para la obtención de C.D. existen básicamente dos - sistemas, los que son:

- a) Sistema motor (C.A) - generador (C.D.),
- b) Sistema con rectificación de corriente.

a) El sistema formado por motor-generador es simple pero muy voluminoso, fácil de reparar debido a que no tiene - elementos electrónicos, pero su precio es elevado lo que sumado al costo del motor de C.D., el cual es proporcionalmente mayor al de C.A., nos da un precio casi prohibitivo, está formado por un motor de C.A. acoplado directamente a un generador de C.D.

b) El sistema que utiliza la rectificación de corrientes es lo más moderno para alimentación de motores de C.A. que se encuentra en el mercado. Existen actualmente rectificadores de corriente de estado sólido, los que sustituyen a los de bulbos por su volúmen ocupado, su costo y eficiencia .

En la actualidad existen controles de velocidad acoplados a los rectificadores lo que aumenta su complejidad y su costo.

Este tipo de controles cuenta con una serie de protecciones, lo que los hace muy confiables. La mayoría de éstos controles son de importación y no son de fácil reparación debido a su complicado diseño y alto costo de sus refacciones.

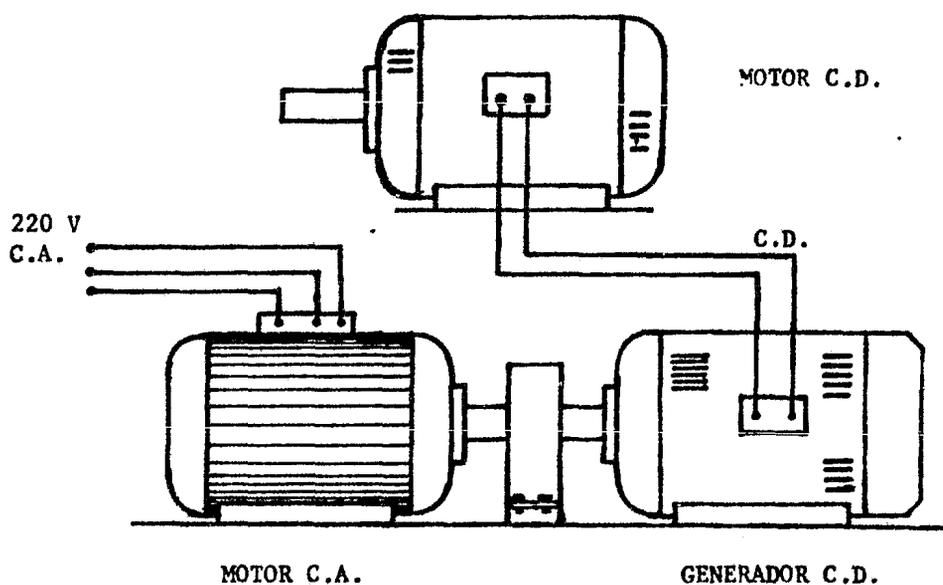


Fig. 18 C Sistema Motor C.A. Generador-Motor C.D.

Las desventajas que presentan tanto el motor como el control son las siguientes:

El motor de C.D. embobinado es difícil de reparar debido a que es más complicado que el del motor de C.A. - y requiere de un trabajo de reembobinado perfecto porque de lo contrario el motor pierde caballaje.

En el motor de C.D. de imanes permanentes, la eficiencia y la duración de los motores depende de la calidad de los imanes, es decir la duración de su imantado y el material usado. Una ventaja de los imanes permanentes es que cuando están en buenas condiciones de imantación, siempre habrá campo magnético, evitando que, si hay alguna falla - en el control electrónico, se vaya a desbocar el motor -- eliminando las corrientes de regreso. Tienen la desventaja de no poder aumentar ó disminuir su campo magnético.

Otra desventaja es que al dejar de alimentar un motor de C.D. , por su inercia sigue girando lo que lo convierte en generador produciendo corrientes de retroceso muy grandes, las que al llegar al control electrónico lo dañarían, por lo que se requieren sistemas muy complicados y costosos de protección.

El moto-generador presenta la desventaja de su volumen ocupado y, además de que el moto-generador costaría más que el propio motor debido a que está formado por un motor de C.A. con generador de C.D.

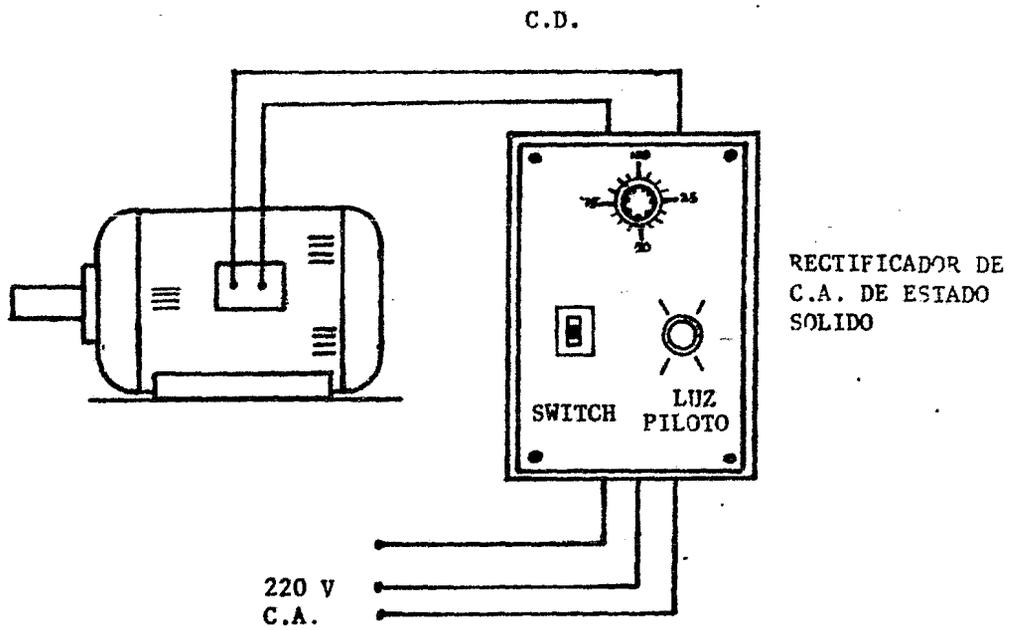


Fig. 18 D Sistema de Rectificación de C.A. para obtener C.D.

El costo del equipo de C.D. es de 10 a 15% más caro que el de C.A..

3.1.1.D.5. SISTEMA DE VARIACION POR CORRIENTES PARASITAS O CORRIENTES EDDY (CLUTCH MAGNETICO)

Este sistema está dividido en dos partes (Fig. 18 E)

- a) Unidad Motriz ó de fuerza
- b) Unidad de Variación

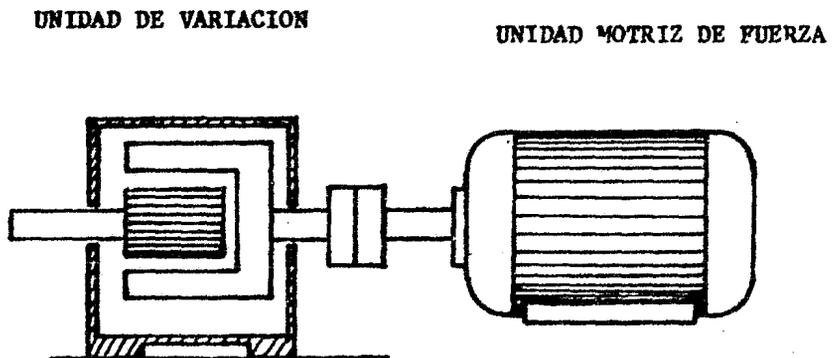


Fig. 18 E Partes del Sistema de Variación por Corrientes EDDY

- a) Unidad motriz ó de fuerza, está constituida por un motor de C.A. con rotor tipo jaula de ardilla ó con embobinado, que gira a velocidad constante. El cual siempre transmite el mismo par motriz debido a que la variación de velocidad no se efectúa en ésta unidad.

- b) Unidad de Variación, la unidad de variación consiste en un embrague (clutch) electromagnético el cual está formado por dos ensambles, una flecha motriz con ventilador - en forma de tambor el cual tiene polos magnéticos; el segundo es un rotor que está acoplado a una flecha la cual transmite la energía necesaria para mover la carga que se tiene; existe otra parte adicional que está comprendida, dentro de lo que forma el rotor y la flecha, y es la bobina que produce las corrientes EDDY, la que está conectada a un control electrónico el que rige la velocidad de salida.

El principio de operación es el siguiente:

El motor proporciona par constante y una velocidad fija a la unidad de variación, como cada ensamble ó parte del embrague es independiente, la flecha motriz que va directamente unida al motor, gira a la misma velocidad del motor y a su vez - también el ventilador en forma de tambor el cual proporciona ventilación constante sin importar la velocidad de salida.

La bobina del embrague está directamente acoplada al control electrónico, este excita a la bobina con una pequeña corriente previamente seleccionada en el control; las líneas de fuerza electromagnética de la bobina estacionaria empiezan a moverse a través de los polos norte del tambor, llegando hasta el rotor y después a los polos sur del tambor de la flecha motriz (Fig. 19), al actuar el flujo magnético en los dos polos del tambor se provoca un par de fuerza en el rotor y se obtiene una sola rotación.

El movimiento entre el tambor de la flecha motriz y el rotor produce las corrientes EDDY en la superficie del rotor estas corrientes EDDY crean una fuerza electromotriz inducida, la cual transmite el par del tambor de la flecha motriz al rotor, existe una diferencia de velocidades entre el tambor velocidad síncrona y la velocidad de salida, llamandose esta diferencia deslizamiento.

El par transmitido al rotor es proporcional a la excitación de la bobina fija que es transmitido por el control --- electrónico. Cuando la excitación de la bobina aumenta la -- fuerza del campo aumenta también, por lo que el deslizamiento tiende a disminuir y la velocidad del rotor tiende a la -- velocidad del tambor de la flecha motriz, dando como resultado que las corrientes parasitas transmiten torque constante a cualquier velocidad.

El clutch magnético por corrientes EDDY, es un acopla-- miento en el cual no existe contacto mecánico por lo que su vida en horas es mayor que la de cualquier tipo de acoplamien to mecánico, el cual está sometido a esfuerzos y a friccio nes por contacto de las piezas que lo constituyen.

Se puede arrancar a voltaje pleno y esto evita el uso de motores con par y voltaje de arranque especiales y con esto -- se logra un par máximo al acelerar la flecha de salida del va riador debido a que el motor ya alcanzó su velocidad nominal antes de que el embrague sea excitado, con lo que se puede tambi én controlar la aceleración y desaceleración de cargas con mucha inercia.

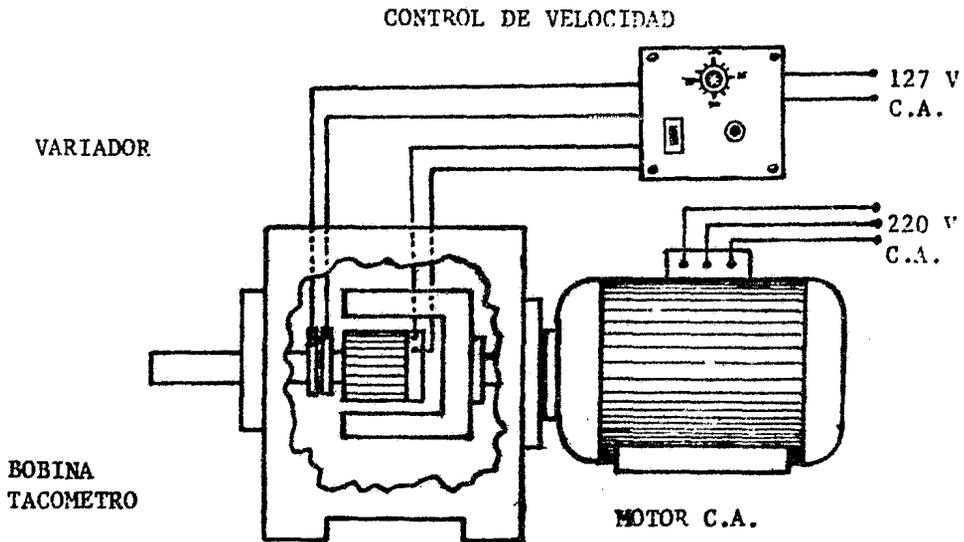


Fig. 19 Motovariador mostrando sus partes principales

Para lograr que la carga permanezca constante el variador lleva interconstruido un tacómetro, teniendo este, una retroalimentación con el control electrónico para poder dar una respuesta inmediata modulada lograndose una corrección de errores en la señal de alimentación a la bobina del rotor, aumentando su exactitud.

Las ventajas que presenta este equipo son las siguientes:

- a) Par constante a cualquier velocidad despues de 100 RPM
- b) Al arrancar y acelerar de improviso se tiene un par máximo
- c) Simplicidad, versatilidad en sus controles electrónicos
- d) Compactidad por estar unidos el motor y el embrague.

- e) Se puede arrancar ó parar y variar la velocidad de la -- carga sin tener que parar el motor de C.A.
- f) No requiere de motor especial ni de motor de C.D. evitando así la fuente de C.D.
- g) Al tener retroalimentación y un tacómetro generador in-- terconstruído corrige posibles errores en la velocidad - al quitar ó poner la carga.
- h) El motovariador tiene solo 4 partes esenciales, las que son:
 - a) Unidad motriz, que es un motor de C.A. standar jaula de ardilla, 220/440 Volt.
 - b) Tambor motriz
 - c) Tambor móvil ó rotor
 - d) Bobina
- i) El precio del equipo es 10% menor que el precio del equipo de C.D.
- j) Comparativamente el control del equipo de C.A. representa el 10% del precio del motor; en C.D. representa el 55% del precio del motor.
- k) El mantenimiento representa del 2 al 5% del costo del e-- quipo por año, después del 5o. año.
- l) Su duración es mayor por tener pocas piezas que están en- contacto mecánico sometidas a fricciones.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Pope, Alan and Harper, John J.
"LOW SPEED, WIND TUNNEL TESTING"
Ed John Wiley and Sons inc, 1966

- 2.- Osborne, Woods, C.G., Turner
" GUIA PRACTICA DE LA VENTILACION"
Ed. Blume , 1970

- 3.- De Hoyos, D.
"DISEÑO DE UN TUNEL DE VIENTO DE 50 HP"
Tesis Profesional, F.I., UNAM, 1963

- 4.- Sotelo, A.
"PROYECTO DE UN NUEVO TUNEL DE VIENTO"
Instituto de Ingeniería, UNAM, 1968

- 5.- Mosiño Alemán, P.
"DISEÑO DE UN TUNEL DE VIENTO PARA CALIBRAR ANEMOMETROS"
Tesis Profesional, F.I., UNAM, 1964

- 6.- González Aguilar, S.
"CALCULO Y CONSTRUCCION DE UN TUNEL DE VIENTO ABIERTO DE
BAJA VELOCIDAD"
Profesional, F.I., UNAM, 1979

- 7.- Hernández Goribar, E.
"FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION"
Ed. Limusa, 1975

- 8.- Shames
"LA MECANICA DE LOS FLUIDOS"
Ed. Mc Graw Hill, 1967

- 9.- Streeter, W.
"MECANICA DE LOS FLUIDOS"
Ed. Mc Graw Hill, 1979

- 10.- Cook N.J.
" A BOUNDARY LAYER WIND TUNNEL FOR BUILDING AERODYNAMICS"
Informe de la Brexp Mayo 1975

- 11.- Grigg, P.F. and Sexton, D.E.
"EXPERIMENTAL TECHNIQUES FOR WIND TUNNEL TEST ON MODEL BUILDINGS"
Informe de la Brexp febrero de 1974

- 12.- González E.
"TUNEL AERODINAMICO"
Tesis Profesional, ESIME, IPN, 1942

- 13.- SALVI, G.
"LA COMBUSTION, TEORIA Y APLICACIONES"
Ed. Dossat ,1975

- 14.- Shigley, J.E.
"DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA"
Ed. Mc. Graw Hill ,1979
- 15.- Cermak, J.E.
"APPLICATIONS OF WIND TUNNELS TO INVESTIGATION OF WIND
ENGINEERING PROBLEMS"
AIAA Journal
Vol. 17, No. 7 July 1979
Article No. 78-812
- 16.- Wigeland, R.A., Ahmed, M. and Nagib, H.M.
"MANAGEMENT OF SWIRLING FLOWS WITH APPLICATION TO WIND
TUNNEL DESIGN"
AIAA Journal
Vol. 18, No. 11, november 1978
- 17.- Barret, R.V.
"A VERSATILE COMPACT WIND TUNNEL FOR INDUSTRIAL AERODYNAMICS"
Atmospheric Environment Pergamon Press,1972
Vol. 6, pp. 491-498
- 18.- Mikhail, M.N.
"OPTIMUM DESIGN OF WIND TUNNEL CONTRACTIONS"
AIAA Journal
Vol. 17, No. 5 May 1979
Article No. 78-819
- 19.- Sykes, D.M.
" A NEW WIND TUNNEL FOR INDUSTRIAL AERODYNAMICS"
Journal of Industrial Aerodynamics
2 (1977) 65-78

20.- Cervante de Gortári, J.

"APUNTES DEL CURSO DE METODOS EXPERIMENTALES EN MECANICA
DE FLUIDOS"

Div. de Educación Continua, F.I., U.N.A.M., 1983

21.- Flores Gallardo, C.

"ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACION DE FLAMA EN COM-
BUSTIBLES INMISCIBLES EN AGUA"

Seminario de Tesis, F.I., U.N.A.M., 1983