

01173

5
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

CARACTERIZACION EN FRIO DE ESTABILIZADORES DE
DE FLAMA UTILIZADOS EN GENERADORES DE VAPOR
DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS.

TESIS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA MECANICA
(OPCION TERMOFLUIDOS)

PRESENTA

JOSE OSCAR MARTINEZ FLORES

DIRECTOR: DR. JAIME CERVANTES DE GORTARI.
ASESOR: DR. RAMON BOLADO ESTANDIA.

MEXICO, D.F. 1992



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 está 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.

INDICE

	PAGINA
RESUMEN	3
1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.	5
2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION DE UN GENERADOR DE VAPOR DE 158 MW.	12
3. MODELOS Y ANALISIS DIMENSIONAL.	21
4. EQUIPO EXPERIMENTAL Y PRUEBAS REALIZADAS.	29
5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO 1:2.	74
6. INTERPRETACION DE RESULTADOS	117
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFIA.	128
APENDICES.	130

RESUMEN.

Se presentan los resultados obtenidos durante la caracterización fluidodinámica "en frío", es decir sin combustión de 11 estabilizadores de flama que pueden ser utilizados en unidades generadoras de vapor de 158 MW. La caracterización se realizó en un modelo de acrílico a escala 1:2 del compartimiento de un quemador tangencial utilizado en este tipo de unidades y el objetivo fue conocer la influencia que presenta la variación de cada uno de los parámetros geométricos del estabilizador (forma, diámetros exterior e interior, número de álabes e inclinación) en la formación del frente de flama.

Se desarrolló una expresión general para calcular el coeficiente de descarga del quemador, como función de las caídas de presión debidas al ducto y a los componentes del quemador.

Las mediciones hechas para la caracterización, se realizaron en el ducto de alimentación del aire en un plano perpendicular a la dirección del mismo, así como en el plano central a la salida del estabilizador a tres distancias longitudinales diferentes.

Se aplicaron técnicas modernas de medición de velocidades tanto en el ducto de alimentación, como a la salida del quemador, con y sin estabilizador, mediante los cuales se determinaron:

-Perfiles de velocidad en el ducto de alimentación, con y sin estabilizador.

-Caídas de presión (con y sin estabilizador), lo que permitió calcular el coeficiente general de descarga del quemador.

-Determinación de las zonas de recirculación producida por cada uno de los estabilizadores, lo que permitió conocer la forma del perfil de la flama.

-Perfiles de velocidad en las direcciones "X" y "Y", a la salida del quemador para cada uno de los estabilizadores.

-Cálculo del número de giro para tres diferentes estabilizadores.

-Determinación de la intensidad de turbulencia por medio de anemometría de hilo caliente para tres diferentes estabilizadores.

Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la caracterización, lo cual permitió poner de manifiesto la influencia de cada uno de los parámetros geométricos de los estabilizadores en la formación del perfil de la flama.

La interpretación de los resultados, permitió definir cuál de los 11 modelos de los estabilizadores caracterizados es el más eficiente, para posteriormente en trabajos futuros, realizar pruebas de campo para su implementación en un sistema de combustión de una planta termoelectrica de 158 MW.

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

La Comisión Federal de Electricidad, cuenta con diferentes tipos de unidades generadoras de vapor que utilizan combustóleo y que, de acuerdo con la localización de sus quemadores en el hogar se pueden clasificar en generadores de vapor de tipo frontal y de tipo tangencial.

Los quemadores tangenciales, al igual que las toberas ajustables de aire, así como los ductos de suministro de aire para la combustión, se encuentran instalados en las esquinas del hogar. Durante su operación normal, tanto el aire como el combustible forman una circulación de flamas en el centro del hogar, como se muestra en la figura 1.1.

En el departamento de operación de estas centrales se han venido detectando diversos problemas relacionados con el sistema de combustión, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

1. Oscilación de flamas.
2. Operación con altos excesos de aire.
3. Disminución de la vida útil de los quemadores, debido a la corrosión y al quemado del estabilizador.
4. Disminución de la eficiencia térmica.
5. Disminución de la disponibilidad de la unidad.

Estos problemas observados por el personal de la planta fueron, corroborados por el personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas al realizar una inspección visual de los sistemas de combustión de las 4 unidades de la central termoelectrica de Puerto Libertad, la cual se encuentra ubicada en el estado de Sonora. Los resultados de dicha inspección mostraron la existencia de un tipo de flama en las cuatro unidades en todos los quemadores que no es

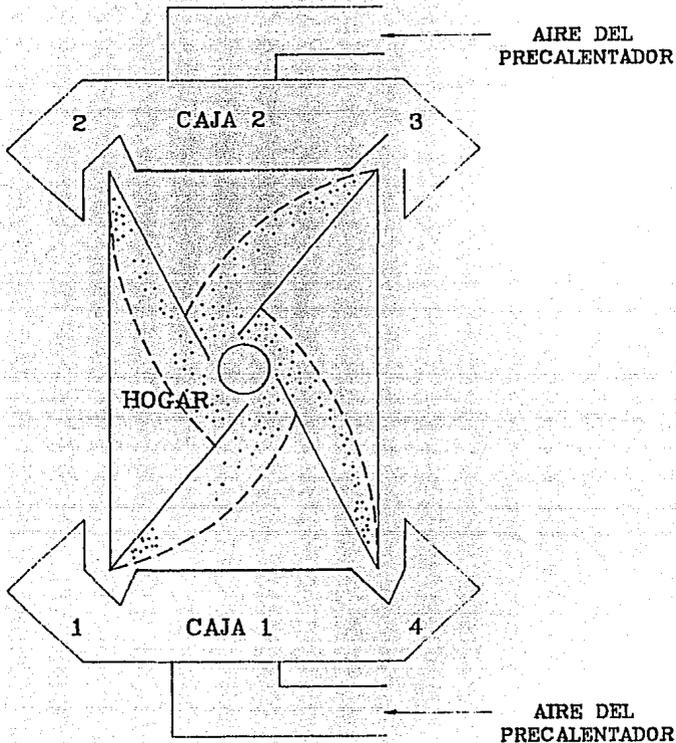


FIGURA 1.1. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL HOGAR DE UN GENERADOR DE VAPOR DE COMBUSTION TANGENCIAL.

normal en cuanto a su geometría; es decir se observó en todos los estabilizadores de flama de las cuatro unidades, una pequeña flama secundaria que se genera sobre el mismo estabilizador, esto sin lugar a dudas origina el deterioro de los estabilizadores para después incidir sobre las altas temperaturas de pared de agua, fluctuaciones de la flama y por consiguiente baja eficiencia en el sistema de combustión.

El Departamento de Combustión junto con el Departamento de Fluidos y Térmica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, han venido realizando diversos trabajos relacionados con la caracterización en frío del equipo que se utiliza en las centrales termoeléctricas del país.

Entre los trabajos que se pueden mencionar están los siguientes:

1. Modelación fluidodinámica de quemadores tangenciales (1).
2. Modelación fluidodinámica de quemadores frontales (2).
3. Simulación física de los patrones de flujo en un modelo de hogar de un generador de vapor (3).
4. Geometría óptima de toberas para deshoilladores (4).
5. Patrones y características del flujo en un modelo a escala del hogar de una caldera con quemadores tangenciales (5).
6. Simulación en frío de un horno con quemadores tangenciales.

Los trabajos anteriores han permitido establecer la infraestructura necesaria para resolver los problemas relacionados con los equipos y el sistema de combustión de plantas generadoras de vapor. A su vez esta infraestructura sirvió de base para la realización de ésta tesis.

12. ENFOQUE Y ORGANIZACION DEL TRABAJO.

JUSTIFICACION.

La caracterización fluidodinámica "en frío", esto es, la realización estudios sin combustión, es una alternativa que permite interpretar los fenómenos que ocurren dentro de un flujo turbulento donde se realiza el proceso de combustión (8).

En este tipo de procesos es de vital importancia conocer los patrones de mezclado, esto es, el efecto de turbulencia que produce un estabilizador en la formación del frente de flama, ya que dependiendo de las zonas de recirculación así como del grado de giro que produzca el estabilizador, se tendrá un mejor mezclado entre el aire de combustión y el combustible atomizado, lo que evidentemente ocasionará una combustión más eficiente.

El conocimiento de las características que presenta el aire de combustión, toda vez que pasa a través del estabilizador, permite conocer las zonas de mayor reacción del combustible con el aire de combustión, esto conlleva a determinar los patrones de velocidad media y el grado de turbulencia que produce cada estabilizador, lo que hace factible comparar diferentes diseños de estabilizadores y en base a los resultados obtenidos definir el estabilizador más eficiente.

El correcto funcionamiento de un estabilizador, trae como consecuencia diversos beneficios, entre los que se pueden mencionar:

1. Incremento de la vida útil del estabilizador, ya que se evita el quemado del mismo.
2. Disminución de la emisión de los productos de combustión incompleta.
3. Incremento de la eficiencia térmica del generador de vapor.

De acuerdo con los antecedentes mencionados en la justificación, los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

1.3. OBJETIVOS.

1. Realizar un estudio fluidodinámico en frío en un modelo a escala 1:2 de un quemador tangencial de 158 MW, que permita conocer la influencia de los parámetros geométricos de los estabilizadores (diámetros exterior e interior, forma, número, separación y ángulo de inclinación de los álabes), en la formación del frente de flama.
2. Con base a la caracterización, comparar y definir el estabilizador más eficiente.
3. Implantar el diseño más eficiente en una central termoelectrica de 158 MW.

1.4. ORGANIZACION DEL TRABAJO.

El trabajo se dividió en tres partes; la primera comprendió el estudio bibliográfico de trabajos realizados anteriormente, con el objeto de conocer la forma en que se realizan este tipo de caracterizaciones.

La segunda parte consistió en diseñar y construir un modelo a escala 1:2 en acrílico del compartimiento del quemador de una unidad de 158 MW, ya que en este modelo se probaron los 11 diferentes tipos de estabilizadores.

La última parte del trabajo fue la experimental, en la cual se realizaron todas las pruebas a los estabilizadores, con el objeto de conocer todas las características fluidodinámicas (coeficiente de descarga, perfiles de velocidad e intensidad de turbulencia), producidas por cada uno de los estabilizadores.

El primer diseño de estabilizador que fue caracterizado es el utilizado en la central termoeléctrica de Puerto Libertad, que tiene un cuerpo en forma de cono con ranuras equidistantes una de otra,. Se seleccionó este estabilizador ya que ha presentado problemas de quemado, además es el que sirvió como base de comparación para los demás estabilizadores.

Un segundo grupo de estabilizadores, que fueron probados, son los conocidos como estabilizadores de álabes rectos, los cuales tienen diferentes ángulos de salida y diferentes números de álabes.

Finalmente se analizó un nuevo grupo de estabilizadores, cuyo diseño ofrece dos ángulos diferentes, el primer ángulo corresponde a la entrada, el cual se fijó en 22.5 grados y un ángulo de salida, el cual se varió de 45 a 60 grados, además que también se varió el número de álabes.

Las pruebas que se realizaron a cada uno de los estabilizadores fueron:

1. Caída de presión con y sin estabilizador para determinar el coeficiente de descarga del quemador.
2. Zonas de recirculación, lo cual permitió conocer la forma del perfil de flama.
3. Perfiles de velocidad en las direcciones "X" y "Y".
4. Cálculo del número de giro y la determinación de la intensidad de turbulencia por medio de anemometría de hilo caliente.

15. ARREGLO DE LA TESIS.

La presente tesis consta de siete capítulos. El capítulo 1 presenta la introducción y objetivos del presente trabajo.

En el capítulo 2 se presenta la descripción del sistema de combustión de un generador de vapor de 158 MW, así como las variables que afectan la estabilidad de las flamas, se hace énfasis en el efecto de la turbulencia producida por el estabilizador en la formación del frente de flama.

En el capítulo 3 se da la explicación de los modelos y el análisis dimensional que hace válido el trabajo.

El capítulo 4 contiene la descripción del equipo experimental, así como los métodos de medición utilizados para la caracterización.

El capítulo 5 presenta los resultados obtenidos mediante gráficas que permiten definir el o los estabilizadores más eficientes.

En el capítulo 6 se presenta la interpretación de los resultados obtenidos.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones obtenidas con este trabajo, así como las sugerencias para la implantación del estabilizador más eficiente en una central de 158 MW., se presentan en el capítulo 7.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION DE UN GENERADOR DE VAPOR QUE UTILIZA QUEMADORES TANGENCIALES.

2.1. DESCRIPCION DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE COMBUSTION TANGENCIAL.

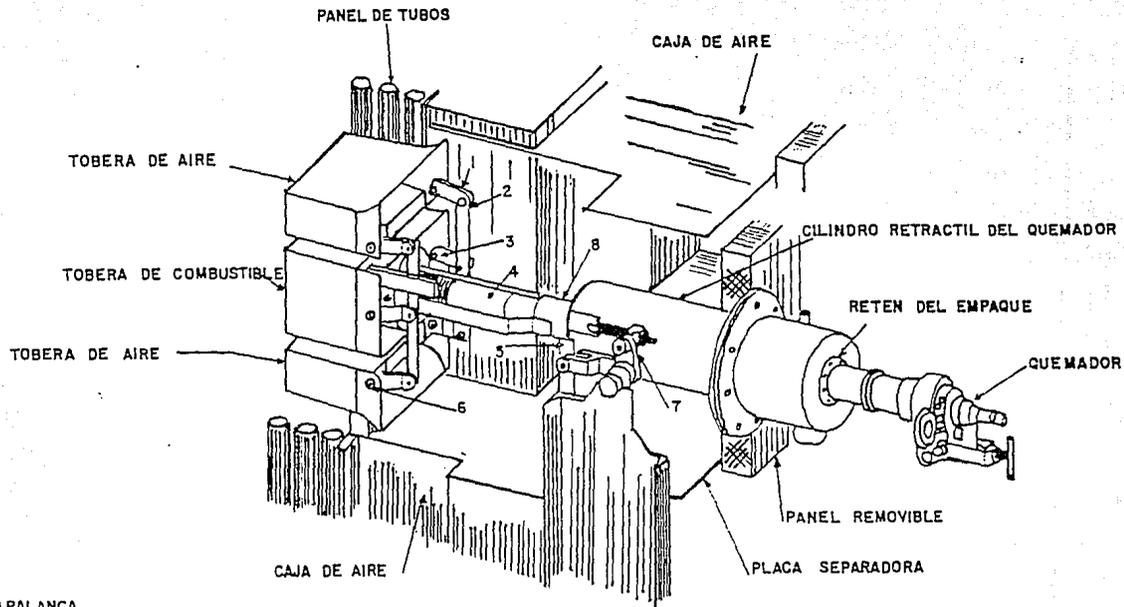
Los generadores de combustión tangencial, reciben este nombre debido a que durante su operación forman un ciclón de flamas en el hogar del generador.

Los quemadores tienen toberas de aire auxiliar y de aire de combustión principal, estos quemadores están instalados en cada esquina del hogar (cada unidad consta de 12 quemadores, cuatro quemadores por esquina), con su eje definiendo una línea tangente a un círculo imaginario en el centro del hogar (7).

El combustible atomizado y el aire de los quemadores producen un efecto ciclónico en el hogar, que ayuda a realizar en forma eficiente y rápida la mezcla de aire de combustión con el combustible, siendo lo anterior, uno de los factores principales para obtener combustión completa.

Cada quemador está provisto de un piloto que se encuentra adyacente al quemador, además de un detector de flama en su parte superior.

El quemador se compone de tres compartimientos de aire, uno para aire principal de combustión y dos para aire auxiliar, localizados arriba y abajo del compartimento de aire principal. A la entrada de cada compartimento de aire se localiza una compuerta distribuidora que regula el flujo de aire que entra al hogar. Un detalle de los componentes principales del quemador se presenta en la figura 2.1., la cual muestra el ensamble de los mismos. Cada compartimento del aire contiene las toberas inclinables que tienen del lado del hogar un material resistente al calor. Estas toberas pueden ser



- 1) PALANCA
- 2) ESLABON DE CONEXION
- 3) ESLABON DE MANEJO
- 4) TUBO DE SELLO
- 5) BARRA DE CONEXION
- 6) ENSAMBLE EJE ROTATORIO
- 7) MECANISMO DE AJUSTE DE LAS TOBERAS
- 8) TUBO-GUIA

FIGURA 2.1 PARTES PRINCIPALES DE UN QUEMADOR TANGENCIAL.

Inclinadas hacia arriba o hacia abajo 30 grados, ya sea en forma manual o en forma automática.

Las compuertas de las cajas de aire distribuyen éste a los diferentes compartimientos y además permiten regular los flujos de aire, con el objeto de obtener la mezcla más adecuada de aire y combustible atomizado en el hogar del generador. El total del flujo de aire es suministrado por los ventiladores de tiro forzado y la cantidad es controlada por las compuertas de succión de los mismos ventiladores.

Los factores más importantes que determinan la posición de las compuertas son : la estabilidad de la flama y la calidad de la combustión.

2.2. VARIABLES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LA FLAMA.

2.2.1. ESTABILIDAD DE LAS FLAMAS.

Para establecer la forma y la estructura de la flama, sus dimensiones, el grado de emisividad y por consiguiente el mecanismo de liberación de calor; es necesario conocer la cinética de las reacciones de oxidación, la aerodinámica del sistema, la geometría del hogar, el grado de turbulencia de los fluidos que intervienen, el estado de dispersión del combustible, la homogeneidad de la mezcla de la reacción así como el tipo de estabilizador usado.

El estabilizador de flama se encuentra localizado en el compartimiento de aire principal unido al cañón de atomización de combustible, como se muestra en la figura 2.2.

La función del estabilizador es la de crear una zona de baja presión frente a la ficha de atomización del combustible, formando así una zona de recirculación de gases de combustión lo suficientemente amplia, simétrica e intensa para asegurar un buen mezclado entre el aire de combustión y el combustible atomizado. La

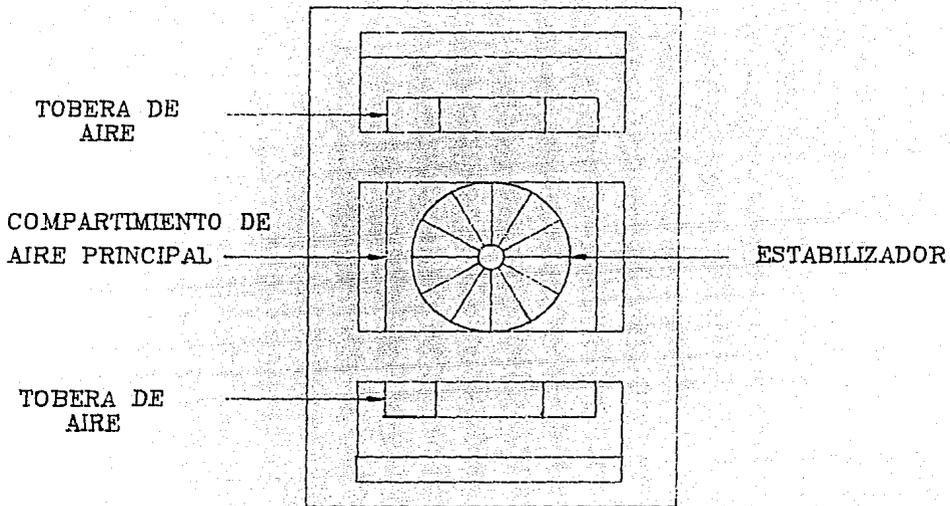


FIGURA 2.2. VISTA FRONTAL DEL COMPARTIMIENTO DEL QUEMADOR TANGENCIAL

zona de recirculación creada por el estabilizador es de gran importancia, porque ésta permite que los gases de combustión regresen y circulen cerca de la ficha de atomización, lo que ocasiona que las fracciones más volátiles del combustible se evaporen, lo anterior permite formar un frente de flama bien definido, lo que asegura en parte que el generador de vapor tenga una buena combustión y por consiguiente una mayor eficiencia térmica.

La figura 2.3, muestra de manera esquemática, el trazo de las líneas de corriente producidas por el estabilizador, mientras que la figura 2.4 compara las zonas de recirculación producidas por el estabilizador de plato con las producidas por un estabilizador de álabes (8).

Donde :

r = Distancia radial.

R_s = Radio de la ficha de atomización.

L = Longitud de la zona de recirculación.

D_{max} = Diámetro máximo de la zona de recirculación.

X = Distancia axial al plano de medición.

D = Diámetro de la ficha de atomización.

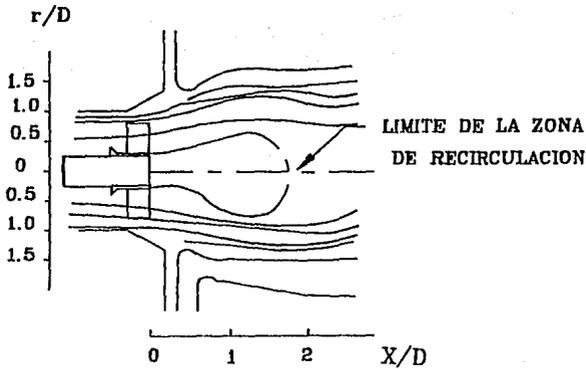


FIGURA 2.3. LINEAS DE CORRIENTE PRODUCIDAS POR UN ESTABILIZADOR.

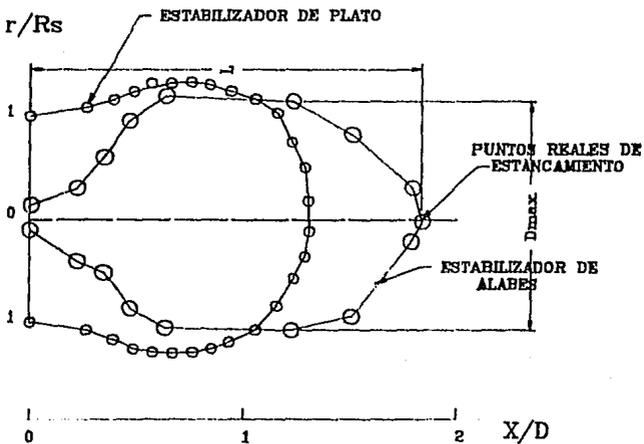


FIGURA 2.4. COMPARACION DE LAS ZONAS DE RECIRCULACION PRODUCIDAS POR UN ESTABILIZADOR DE PLATO Y UN ESTABILIZADOR DE ALABES.

Los principales factores que influyen en la formación de la zona de recirculación son:

1. La turbulencia que se le imparte al flujo.
2. La caída de presión producida por el estabilizador.
3. La forma del ducto de alimentación del quemador, así como su ángulo de salida.
4. Forma de la ficha de atomización.

La turbulencia impartida al flujo por el estabilizador depende de la geometría del mismo. Los parámetros geométricos del estabilizador que afectan la turbulencia impartida al flujo son:

1. Diámetros exterior e interior del estabilizador.
2. Forma del estabilizador.
3. Separación entre los álabes.
4. Ángulo de inclinación de los álabes.
5. Número de álabes.

2.3. EFECTOS DE LA TURBULENCIA SOBRE LA ESTABILIDAD DE LAS FLAMAS.

La turbulencia es el proceso físico más importante que afecta al fenómeno de la combustión. Esto corresponde al movimiento desordenado de los fluidos, con formación de un gran número de torbellinos que tienen interrelaciones simultáneas. Por lo anterior, la turbulencia en el fenómeno de la combustión incrementa la velocidad de difusión favoreciendo el mezclado entre el aire para la combustión y el combustible atomizado, este efecto es tan importante que se considera como factor controlante de la combustión.

Los movimientos turbulentos ejercen una acción determinante sobre la combustión, ya que los fluidos con turbulencia transportan porciones de mezclas reactivas dando lugar a flamas encrespadas y ondulantes; de este modo, la superficie del frente de flama sufre

una gran ampliación, por lo que se obtiene un aumento neto en la rapidez de liberación de calor.

EL movimiento turbulento provoca además un avance más rápido de la onda en la dirección de la mezcla inflamable que no ha reaccionado aún; esta particularidad se aprovecha en muchas aplicaciones industriales, ya que permite obtener producciones de calor más intensas y localizadas. Las propias flamas turbulentas son a su vez generadoras de fuerte turbulencia, como consecuencia de la expansión simultánea de los productos de combustión (9).

Los mayores cambios de la cantidad de movimiento que se verifican en el flujo turbulento, tienen por objeto aumentar la cantidad de comburente arrastrado por el chorro de combustible. El chorro turbulento de combustible arrastra por acción dinámica, un cierto volumen de aire, generando una región o zona de menor presión, por lo que una parte de los gases de combustión recircula hacia atrás para substituir al aire arrastrado, a este flujo se le da el nombre de " recirculación o reflujo ". La recirculación de fuertes cantidades de productos de la combustión muy calientes, favorecen por razones dinámicas, térmicas y cinéticas a la estabilización de la flama. Sin embargo, un aumento excesivo de la turbulencia puede producir efectos negativos y llevar a disminuciones del rendimiento térmico, en el caso extremo, puede producir la extinción de la flama (10).

2.4. MEDIDA DE LA INTENSIDAD DE TURBULENCIA.

Una de las formas de evaluar la turbulencia en un flujo dado es mediante la estimación de un parámetro conocido como "intensidad de turbulencia", el cual se define como (11):

$$I = \left[\frac{\frac{1}{2} q^2}{\bar{U}} \right]^{1/2}$$

Donde:

$\frac{1}{2} q^2$ = Es la energía cinética instantánea de la turbulencia por unidad de masa, dado por:

$$\frac{1}{2} q^2 = \frac{1}{2} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2)$$

\bar{u} , \bar{v} y \bar{w} son las componentes del vector velocidad en las direcciones X, Y y Z respectivamente.

\bar{U} = Velocidad media en el punto de medición.

Como se puede observar de las expresiones anteriores, el parámetro I establece la proporción existente entre la desviación estándar de las componentes de la velocidad y la velocidad media del flujo principal.

Para medir la intensidad de turbulencia producida por un flujo, se utiliza el anemómetro de hilo caliente, cuya descripción así como su principio de operación se presenta en el apéndice número 1.

CAPITULO 3

MODELOS Y ANALISIS DIMENSIONAL

3.1. CONDICIONES DE SIMILITUD EN FLUJOS TURBULENTOS.

Para poder realizar trabajos de modelación en caliente (con combustión), es necesario considerar diversos problemas, entre los que se pueden mencionar: el tipo de combustible, el manejo del mismo, los gases producidos en el proceso, las instalaciones y el equipo de medición, lo que ocasiona que el costo de la investigación se incremente considerablemente.

Al realizar estudios en modelos físicos se deben tomar en cuenta ciertas condiciones de similitud que hacen válidos los estudios en estos modelos. En general, los aspectos necesarios que hay que considerar para poder trabajar con un modelo físico de este tipo y así poder extrapolar los resultados obtenidos a la realidad son:

1. Semejanza Geométrica.
2. Semejanza Cinemática.
3. Semejanza Dinámica.
4. Semejanza Térmica.

Semejanza Geométrica. Esta semejanza se refiere a la dimensión longitud, la cual debe asegurarse que se cumpla antes de proceder a los ensayos. Una definición para esta semejanza es la siguiente: Un modelo y un prototipo son geoméricamente semejantes, si todas las dimensiones espaciales en las tres coordenadas tienen la misma relación de escala lineal. Cabe mencionar que en esta semejanza tanto los ángulos como las direcciones del flujo se conservan.

Semejanza Cinemática. Se da entre dos sistemas diferentes, si además de cumplir la similitud geométrica, las relaciones de velocidad en puntos correspondientes son iguales. (las líneas de corriente deben ser geoméricamente semejantes).

Semejanza Dinámica. Se tiene ésta, entre dos sistemas diferentes, si se cumplen las semejanzas geométrica y cinemática y además, si las relaciones de fuerzas en puntos correspondientes sean iguales. Por lo tanto para que exista similitud dinámica estricta, los números de Reynolds (Re), Mach (Ma), Froude (Fr) y Prandtl (Pr), deben de tener el mismo valor en ambos sistemas.

Semejanza Térmica. Los estudios hechos bajo semejanza térmica sirven para poder simular procesos que involucren transferencia de calor, cambios de densidad debido a fluctuaciones de temperatura, etc. No está dentro de los objetivos de esta tesis efectuar la simulación de los efectos de la combustión, para lo cual no es necesario respetar esta semejanza.

Las condiciones que se presentan en el comportamiento de quemadores de unidades generadoras que utilizan estabilizador de flama son:

- a. Se quema combustible líquido, en este caso combustóleo.
- b. La flama que se produce en este tipo de quemadores es del tipo difusiva.
- c. El chorro que sale del quemador está compuesto de dos chorros coaxiales, uno que se produce por la atomización del combustible y el que es producido por el aire de la combustión, los cuales se empiezan a mezclar a la salida del quemador.
- d. Se presenta el fenómeno de la turbulencia producido por la presencia del estabilizador.
- e. Las gotas del combustible no perturban el patrón del flujo por ser pequeñas (del orden de 100 micras), las cuales son arrastradas por la flama, lo que ocasiona que se evaporen rápidamente.

f. Las diferencias de densidad entre la flama y sus alrededores es considerable.

Debido a estas condiciones que presenta el quemador, se originan una serie de inconvenientes para poder realizar un modelado en caliente, las cuales se mencionan a continuación.

- El costo excesivamente alto que implica el diseño, construcción e instalación de una cámara de combustión, así como del compartimiento del quemador, respetando la semejanza geométrica entre modelo y prototipo.

- La instrumentación sumamente especializada y sofisticada que se requeriría para la medición, ya que es necesario contar con un instrumento que pueda soportar altas temperaturas y que a su vez no interfiera con el patrón de flujo.

-El altísimo costo que implicaría realizar los experimentos en la planta prototipo, ya que para obtener buenos resultados experimentales, es necesario variar las condiciones de operación, de las cuales algunas provocan bajas eficiencias térmicas en la planta, por lo que las pérdidas económicas se incrementan.

-En la actualidad se cuenta con instrumentos para realizar mediciones a altas temperaturas, como es el caso del anemómetro laser, sin embargo, este instrumento presenta el inconveniente de contar con personal especializado y con experiencia en el manejo de este tipo de instrumentos.

Otra alternativa es el uso de métodos numéricos para resolver las ecuaciones características del flujo producido por el quemador, si bien a la fecha ya se tienen buenos resultados al respecto, aún es difícil emplear estos métodos para fines de diseño. Además de que requieren ser validados experimentalmente.

Por ahora, las investigaciones con modelos experimentales en frío

son la alternativa más adecuada para resolver las dificultades presentes, ya que resultan ser menos costosas en proporción a los gastos de experimentación a nivel prototipo. Por otro lado es factible utilizar instrumentos convencionales de medición, tales como aquellos que se basan en el principio del tubo de Pitot; además de que el uso de modelos experimentales ha sido muy útil en los avances que ha tenido la Ingeniería.

Ahora bien para poder modelar un fenómeno tan complejo, es necesario realizar ciertas simplificaciones, que permitan realizar la modelación. Las simplificaciones que se tomaron en cuenta para esta modelación fluidodinámica en frío fueron:

1. La simulación se realiza con aire exclusivamente, por lo que no es posible representar la diferencia de velocidades que se presentan en los flujos bifásicos que se tienen en el quemador prototipo, ya que las velocidades de las gotas del combustible atomizado, no se pueden diferenciar de la velocidad promedio del flujo.

2. Se considera un flujo turbulento, completamente desarrollado, además, debido a que en el flujo no se tienen altas velocidades, no se presentan cambios significativos de presión y densidad, por lo que el flujo es Incompresible y subsónico.

3. Dado que se tiene un flujo turbulento, con el número de Reynolds mayor que 10 000, se desprecian los procesos de transporte molecular, ya que los procesos de transferencia de momentum, calor y masa están controlados por la fuerza de la viscosidad, las cual sólo dependen del número de Reynolds (12). Por lo anterior no es necesario considerar el número de Prandtl en el modelo igual al del prototipo.

4. El Número de Froude, (Fr) no se considera, ya que en un quemador las fuerzas de Inercia son mayores que las fuerzas de flotación.

5. No se tiene diferencia de densidades, por lo que no es necesario que se cumpla la semejanza térmica.

Por lo anterior, los criterios que permiten hacer válida la modelación y así poder extrapolar los resultados obtenidos en el modelo a la realidad, esto es, que sean aplicados al prototipo del quemador de una unidad de 158 MW son :

-Semejanza Geométrica.

-Semejanza Cinemática.

-Semejanza Dinámica.

Para cumplir con la semejanza geométrica, se construyó un modelo a escala 1:2 del compartimiento del quemador de acuerdo con los planos del sistema de combustión de una unidad generadora de 158 MW. La escala 1:2 se eligió debido a que ésta brinda la posibilidad de tener un modelo muy cercano a las dimensiones del prototipo, en el cual se puede sustituir alguna de las partes del modelo sin que exista mucha dificultad para realizarlo.

Para lograr la similitud cinemática y dinámica, es necesario que se cumpla la similitud geométrica y que además el número de Reynolds en el modelo sea igual al número de Reynolds en el prototipo.

Para calcular el número de Reynolds en el prototipo se cuenta con los siguientes datos (7).

$$\begin{aligned} V_a &= 64.0 \text{ m/s} \\ \nu_a &= 2.7584 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

La longitud característica para el quemador se calcula con el diámetro equivalente, el cual se define como:

$$De = \frac{4 A}{P}$$

Donde:

A es el área transversal del quemador.

P es el perímetro del área transversal del quemador.

De los planos del sistema de combustión de una unidad de 158 MW se tiene:

$$A = (0.630) (0.398) = 0.2507 \text{ m}^2$$

$$P = 2 (0.630 + 0.398) = 2.0563 \text{ m}$$

substituyendo se tiene:

$$De = \frac{4 (0.2507)}{2.0563} = 0.4877 \text{ m}$$

Por lo que el número de Reynolds para el prototipo es:

$$Rep = \frac{(64.0) (0.4807)}{2.75 \times 10^{-5}} = 1\ 131\ 786$$

Para alcanzar este número de Reynolds en el modelo se debe cumplir:

$$Vm = 2Vp$$

Substituyendo valores:

$$Vm = 2(64.0) = 128.0 \text{ m/s}$$

Por lo mencionado anteriormente, la condición para hacer válido el estudio es que el número de Reynolds en el modelo debe ser mayor que 10 000, de tal forma que para el cálculo del Reynolds en el modelo se utilizaron los siguientes datos:

$$P_{atm} = 640 \text{ mm de Hg.}$$

$$T = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 0.9984 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.88 \times 10^{-5} \text{ Kg/ m-s}$$

$$D_e = 0.2447 \text{ m.}$$

Los datos del ventilador son:

$$G_v = 2.8218 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$A_v = 0.2136 \text{ m}^2$$

$$V_v = 13.20 \text{ m/s}$$

La velocidad a la salida del modelo del quemador se calcula por la ecuación de continuidad:

El área del quemador a la salida es:

$$A_q = 0.0627 \text{ m}^2$$

$$V_q = \frac{2.8218}{0.2136} = 45.0 \text{ m/s.}$$

Finalmente el número de Reynolds en el modelo es:

$$Re_m = \frac{(45.0) (0.9984) (0.2447)}{1.88 \times 10^{-5}}$$

$$Re_m = 584 \text{ 780}$$

El número de Reynolds anterior asegura la semejanza dinámica, lo cual permite la extrapolación de los resultados a la realidad.

CAPITULO 4

EQUIPO EXPERIMENTAL Y PRUEBAS REALIZADAS.

4.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

Para efectuar la caracterización fluidodinámica de estabilizadores de flama utilizados en unidades generadoras de vapor, se construyó un modelo a escala 1:2 del compartimiento del quemador de una unidad generadora de 158 MW.

Los equipos de medición utilizados en la caracterización fueron:

- Tubo de Pitot.
- Sonda de 2 orificios.
- Sonda de 5 orificios.
- Anemómetro de hilo caliente.
- Posicionador de cuatro movimientos.
- Micrománometro.

El objetivo de la caracterización fue definir en base a un análisis comparativo de resultados, el efecto de la variación de los parámetros geométricos de los estabilizadores en la formación del frente de la flama, con base en esta comparación definir el o los estabilizadores más eficientes.

Para la caracterización, se seleccionaron y construyeron 11 modelos diferentes de estabilizadores de flama; el primer estabilizador es el que se utiliza en la central termoeléctrica Puerto Libertad, el cual ha presentado problemas de quemado, además de que sirvió como base de comparación para los otros estabilizadores.

El segundo grupo, son los conocidos como estabilizadores de álabes rectos con diferentes ángulos de salida y diferentes números de álabes.

Para complementar el estudio, se agregaron 6 modelos nuevos y diferentes de estabilizadores, los cuales tienen dos ángulos diferentes, el primer ángulo es el de entrada, el cual se fijó en 22.5° y un ángulo de salida, el cual se varió de 45° a 60° . El criterio de los ángulos se basó en que éstos son los que mejores resultados han presentado en trabajos anteriores.

Las figuras 4.1 y 4.1.1. son fotografías que muestran los estabilizadores que fueron analizados.

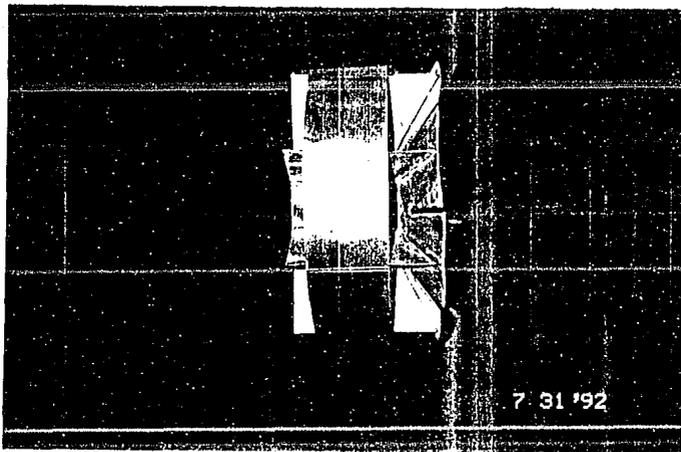


FIGURA 4.1. FOTOGRAFIA QUE MUESTRA EL ESTABILIZADOR UTILIZADO EN LA CENTRAL PUERTO LIBERTAD.

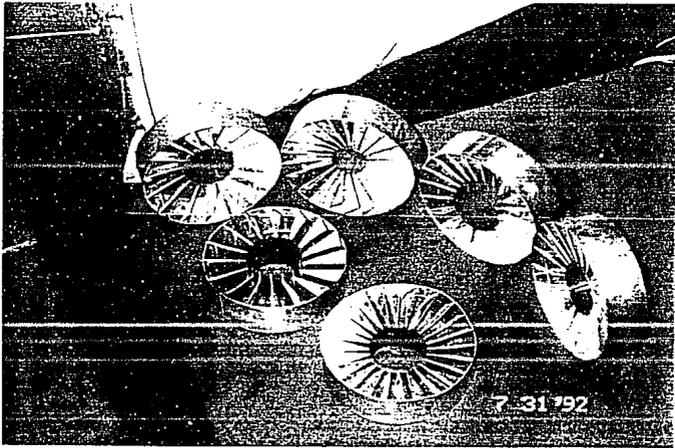
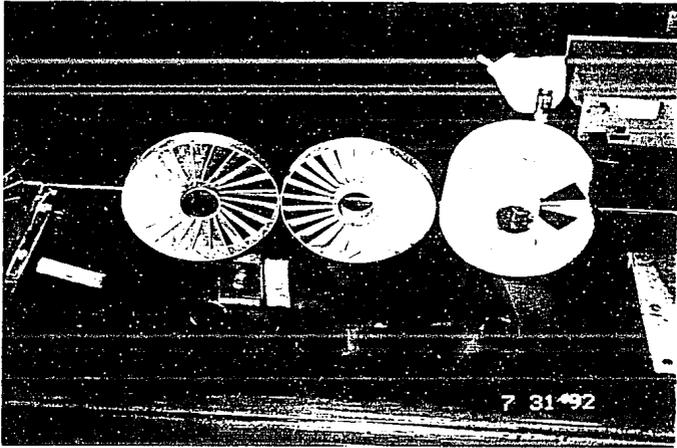


FIGURA 4.1.1 FOTOGRAFIAS QUE MUESTRAN LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTABILIZADORES ANALIZADOS.

4.2: DESCRIPCION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL.

El equipo experimental que se utilizó para la caracterización de los 11 estabilizadores, está constituido básicamente de los siguientes elementos:

MODELO DE ACRILICO.

La construcción del modelo del compartimiento del quemador, se llevó a cabo respetando el diseño proporcionado por la central termoeléctrica Puerto Libertad, los planos y dimensiones corresponden a un generador de vapor de 158 MW, que opera con quemadores tangenciales.

La escala 1:2, se eligió ya que ésta brinda la posibilidad de tener un modelo muy cercano a las dimensiones del prototipo, en el cual se puede substituir alguna de las partes del modelo, sin que exista mucha dificultad para realizarlo y obtener así resultados muy representativos de la realidad.

La construcción del modelo se realizó en diferentes etapas las cuales se describen a continuación:

1. Obtención de los planos de construcción del sistema de combustión. Esta actividad se realizó con el objeto de tener las dimensiones y características del compartimiento del quemador prototipo, los planos fueron proporcionados por el departamento mecánico de la central de Puerto Libertad. Los cuales se muestran en las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5.

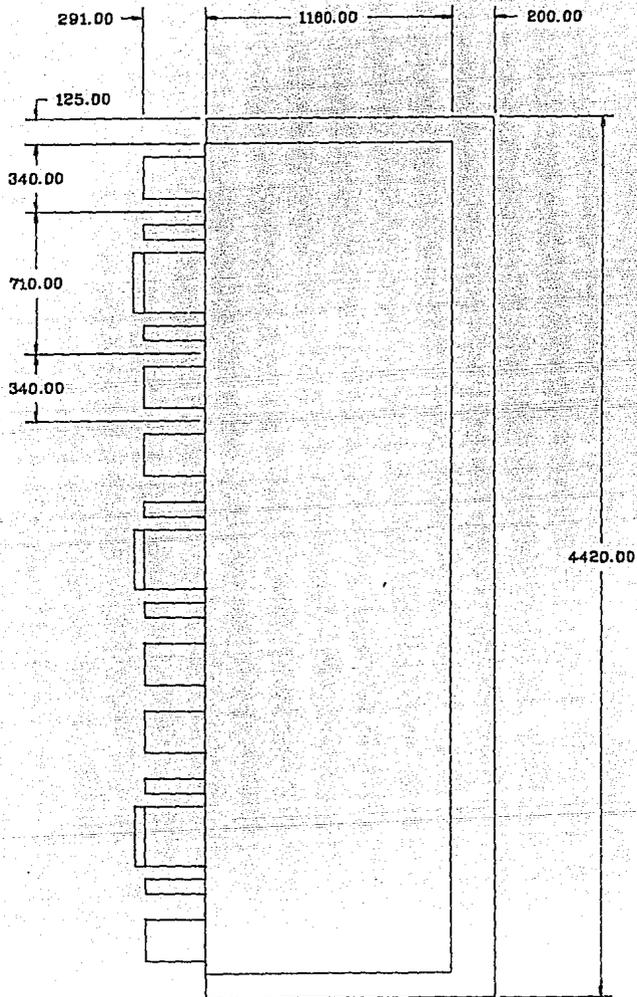


FIGURA 4.2. DISTRIBUCION DE LOS COMPARTIMIENTOS DE AIRE.

ESCALA 1:25

ACOTACIONES EN mm.

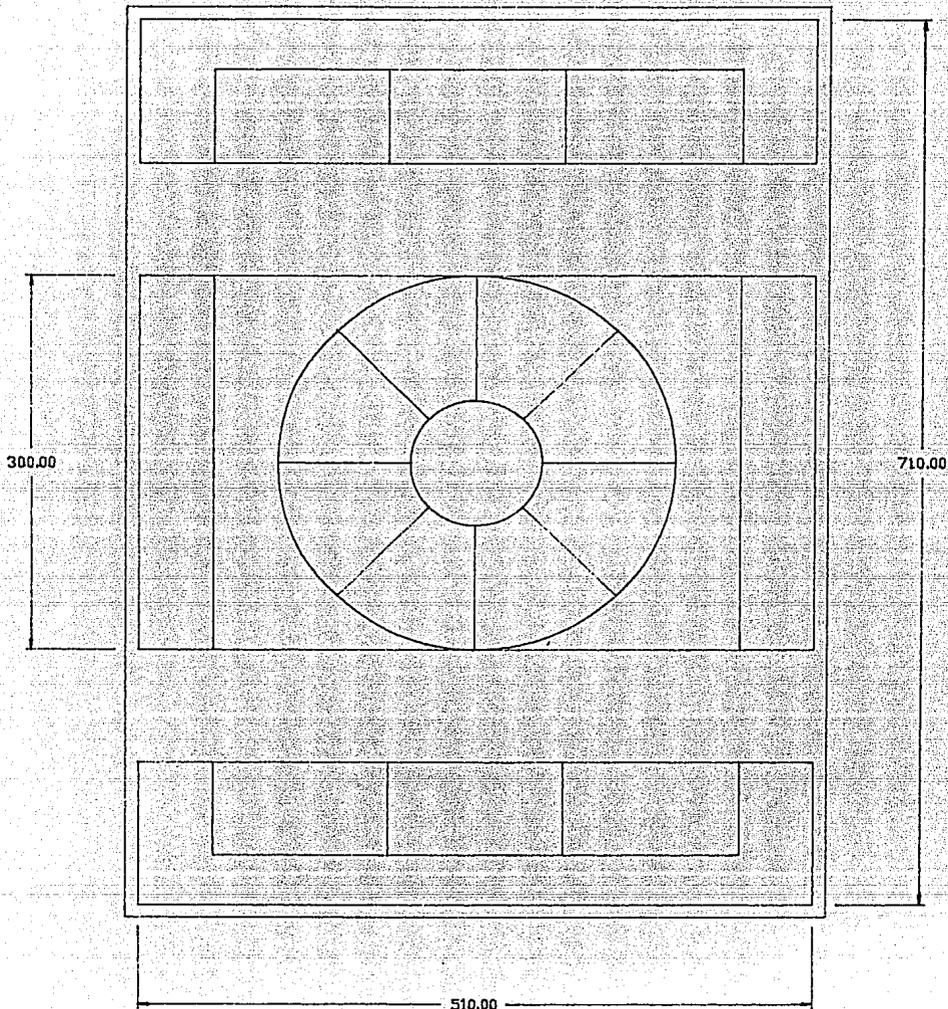


FIGURA 4.3. VISTA FRONTAL DEL COMPARTIMIENTO DEL QUEMADOR.

ESCALA 1:4

ACOTACIONES EN mm.

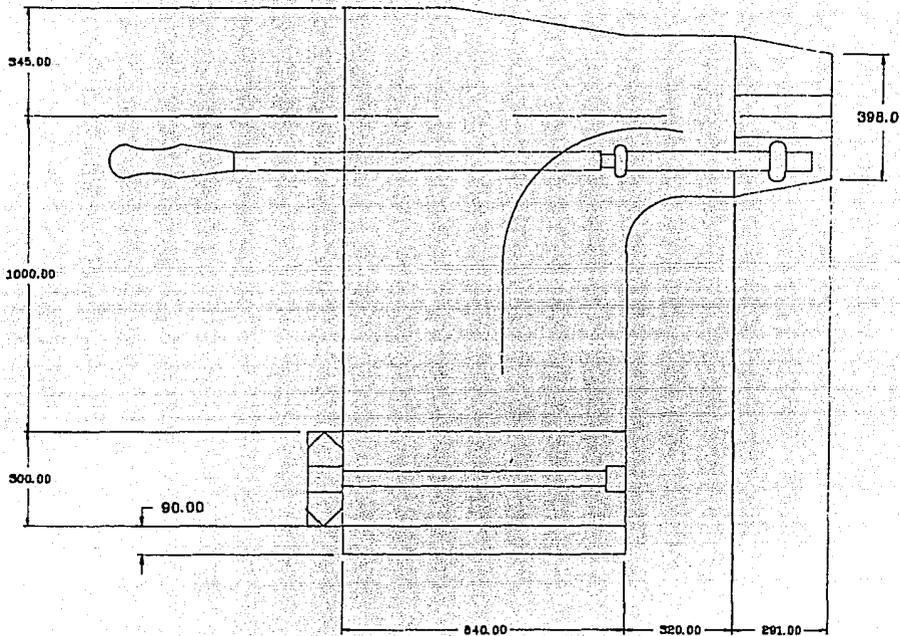


FIGURA 4.4. VISTA SUPERIOR QUEMADORES 1 Y 3.

ESCALA 1:15

ACOTACIONES EN mm.

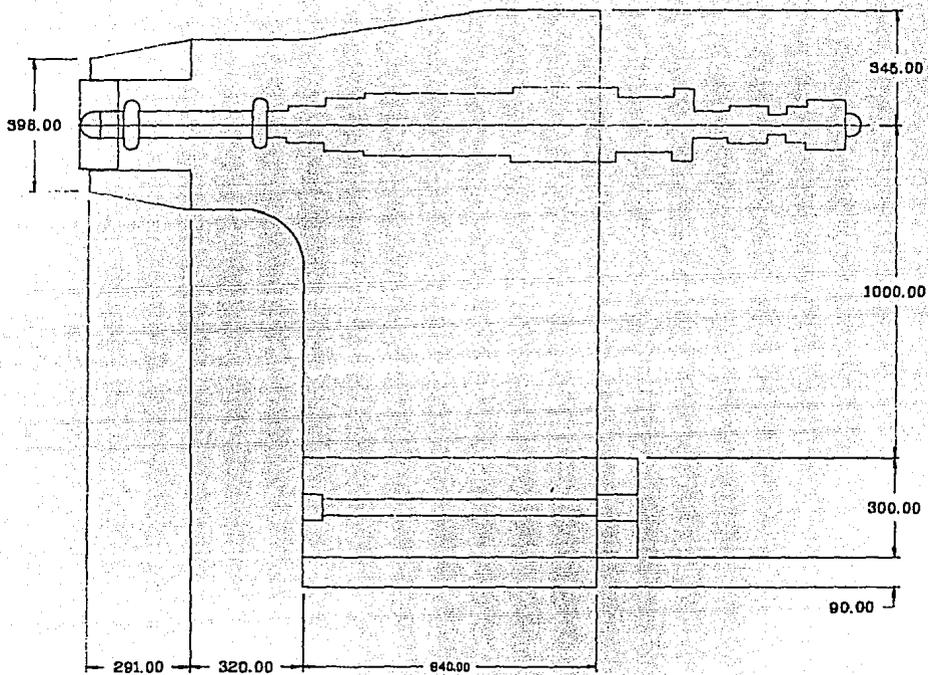


FIGURA 4.5. VISTA INFERIOR QUEMADORES 2 Y 4.

ESCALA 1:15

ACOTACIONES EN mm.

2. Elaboración de los planos de construcción del modelo a escala 1:2.

3. Selección del material. El material utilizado para la construcción del modelo fue acrílico transparente de 3 mm de espesor.

4. Elaboración de las plantillas de construcción.

5. Construcción y ensamble del modelo. Se construyó el compartimiento del quemador, así como las toberas de aire, las cuales se encuentran localizadas en la parte superior e inferior del compartimiento, Las plantillas a utilizadas se muestran a escala en las figuras 4.6 y 4.7 respectivamente.

Con el fin de tener un flujo sin perturbaciones, completamente desarrollado y con un perfil de velocidades simétrico, se decidió cambiar el ducto de alimentación con curvatura y deflector, por un ducto rectangular y recto, el cual en su parte final cuenta con una malla y orientadores de flujo, los cuales tienen por objetivo: uniformizar el flujo que pasa por el ducto. Para la construcción de los orientadores se respetaron las normas establecidas, las cuales son:

- Para orientadores: La longitud debe ser de 5 a 10 veces el ancho de la celda.

-Para mallas: debe tener de 1 a 2 mallas y el tejido debe ser de 1/4, 1/2 o 1 pulgada.

la figura 4.8. muestra las características de diseño del orientador, mientras que la figura 9 son fotografías que muestran la vista general del modelo.

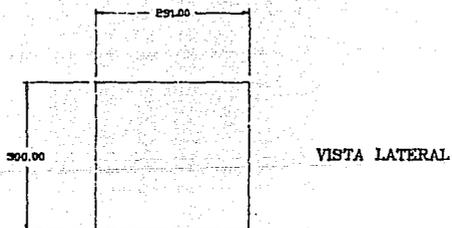
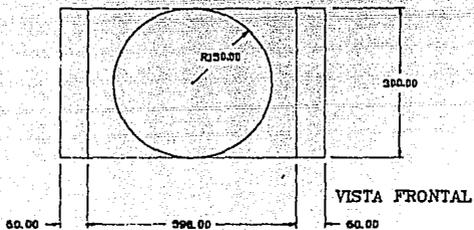
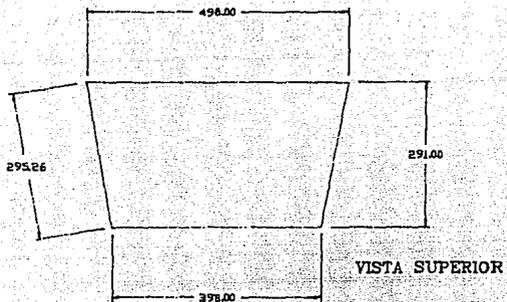


FIGURA 4.6. PLANTILLAS DE CONSTRUCCION DEL QUEMADOR.

ESCALA 1:10

ACOTACIONES EN mm.

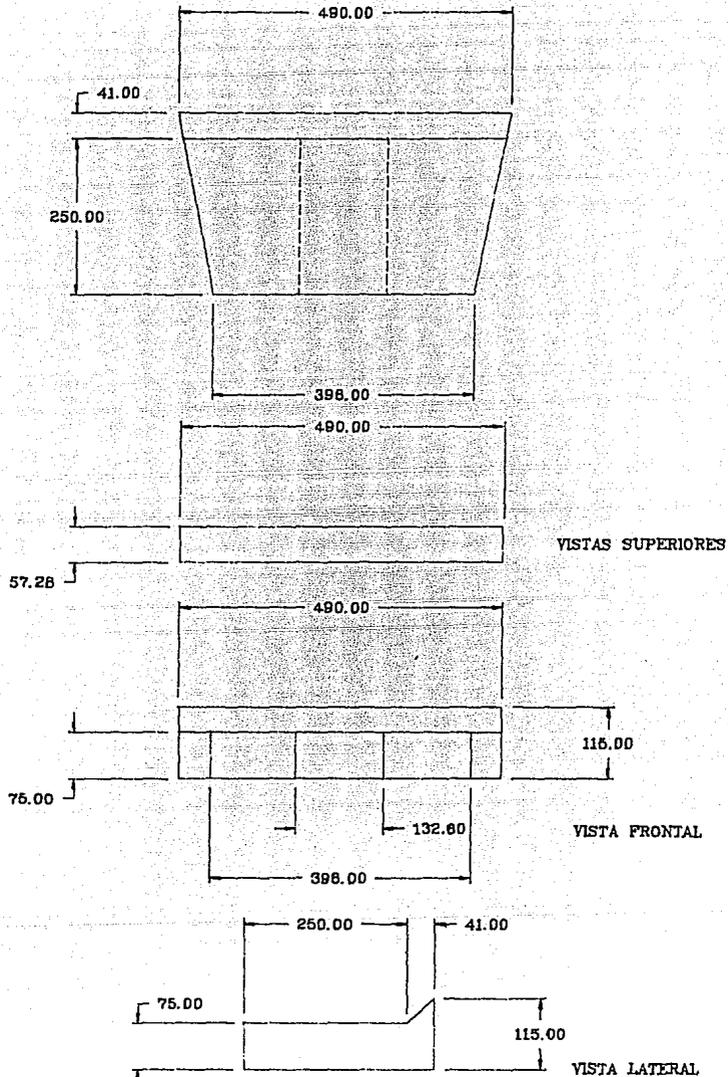
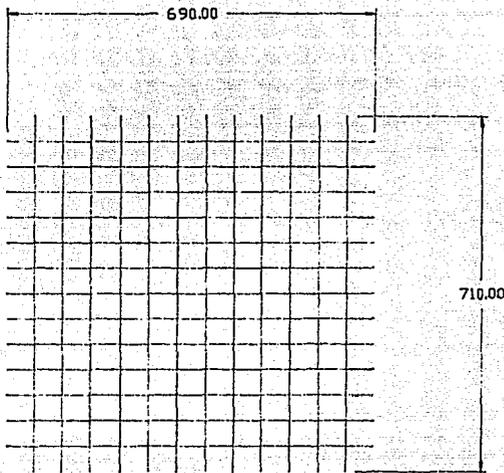
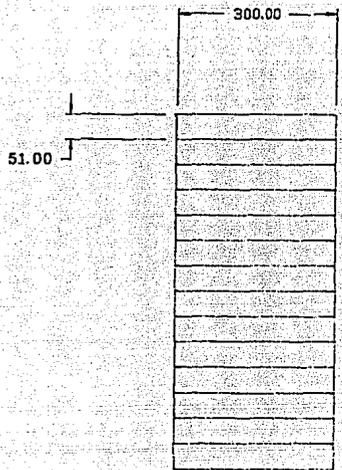


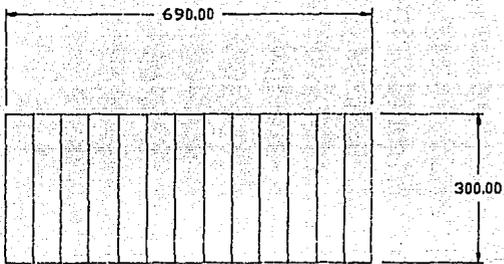
FIGURA 4.7. PLANTILLAS DE CONSTRUCCION DE LAS TOBERAS AUXILIARES
 ESCALA 1:8.
 ACOTACIONES EN mm.



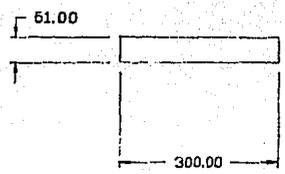
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR E INFERIOR



TABLILLAS PARA LA CONSTRUCCION DEL ORIENTADOR DE FLUJO

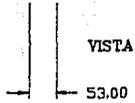


FIGURA 4.8. PLANTILLA DE CONSTRUCCION DEL ORIENTADOR.

ESCALA 1:10.

ACOTACIONES EN mm.

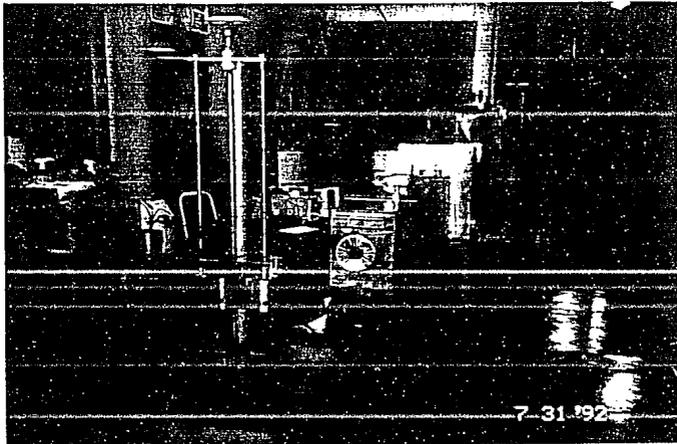
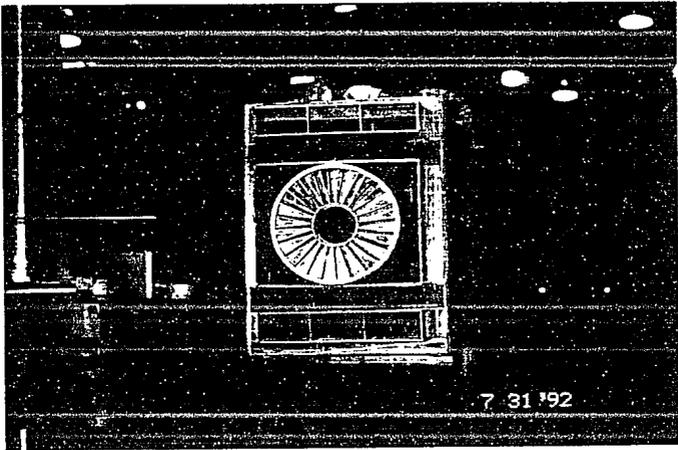


FIGURA 4.9 FOTOGRAFIAS QUE MUESTRAN LA VISTA GENERAL DEL MODELO.

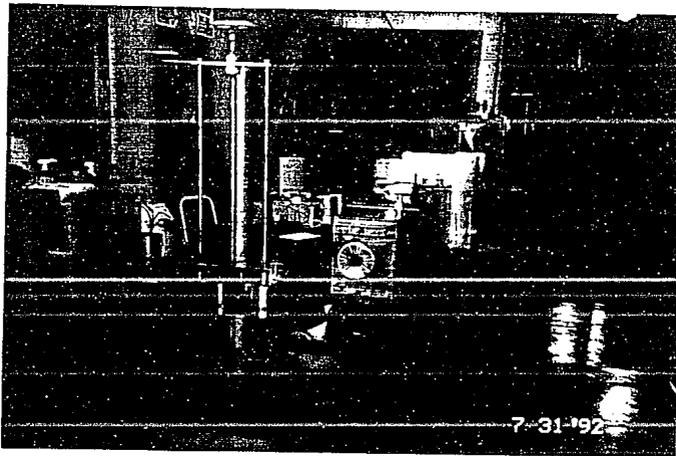
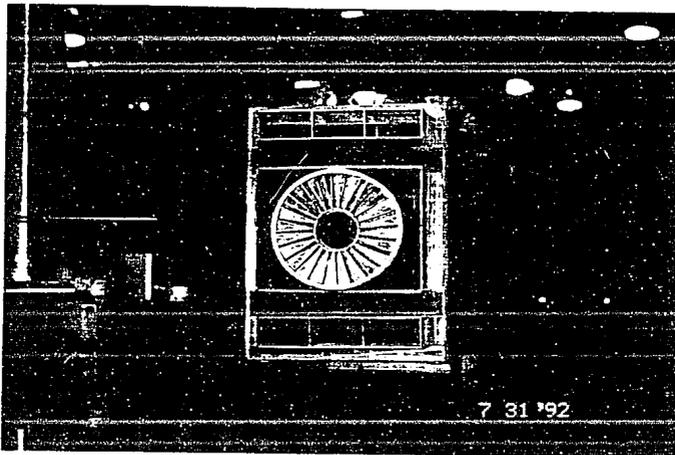


FIGURA 4.9 FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN LA VISTA GENERAL DEL MODELO.

Finalmente, para soportar el modelo, se construyó una estructura metálica, la cual tuvo como fin sostener el compartimiento del quemador junto con el ducto de alimentación, la malla y los orientadores.

VENTILADOR.

Las características del ventilador utilizado para el suministro de aire son:

-Potencia = 8 H.P.

-Voltaje = 220 V.

-Amperaje = 28 A.

-R.P.M. = 1730.

Flujo Volumétrico $5979 \text{ fts}^3/\text{min.} = 2.8 \text{ m}^3/\text{s.}$

Area de salida $2.2986 \text{ fts}^2 = 0.21 \text{ m}^2.$

Velocidad a la salida. $2600 \text{ fts}/\text{min.} = 13.2 \text{ m}/\text{s.}$

4.3. EQUIPO E INSTRUMENTACION UTILIZADA EN LA CARACTERIZACION.

En la caracterización en frío, se realizaron las siguientes mediciones; en el ducto de alimentación, presión dinámica y estática, mientras que a la salida del quemador, presión dinámica y voltajes asociados con la velocidad, en un plano central y a 3 diferentes distancias de la salida del aire a través del estabilizador.

Los instrumentos empleados en la experimentación fueron:

- Tubo de Pitot. El tubo empleado tiene una constante de calibración igual a 1, se empleó en el ducto de alimentación para medir la presión dinámica y estática del aire a fin de calcular el flujo másico (o volumétrico), así como el coeficiente de descarga.

- Sonda direccional de dos orificios. Sirvió para medir presiones dinámicas a la salida del quemador a diferentes distancias en el plano central, lo anterior permitió definir la zona de recirculación producida por cada uno de los estabilizadores.

- Sonda direccional de cinco orificios. Sirvió para medir las tres componentes de la velocidad a la salida del quemador y determinar el número de giro.

- Anemómetro de hilo caliente. Medición de voltajes, los cuales son asociados a las mediciones de velocidad y a su intensidad de turbulencia.

- Posicionador de cuatro movimientos. Mecanismo utilizado para posicionar los instrumentos en los puntos y los planos de medición.

- Micromanómetro. Para medición de presión estática, dinámica y de velocidad antes y después del estabilizador.

La figura 4.10 son fotografías que muestran los instrumentos de medición utilizados, mientras que la figura 4.11 muestra la posición así como los parámetros medidos con cada instrumento.

Las características de los instrumentos de medición fueron:

Tubo de Pitot: Exactitud=1.0%

Sonda de 2 orificios: Se calibró contra el tubo de Pitot y se determinó un coeficiente de correlación $r = 0.9965$

Sonda de 5 orificios: Para una diferencia de tan solo un grado del ángulo alfa correcto la diferencia entre $P_1 - P_2$ es 6% de la presión total medida por la sonda.

Anemometro de hilo caliente: Exactitud= 2.0% de 0-50 m/s
Resolución= .3 m/s

Vóltmetro R.M.S.: Exactitud = 0.5% de la escala de medición.

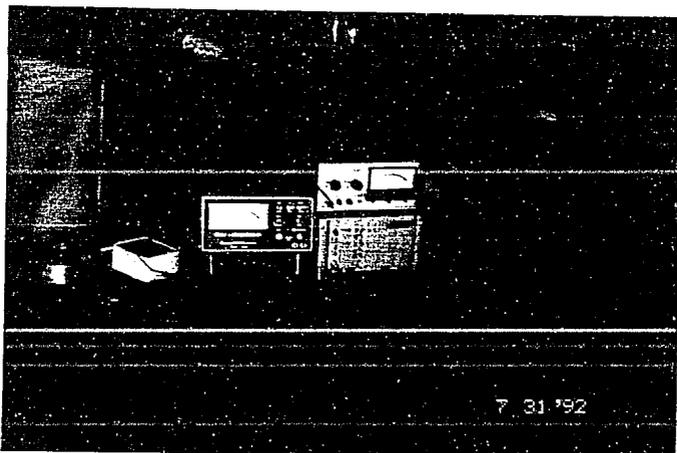
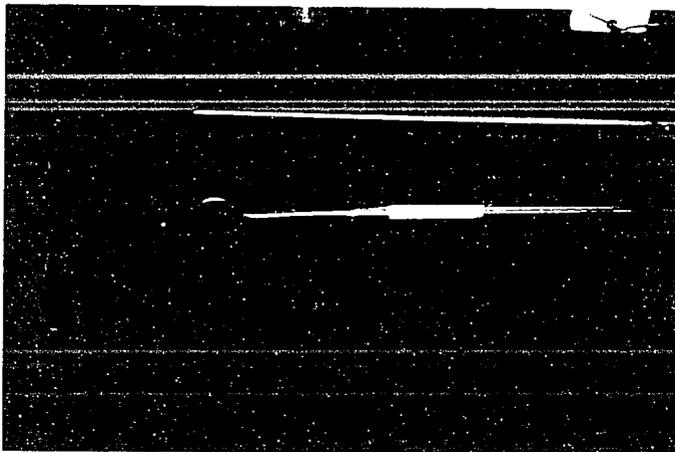
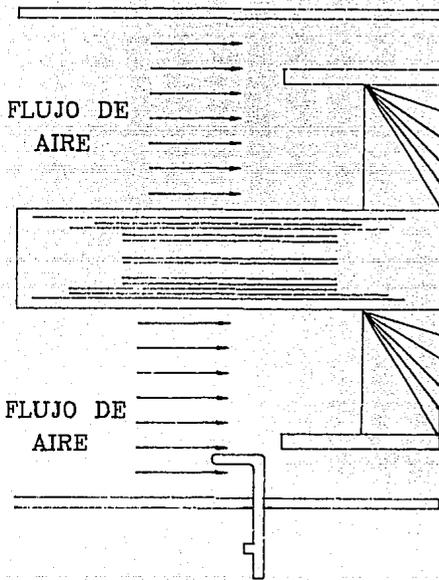


FIGURA 4.10 FOTOGRAFIAS QUE MUESTRAN LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACION DE ESTABILIZADORES.



TUBO DE PITOT
PRESION DINAMICA
EN EL DUCTO DE
ALIMENTACION.



HILO CALIENTE
VOLTAJES ASOCIADOS
A LA VELOCIDAD.



SONDA DIRECCIONAL DE 2 ORIFICIOS
ZONAS DE RECIRCULACION.



SONDA DE 5 ORIFICIOS
COMPONENTES DE LA
VELOCIDAD.

FIGURA 4.11. INSTRUMENTOS DE MEDICION Y PARAMETROS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACION DE LOS ESTABILIZADORES.

4.4. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS Y DE DISEÑO DE LOS ESTABILIZADORES ANALIZADOS.

Por diseño los estabilizadores de flama son fabricados con aceros aleados y sometidos a diversos tratamientos térmicos. Estas características son importantes, ya que en operación, estos estabilizadores se someten a altos flujos térmicos y esfuerzos mecánicos. Debido a que la caracterización se realiza con aire (sin combustión), los estabilizadores no se someten a flujos térmicos, ni esfuerzos mecánicos, por lo que para su construcción, se utilizó lámina de aluminio calibre 18, así como pegamento de tipo industrial para su ensamble.

En la tabla 4.1. se presentan las características principales de los 11 estabilizadores analizados.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS				
	Dext mm	Dint mm	No de alabes	Ang.entrada grados	Salida grados
Puerto Libertad	150	42	s/alabes	0	45
Alabes rectos	150	42	7	45	45
Alabes rectos	150	42	22	45	45
Alabes rectos	150	48	24	45	45
San Luis	150	56	16	90	50
I I E-1	150	56	16	22.5	50
I I E-2	150	56	20	22.5	50
I I E-3	150	38	22	22.5	50
I I E-4	150	56	24	22.5	50
I I E-5	150	56	24	22.5	60
I I E-6	150	48	24	22.5	45

TABLA 4.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS ESTABILIZADORES ANALIZADOS.

4.5. METODOS DE MEDICION UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACION.

El procedimiento para la evaluación de los estabilizadores consistió en la realización de 4 pruebas principales:

1. Determinación de los perfiles de velocidad en el ducto de alimentación con y sin estabilizador, así como el cálculo del coeficiente de descarga.
2. Determinación de las zonas de recirculación para cada estabilizador.
3. Determinación del número de giro en el plano central a 3 diferentes distancias (5,10 y 15 cm), para tres estabilizadores diferentes.
4. Determinación de los factores de turbulencia en el plano central a tres diferentes distancias para tres estabilizadores diferentes.

1. PERFILES DE VELOCIDAD EN EL DUCTO Y COEFICIENTE DE DESCARGA.

La primera parte de esta prueba consistió en determinar a la máxima capacidad del ventilador, los perfiles de velocidad con y sin estabilizador. Para el cálculo de la velocidad y por consiguiente el del flujo volumétrico (o másico), se realizaron mediciones en el ducto de alimentación en 16 puntos transversales al flujo para cada estabilizador, como se muestra en la figura 4.12. La norma empleada para la medición fue la EPA 8.

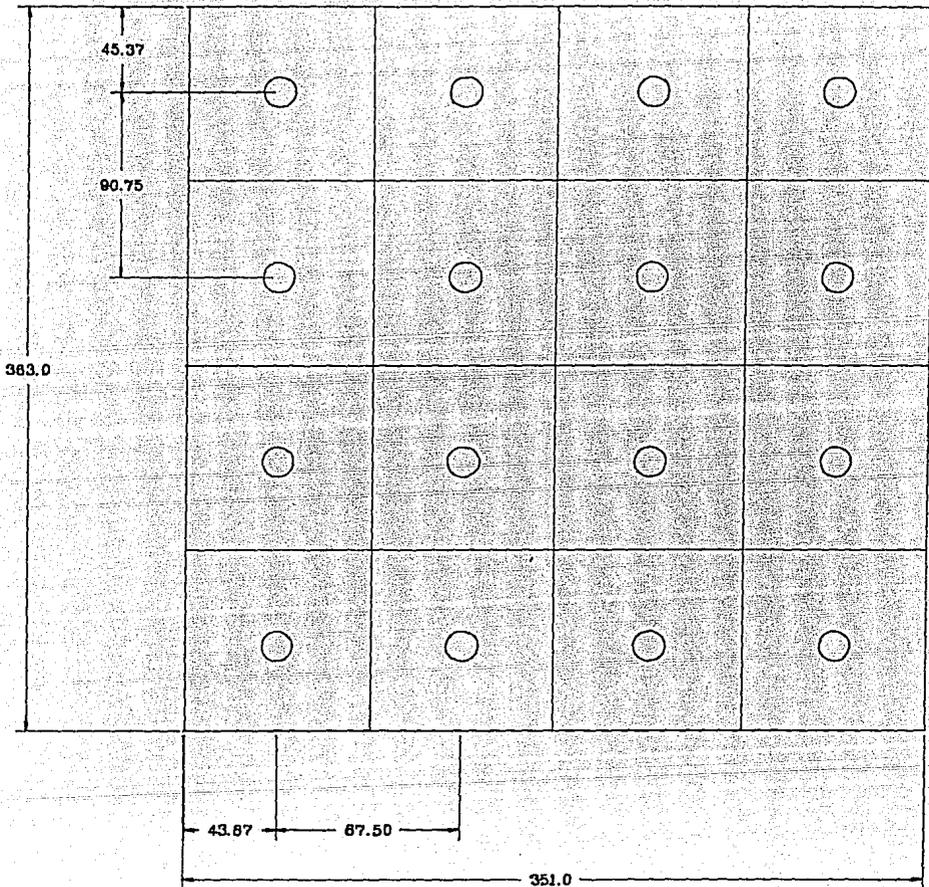


FIGURA 4.12. LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MEDICION EN EL DUCTO DE ALIMENTACION DEL QUEMADOR.
 SIN ESCALA
 ACOTACIONES EN mm.

La segunda parte consistió en determinar los coeficientes de descarga con y sin estabilizador, para el cálculo del coeficiente de descarga se utilizaron los valores de flujo teórico suministrado por el ventilador y el flujo real, el cual se determinó con las mediciones de velocidad en el ducto de alimentación del quemador.

Los cálculos del flujo teórico del ventilador y el flujo real se realizaron de la siguiente manera:

FLUJO TEORICO DEL VENTILADOR.

De los datos de diseño y con la densidad del aire calculada con la ecuación de los gases ideales se tiene:

$$G_v = 2.8 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$A_v = 0.21 \text{ m}^2.$$

$$V_v = 13.2 \text{ m/s}.$$

$$\rho = 0.9984 \text{ Kg/m}^3.$$

$$W_t = \rho G_v$$

$$W_t = 2.8172 \text{ kg/s}$$

FLUJO REAL DE AIRE.

Con los datos de velocidad medidos en el ducto de alimentación se calcula el flujo real de la siguiente manera:

$$G_r = \sum_{i=1}^{16} V_i A$$

donde: A es el area de medición.

$$A = 0.007963 \text{ m}^2.$$

$$W_r = \rho \sum_{i=1}^{16} V_i A$$

COEFICIENTE DE DESCARGA.

Toda vez que se determinaron los flujos tanto teóricos como reales, se procedió a calcular el coeficiente de descarga general del quemador.

El coeficiente de descarga se define como la razón del flujo real de aire en el quemador y el valor teórico del mismo.

$$CD = \frac{W_r}{W_t}$$

CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

W_r = Flujo Real en kg/s.

W_t = Flujo Teórico en kg/s.

Para comparar los resultados obtenidos para el coeficiente de descarga general, se desarrolló una expresión que permite calcular el mismo como función de la geometría del quemador, así como de la caída de presión debida al flujo de aire en el ducto y al estabilizador. De la misma expresión se puede calcular el coeficiente de descarga debido a la presencia del estabilizador.

4.6. FUNDAMENTO TEORICO PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA GENERAL DE UN QUEMADOR TANGENCIAL.

De la ecuación de continuidad:

$$m = \rho VA \quad (4.1)$$

donde:

m = flujo másico (kg/s).

ρ = Densidad (kg/m³).

V = Velocidad (m/s).

A = Area (m²)

y de la definición del coeficiente de descarga:

$$CD = \frac{\text{FLUJO MASICO REAL}}{\text{FLUJO MASICO IDEAL}} = \frac{m_{\text{real}}}{m_{\text{ideal}}}$$

$$m_{\text{real}} = CD * m_{\text{ideal}} \quad (4.2)$$

al sustituir la ecuación (4.1) en (4.2) se tiene:

$$m_{\text{real}} = CD(\rho VA)$$

despejando la velocidad se tiene:

$$V = \frac{m_{\text{real}}}{\rho A CD} \quad (4.3)$$

Si el sistema tiene un flujo estacionario e incompresible, la caída de presión en cualquier punto puede ser expresada por:

$$\Delta P = \frac{\rho V^2}{2} \quad (4.4)$$

Al sustituir V de la ecuación (4.3) en la ecuación (4.4):

$$\Delta P = \frac{(m_{\text{real}})^2}{2\rho A^2 CD^2}$$

Finalmente al despejar CD:

$$CD = \left[\frac{(m_{\text{real}})^2}{2\rho A^2 \Delta P} \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

La ecuación (4.5) permite calcular el coeficiente de descarga general del quemador como función del flujo másico, la caída de presión y el área del quemador.

Si el conducto del quemador es circular; el área es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.6)$$

Al sustituir la ecuación (4.6) en la ecuación (4.5) se tiene:

$$CD = \left[\frac{8 (m_{real})^2}{\pi^2 \rho D^4 \Delta P} \right]^{1/2} \quad (4.7)$$

La ecuación (4.7) permite calcular el coeficiente de descarga del quemador, si el ducto de alimentación del aire es circular.

Ahora bien, si el ducto del quemador es rectangular, como es el caso de un quemador tangencial, es conveniente relacionar el área del ducto de alimentación con el diámetro hidráulico. Este está definido por:

$$D_h = \frac{4 A_t}{P}$$

Por lo que para un quemador tangencial que tiene el ducto de alimentación de aire en forma rectangular, su coeficiente de descarga puede ser expresado en función del diámetro hidráulico, del flujo másico y de la caída de presión que produce, de la siguiente manera:

$$CD = \left[\frac{8 (m_{real})^2}{\pi^2 \rho D_h^4 \Delta P} \right]^{1/2} \quad (4.8)$$

El diagrama del quemador tangencial se muestra en la figura 4.13.

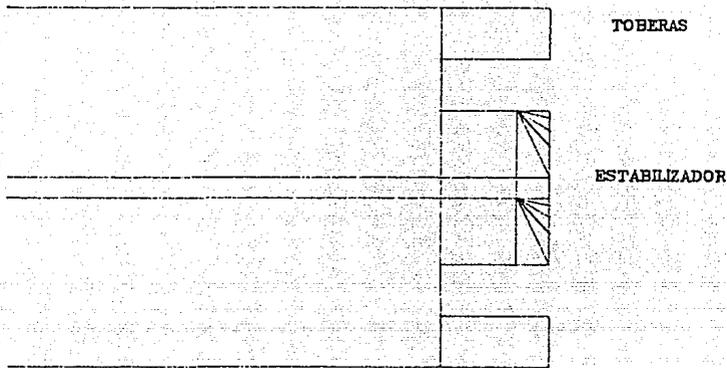


FIGURA 4.13. DIAGRAMA DE UN QUEMADOR TANGENCIAL.

Para poder conocer el coeficiente de descarga debido al estabilizador, es necesario hacer una analogía entre el quemador y un sistema de tuberías. Como se sabe, para calcular las caídas de presión en un sistema de tuberías es necesario cumplir con las siguientes reglas:

Para tuberías en serie:

1. El flujo másico es el mismo en todas las tuberías. Matemáticamente se expresa como:

$$m_{\text{total}} = m_1 = m_2 = m_3 \dots \dots \dots = m_n$$

$$\rho VA = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \dots \dots \dots = \rho n A n V n$$

2. La caída de presión total es igual a la suma de las caídas de presión en cada tramo. Matemáticamente se tiene:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n$$

mientras que para tuberías en paralelo:

1. El flujo másico es igual a la suma de los flujos másicos individuales.

$$m_{\text{total}} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n$$

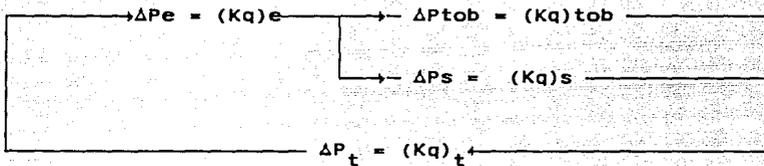
2. La caída de presión es la misma en todos los ductos:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_1 = \Delta P_2 = \dots = \Delta P_n$$

La caída de presión en cualquier parte del quemador se puede expresar como:

$$\Delta P = B * \frac{(m_{\text{real}})^2}{Dh^4 CD^2}$$
$$B = \frac{8}{\pi^2 \rho}$$

La figura 4.14. muestra la caída de presión de un quemador en un arreglo serie-paralelo.



Donde los subindices significan:

- e = Entrada.
- tob = Toberas.
- s = Estabilizador.
- t = Total.

FIGURA 4.14 CAIDA DE PRESION DE UN QUEMADOR EN UN ARREGLO SERIE-PARALELO.

Al hacer un cambio de variable y al aplicar las reglas de las caídas de presión en tuberías a la figura 4.14 se tiene:

$$K = \frac{1}{C^5} = \text{Coeficiente de pérdidas.}$$

$$q = \frac{B M^2}{D^5} = \text{Presión Dinámica.}$$

$$M = \text{Flujo másico real} = m_{\text{real}}$$

$$(Kq)_t = (Kq)e + (Kq)t_{ob} \quad (4.9)$$

$$(Kq)_t = (Kq)e + (Kq)s \quad (4.10)$$

Igualando (4.9) con (4.10) se tiene:

$$(Kq)t_{ob} = (Kq)s \quad (4.11)$$

Ahora bien al usar la condición del diámetro hidráulico para las toberas:

$$(Dh_{tob})^2 = (Dh^2 - ds^2) \quad (4.12)$$

$$M_{tob} = M_t - M_s \quad (4.13)$$

Al sustituir las ecuaciones (4.12) y (4.13) en (4.11) se tiene:

$$K_{tob} \frac{(M_t - M_s)^2}{(Dh^2 - ds^2)} = K_s \frac{M_s^2}{ds^2}$$

Sacando raíz cuadrada y factorizando se obtiene la expresión para el flujo másico total:

$$M_t = M_s \left(\frac{(k_s/k_{tob})^{1/2} (D_h^2 - d_s^2)}{d_s^2} + 1 \right)$$

Finalmente:

$$\left(\frac{M_s}{M_t} \right)^2 = \frac{d_s^4}{\left(d_s^2 + \left(\frac{k_s}{k_{tob}} \right)^{1/2} (D_h^2 - d_s^2) \right)^2} \quad (4.14)$$

Al sustituir la ecuación (4.14) en la ecuación (4.10), el coeficiente de pérdidas totales del sistema se puede expresar como función de los diferentes coeficientes de pérdida de cada uno de los elementos del quemador y de las características geométricas de cada uno de los componentes del quemador, de la siguiente manera:

$$K_t = K_e + \frac{1}{\left(\frac{1}{(K_s)^{1/2}} \left(\frac{d_s}{D_h} \right)^2 + \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}} \left(1 - \left(\frac{d_s}{D_h} \right)^2 \right) \right)^2} \quad (4.15)$$

Para el cálculo del coeficiente de descarga del quemador y para la expresión que calcula el coeficiente de descarga general, es necesario tomar una serie de resultados obtenidos durante las mediciones, por lo que los resultados obtenidos se presentan en el siguiente capítulo.

Las pruebas 2,3 y 4 contemplan la obtención de los parámetros que entran en función, una vez que el fluido pasa a través del estabilizador y se descarga a la atmósfera.

La prueba 2, contempla la obtención de las zonas de recirculación que produce cada uno de los estabilizadores, la prueba 3 implica la medición de las tres componentes de la velocidad para la determinación del número de giro y finalmente la prueba 4, se mide la intensidad de turbulencia producida por 3 diferentes estabilizadores mediante anemometría de hilo caliente.

Todas las mediciones se realizaron en un plano central a la máxima capacidad del ventilador a 3 distancias diferentes de la salida del aire a través del estabilizador.

4.7. DETERMINACION DE LAS ZONAS DE RECIRCULACION PRODUCIDA POR CADA ESTABILIZADOR.

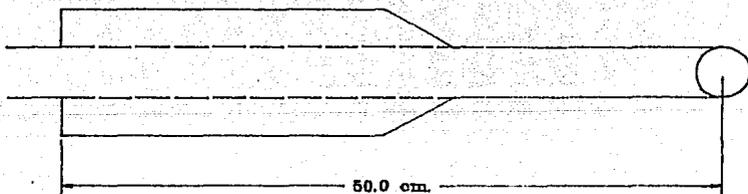
Para determinar las zonas de recirculación producida por cada uno de los estabilizadores, fue necesario construir una sonda direccional de 2 orificios, la cual permite medir y describir cuantitativamente la zona de recirculación.

El material de construcción de la sonda fue "tubing" de 1/16. La figura 4.15 muestra las dimensiones de la sonda. Esta sonda tiene como característica que los orificios se encuentran opuestos entre sí 180° uno del otro, la separación entre los orificios es 10 mm y los orificios son de 1 mm de diámetro. Para la conexión de la sonda al micromanómetro se utilizó manguera de polivinilo.

La calibración de la sonda se realizó contra un tubo de Pitot, cuya constante de calibración es 1, la sonda y el tubo se colocaron dentro del ducto de alimentación del aire al quemador en el mismo plano y separados una distancia de 10 mm, sin existir perturbaciones y sometidos ambos a las mismas condiciones de presión y temperatura. La figura 4.16 muestra la curva de calibración de la sonda. La calibración de la sonda tuvo por objetivo, medir la presión dinámica en la zona de recirculación y a su vez mediante el empleo de un programa de cómputo, (el cual se anexa en el Apéndice 2) determinar los valores correspondientes de velocidad que se tienen en la zona de recirculación.

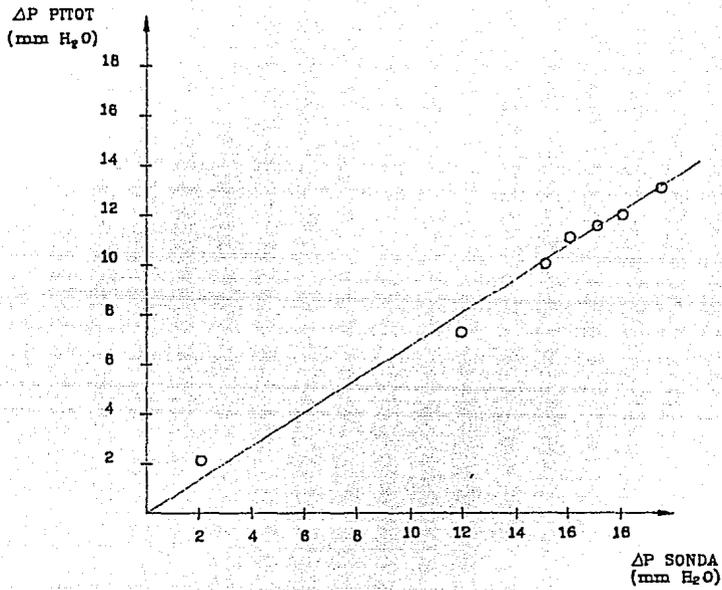


VISTA LATERAL, SONDA DE 2 ORIFICIOS, POSICION 90°



VISTA LATERAL, SONDA DE 2 ORIFICIOS, POSICION 0°

FIGURA 4.15. DIMENSIONES DE LA SONDA DE 2 ORIFICIOS.



$$\Delta P (\text{PITOT}) = 0.7 \Delta P(\text{SONDA})$$

FIGURA 4.16. CURVA DE CALIBRACION DE LA SONDA DIRECCIONAL.

DETERMINACION DE LA ZONA DE RECIRCULACION.

La forma para determinar la zona de recirculación producida por cada estabilizador fue la siguiente:

Se colocaba la sonda de 2 orificios en el posicionador de 4 movimientos a la orilla del compartimiento del quemador a una distancia de 1 cm a la salida del quemador. Se procedía a avanzar la sonda por medio del posicionador una distancia de 4 mm (una vuelta de la manivela del posicionador), hasta hacer un barrido a lo largo del eje perpendicular del chorro y se medía la presión dinámica con la sonda. El inicio de la zona de recirculación (puntos de estancamiento), se determinó cuando en el micromanómetro se tenía una lectura aproximada a cero, para posteriormente tener lecturas de presión negativa, lo cual implica un cambio de dirección en el flujo, hasta encontrar nuevamente el punto de estancamiento.

La operación se repetía cada centímetro (2,3,4,.....etc), de distancia a la salida del quemador, hasta que se tenían solamente valores positivos de presión dinámica. El perfil de la zona de recirculación se dibuja uniendo todos los puntos de estancamiento.

La técnica de medición para la zona de recirculación se muestra en la figura 4.17, asimismo se muestra el trazo de la misma.

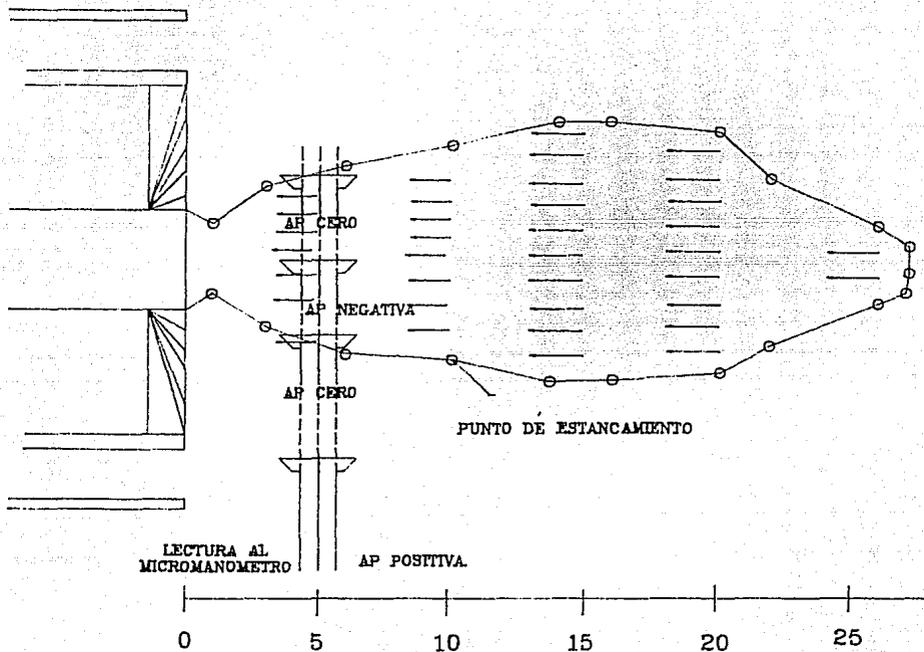


FIGURA 4.17. TECNICA DE MEDICION Y TRAZO DE LA ZONA DE RECIRCULACION.

4.8. DETERMINACION DEL NUMERO DE GIRO.

El número de giro se define como:

$$Ns = \frac{G\phi}{(Gx)R}$$

Donde:

$G\phi$ = Flujo axial del momento angular.

Gx = Flujo axial del momento longitudinal.

R = Radio del quemador.

$$G\phi = 2\pi\rho \int_0^R U W r^2 dr$$

$$Gx = 2\pi\rho \int_0^R U^2 r dr + \int_0^R P r dr.$$

donde:

U = Componente axial del vector velocidad (componente en X).

V = Componente radial del vector velocidad (componente en Y).

W = Componente tangencial del vector velocidad (comp. en Z).

ρ = Densidad.

P = Presión estática.

Para determinar los componentes de la velocidad, se utilizó una sonda direccional de 5 orificios. En principio este equipo se compone de la sonda y un micrománometro, la operación de la sonda para obtener las diferentes presiones no es difícil,; mientras que para el cálculo de las velocidades así como el número de giro se necesita un amplio programa de cómputo (Apéndice 2).

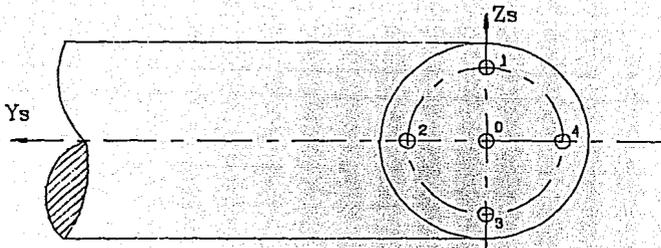
La sonda se compone de una cabeza (diámetro de 5 mm) y en ella se distribuyen 5 orificios de 4 mm de diámetro. El orificio central, el cual se toma como cero de referencia, está situado en el eje de las X's de la punta de la cabeza. Con relación a este orificio (0), los otros cuatro orificios (1-4), tienen un ángulo de salida de 45°

y entre sí 90° como se muestra en la figura 4.18.

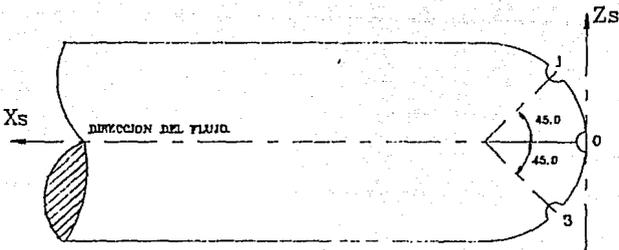
Para evitar perturbaciones al flujo en las cercanías del punto de medición, la cabeza y el cuerpo de la sonda están conectados por un cuello de cisne.

El principio de operación, medición y calibración así como la determinación del vector velocidad, se describen en la referencia (2).

Las mediciones con la sonda direccional se realizaron en el plano central a 5, 10 y 15 cm de distancia de la salida del aire a través del estabilizador.



VISTA FRONTAL, SONDA PITOT.



VISTA LATERAL, SONDA DE PITOT.

FIGURA 4.18. POSICION DE LOS ORIFICIOS DE LA SONDA.

4.9. DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE TURBULENCIA.

Para la determinación de la intensidad de turbulencia en una sola dirección producida por los estabilizadores, se utilizó un equipo de anemometría de hilo caliente junto con un voltmetro R.M.S., ambos equipos marca DISA.

El equipo de anemometría consta de las siguientes partes:

1. Unidad de valor medio.
2. Circuito Linealizador.
3. Puente de Wheatstone.

Debido a que las mediciones realizadas con el anemómetro y el voltmetro R.M.S. son voltajes, es necesario traducir estos resultados a sus valores correspondientes de velocidad, por lo que fue necesario realizar una curva de calibración para el hilo sensor empleado. La curva de calibración consiste en trazar puntos de los valores de voltaje correspondientes a velocidades conocidas de flujos de referencia. Estos flujos se pueden obtener con el equipo de calibración marca DISA modelo 55D44.

El hilo sensor fue calibrado con este equipo, por lo que sólo se realizó una comprobación de esta calibración contra un medidor digital de temperatura y velocidad de aire marca Kurz, en el tunel de viento que se encuentra localizado en las instalaciones del I.I.E.

El hilo sensor y el medidor se colocaron dentro de la zona de prueba del tunel de viento en el mismo plano y separados aproximadamente 10 mm, sin existir perturbaciones y sometidos ambos a las mismas condiciones de presión y temperatura. Como el equipo de anemometría cuenta con el circuito linealizador, las lecturas de voltaje se tomaron directamente sobre el medidor de escala lineal.

El sensor de velocidad del medidor digital es también un anemómetro de temperatura constante, el cual mide la velocidad a condiciones estándar (25°C y 760 mm de Hg), por lo que es necesario corregir por densidad para obtener la velocidad real, esta corrección se realiza de la siguiente manera:

$$V_{\text{real}} = V_{\text{ind}} \left(\rho_s / \rho_a \right)$$

Donde:

V_{real} = Velocidad real.

V_{ind} = Velocidad indicada en el medidor.

ρ_s = Densidad del aire en condiciones estándar.

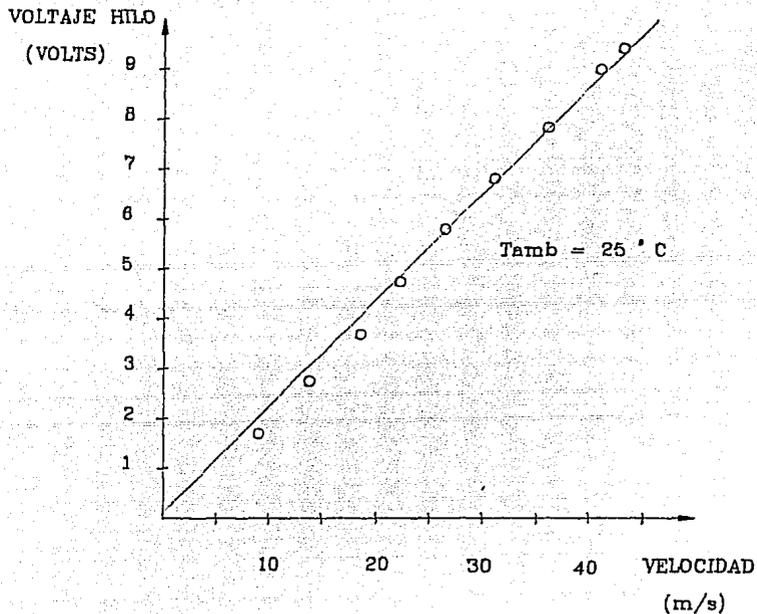
ρ_a = Densidad del aire en condiciones locales de presión y temperatura.

La tabla 4.2 presenta los valores de voltaje en el hilo, así como sus correspondientes valores de velocidad corregidos por densidad, obtenidos para la curva de calibración del hilo sensor, mientras que la figura 4.19 muestra la curva de calibración que se utilizó para la determinación de la intensidad de turbulencia.

¿ y cual es la contrastación de las dos calibraciones ?

VOLTAJE HILO (V)	VELOCIDAD MEDIDOR DIGITAL (m/s)	VELOCIDAD CAL. (m/s)
1.62	9.15	9.10
2.70	13.66	13.58
3.75	18.30	18.02
4.80	22.20	22.10
5.90	26.84	26.63
6.90	31.23	31.13
7.90	36.90	36.75
9.00	40.90	40.72
9.20	42.70	42.19

TABLA 4.2. VALORES OBTENIDOS PARA LA CURVA DE CALIBRACION DEL HILO SENSOR.



$$E = 0.2192 V - 0.094$$

$$r = 0.9979$$

FIGURA 4.19. CURVA DE CALIBRACION PARA EL HILO SENSOR.

4.9.1. TECNICA DE MEDICION PARA LA DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE TURBULENCIA EN UNA SOLA DIRECCION.

La nomenclatura utilizada en esta prueba fue la siguiente:

\bar{V} = Valor medio del voltaje.

v' = Valor del voltaje R.M.S.

\bar{U} = Velocidad media asociada a \bar{V} .

u' = Fluctuación de la velocidad.

Las mediciones con el anemómetro y el voltmetro R.M.S. se realizaron en el plano central a 5, 10 y 15 cm de distancia de la salida del aire a través del estabilizador. Para la realización de estas mediciones se colocaba el hilo sensor en el posicionador de 4 movimientos a la orilla del compartimiento del quemador a la distancia de medición. Se procedía a avanzar la sonda por medio del posicionador una distancia de 4 mm; posteriormente se orientaba el hilo sensor en forma perpendicular a la velocidad máxima del flujo, esta orientación se logró debido a que se conocía por medio de la sonda de 5 orificios, el ángulo del plano donde se localizaba el vector velocidad de cada punto de medición. Toda vez que se tenía orientado el sensor en forma perpendicular a la dirección del flujo, se realizaba la medición de la velocidad media por medio del anemómetro y la fluctuación de la velocidad con el voltmetro R.M.S..

La operación se repetía para cada punto de medición, hasta finalizar las mediciones a lo largo del eje perpendicular al chorro.

La figura 4.20 es una fotografía que muestra la conexión del anemómetro con el voltmetro R.M.S., mientras que la figura 4.21 muestra la posición del hilo sensor en el momento de realizar las mediciones.

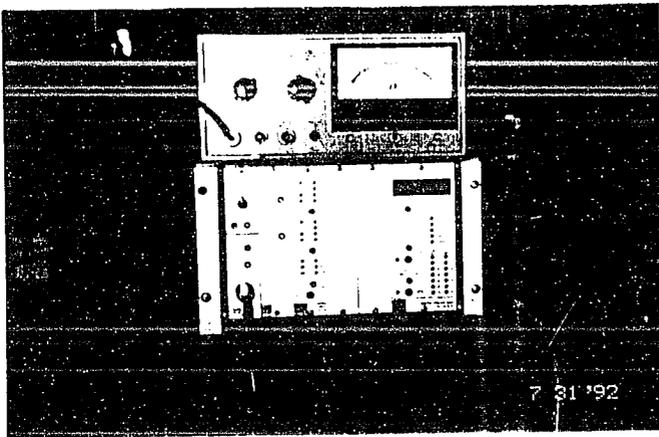


FIGURA 4.20 CONEXION DEL ANEMOMETRO CON EL VOLTMETRO R.M.S..

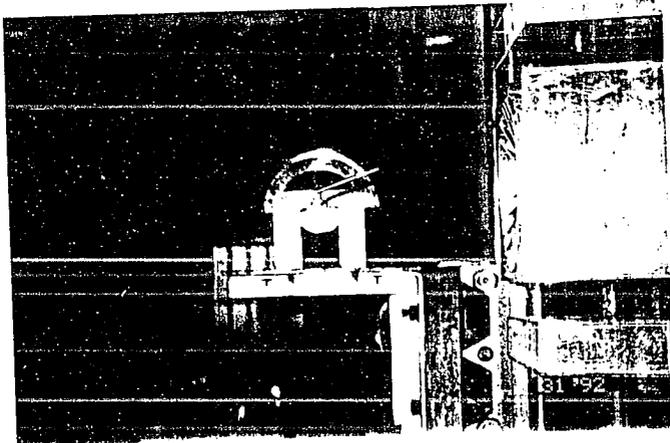


FIGURA 4.21. POSICION DEL HILO SENSOR.

CAPITULO 5

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO A ESCALA 1:2

La mayoría de los resultados experimentales obtenidos en la caracterización se presentan en forma de tablas y figuras, con el objeto de que mediante un análisis de la información, se puedan inferir de manera rápida las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

5.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA 1.

1). PERFILES DE VELOCIDAD EN EL DUCTO DE ALIMENTACION CON Y SIN ESTABILIZADOR.

La figura 5.1. muestra los perfiles de velocidad en el ducto de alimentación sin estabilizador, así como los valores promedio en cada plano de medición de acuerdo con las mediciones realizadas. Mientras que la figura 5.2. muestra la comparación entre los perfiles de velocidad sin estabilizador con los perfiles de velocidad promedio obtenidos de todos los estabilizadores.

De la figura 5.2., se puede observar que los perfiles de velocidad son simétricos, además que los valores máximos de velocidad se encuentran en el centro del ducto y decrecen hasta tener un valor de cero en la pared del ducto. Se observa también que los valores de velocidad promedio son menores que los valores de velocidad sin estabilizador, esta circunstancia es debida a la caída de presión que provoca la presencia del estabilizador.

2). COEFICIENTE DE DESCARGA GENERAL.

El resumen de los resultados obtenidos para el cálculo del coeficiente de descarga general se muestran en la tabla 5.1. Como

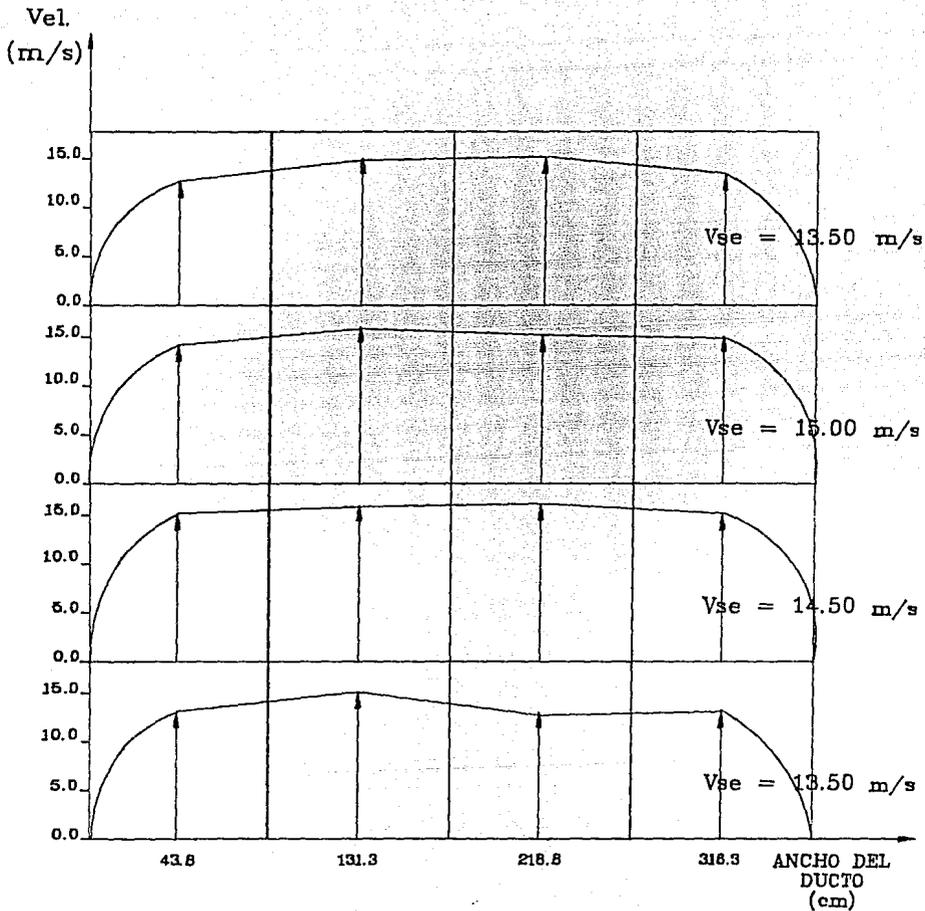


FIGURA 5.1. PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" EN EL DUCTO DE ALIMENTACION SIN ESTABILIZADOR.

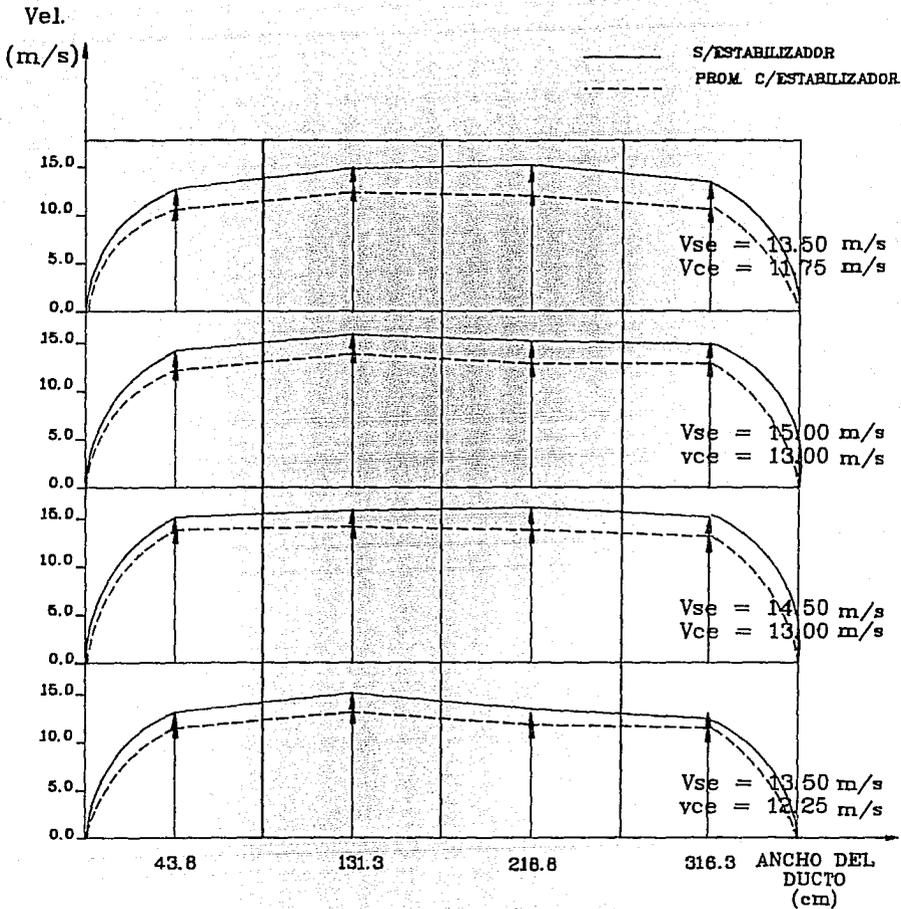


FIGURA 5.2 COMPARACION DE LOS PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" EN EL DUCTO DE ALIMENTACION CON Y SIN ESTABILIZADOR.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	FLUJO REAL (kg/s)	FLUJO TEORICO (kg/s)	C.D. ADIMENSIONAL
S/ESTABILIZADOR	1.8770	2.8218	0.6652
PUERTO LIBERTAD	1.6400	2.8218	0.5812
7 ALABES RECTOS	1.5130	2.8218	0.5362
22 ALABES RECTOS	1.6006	2.8218	0.5672
24 ALABES RECTOS	1.5246	2.8218	0.5403
SAN LUIS	1.6563	2.8218	0.5870
11E-1	1.8076	2.8218	0.6406
11E-2	1.8076	2.8218	0.6406
11E-3	1.6324	2.8218	0.5785
11E-4	1.7359	2.8218	0.6152
11E-5	1.6750	2.8218	0.5936
11E-6	1.6971	2.8218	0.6014

TABLA 5.1. RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA GENERAL.

se puede observar, el mayor valor del coeficiente de descarga es cuando no se tiene estabilizador, mientras que los estabilizadores de 7 álabes rectos y 24 álabes rectos son los que presentan menores valores del coeficiente de descarga general con 0.53 y 0.54 respectivamente.

Como se mencionó en el capítulo 4, se desarrolló una expresión que permite calcular el coeficiente de descarga general del quemador como función de la geometría del quemador, así como la caída de presión debida al flujo de aire en el ducto y a la presencia del estabilizador.

Esta expresión está dada por:

$$CD = \left[\frac{8 (m_{real})^2}{\pi^2 \rho Dh^4 \Delta P} \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

donde:

m_{real} = Flujo másico real en kg/s.

ρ = Densidad del aire = 0.9984 kg/m³.

Dh = Diámetro hidráulico = 0.357 m.

ΔP = Caída de presión en N/m².

La tabla 5.2. muestra los resultados obtenidos mediante el empleo de la fórmula 5.1, además muestra el error que se obtiene al calcular el CD general mediante la fórmula comparados con los resultados obtenidos por calibración.

De la misma tabla, se puede observar que el mayor error se obtiene en el cálculo del estabilizador Puerto Libertad, con 5.07%, mientras que el menor error se obtuvo para el estabilizador IIE-1 con 0.55%. El error promedio para todos los cálculos es de 2.71%.

La figura 5.3 muestra la variación de la caída de presión como función del flujo másico para tres diferentes estabilizadores (IIE-6, Puerto Libertad y 22 álabes rectos) y para cuando no se

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

tiene estabilizador, como se puede observar cuando no se tiene estabilizador se tiene la menor caída de presión, mientras que el estabilizador de Puerto Libertad es el que mayor caída de presión provoca.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	FLUJO REAL (kg/s)	ΔP (mm H ₂ O)	C.D. (FORMULA)	C.D. (CALIBRACION)	ERROR %
S/ESTABILIZADOR	1.8740	36.0	0.6963	0.6852	4.68
PUERTO LIBERTAD	1.6374	45.0	0.5517	0.5812	5.0765
7 ALABES RECTOS	1.5106	43.0	0.5207	0.5362	2.9207
22 ALABES RECTOS	1.5980	41.5	0.5607	0.5672	1.1460
24 ALABES RECTOS	1.5222	42.5	0.5277	0.5403	2.3320
SAN LUIS	1.6536	38.0	0.6063	0.5870	3.2884
IIE-1	1.8047	41.0	0.6370	0.6406	0.5559
IIE-2	1.8047	40.0	0.6450	0.6406	0.6889
IIE-3	1.6298	38.0	0.5976	0.5785	3.2988
IIE-4	1.7331	39.5	0.6233	0.6152	1.3130
IIE-5	1.6723	38.5	0.6092	0.5936	2.6221
IIE-6	1.6944	39.0	0.6132	0.6014	1.9688

ERROR = 2.7170%

TABLA 5.2 RESULTADOS DEL CD GENERAL EMPLEANDO LA FORMULA.

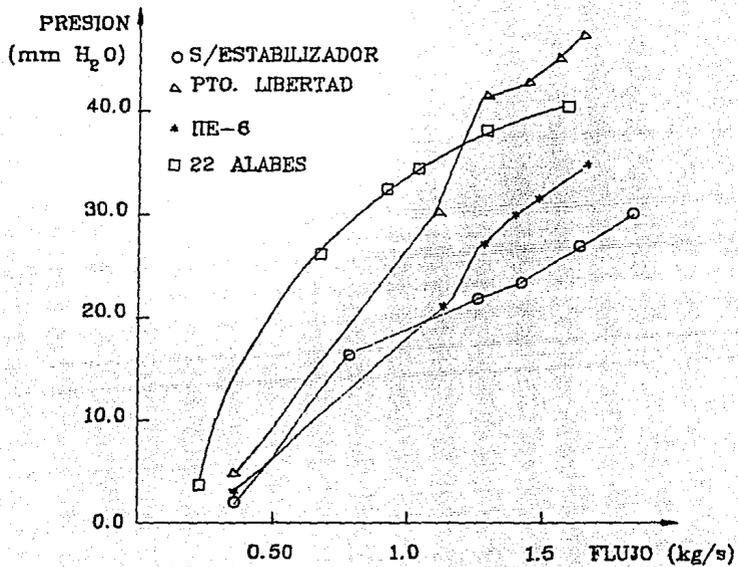


FIGURA 5.3. VARIACION DE LA CAIDA DE PRESION COMO FUNCION DEL FLUJO MASICO.

3). CALCULO DEL COEFICIENTE DE DESCARGA DEL ESTABILIZADOR.

Para el cálculo del coeficiente de descarga del estabilizador es necesario reordenar la ecuación número 4.15 del capítulo 4, donde se da el coeficiente de pérdidas totales del sistema, el cual es función de los diferentes coeficientes de pérdida de cada uno de los elementos del quemador y de las características del mismo de la siguiente manera:

$$K_t - K_e = \frac{1}{\left[\frac{1}{(K_s)^{1/2}} \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 + \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}} \left(1 - \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 \right) \right]^2} \quad (4.15)$$

Obteniendose:

$$\left[\frac{1}{K_t - K_e} \right]^{1/2} = \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 \left(\frac{1}{(K_s)^{1/2}} - \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}} \right) + \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}} \quad (5.2)$$

Para un ducto rectangular sin estabilizador $ds=0$

Al sustituir en la ecuación 5.2 se tiene:

$$K_t = K_e + K_{tob}$$

pero:

$$K_t = \frac{1}{C^2}$$

C = Coeficiente de descarga sin estabilizador.

Al sustituir el valor del coeficiente de descarga sin estabilizador obtenido por medición se tiene:

$$K_t = 2.2599$$

Suponiendo $K_{tob} = 1$

$$K_e = K_t - K_{tob} = 2.2599 - 1 = 1.2599$$

Como :

$$\left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 = \text{constante} = \left(\frac{0.150}{0.244} \right)^2 = 0.3757$$

Substituyendo en la ecuación 5.2 y despejando a $[Ks]^{1/2}$ se tiene:

$$[Ks]^{1/2} = \frac{0.3757}{\frac{1}{\left[\frac{1}{(kt - Ke)}\right]^{1/2}}} - 0.6242 \quad (5.4)$$

$$\text{Pero } Ks = \frac{1}{Cs^2}$$

$$Cs = \frac{1}{(Ks)^{1/2}} \quad (5.5)$$

La ecuación 5.4, permite calcular el coeficiente de pérdidas del estabilizador, mientras que la ecuación 5.5, permite calcular el coeficiente de descarga del estabilizador.

La tabla 5.3 presenta los resultados obtenidos para el coeficiente de descarga de cada estabilizador.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	C.D. GENERAL ADIMENSIONAL	KS	C.D. ESTABILIZADOR ADIMENSIONAL
PUERTO LIBERTAD	0.5812	2.6332	0.6162
7 ALABES RECTOS	0.5362	7.9559	0.3545
22 ALABES RECTOS	0.5672	3.3748	0.5443
24 ALABES RECTOS	0.5403	6.7907	0.3837
SAN LUIS	0.5870	2.4064	0.6446
IIE-1	0.6406	1.2625	0.8967
IIE-2	0.6406	1.2625	0.8967
IIE-3	0.5785	2.7527	0.6027
IIE-4	0.6152	1.6599	0.7762
IIE-5	0.5936	2.1864	0.6763
IIE-6	0.6014	1.9675	0.7129

TABLA 5.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CD DE CADA ESTABILIZADOR.

De la tabla 5.3 se puede observar que el quemador que tienen menor coeficiente de descarga general, en este caso el estabilizador de 7 álabes rectos (0.5362), también presenta el menor valor en el coeficiente de descarga del estabilizador, cuyo valor es 0.3545 y viceversa a mayor coeficiente de descarga general de quemador, le corresponde el mayor valor del coeficiente de descarga del estabilizador, para este caso es el estabilizador IIE-1.

Finalmente de la ecuación:

$$K_t = K_e + K_{tob}$$

$$K_{tob} = 1$$

$$K_t = \frac{1}{C^2}$$

$$K_e = \frac{1}{C^2} - 1$$

Substituyendo en la ecuación (4.15) del capítulo 4

$$K_t = \left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) + \frac{1}{\left[\frac{1}{(K_s)^{1/2}} \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 + \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}} \left(1 - \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 \right)^{1/2} \right]^2}$$

Pero:

$$CD = \frac{1}{(K_t)^{1/2}} ; \quad C_s = \frac{1}{(K_s)^{1/2}} ; \quad C_{tob} = \frac{1}{(K_{tob})^{1/2}}$$

Finalmente se tiene:

$$CD = \frac{1}{K_t} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) + \frac{1}{\left[C_s \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 + C_{tob} \left(1 - \left(\frac{ds}{Dh} \right)^2 \right) \right]^2} \right]^2} \quad (5.5)$$

La ecuación (5.5) permite calcular el coeficiente de descarga general de quemador tangencial, como función de la geometría del mismo, así como de la caída de presión debida al flujo de aire en el ducto y a la presencia del estabilizador

5.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA 2.

5.2.1. DETERMINACION DE LA ZONA DE RECIRCULACION.

Los resultados obtenidos en esta prueba para los 11 estabilizadores diferentes se muestran de la figura 5.4 a la figura 5.14.

La figura 5.4 muestra la zona de recirculación, así como las magnitudes de los vectores de velocidad en la dirección X producidos por el estabilizador de Puerto Libertad. Mientras que las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 muestran las zonas de recirculación producidas por los estabilizadores de álabes rectos a 45° (7, 22 y 24 álabes), la figura 5.8 muestra la zona de recirculación producida por estabilizador utilizado en la Central Termoelectrónica de San Luis y finalmente de la figura 5.9 a 5.14 se presentan las zonas de recirculación y los perfiles de velocidad producidos por los nuevos diseños de estabilizadores IIE-1 a IIE-6.

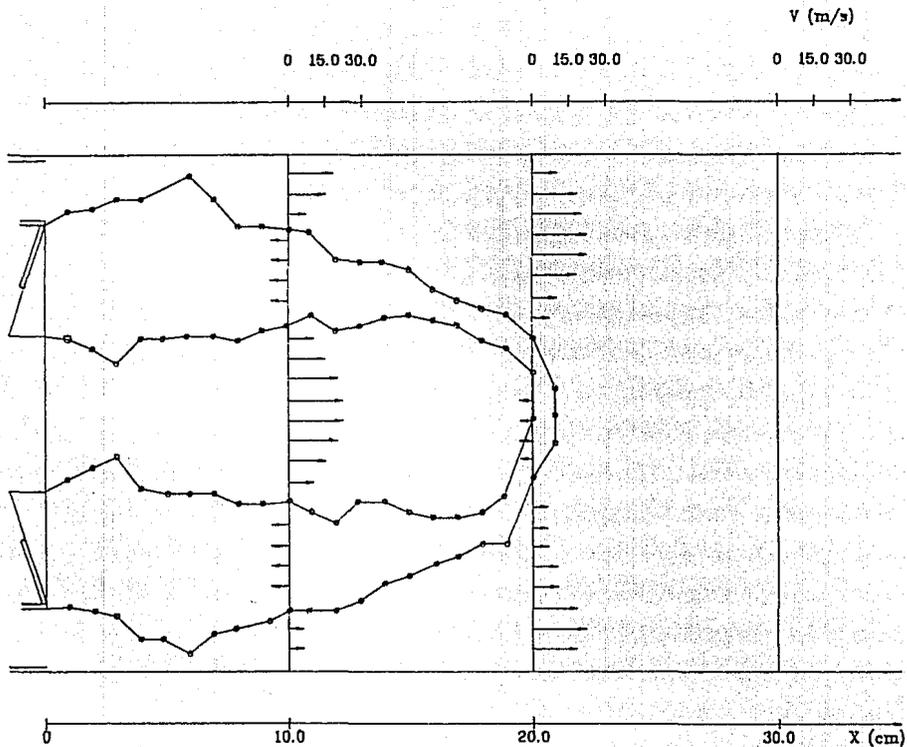


FIGURA 5.4 ZONAS DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR PUERTO LIBERTAD.

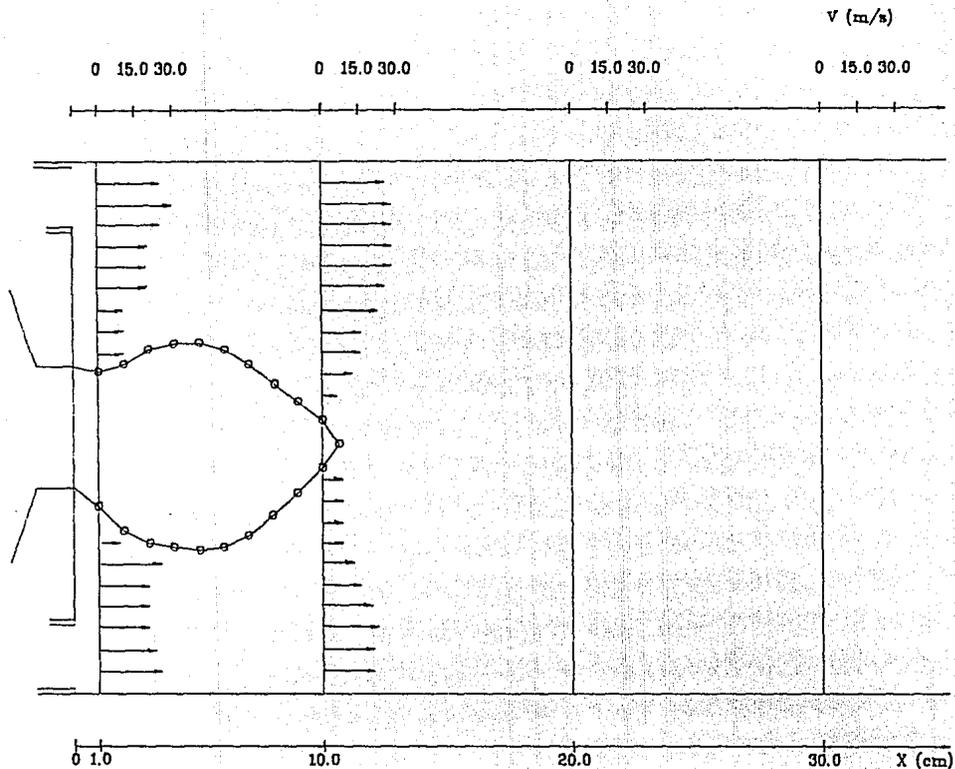


FIGURA 5.5 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE 7 ALABES RECTOS.

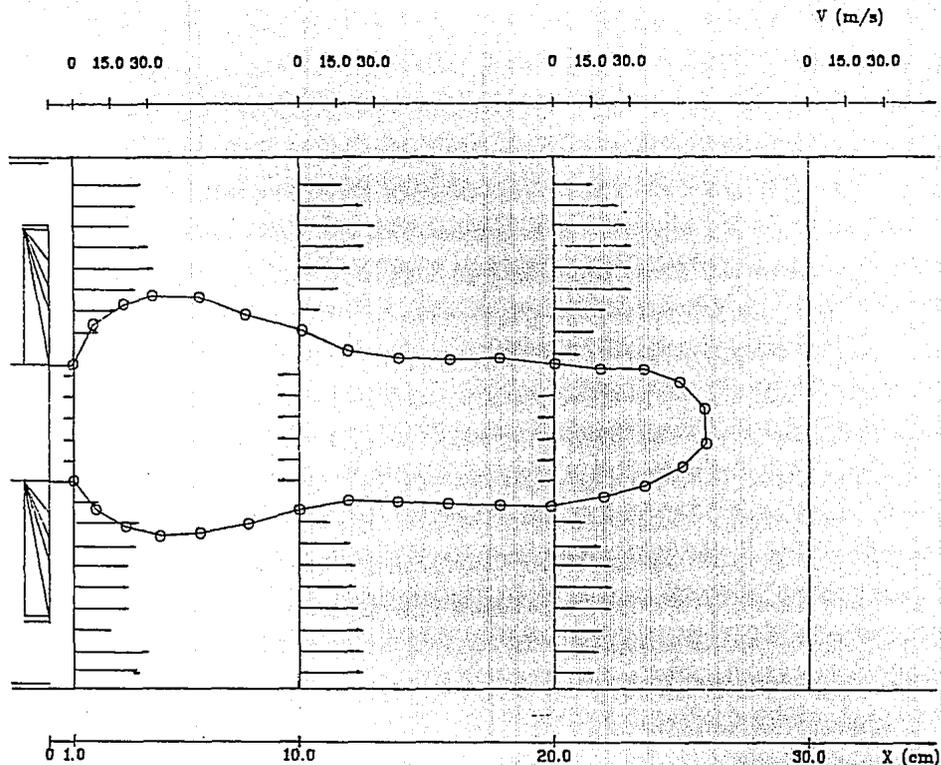


FIGURA 5.6 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE 22 ALABES RECTOS.

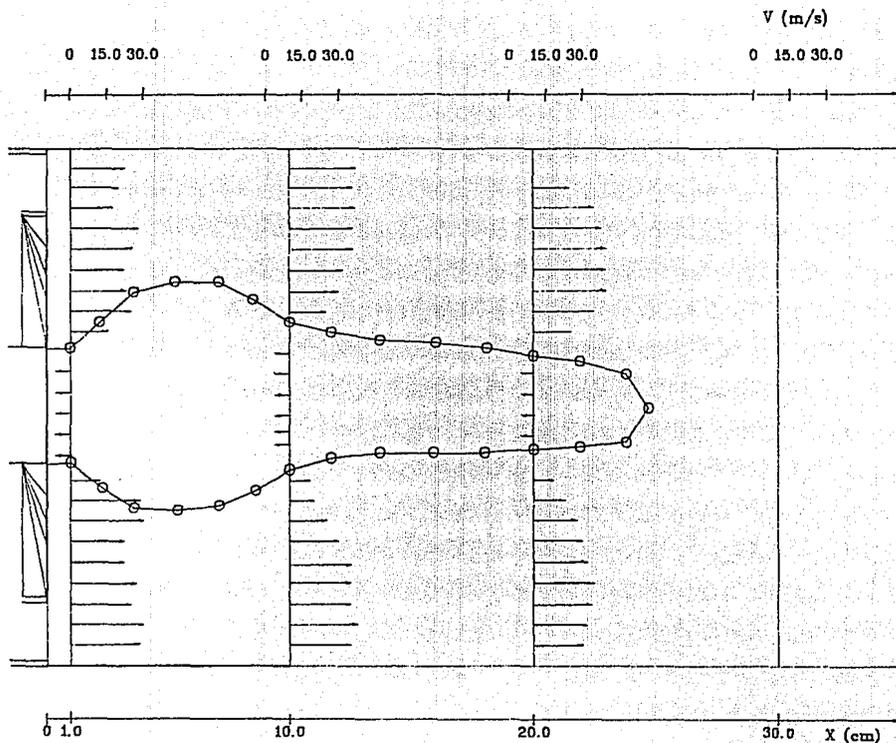


FIGURA 5.7 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE 24 ALABES RECTOS

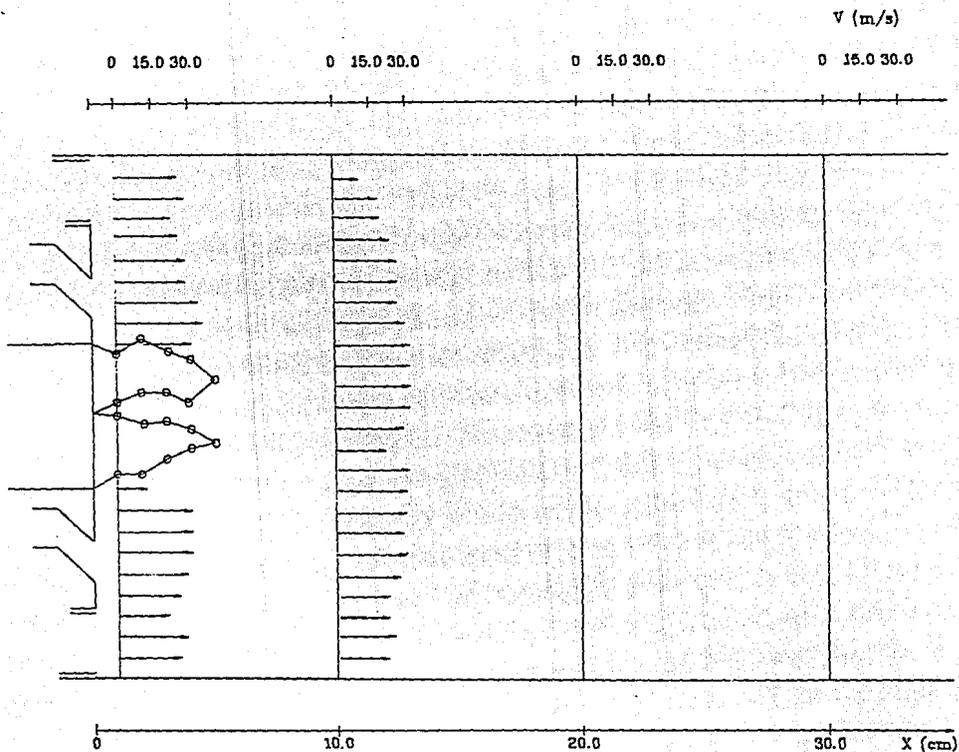


FIGURA 5.8 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE LA C.T. SAN LUIS

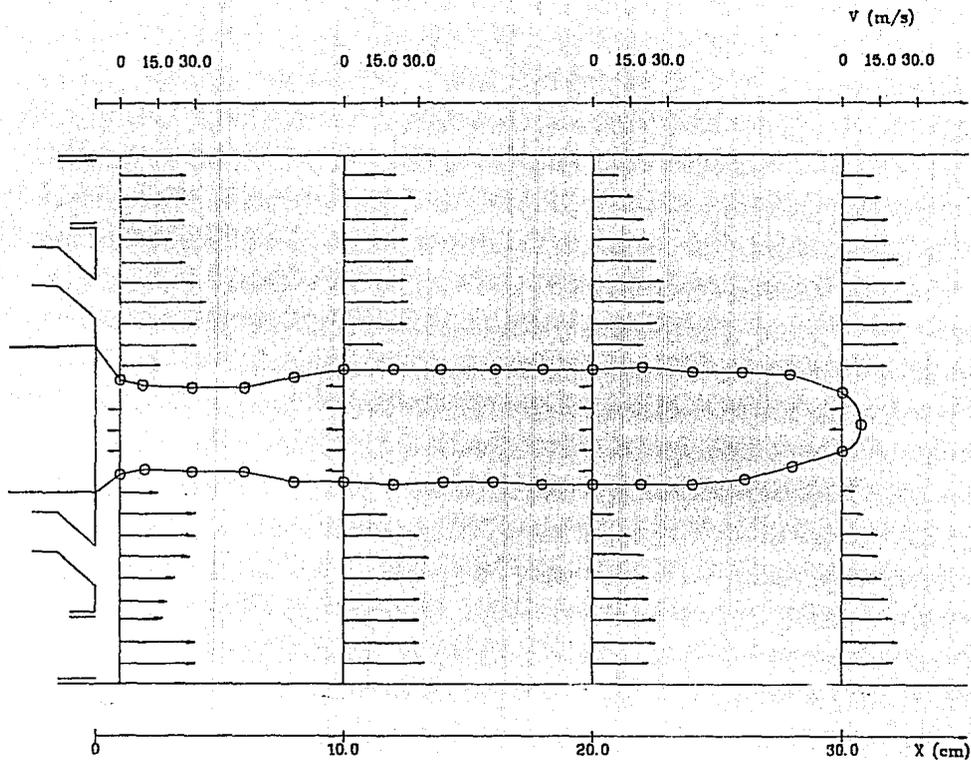


FIGURA 5.9 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IE-1

V (m/s)

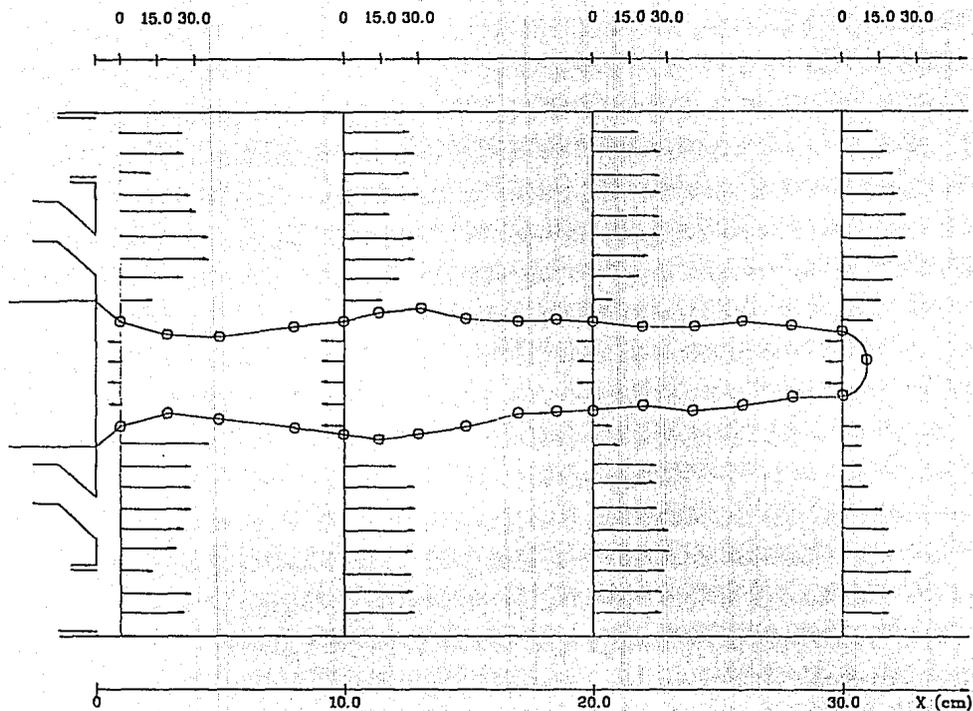


FIGURA 5.10 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-2.

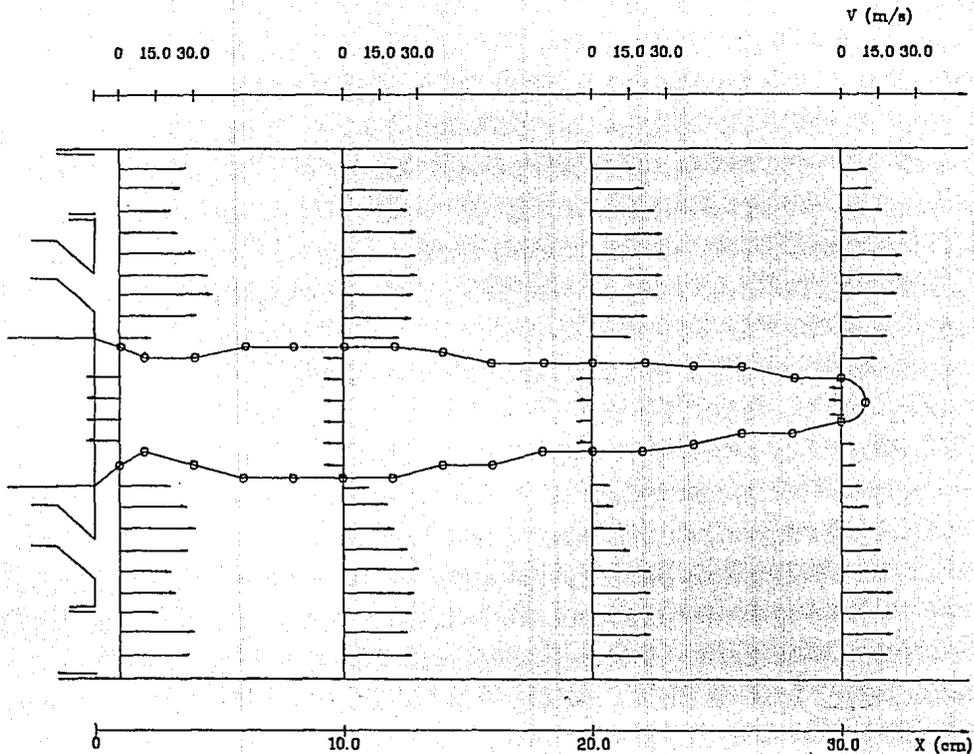


FIGURA 5.11 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-3.

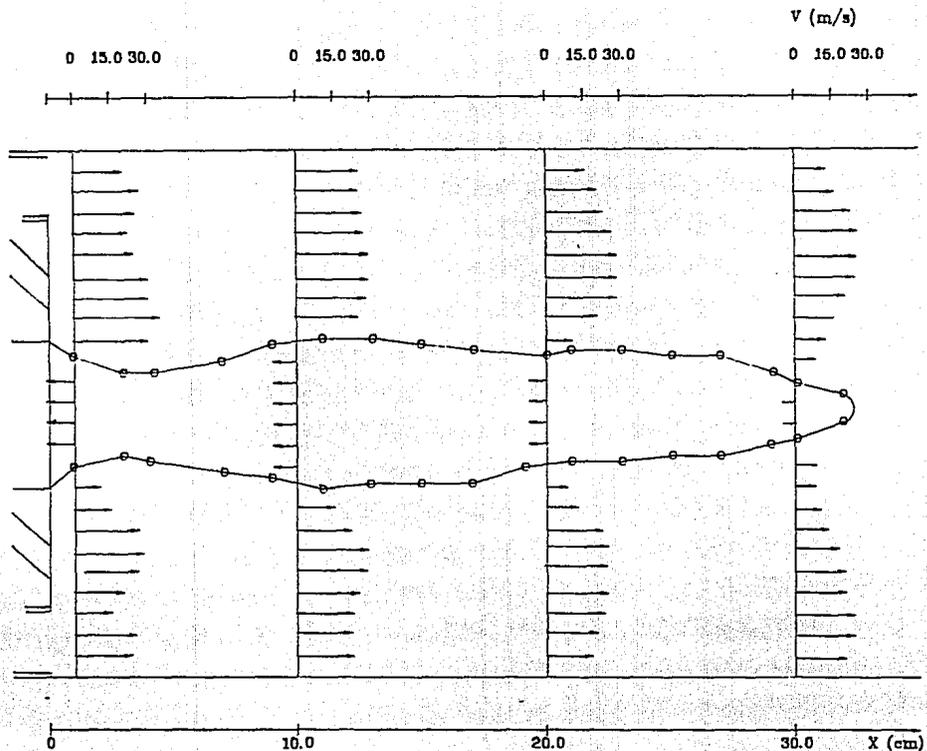


FIGURA 5.12 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-4.

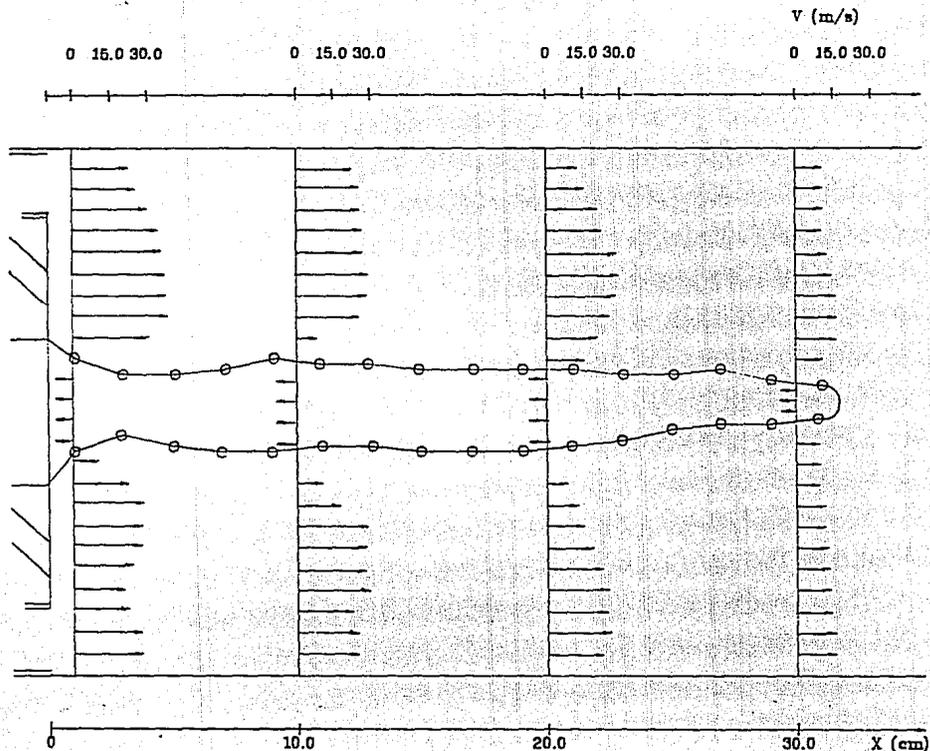


FIGURA 5.13 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-5.

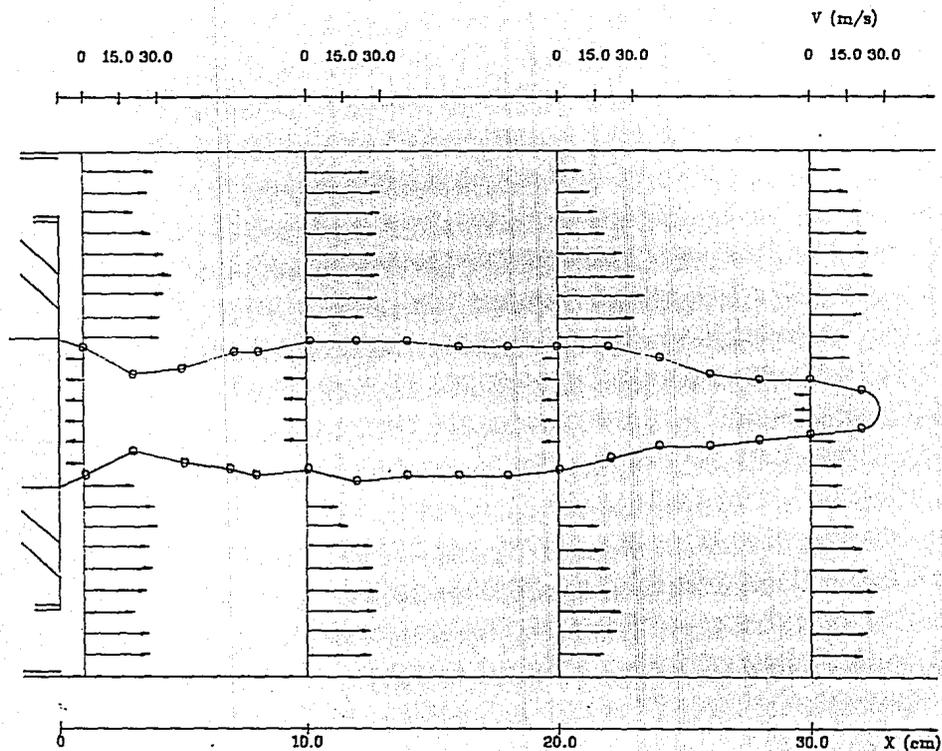


FIGURA 5.14 ZONA DE RECIRCULACION Y PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-6.

De la figura 5.4 para el estabilizador de la C.T. Puerto Libertad, se observa que la zona de recirculación tiene una forma simétrica con una longitud de 21 cm, sin embargo, la zona creada está en la orilla del estabilizador debido a la presencia de las ranuras en el plato, además que en el centro del perfil de flama no existe recirculación, lo que evidentemente ocasiona que no se tenga una flama definida. La velocidad de la zona de recirculación a 10 cm de la salida es de 6.72 m/s.

La figura 5.5 muestra la zona de recirculación creada por el estabilizador de 7 álabes rectos, la longitud de la zona de recirculación es de 11 cm, la velocidad de la zona de recirculación a 5 cm es de 7 m/s. Asimismo se observa que a una distancia de 12 cm de la salida de la tobera, el flujo de aire alcanza su velocidad máxima hacia adelante. Se puede observar también que el ancho de la zona es de 7 cm a una distancia de 5 cm de la salida.

La zona de recirculación creada por el estabilizador de 22 álabes rectos, se muestra en la figura 5.6, de la misma gráfica se puede observar la simetría de la zona de recirculación.

La longitud de la zona es de 24 cm, mientras que el ancho de la misma es de 6 cm a una distancia de 5 cm de la salida del aire de la tobera. La velocidad de la zona de recirculación a 10 cm de la salida es de 8.22 m/s.

La figura 5.7 muestra la zona de recirculación y los perfiles de velocidad producidas por el estabilizador de 24 álabes rectos, la longitud de la zona es de 26 cm, mientras que el ancho es de 6.5 cm a una distancia de 5 cm de la salida del aire de la tobera, la velocidad máxima de recirculación a 10 cm de la salida es 6.03 m/s.

La zona de recirculación producida por el estabilizador de la C.T. San Luis se muestra en la figura 5.8. De la misma se puede

observar la formación de 2 zonas de recirculación de 4.5 cm de longitud. La máxima velocidad en la zona de recirculación es de 8 m/s, esta velocidad se alcanza a 3 cm a la salida. Se observa además que a una distancia de 10 cm el flujo de aire tiene una velocidad máxima en el centro de 28 m/s.

De la figura 5.9 a la 5.14 se muestran las zonas de recirculación y los perfiles de velocidad producidos por los estabilizadores diseño IIE. Como se puede observar todos los perfiles son simétricos con una longitud aproximada de 31 a 32 cm. La velocidad máxima a 10 cm de la salida del flujo de aire es de 9.25 m/s y corresponde al estabilizador IIE-4, mientras que la mínima velocidad para la misma distancia es 7.25 m/s y corresponden a los estabilizadores IIE-1 y IIE-5. El ancho de la zona de recirculación varía de 3 cm para el estabilizador IIE-5 hasta 5 cm para el estabilizador IIE-4, a una distancia de 10 cm de la salida del flujo.

Como prueba adicional se determinaron las velocidades de giro en 3 planos verticales, los cuales se localizan en 10, 20 y 30 cm de la salida del flujo de aire a través del estabilizador.

En la figuras 5.15, 5.16 y 5.17, se presentan los perfiles de velocidad en la dirección "y" para los diferentes planos de medición de los estabilizadores Puerto Libertad, 22 álabes rectos e IIE-4 respectivamente.

Como se puede observar en la figura 5.15, las velocidades máximas de giro para el estabilizador Puerto Libertad a las tres diferentes distancias de 10, 20 y 30 cm son 8.22, 7.2 y 6.53 m/s respectivamente, mientras que de la figura 5.16 las velocidades máximas de giro para el estabilizador de 22 álabes rectos en los mismos planos de medición son: 25.57, 26.32 y 16.72 m/s respectivamente. Finalmente para el estabilizador IIE-4 en los mismos planos de medición éste presenta las velocidades de 29.22,

26.3 y 20.42 m/s.

El resumen de los resultados de las velocidades máximas en cada plano para cada estabilizador se presentan en la tabla 5.4.

De la tabla 5.4 se puede observar que el estabilizador utilizado en la C.T. Puerto Libertad es el que presenta los menores valores de velocidad máxima en los diferentes planos (6.53, 7.42 y 8.22 m/s respectivamente), mientras que el estabilizador IIE-2 es el que presenta los valores mayores de velocidad con 29.64, 27.46 y 22.46 m/s para 10, 20 y 30 cm. respectivamente.

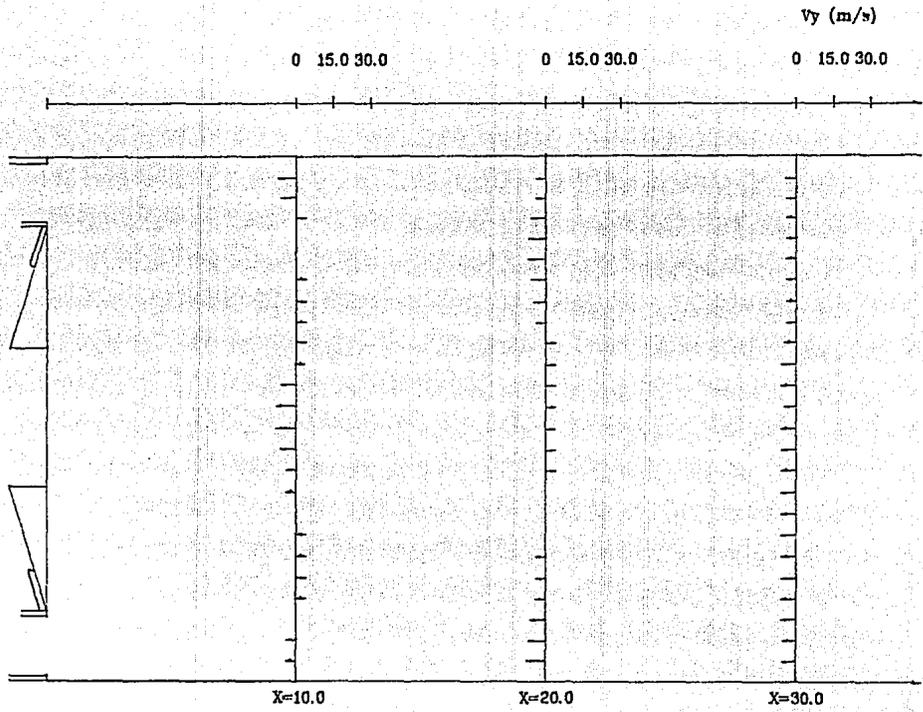


FIGURA 5.15 PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "Y" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE LA C. T. PTO LIBERTAD.

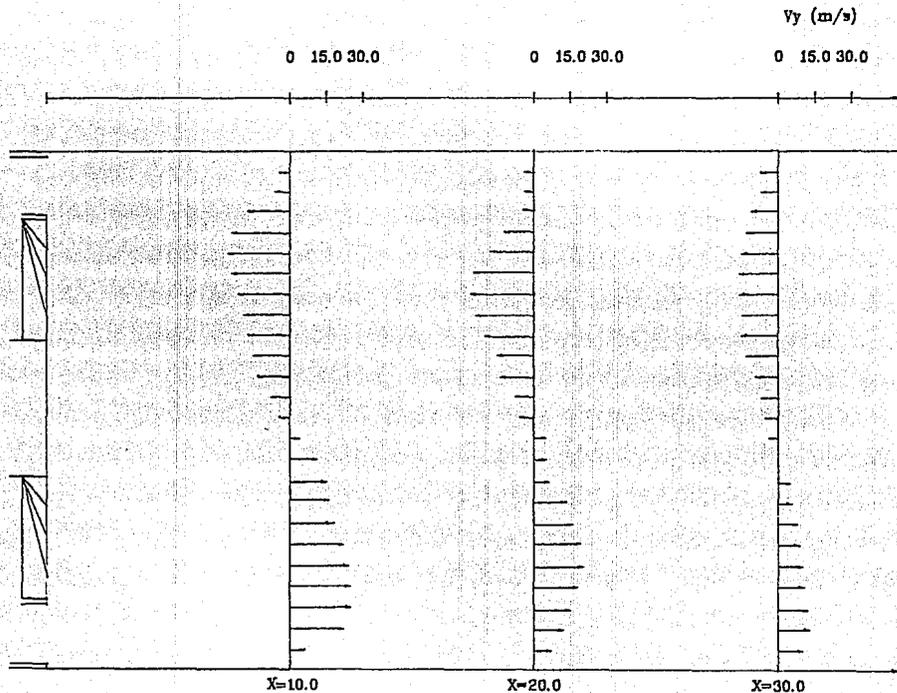


FIGURA 5.16 PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "Y" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE 22 ALABES RECTOS.

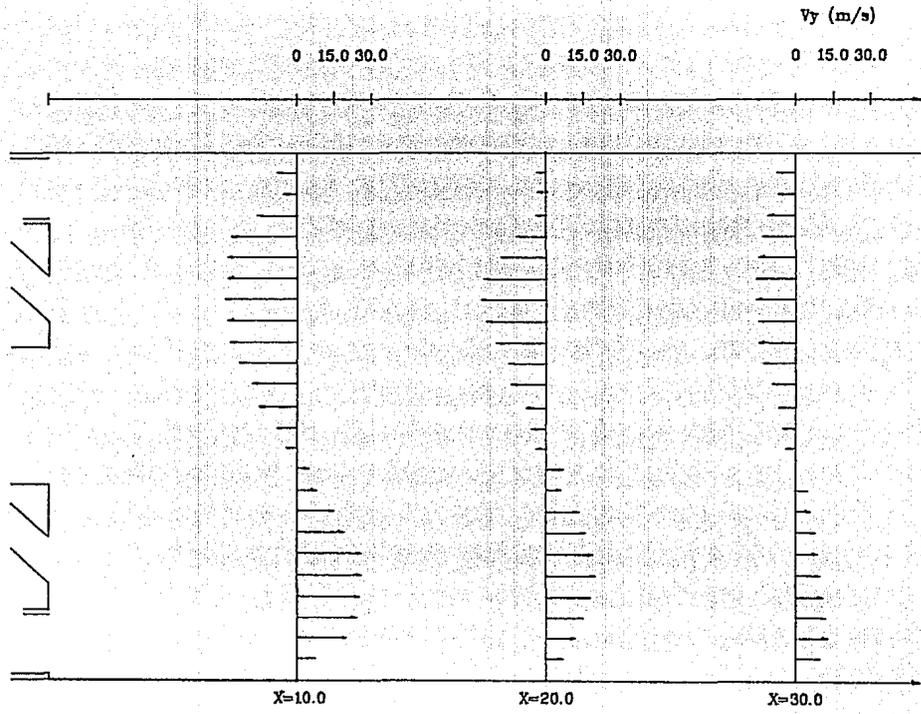


FIGURA 5.17 PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "Y" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-4.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	PLANO DE MEDICION (cm)		
	10.0	20.0	30.0
PUERTO LIBERTAD	6.53	7.42	8.22
7 ALABES RECTOS	24.58	22.46	17.81
22 ALABES RECTOS	25.57	26.53	16.782
24 ALABES RECTOS	24.32	27.46	21.32
SAN LUIS	23.80	23.0	21.89
IIE-1	27.68	20.53	21.32
IIE-2	29.64	27.46	22.46
IIE-3	27.46	26.06	21.72
IIE-4	29.22	26.3	20.42
IIE-5	29.43	27.46	14.20
IIE-6	29.22	27.46	21.02

TABLA 5.4 VELOCIDADES MAXIMAS DE GIRO (m/s) EN LA DIRECCION "Y" PARA CADA ESTABILIZADOR.

5.3). RESULTADOS DE LA PRUEBA 3.

1). DETERMINACION DEL NUMERO DE GIRO.

Los resultados obtenidos para el número de giro se presentan en el apéndice número 2. En estos resultados se dan los datos de medición, los valores que están fuera del intervalo de medición de la sonda de 5 orificios (esto es la zona de recirculación), el vector velocidad, así como los valores de sus respectivas componentes (velocidad axial, radial y tangencial). Además se presentan los vectores de velocidad para dos planos diferentes, el plano "X-Y" y el plano "X-Z".

Para hacer la comparación de resultados se tomó el número de giro (promedio), el cual quedó definido como:

$$N_s = \frac{\text{Flujo axial del momento angular}}{(R)(\text{Flujo axial del momento longitudinal})}$$

El resumen de los resultados obtenidos para el número de giro se presentan en la tabla 5.5.

Como se puede observar de la tabla, el estabilizador Puerto Libertad es el que presenta los menores valores de este parámetro para los tres planos de medición con 0.097, 0.023 y 0.13 respectivamente. Mientras que el estabilizador IIE-4 presentó los mayores valores del número de giro con 1.90 para el plano $x = 5.0$ cm y 1.24 para el plano $x = 15$ cm; no así para el plano $x = 10$ cm donde el estabilizador de 22 alabes rectos fué el que presentó el mayor valor con 2.85.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR	PLANO DE MEDICION		
	X = 5.0 cm	X = 10.0 cm	X = 15 cm
PUERTO LIBERTAD	0.097	0.02	0.013
22 ALABES RECTOS	1.35	2.85	0.67
IIE-4	1.90	1.64	1.24

TABLA 5.5. NUMERO DE GIRO PARA TRES DIFERENTES ESTABILIZADORES.

Como complemento a esta prueba se graficarón las magnitudes de los vectores de velocidad producidos por los estabilizadores Puerto Libertad, 22 álabes rectos y el diseño IIE-4 en el plano "X-Y". Cabe hacer mención que estos vectores no son iguales a los vectores que se determinaron con la sonda de 2 orificios, ya que estos se midieron con la sonda en posición perpendicular al flujo, mientras que los vectores determinados con la sonda de 5 orificios se determinaron en el mismo punto y en la misma distancia pero en un plano diferente.

La figura 5.18 muestra la magnitud de los vectores de velocidad en el plano "X-Y", producidos por el estabilizador Puerto Libertad, mientras que la figura 5.19 y 5.20 muestran los vectores de velocidad producidos por el estabilizador de 22 álabes rectos y el diseño IIE-4 respectivamente. Como se puede observar, el estabilizador Puerto Libertad es el que presenta los vectores de menor magnitud, mientras que los otros dos tienen vectores de 2 a tres veces mayores que el de Puerto Libertad. Además se puede observar que la forma de la zona de recirculación producida por los tres estabilizadores se conserva.

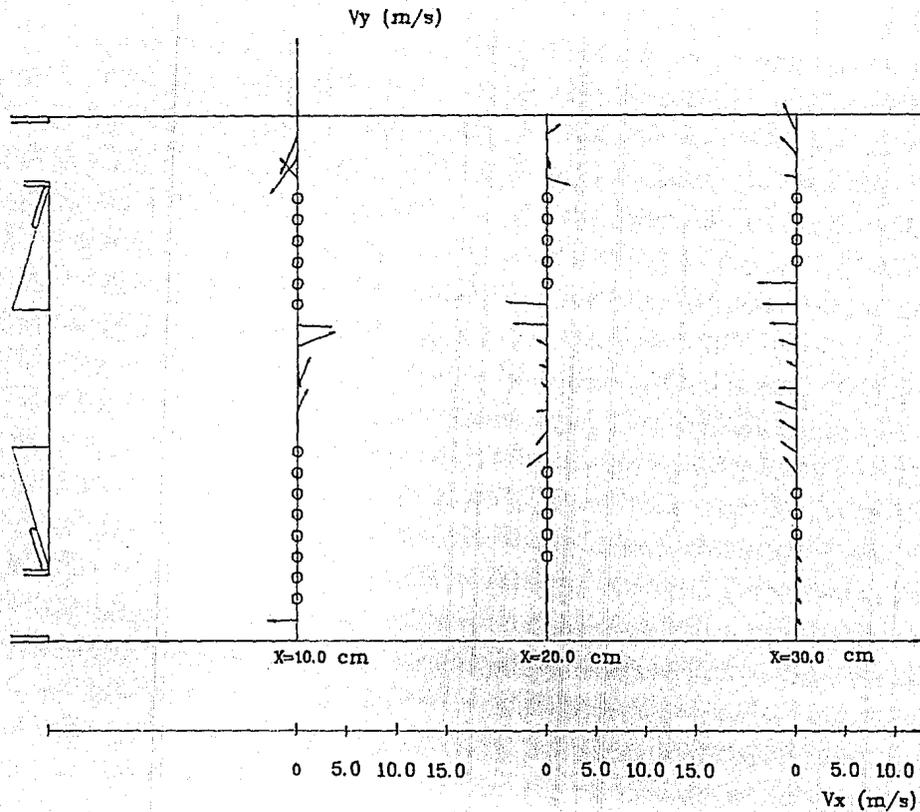


FIGURA 5.18 PERFILES DE VELOCIDAD EN LA DIRECCION "X-Y" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE LA C.T. PUERTO LIBERTAD.

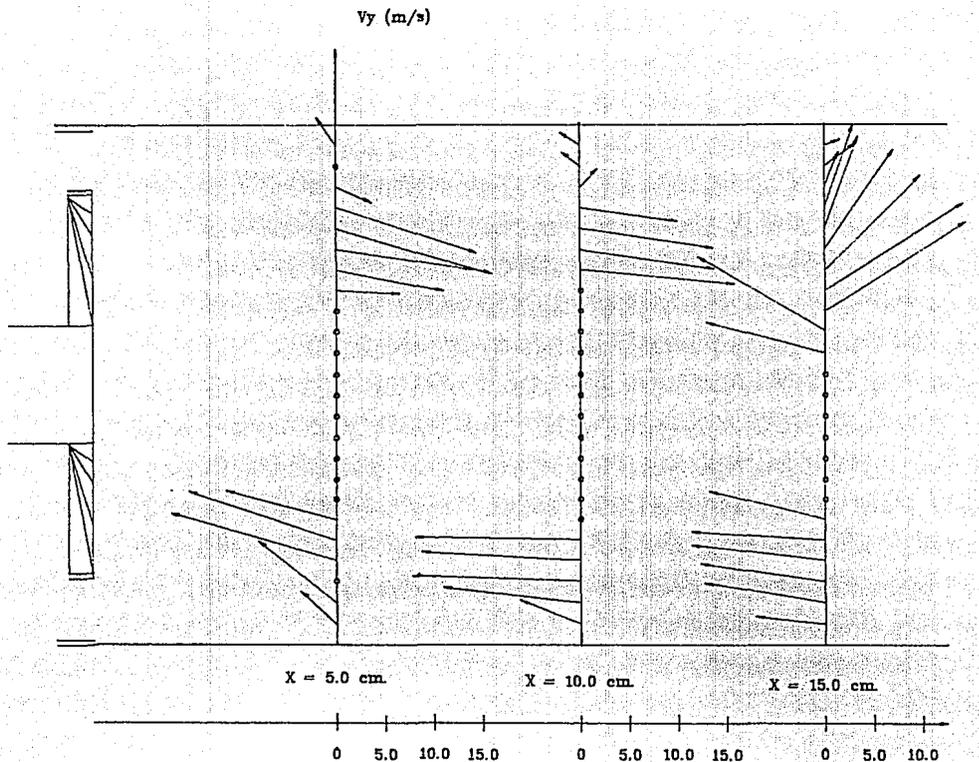


FIGURA 5.19 VECTORES DE VELOCIDAD EN EL PLANO "X-Y" PRODUCIDOS
POR EL ESTABILIZADOR DE 22 ALABES RECTOS

V_x (m/s)

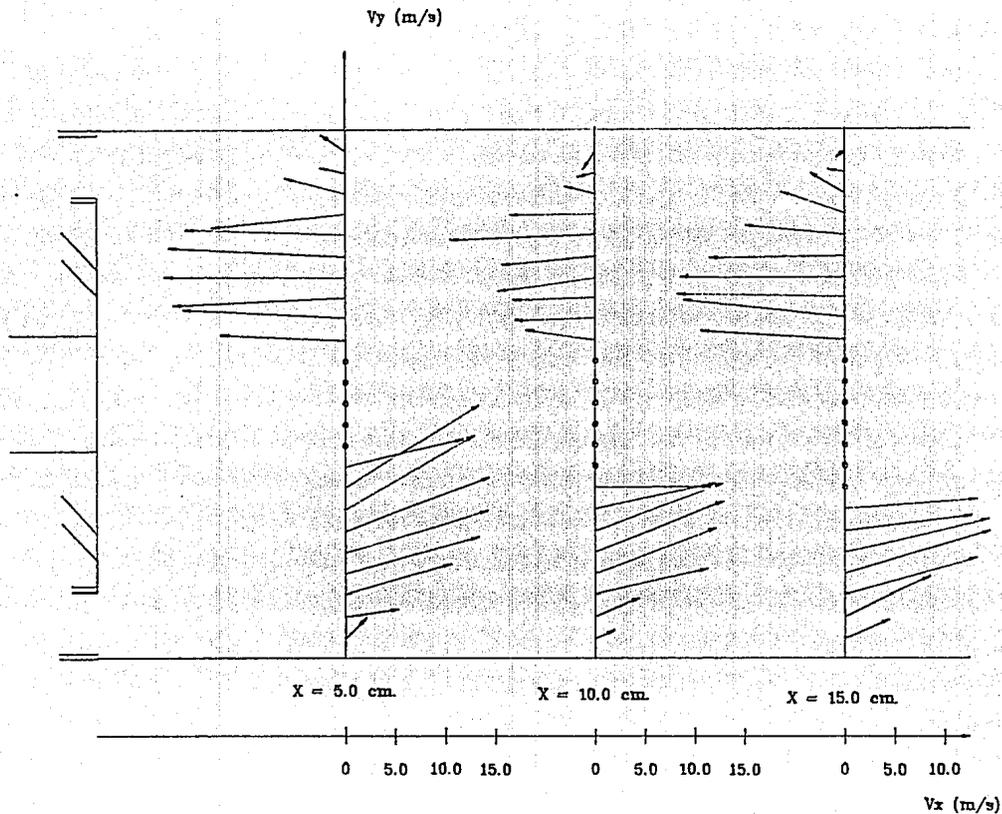


FIGURA 5.20 VECTORES DE VELOCIDAD EN EL PLANO "X-Y" PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-4.

5.4. RESULTADOS DE LA PRUEBA 4.

1. DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE TURBULENCIA EN UNA SOLA DIRECCION.

Los resultados obtenidos en la determinación de la intensidad de turbulencia en la dirección "X" para los tres planos de medición, producidos por los estabilizadores Puerto Libertad, 22 álabes rectos y IIE-4 se presentan en el apéndice 3. Mientras que las figuras 5.20, 5.21 y 5.22 se presentan las curvas que muestran la variación de la intensidad de turbulencia a lo largo del eje longitudinal y para los tres planos de medición producidos por los estabilizadores mencionados anteriormente.

De la figura 5.21, la cual muestra los resultados obtenidos para el estabilizador Puerto Libertad, se puede observar que los mayores valores de la intensidad de turbulencia se encuentran localizados en la zonas de recirculación producidas por el estabilizador. Así se tiene que para plano localizado en $X = 5$ cm., los valores de la intensidad de turbulencia varían entre 0.20 y 0.26, los máximos valores se encuentran cerca del centro de la zona de recirculación. Mientras que en el centro del plano de medición se tienen valores de intensidad de turbulencia del orden de $I = 0.06$, lo cual indica que no existe recirculación debido a que tienen valores de velocidad media muy altos, del orden de 29 a 30 m/s.

Para el plano $X = 10$ cm, se tiene un pequeño incremento en los valores de la intensidad de turbulencia, sin embargo se observa el mismo comportamiento que el plano $X = 5$ cm, esto es los mayores valores de la intensidad de turbulencia se encuentran localizados en la zona de recirculación y en el centro del plano los menores valores.

En $X = 15$ cm se tiene un decaimiento en los valores de la intensidad de turbulencia al pasar de $I = 0.26$ para el plano $X = 5$ cm a $I = 0.20$ para este plano. Esta disminución indica que la zona de recirculación empieza a cerrarse, con lo que concuerda con los resultados obtenidos con las sondas de 5 y 2 orificios.

Los resultados obtenidos para el estabilizador de 22 álabes rectos se muestran en la figura 5.22. De la misma figura se puede observar que para el plano localizado en $X = 5$ cm, los máximos valores de la intensidad de turbulencia se encuentran localizados en el centro del plano de medición. Estos valores varían entre 0.14 y 0.20. Comparando con los resultados obtenidos para el estabilizador Puerto Libertad, se tiene que éste último presenta mayores valores de este parámetro, sin embargo los valores que presenta el estabilizador de 22 álabes rectos se encuentran en el centro del plano, lo que evidentemente ocasiona que se tenga una zona de recirculación más definida.

En el plano $X = 10$ cm, se tiene un incremento considerable con respecto al plano de medición anterior, ya que los valores de la intensidad de turbulencia varían entre $I = 0.34$ hasta $I = 0.52$. Comparando con los resultados del estabilizador Puerto Libertad en el mismo plano, se tiene que el estabilizador de 22 álabes rectos produce el doble de turbulencia que el estabilizador Puerto Libertad. Con respecto al plano $X = 15$ cm, se tiene un incremento en el valor de la intensidad de turbulencia, llegando a tener valores máximos del orden de $I = 0.59$. Al comparar con el estabilizador Puerto Libertad en este plano se tiene que el de 22 álabes rectos produce casi dos y media veces más turbulencia que el anterior.

Para el estabilizador diseño IIE-4, se tiene que en el plano $X = 5$ cm, la intensidad de turbulencia presentó valores desde 0.34 hasta 0.59, estos valores son mayores que los determinados en los estabilizadores de Puerto Libertad y 22 álabes rectos. Para el plano $X = 10$ cm, se presentó un incremento en la intensidad de

turbulencia al tener valores de 0.38 hasta un máximo de 0.57. Al comparar con los resultados obtenidos en el estabilizador Puerto Libertad, se tiene que el estabilizador IIE-4 produce dos y media veces más turbulencia que el anterior. Mientras que con respecto al estabilizador de 22 álabes rectos no es muy significativa la diferencia entre ambos.

Finalmente en el plano $X= 15$ cm, se tienen valores de intensidad de turbulencia muy parecidos entre el estabilizador IIE-4 y el estabilizador de 22 álabes rectos, esto es los valores varían entre 0.34 y 0.56 para el estabilizador IIE-4 y para el 22 álabes rectos los valores de la intensidad varían entre 0.37 y 0.59. Lo que es evidente es que al hacer la comparación con el estabilizador de Puerto Libertad se tiene que ambos estabilizadores (Puerto Libertad y 22 álabes rectos) producen dos y media veces más turbulencia que el estabilizador Puerto Libertad.

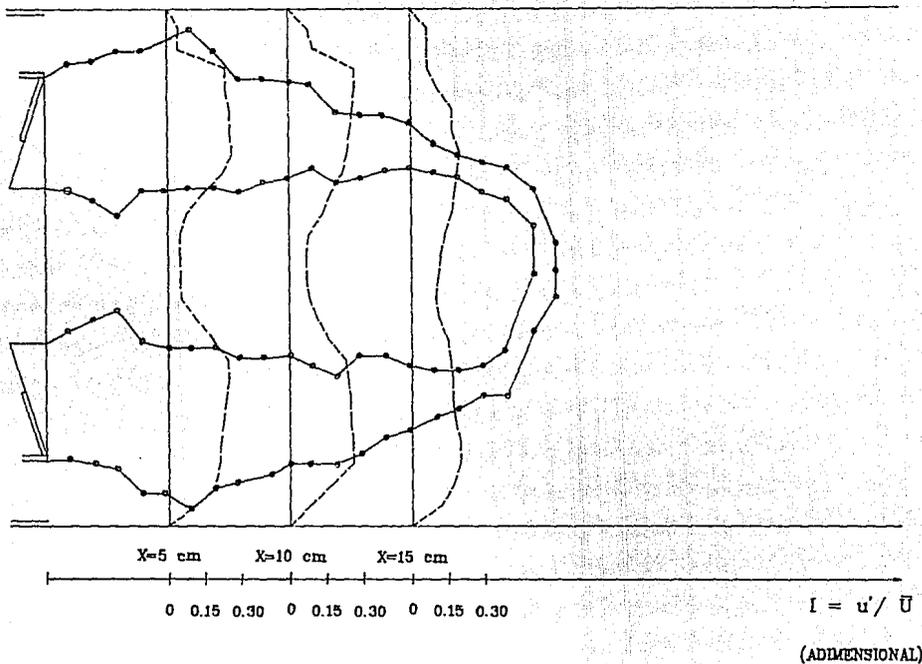


FIGURA 5.21 INTENSIDADES DE TURBULENCIA EN LA DIRECCION "X"
 PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR
 PUERTO LIBERTAD.

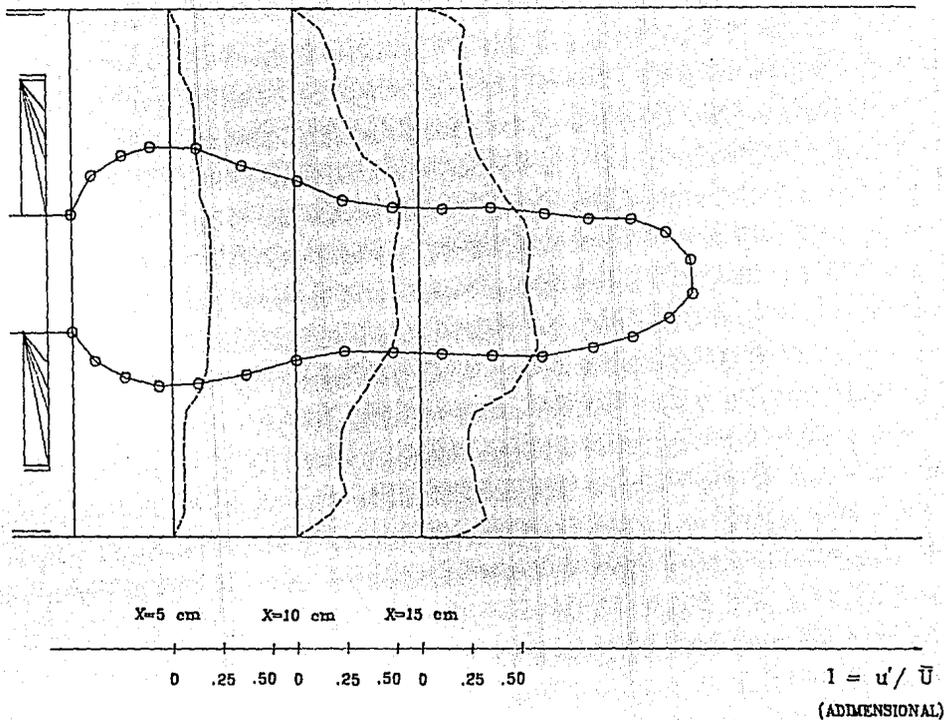


FIGURA 5.22 INTENSIDADES DE TURBULENCIA EN LA DIRECCION "X"
 PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR DE
 22 ALABES RECTOS.

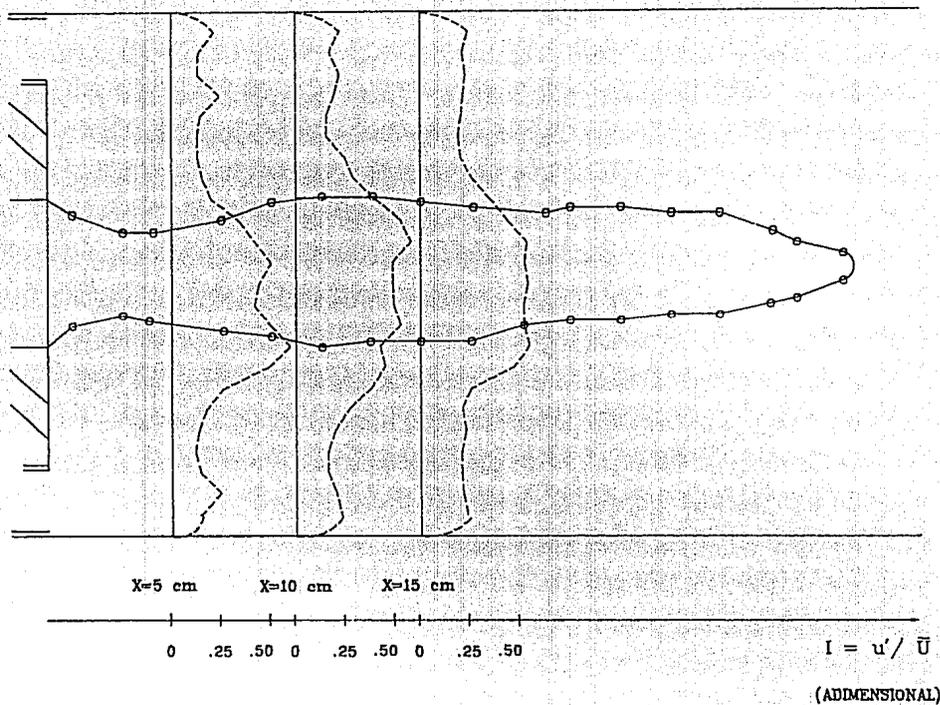


FIGURA 5.23 INTENSIDADES DE TURBULENCIA EN LA DIRECCION "X"
 PRODUCIDOS POR EL ESTABILIZADOR IIE-4.

CAPITULO 6.

INTERPRETACION DE RESULTADOS.

En la comparación de los perfiles de velocidad en el ducto de alimentación con y sin estabilizador se puede observar que ambos perfiles son simétricos y completamente desarrollados, además los valores máximos de velocidad se encuentran en el centro del ducto y decrecen hasta tener un valor de cero en la pared del ducto.

Los valores de velocidad sin estabilizador son mayores en un 11.5% que los valores producidos con estabilizador, esta diferencia es debida a la caída de presión que provoca la presencia del estabilizador.

El empleo de la fórmula que permite calcular el coeficiente de descarga general como función de la geometría del quemador, la caída de presión y la presencia del estabilizador, presentó un error promedio de 2.7% con respecto a los resultados obtenidos por medición, este error no es significativo, por lo que la fórmula puede ser usada para fines de diseño de quemadores.

De los resultados obtenidos para el coeficiente de descarga del estabilizador se puede inferir que existe una relación directa, entre el coeficiente de descarga general del quemador y el coeficiente de descarga del estabilizador; esto es a mayor coeficiente de descarga general le corresponde el mayor coeficiente de descarga del estabilizador, (este es el caso del estabilizador IIE-1) y viceversa, a menor coeficiente de descarga general le corresponde el menor valor del coeficiente de descarga del estabilizador, para este caso se tiene el estabilizador de 7 álabes rectos.

Las características que permiten definir el buen funcionamiento de un estabilizador de flama son las siguientes:

1. Las dimensiones de la zona de recirculación que produce.
2. La magnitud de los vectores de velocidad que forman la zona.
3. La simetría de la zona de recirculación.
4. La pérdida de carga que le produce al sistema.

De acuerdo con estas características, se realizó la comparación de los estabilizadores analizados y se definió la influencia de cada uno de los parámetros geométricos de los estabilizadores en la formación del perfil de la flama; en base a esta comparación se definió el o los estabilizadores más eficientes.

De las mediciones realizadas en el estabilizador Puerto Libertad se observa que la zona de recirculación tiene forma simétrica, sin embargo, la zona creada está en la orilla del estabilizador debido a la presencia de las ranuras en el plato, esto comprueba las observaciones realizadas por el personal del instituto de Investigaciones Eléctricas, en cuanto a la formación de la flama secundaria que se genera sobre el mismo estabilizador. Además que en el centro del perfil de flama no existe recirculación, lo que evidentemente ocasiona que no se tenga una flama bien definida.

La magnitud de los vectores de velocidad en la zona de recirculación son 6.7 m/s a 10 cm. de la salida del aire a través del estabilizador. La pérdida de carga que el estabilizador produce al sistema es alta, debido a la forma del mismo.

De lo anterior se concluye que las calderas que trabajan con este tipo de estabilizadores presenta problemas de altas temperaturas de pared de agua, fluctuaciones de la flama y problemas de quemado del propio estabilizador por la formación de las flamas secundarias, lo que ocasiona un disminución en la eficiencia del sistema de combustión.

De las mediciones realizadas en los estabilizadores de álabes rectos (7, 22 y 24 álabes), las cuales se presentan en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 respectivamente se puede observar lo siguiente: la caída de presión que provocan estos estabilizadores son menores que la producida por el estabilizador Puerto Libertad, también presentan menores valores de coeficiente de descarga general así como de estabilizador.

Con respecto a la zona de recirculación, la forma es substancialmente diferente a la producida por el estabilizador Puerto Libertad, así se tiene que para el estabilizador de 7 álabes rectos, la longitud de la zona de recirculación es de 11 cm, la velocidad a 5 cm de la salida es 7 m/s, el ancho de la zona es 7 cm. para la misma distancia de salida.

El incrementar el número de álabes de 7 a 22 y 24 álabes, así como disminuir el ancho del estabilizador, ocasionó que la zona de recirculación se ampliará de 11 cm para el estabilizador de 7 a 24 cm para el estabilizador de 22 álabes y 26 cm para el del 24 álabes. La simetría así como el ancho de la flama se conserva para los tres estabilizadores, esto es a una distancia de 5 cm de la salida del aire a través del compartimiento, el ancho de la zona de recirculación varió entre 6 y 7 cm. Con respecto a la velocidad; el estabilizador de 22 álabes rectos presenta una velocidad de 8.2 m/s a 10 cm de la salida, mientras que el estabilizador de 24 álabes presenta 6.0 m/s.

Debido a que el estabilizador de 22 álabes forma la zona de recirculación en el plano central, justamente en donde se tienen las gotas de combustible atomizado, esto logrará que se tenga una mejor mezcla entre el aire y el combustible, lo anterior ocasiona que las partículas tengan un mayor tiempo de residencia en las regiones de altas temperaturas. Lo que trae como consecuencia que se tenga una mejor combustión. Por tanto, este estabilizador puede considerarse más eficiente que los mencionados anteriormente y los generadores que lo utilicen presentaran una combustión más estable y operaran con bajos excesos de aire.

El estabilizador de San Luis, presentó 2 pequeñas zonas de recirculación (figura 5.8). La máxima velocidad en la zona de recirculación fué 8.0 m/s. y se alcanzó a 3 cm de la salida. Se puede concluir que por la forma de la zona de recirculación, así como del tamaño y las magnitudes de los vectores que la forman este estabilizador es inadecuado, ya que requerirá de altos excesos de aire, además de que presentará problemas de inestabilidad de flama.

El nuevo grupo de estabilizadores analizados son denominados como diseño IIE. El primero de ellos (IIE-1), tiene 16 álabes con un ángulo de entrada de 22.5° y un ángulo de salida de 50° . Este estabilizador tiene un perfil simétrico que tiene una longitud de 31 cm y un ancho de la zona de recirculación de 4 cm a 10 cm de distancia de la salida del aire a través del estabilizador. La velocidad de la zona de recirculación en esta distancia es 7.25 m/s.

Para el segundo diseño, se incremento el número de álabes de 16 a 20, la forma, longitud y el ancho de la zona de recirculación se conservó, no así la velocidad , ya que esta se incrementó de 7.25 a 8.9 m/s. a 10 cm. de la salida. Estas características se pueden observar en la figura 5.8.

La figura 5.9 muestra un perfil de flama producido por el estabilizador IIE-3, el cual tiene 22 álabes pero el diámetro interior es menor que los otros dos estabilizadores analizados. Al igual que los anteriores estabilizadores, la forma, el ancho y la longitud se conservó, mientras que las velocidades de recirculación disminuyeron con respecto al estabilizador IIE-2.

El estabilizador IIE-4 presentó los mayores valores de velocidad de recirculación para los tres planos de medición, conservó la forma y la longitud del perfil, no así el ancho de la misma ya que presentó 5 cm en el plano a 10 cm de la salida del aire a través del compartimiento. De acuerdo con estas características, este estabilizador fué el más eficiente con respecto a los otros tres diseños IIE.

Debido a que el diseño IIE-4 fué el más eficiente, se decidió cambiar el ángulo de salida de 45° a 60° y este nuevo diseño fué el IIE-5. Como se puede observar en la figura 5.11, al incrementar el ángulo de salida, se obtuvo una disminución en el ancho del perfil y también en la magnitud de los vectores de velocidad de la zona de recirculación, al pasar de 9.25 m/s para el diseño IIE-4 a 7.25 m/s para este diseño, lo que ocasiona que la zona de recirculación sea menos eficiente.

Finalmente para el diseño IIE-6, se cambio el ángulo de salida de 60° a 50° . Los resultados obtenidos se muestran en la figura 5.12. Como se observa de esta figura, se conserva la longitud y la forma de la zona de recirculación, pero presentó un incremento en la magnitud de los vectores de velocidad.

Por las características que presenta cada uno de los estabilizadores diseño IIE, se determinó que el estabilizador IIE-4, es el que mejor desempeño presentó de acuerdo con los criterios de comparación. Ahora bien, se espera que los generadores de vapor que operen con este tipo de estabilizador serán más eficientes que

aquellos que trabajen con estabilizadores de plato (Puerto Libertad), ya que se tendrá una mezcla mas eficiente entre el combustible y el aire debido a la forma de zona de recirculación así como a la magnitud de los vectores de velocidad que producen.

La vorticidad o grado de giro que produce un estabilizador origina en el fenómeno de la combustión, que las gotas del combustible atomizado tengan un mayor tiempo de residencia en las regiones de alta temperatura, lo que ocasiona que se obtenga un mejor quemado y logrará la máxima liberación de calor. Toda caldera que opere bajo estas condiciones tendrá una combustión más estable y por consiguiente el generador podrá operar con excesos de aire menores.

A fin de evaluar este parámetro se determinaron las velocidades de giro en la dirección "Y" para los tres planos de medición y para los 11 estabilizadores analizados; los resultados se presentan en la tabla 5.4. De la misma se puede observar que el estabilizador Puerto Libertad es el que presenta los menores valores de velocidad máxima de giro, mientras que si se compara con los estabilizadores de álabes rectos, el estabilizador de 22 álabes es el que presentó los mayores valores.

Con respecto a los estabilizadores diseño IIE, la comparación demuestra que todos los estabilizadores presentan valores altos de velocidad de giro, la magnitud de estos vectores varían de 27 a 30 m/s para el plano $x=10$ cm, mientras que para el plano $x=30$ cm, los valores de la velocidad de giro se encuentran entre 14 y 21 m/s, evidentemente todos ellos son mayores que los vectores producidos por el estabilizador Puerto Libertad.

De los resultados anteriores y de acuerdo con los criterios de comparación, los estabilizadores más eficientes fueron; 22 álabes rectos y el diseño IIE-4. A fin de tener un criterio más amplio de

comparación, se decidió realizar la determinación del número de giro para tres estabilizadores, Puerto Libertad y los dos más eficientes, diseño IIE-4 y 22 álabes rectos. Los resultados obtenidos están resumidos en la tabla 5.5, de la cual se puede observar que los estabilizadores seleccionados presentan valores mucho mayores del número de giro con respecto al estabilizador Puerto Libertad.

Las figuras 5.18, 5.19 y 5.20 demuestran que en el plano "X-Y", la magnitud de los vectores de velocidad producidos por los estabilizadores seleccionados como más eficientes, presentan valores de 1 a 2 veces mayores que los producidos por el estabilizador de Puerto Libertad.

La intensidad de turbulencia en la dirección media del flujo es un parámetro adimensional que permite relacionar la fluctuación de la velocidad con respecto a su valor medio.

De la figura 5.21 la cual muestra los resultados de la intensidad de turbulencia producida por el estabilizador Puerto Libertad se puede interpretar lo siguiente:

La intensidad de turbulencia producida en el plano $x=5$ cm tiene valores que varían entre $I=0.20$ hasta $I=0.26$, estos valores se encuentran localizados en las zonas de recirculación que produce el estabilizador. En el plano $x=10$ cm, se presentó un incremento en los valores del parámetro I con respecto al plano $x=5$ cm, ya que se encontraron valores entre 0.23 y 0.27. Finalmente para el plano $x=15$ cm, los valores de I disminuyeron con respecto al plano anterior encontrándose valores de 0.17 a 0.20.

De la figura 5.22, la cual muestra los valores de la intensidad de turbulencia producida por el estabilizador de 22 álabes se pone de manifiesto que en el plano $x=5$ cm, los valores de I varían entre 0.18 y 0.20. Mientras que en $x=10$ cm, los valores sufren un incremento considerable con respecto al plano anterior, ya que se

alcanzan valores de I que varían entre 0.34 y 0.52 , lo cual indica que en este plano se produce dos veces más turbulencia que en el plano anterior. Para el plano $x=15$ cm se tienen valores de I del orden de 0.59; esto indica que se produce dos y media veces más turbulencia en el mismo plano que la producida por el estabilizador de Puerto Libertad.

Para el estabilizador diseño IIE-4, intensidad de turbulencia presento valores entre 0.34 y 0.59 para los tres diferentes planos de medición.

Al comparar los tres estabilizadores se tiene:

1. Para el plano $x= 5$ cm, el estabilizador IIE-4 presentó los mayores valores de I , mientras que el estabilizador de 22 álabes rectos presentó los menores valores, sin embargo estos valores se encuentran localizados en el centro de la zona de recirculación, lo que evidentemente es mejor que los resultados obtenidos en el estabilizador Puerto Libertad, ya que sus valores se encuentran en la orilla del estabilizador.

2. Para los planos $x= 10$ y $x= 15$ cm, los valores de I que producen los estabilizadores 22 álabes rectos y IIE-4 no tienen una diferencia significativa, lo que es evidente es que al hacer la comparación con el estabilizador de Puerto Libertad se tiene que ambos estabilizadores producen dos y media veces más turbulencia que el estabilizador Puerto Libertad.

3. En forma general se concluye que los estabilizadores que fueron seleccionados como más eficientes (22 álabes rectos y IIE-4), presentaron los mayores valores, tanto en el número de giro como en la intensidad de turbulencia en los tres planos de medición, mientras que el estabilizador Puerto Libertad presentó la mayor caída de presión y los menores valores tanto de número de giro como de intensidades de turbulencia.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A través de este trabajo se ha presentado la evaluación fluidodinámica en frío (sin combustión), de 11 diferentes tipos de estabilizadores de flama que pueden ser utilizados en generadores de vapor de centrales termoelectricas de 158 MW.

La interpretación de los resultados de la evaluación ponen de manifiesto la influencia de los parámetros geométricos de los estabilizadores de flama (diámetros exterior e interior, forma, número, separación y ángulo de inclinación de los alabes), en la formación del frente de flama.

Las conclusiones principales de este trabajo son:

1. El modelo físico desarrollado del compartimiento de quemador tangencial utilizado en generadores de vapor de 158 MW., constituye una herramienta valiosa para la comprensión e interpretación de los patrones de flujo que producen cada uno de los estabilizadores.

2. La fórmula obtenida para la determinación del coeficiente de descarga general y del estabilizador puede ser usada para diseño de quemadores de cualquier tipo, ya que está presentó un error menor que el 3%.

3. Se encontró que existe una relación directa entre el coeficiente de descarga general y el coeficiente de descarga debido al estabilizador; es decir a mayor coeficiente de descarga general, le corresponde el mayor coeficiente de descarga del estabilizador y viceversa.

4. De acuerdo con las características que permiten definir el buen funcionamiento de un estabilizador de flama, se determinó que el estabilizador de 22 álabes rectos, así como el diseño IIE-4 resultaron ser los más eficientes de los 11 diferentes estabilizadores analizados, por lo que pueden ser utilizados en generadores de vapor de centrales termoeléctricas de 158 MW.

5. Se recomienda realizar una modelación en caliente en una cámara de combustión que permita comprobar la validez de los resultados obtenidos en este trabajo, midiendo perfiles de temperatura y concentraciones de productos de combustión.

6. Trabajar en la realización de un modelo matemático que permita caracterizar el comportamiento de un quemador tangencial tomado en cuenta las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y acoplar la ecuación de la energía para poder describir los patrones de flujo, mezclado así como los flujos térmicos producidos por el quemador.

7. En cuanto a la implementación de los estabilizadores que resultaron ser más eficientes, es necesario desarrollar un plan de trabajo que contemple: reuniones con el personal de operación de un central de 158 MW, para definir las nuevas condiciones de operación y si es necesario, realizar las modificaciones requeridas para implementar el prototipo del estabilizador.

8. Realizar una afinación de la caldera con los estabilizadores originales midiendo las concentraciones de los productos de combustión para diferentes condiciones de operación, con el objeto de definir las condiciones óptimas de operación. Posteriormente realizar la misma afinación con los estabilizadores que fueron más eficientes para poder tener un nivel de comparación que permita decidir si se mantiene o se sustituyen los estabilizadores.

9. Se desea sinceramente que la evaluación realizada sirva de base para trabajos posteriores y que de algún modo se útil para incrementar los índices de disponibilidad y eficiencia de las centrales termoelectricas del País.

BIBLIOGRAFIA

1. Martínez F. Marco Antonio.

"Modelación Fluidodinámica de quemadores tangenciales correspondiente a un generador de vapor de 973,950 kg/Hr (2 150 000 lb/hr) usado para la generación de energía eléctrica". Tesis Licenciatura UNAM. México D.F. 1984. Asesor: Dr. Jaime Cervantes de Gortari.

2. Huerta E. Mario.

"Caracterización Fluidodinámica de un quemador para combustible líquido". Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana. 1987. Asesor: Dr. Ramón Bolado E.

3. Martínez F. Marco Antonio.

"Simulación física de los patrones de flujo en un modelo de hogar de un generador de vapor." Tesis de Maestría UNAM. México D.F. 1988. Asesor: Dr. Jaime Cervantes de Gortari.

4. Espinoza G. Jesus, García T. Jaime, Martínez F. Oscar

"Geometría óptima de toberas para deshoilladores".

Boletín del I.I.E. mayo/junio de 1989, vol. 13, número 3.

5. Barrios B. Esteban

"Patrones y características del flujo en un modelo a escala del hogar de una caldera con quemadores tangenciales". Tesis de Maestría UNAM. México D.F. 1988 Asesor: Dr. Jaime Cervantes de G.

6. Romo M. Cesar A.

"Simulación en frío de un horno con quemadores tangenciales". Tesis Licenciatura UNAM. México D.F. 1984. Asesor: Dr. Jaime Cervantes de Gortari.

7. Comisión Federal de Electricidad, Prontuario de datos técnicos de la central termoeléctrica Puerto Libertad. Subdirección de Producción, mayo de 1990.

8. Miller V. H.

Heat Transfer and Fluid Flow service, Part 7 burner design.

Nacional Engineering Laboratory, East Kilbride Glasgow G 75.
Febrero de 1980.

9. Salvi. et al.

"la combustión teoría y aplicaciones". Editorial Dossat S.A.
Madrid España, 1979.

10. Beer J. M.

"On the stability and combustion intensity of pressure-jet oil
flames". International flame research foundation, July 1984.

11. Von Karman Institute for fluid flow.

"Theory and design of a constant temperature linearized hot
wire anemometer". Technical memorandum 24. October 1974.

12. Mataix Claudio.

Mecánica De Fluidos y máquinas Hidráulicas". editorial Haria
S.A. Madrid España 1982.

13. Mejía F. G.

"Manual de calibración y operación del anemometro de hilos
calientes". Reporte No. IIE/10/14/2425/1 02/F. IIE octubre de 1988.

14. C. Gaulier.

"Measurement of air velocity by means of a triple hot-wire
probe." Disa Information, measurement and analysis. No. 21 april
1977.

15. Y. Banhawy, Whirelaw J.H.

"Experimental study of the interaction between a fuel spray
and surrounding combustion air. Copyright 1981 by the combustion
institute published by Elsevier North Holland, Inc. 52 Vanderbilt
avenue, New York, NY 10017.

APENDICE 1

DESCRIPCION DEL ANEMOMETRO DE HILO CALIENTE.

El anemómetro de hilo caliente sirve para medir fluctuaciones rápidas de un flujo. Se define como anemómetro de hilo caliente como un elemento muy fino cuyo diámetro es de 0.005 mm y de 1 a 3 mm de longitud sostenido entre dos puntos, el cual se expone a un medio fluido con el objeto de medir una propiedad del medio, como por ejemplo la velocidad. Debido a que la salida del anemómetro es el resultado de la transferencia de calor entre el elemento y su medio ambiente, también se puede medir la temperatura y los cambios en la composición del fluido (13).

De acuerdo con el circuito que utilizan, los anemómetros se clasifican en:

- a) De corriente constante.
- b) De temperatura constante.

PRINCIPIO DE OPERACION DEL ANEMOMETRO DE TEMPERATURA CONSTANTE.

El anemómetro hace uso de las pérdidas térmicas por convección de la resistencia térmica de los sensores. El sensor se calienta en el flujo por estudiar mediante una corriente eléctrica y se enfría por el propio fluido.

La magnitud de las pérdidas convectivas depende de varios parámetros como son:

- La temperatura
- La presión del fluido
- La velocidad del fluido

Sí la velocidad del flujo variá, la pérdida instantánea de calor del sensor será proporcional a la medida de la velocidad instantánea del fluido.

El anemómetro de temperatura constante consiste de un puente de Wheastone y de un servo amplificador como se muestra en la figura 1.

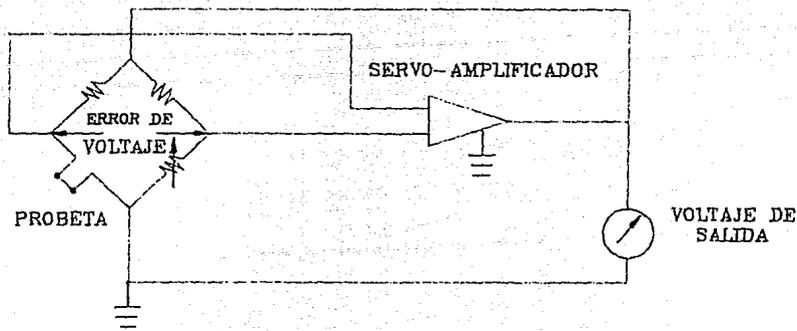


FIGURA 1. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL ANEMOMETRO DE TEMPERATURA CONSTANTE.

El sensor se conecta para formar una red con un puente de Wheatstone. El puente se ajusta por balance de tal forma que la diferencia de voltaje entre los dos puntos del puente sea cero, cuando la sonda se calienta a la temperatura de operación, (lo cual permite fijar la relación de sobrecalentamiento para el anemómetro). Cuando la pérdida de calor del sensor se incrementa, por el efecto convectivo de la velocidad del fluido, el cambio de la temperatura resultante provoca un desbalance en el puente; sin embargo la señal de error del puente ocasiona en el servo-amplificador un cambio en el voltaje de salida, de tal forma que la resistencia de salida de la sonda (o el promedio equivalente de la temperatura de la sonda) sea restaurada a su valor anterior, por consiguiente, esta es la designación del anemómetro a temperatura constante (13).

El anemómetro funciona a temperatura constante, por lo tanto es necesario alimentar la corriente con mayor voltaje cuando aumenta el enfriamiento y viceversa. Por lo tanto, el anemómetro mide a través de un voltmetro, el valor proporcional a la velocidad del flujo incidente en unidades de voltaje.

Por lo anterior es necesario realizar una curva de calibración, la cual consiste en trazar los puntos de los valores de voltaje correspondientes a velocidades conocidas de flujos de referencia. Estos flujos se pueden obtener con el equipo de calibración del propio estabilizador.

MEDIDADOR DE VOLTAJES R.M.S. DEL ANEMOMETRO DE HILO CALIENTE.

Este dispositivo se conecta el anemómetro para dar la medida de la desviación estandar de las fluctuaciones del voltaje debidas a la turbulencia. Los resultados de la medición suministrados por el puente de Wheatstone deben ser transferidos a sus valores correspondientes de velocidad.

El conjunto formado por el anemómetro y el voltímetro R.M.S. proporciona dos tipos de resultados, los cuales se diferencian por el tipo de voltaje que manejan, uno que alimenta corriente alterna y otro de corriente directa que surge al medidor. De aquí que debe calcularse de ambos resultados el voltaje R.M.S. verdadero.

Para traducir los valores de voltaje R.M.S. verdadero a sus correspondientes de velocidad, se construye una curva de calibración del hilo sensor contra velocidad como se muestra en la figura 2.

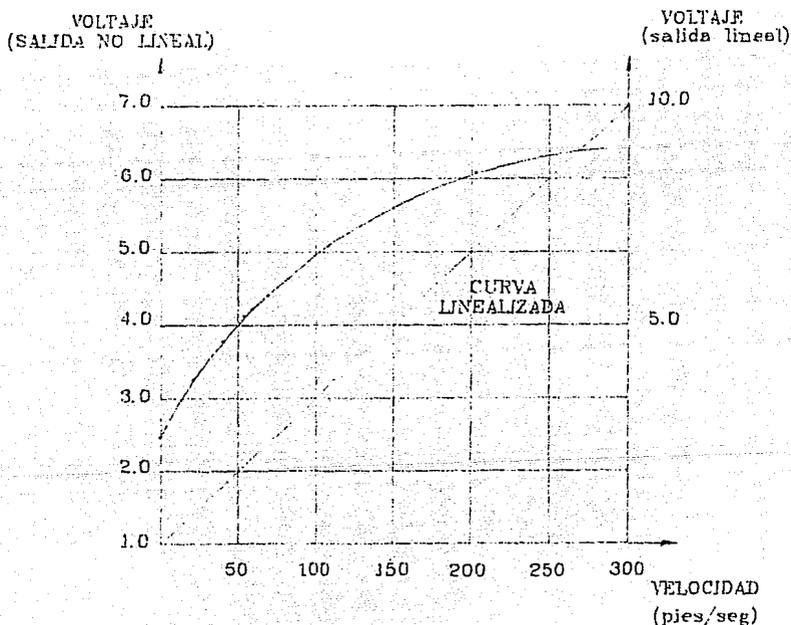


FIGURA 2. CURVA DE CALIBRACION TIPICA PARA UN ANEMOMETRO DE HILO CALIENTE.

APENDICE 2

PROGRAMAS DE COMPUTO Y RESULTADOS OBTENIDOS CON LA SONDA DE

5 ORIFICIOS

```

10 PRINT "PROGRAMA QUE CALCULA LA VELOCIDAD EN LA"
20 PRINT "DIRECCIONES X y Y A DIFERENTES DISTANCIAS"
30 PRINT "DE LA SALIDA DEL ESTABILIZADOR"
40 OPEN "RES.DAT" FOR OUTPUT AS FILE #2%
50 INPUT "DAME EL NUMERO DE DATOS"; N
60 INPUT "DAME EL PLANO DE MEDICION";PM
70 PRINT "DAME LOS PARAMETROS GEOMETRICOS DEL ESTABILIZADOR"
80 INPUT "DAME EL NOMBRE DEL ESTABILIZADOR"; NOMBRE$
85 INPUT "DAME EL DIAMETRO EXTERIOR EN METROS";D
90 INPUT "DAME EL DIAMETRO INTERIOR EN METROS";DI
100 INPUT "DAME EL NUMERO DE ALABES";NA
110 INPUT "DAME EL ANGULO DE INCLINACION DE LOS ALABES EN GRADOS";AI
120 INPUT "DAME EL ANGULO DE SALIDA DE LOS ALABES";SA
130 DIM SX(N),PX(N),VX(N), SY(N),PY(N),VY(N),RV(N),DX(N),DY(N)
140 REM LOS DATOS DE PRESION ATMOSFERICA Y TEMPERATURA ABSOLUTA.
150 PB=23.81
160 TA=484
170 DE=(1.325)*(PB)/(TA)
180 FOR I= 1 TO N
190 INPUT "SX(I)='";SX(I),"SY(I)='";SY(I)
200 NEXT I
210 FOR J=1 TO N
211 IF SX(J)=0 THEN GO TO 272
220 IF SX(J)=-ABS(SX(J)) THEN GO TO 260
230 PX(J)=((0.6611)*(ABS(SX(J)))+0.2794)/25.4
240 VX(J)=(1096.2*SQRT(PX(J)/DE))*0.0051
245 GO TO 279
260 PX(J)=((0.6611)*(ABS(SX(J)))+0.2794)/25.4
270 VX(J)=(-1096.2*SQRT(PX(J)/DE))*0.0051
271 GO TO 279
272 PX(J)=0
277 VX(J)=0
279 NEXT J
280 FOR JJ=1 TO N
281 IF SY(JJ)=0 THEN GO TO 334
285 IF SY(JJ)=-ABS(SY(JJ)) THEN GO TO 320
290 PY(JJ)=((0.6611)*(ABS(SY(JJ)))+0.2794)/25.4
300 VY(JJ)=(1096.2*SQRT(PY(JJ)/DE))*0.0051
310 GO TO 340
320 PY(JJ)=((0.6611)*(ABS(SY(JJ)))+0.2794)/25.4
330 VY(JJ)=(-1096.2*SQRT(PY(JJ)/DE))*0.0051
332 GO TO 340
334 PY(JJ)=0
335 VY(JJ)=0
340 NEXT JJ
343 FOR KK=1 TO N
344 DX(KK)=9.81*(PX(KK)*25.4)
345 DY(KK)=9.81*(PY(KK)*25.4)
346 RV(KK)= SQRT(VX(KK)^2+VY(KK)^2)
347 NEXT KK
350 PRINT "LA DISTANCIA EN CM. DE LA SALIDA AL PLANO DE MEDICION ES";PM
360 PRINT
370 PRINT #2%, "LA DIST. EN CM DE LA SALIDA AL PLANO DE MEDICION ES";PM
380 PRINT #2%.
390 PRINT "PARAMETROS DEL ESTABILIZADOR"
400 PRINT
410 PRINT #2%, "*****PARAMETROS DEL ESTABILIZADOR*****"
420 PRINT #2%.
430 PRINT "EL NOMBRE DEL ESTABILIZADOR ES"; NOMBRE$
440 PRINT #2, "EL NOMBRE DEL ESTABILIZADOR ES"; NOMBRE$

```

```

450 PRINT 'EL DIAMETRO EXTERIOR EN METROS ES';D
460 PRINT #2, 'EL DIAMETRO EXTERIOR EN METROS ES';D
470 PRINT 'EL DIAMETRO INTERIOR EN METROS ES';DI
480 PRINT #2, 'EL DIAMETRO INTERIOR EN METROS ES';DI
490 PRINT 'EL NUMERO DE ALABES ES';NA
500 PRINT #2, 'EL NUMERO DE ALABES ES';NA
510 PRINT 'EL ANGULO DE INCLINACION EN GRADOS ES';AI
520 PRINT #2, 'EL ANGULO DE INCLINACION EN GRADOS ES';AI
530 PRINT 'EL ANGULO DE SALIDA EN GRADOS ES';SA
540 PRINT #2, 'EL ANGULO DE SALIDA EN GRADOS ES';SA
550 PRINT
560 PRINT '*****LOS DATOS SON*****'
570 PRINT
580 PRINT #2%.
590 PRINT #2%, '*****LOS DATOS SON*****'
600 PRINT #2%,
605 PRINT "PTO(cm)". "SX(mm H2O)", "SY(mm H2O)", "PX(mm H2O)", "PY(mm H2O)"
610 PRINT #2%, "PTO(cm)", "SX(mm H2O)", "SY(mm H2O)", "PX(mm H2O)", "PY(mm H2O)"
615 PRINT
620 PRINT #2%,
630 FOR L=1 TO N
640 P=2*AL
642 PX(L)=PX(L)*25.4
644 PY(L)=PY(L)*25.4
650 PRINT P, SX(L), SY(L), PX(L), PY(L)
655 PRINT #2%, P, SX(L), SY(L), PX(L), PY(L)
660 NEXT L
662 PRINT
665 PRINT #2%,
670 PRINT '*****LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON*****'
680 PRINT
690 PRINT #2%, '*****LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON*****'
700 PRINT #2%,
710 PRINT "PTO(cm)", "VX(m/s)", "VY(m/s)", "RV(X)", "DX(Pa)", "DY(Pa)"
720 PRINT #2%, "PTO(cm)", "VX(m/s)", "VY(m/s)", "DX(Pa)", "DY(Pa)"
725 PRINT
730 PRINT #2%,
740 FOR M=1 TO N
745 P=NA*2
750 PRINT P, VX(M), VY(M), RV(M), DX(M), DY(M)
760 PRINT #2%, P, VX(M), VY(M), DX(M), DY(M)
790 NEXT M
800 END

```

0.146486E+01	0.9242349E+01	-.195560E+01	0.772546E+01	0.339284E+01	-.204151E+01
-.2207118E+01	0.168609E+01	0.454563E+00	-.787127E+00	-.209615E-01	0.114537E+00
0.452230E+00	-.256314E+00	-.261468E+00	-.774333E+00	0.132938E+01	0.238709E+01
-.173080E+01	-.334595E+01	-.905784E-01	0.155285E+01	0.746642E+00	0.104381E+00
0.449693E+00	0.138441E+00	-.271137E+00	0.116052E+01	0.117657E-01	-.392557E+01
-.924764E+00	0.672717E+01	-.257650E+01	-.361763E+01	0.318836E+01	-.719951E+00
0.310273E+01	-.216940E+00	-.952307E-01	0.989138E+00	-.350412E+00	-.164580E+01
0.804843E-01	0.117017E+02	-.103882E+00	-.379017E+00	0.265940E-01	0.465590E+01
0.187989E+01	0.104114E+01	-.153035E+01	0.531429E+01	0.219384E+01	0.204950E+01
-.191673E+01	-.157461E+01	0.866710E+00	0.419149E+00	-.145711E+00	-.553566E-01
0.451907E+00	-.229497E+00	-.214523E-01	-.617699E+00	0.360892E+00	0.124935E+01
-.496492E+00	-.157969E+01	-.234679E+00	0.726008E+00	0.425601E+00	0.708809E-01
0.455568E+00	0.259043E+00	-.671008E-01	0.345237E+00	0.508354E+00	-.104259E+01
-.769435E+00	0.224957E+01	-.542873E+00	-.146622E+01	0.118446E+01	-.267850E+00
0.312537E+01	0.645762E-02	-.814855E-01	-.180600E+00	-.237837E+00	0.281400E+00
-.102813E+00	-.137113E+00	0.977880E-02	0.105595E-01	0.771690E-02	0.395210E-02
0.184613E+01	0.125099E+02	-.195925E+00	-.136013E+02	-.533946E+00	0.314140E+02
0.544702E+00	-.203140E+02	-.300914E+00	0.552268E+01	0.756340E-01	-.527793E+00
0.470747E+00	-.277794E+00	-.904894E-01	0.109742E-01	0.105707E-01	-.632381E+00
-.315506E-01	0.850158E+00	0.265979E+00	-.389633E+00	-.216561E+00	-.343840E-01
0.471607E+00	0.228849E+00	-.515830E-01	0.109230E+01	-.595047E+00	-.400541E+01
0.309672E+01	0.571080E+01	-.568738E+01	-.195695E+01	0.342709E+01	-.918148E+00
0.303701E+01	0.622708E-01	0.729463E-01	-.469442E+00	-.163085E+00	0.906819E+00
-.382810E+00	-.724389E+00	0.218485E+00	0.256944E+00	-.374965E-01	-.341941E-01
0.190302E+01	0.100028E+02	-.699770E-02	0.149799E+01	0.211257E+00	0.547909E+01
-.953592E+00	-.234749E+01	0.603769E+00	0.313435E+00	-.107053E+00	-.922510E-02
0.485914E+00	-.260595E+00	-.160410E-01	-.563179E+00	0.283289E+00	0.103307E+01
-.366892E+00	-.121179E+01	-.174361E+00	0.506797E+00	0.274222E+00	0.410114E-01
0.490435E+00	0.304102E+00	-.107294E+00	-.302461E-01	0.745207E+00	0.684569E+00
-.179407E+01	-.652978E+00	0.177325E+01	-.547024E-01	-.647615E+00	0.198963E+00
0.351109E+01	-.317239E-01	-.204170E+00	0.242351E+00	-.896226E-01	-.577486E+00
-.472323E-01	0.569386E+00	-.869750E-01	-.242327E+00	0.282940E-01	0.369474E-01
0.203828E+01	0.993758E+01	-.974193E+00	0.102556E+01	0.312010E+01	0.800061E+01
-.399506E+01	-.519752E+01	0.191586E+01	0.152152E+01	-.307786E+00	-.183384E+00
0.441948E+00	-.237201E+00	0.119878E-01	-.504013E+00	0.638810E-01	0.961688E+00
0.188431E-01	-.112389E+01	-.434844E+00	0.433196E+00	0.337797E+00	0.645536E-01
0.446141E+00	0.257068E+00	-.507110E-01	0.218192E+00	0.188435E+00	-.321589E+00
-.294479E-01	0.636739E+00	-.622346E+00	-.261413E+00	0.548303E+00	-.174072E+00
0.315211E+01	0.467837E-01	-.158903E+00	-.318822E+00	-.823552E-01	0.387679E+00
-.745433E-01	-.129538E+00	-.519080E-01	-.151974E-01	0.199254E-01	0.978278E-02
0.305101E+00	0.566311E-01	0.266229E-02	0.808085E-04	-.193001E-04	-.578299E-06
0.388047E-07	0.103371E-08	-.310434E-10	-.742057E-12	0.850512E-14	0.191040E-15

```

C*PROGRAMA*PARA*CALCULAR*LOS*RESULTADOS*DE*LAS*MEDICIONES*****
C CON LA SONDA DE 5 ORIFICIOS.
C PRIMERA EDICION SEGUN LA TESIS DE AHLHEIM 1975
C ULTIMA EDICION SEGUN LA TESIS DE HALLET (UNIVERSIDAD
C KARLSRUHE 1981)
C ADEMÁS DE LOS RESULTADOS DE LA MEDICION ENTRAN LAS
C COEFICIENTES DE LAS CURVAS DE CALIBRACION CK02, CK04
C CBETA Y CALPHA, DETERMINADOS POR UN METODO DE "LEAST
C SQUARES".
C LA Rutina TRAPEZ SIRVE COMO SUBROUTINA DE INTEGRACION
C PARA ESTE PROGRAMA.

```

```

C*****
1 DIMENSION P0(50),P2(50),P4(50),ALPHA(50),ALPHA(50),
  BETA(50),Y(50),R(50),V(50),UAX(50),UTAN(50),UR(50),P(50),
2 EINS(50),LV(50),CBETA(6,12),CK02(6,12),CK04(6,12),
3 CALPHA(12),PST(50),CKPS(6,12),VX(50),VY(50),VZ(50),
4 RHOUAX(50),PDYR(50),PZ(50),PGES(50),RURUST(50),UDAX(50),
5 UDR(50),UDTAN(50),PBGES(50),PDST(50),PRZT(50),DLMS(50),
6 VD(50),PHI(50),RHU(50),VVXY(50),VVXZ(50),
7 VDELTA(50),VDELTA1(50)
  CHARACTER IBCDYA*20
  DATA EINS/50*1./
  CHARACTER*30 ENTRADA,SALIDA
  PI=3.1416

```

```

C*****
C SE LEEN LOS COEFICIENTES DE LAS CURVAS DE CALIBRACION
C CBETA,CK02,CK04,CKPS Y CALPHA, LAS CUALES SON POLI-
C NOMIOS DE GRADO 11. EXISTEN CALIBRACIONES A 5 VELOCIDADES
C DIFERENTES. (CALPHA ES UNA EXCEPCION, SU VALOR ES EL
C MISMO PARA CUALQUIER VELOCIDAD.

```

```

C*****
  OPEN(UNIT=15,NAME='COEF.MOD',TYPE='OLD')
  DO 20 L1=1,5
  READ(15,*) (CBETA(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,*) (CK02(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,*) (CK04(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,*) (CKPS(L1,L2), L2=1,12)
20 CONTINUE
  READ(15,*) CALPHA
  11 FORMAT(6(1X,E12.6)/1X,6(1X,E12.6))
  RH000=1.2934273.15/(1.013E5)
  TYPE *, 'EN QUE ARCHIVO ESTAN TUS DATOS DE ENTRADA'
  ACCEPT 12,ENTRADA
  OPEN(UNIT=5,NAME=ENTRADA,TYPE='OLD')
  TYPE *, 'EN QUE ARCHIVO QUIERES TUS RESULTADOS'
  ACCEPT 12,SALIDA
  12 FORMAT(A30)
  OPEN(UNIT=6,NAME=SALIDA,TYPE='NEW')
  READ (5,*) NE

```

```

C*****
C NE= NUMEROS DE LOS PLANOS DE MEDICION
C IBCDY= TEXTO PARA SIGNIFICAR ESTE PLANO (MAX. 60 LETRAS)
C*****
  DO 900 I=1,NE
  READ (5,25) IBCDY
25 FORMAT (A70)

```

```

C*****
C SE LEEN LOS DATOS GENERALES QUE VALEN EN ESTE PLANO DE
C MEDICION:

```

```

C PU= PRESION ATMOSFERICA (TORR= MM DE MERCURIO)
C T= TEMPERATURA DEL AIRE (GRADOS CENTIGRADOS)
C H= COORDENADA X DEL PLANO, POSICION DE LA SONDA EN UN COMPARTIMIENTO
C SM= COORDENADA Y DEL EJE DEL FLUJO. LA CUAL ES CERO SI
C EL ORIGEN DE LAS COORDENADAS COINCIDE CON EL EJE DEL
C FLUJO
C RA= RADIO DE LA CAMARA DE COMBUSTION (MM)
C RB= RADIO DEL QUEMADOR (MM)
C NS= NUMERO DE MEDICIONES EN ESTE PLANO
C VSOLL= FLUJO DE AIRE (M3/H)
C P17= PRESION CONTRA CUAL SE HACE LAS MEDICIONES (MM DE AGUA).
C SI SE MIDE CONTRA LA PRESION DEL AMBIENTE P17=0.
C CUANDO SE MIDE EN UNA CAMARA DE COMBUSTION ES LA
C FAVORABLE MEDIR CONTRA LA PRESION ESTATICA A LA SALIDA
C DE LA CAMARA.

```

```

C*****

```

```

READ (5,*) PU,T,H,SM,RA,RB,NS,VSOLL,P17

```

```

RI=0.

```

```

PU=PUA1.33E2

```

```

P17=P17A9.81

```

```

WRITE(6,1) IECDY

```

```

1   FORMAT(1H1,8X,67('*')/9X,'*',60A,5X,'*')

```

```

WRITE(6,805)H

```

```

805  FORMAT(9X,'APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM=',F6.0,

```

```

2   20X,'*')

```

```

2   WRITE(6,2) PU,T

```

```

FORMAT(9X,'*', 'PRESION ATMOSFERICA ',F8.0,

```

```

1 'NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE ',F6.0,'C',1X,'*'/9X, 67('*'))

```

```

WRITE(6,3)

```

```

3   FORMAT(1H0,10X,'DATOS DE MEDICION')

```

```

WRITE(6,801)

```

```

801  FORMAT(13X,'Y',9X,'P(0)-P(AMB)',2X,'P(0)-P(2)',4X,'P(0)-P(4)',

```

```

2   4X,'ALPHAMED',6X,'ALPHAREAL')

```

```

RHO0=RHO00/(273.15+T)

```

```

NS=NS+1

```

```

NS1=NS-1

```

```

NS2=NS-2

```

```

NNEG=1

```

```

C*****

```

```

C NNEG= NUMERO DE LOS PUNTOS DE MEDICION CON COORDENADAS

```

```

C POSITIVAS. PARA CALCULAR LOS VALORES INTEGRALES SOLO

```

```

C SE USAN LOS VALORES CON COORDENADAS POSITIVAS.

```

```

C*****

```

```

DO 100 IO= 2,NS

```

```

C*****

```

```

C SE LEEN LOS VALORES DE LA MEDICION.

```

```

C S= COORDENADA RADIAL (MM). SE CORRIGE ESTE VALOR CON SM

```

```

C Y GUARDA COMO Y(IO). EL RADIO ES EL VALOR ABSOLUTO

```

```

C DE Y(IO).

```

```

C PO= PRESION AL ORIFICIO CENTRAL (MM DE AGUA).

```

```

C PO2,PO4 SON LAS DIFERENCIAS DE PRESION ENTRE PO-P2 Y

```

```

C PO-P4 (MM DE AGUA).

```

```

C ALPHA= ES EL ANGULO DE LA SONDA.

```

```

C SE TIENE QUE EMPEZAR CON EL RADIO MAS GRANDE ( CERCA DE

```

```

C LA PARED DONDE ENTRA LA SONDA).

```

```

C*****

```

```

READ(5,*) S,PO(IO),PO2,PO4,ALPHA(IO)

```

```

TYPE A,S,PO(IO),PO2,PO4,ALPHA(IO)

```

```

ALP=ALPHA(IO)

```

```

ALPHA(IO)=ALPHA(IO)-90.

```

```

      IF (ALPHA(I0).GT.180.) ALPHA(I0)=ALPHA(I0)-360.
800  WRITE(6,800) S,P0(I0),P02,P04,ALF,ALPHA(I0)
      FORMAT(9X,6(F8.2,5X))
      P2(I0)=P0(I0)-P02
      P4(I0)=P0(I0)-P04
      RHO(I0)=RHO0A*P0
      Y(I0)=S-SM
      IF(Y(I0).GT.0.) NNEG=NNEG+1
      R(I0)=ABS(Y(I0))
100  CONTINUE
      Y(1)=+RA
      R(1)=RA
55   CONTINUE
C*****
C POR EL PRIMER CALCULO DE LA VELOCIDAD SE USA LA CURVA
C DE CALIBRACION PARA LA VELOCIDAD MAS PEQUENA. (LV(11)=1
C RESPECTIVO LVALT=1).
C*****
      DO 101 I1=2,NS
      LV(I1)=1
101  CONTINUE
      DO 200 J=1,2
C*****
C EL PROGRAMA CALCULA LA VELOCIDAD DOS VECES. LA PRIMERA
C VEZ CHECA LA VELOCIDAD PARA ELIGIR LA CURVA DE
C CALIBRACION ADECUADA.
C*****
      DO 102 I2=2,NS
      FAKTOR=1.
      LVALT=LV(I2)
      BETA(I2)=CBETA(LVALT,1)
      CPS=CKPS(LVALT,1)
      ALPHAK(I2)=ALPHA(I2)-CALPHA(1)
      IF ((P0(I2)-P2(I2)).LE.0.) .AND. ((P0(I2)-P4(I2))
1     .LE.0.)) GOTO 98
C*****
C ERROR EN LA MEDICION. EL FLUJO VIENE POR ATRAS. (SE ELI-
C MINARA ESTE RESULTADO DESPUES)
C*****
      IF (P2(I2)-P4(I2)) 50,51,51
C*****
C SE DETERMINA QUE ECUACION SE TIENE QUE USAR PARA CALCULAR
C LA VELOCIDAD. EN EL CASO P2<P4 SE CALCULA PV=(P2-P4)/
C (P0-P2); EN EL CASO P4<P2 SE CALCULA PV=(P2-P4)/(P0-P4).
C*****
50   P(I2)=(P2(I2)-F4(I2))/(P0(I2)-P2(I2))
57   CV=CK02(LVALT,1)
      CP=P0(I2)-P2(I2)
      IF (FAKTOR.LT.0) CP=P0(I2)-P4(I2)
      IF (ABS(P(I2)).LT.1.E-10) GOTO 53
C*****
C CALCULO DEL VALOR CV EN FUNCION DEL VALOR PV Y EL
C POLINOMIO CK02
C*****
      DO 60 L=2,12
      CV=CV+CK02(LVALT,L)*(P(I2)**(L-1))
60   CONTINUE
      GOTO 52
51   P(I2)=(P2(I2)-P4(I2))/(P0(I2)-P4(I2))
      CV=CK04(LVALT,1)

```

oh

CP=PO(I2)-P4(I2)
IF (ABS(P(I2)) .LT. 1.E-10) GOTO 53

C CALCULO DE CK04 ANALOGO DE CK02

DO 61 L=2,12
CV= CV+CK04(LVALT,L)*(P(I2)**(L-1))

61 CONTINUE
52 CONTINUE

C INVESTIGACION DEL ANGULO BETA, SI ESTA DENTRO DEL RANGO
C -60 < BETA < +60. SI NO SE ELIMINARA EL VALOR.

IF ((P(I2) .GE. -1.82) .AND. (P(I2) .LE. 1.57)) GOTO 54
IF ((P(I2) .GT. 1.82) .OR. (P(I2) .LT. -1.82)) GOTO 98
P(I2)=-P(I2)
FAKTOR=-1.
GOTO 57

98 WRITE(6,4) Y(I2),P(I2),PO(I2),P2(I2),P4(I2)

C VALOR DE LA MEDICION FUERA DEL RANGO PERMITIDO. SE

C ELIMINA ESTE VALOR Y SE RENUMERAN LOS OIROS.

4 FORMAT(1HO,5(5X,F10.5),5X,'BETA GT.+60 O LT.-60')

NS=NS-1
NS1=NS1-1
IF (Y(I2) .GT. 0.) NNEG=NNEG-1
N17=NS+1

DO 99 IL=I2,N17
Y(IL)=Y(IL+1)
R(IL)=R(IL+1)
ALPHA(IL)=ALPHA(IL+1)
PO(IL)=PO(IL+1)
P2(IL)=P2(IL+1)
P4(IL)=P4(IL+1)
RHO(IL)=RHO(IL+1)

99 CONTINUE
GOTO 55
54 CONTINUE

C CALCULO DEL ANGULO BETA Y DEL VALOR CPS EN FUNCION DEL
C VALOR PV Y DE LOS POLINOMIOS CBETA Y CKPS.

DO 62 L=2,12
BETA(I2)=BETA(I2)+CBETA(LVALT,L)*(P(I2)**(L-1))
CPS= CPS+CKPS(LVALT,L)*(P(I2)**(L-1))

62 CONTINUE
IF (ABS(BETA(I2)) .LT. 1.E-10) GOTO 56

C CORECCION DEL ANGULO ALPHA EN FUNCION DEL POLINOMIO CALPHA
C Y DEL ANGULO BETA.

53 DO 63 L=2,12
ALPHA(I2)=ALPHA(I2)-CALPHA(L)*(BETA(I2)**(L-1))*FAKTOR
63 CONTINUE
BETA(I2)=BETA(I2)*FAKTOR
56 CONTINUE

C CALCULO DE LA VELOCIDAD. DEBIDO A LA DIFERENCIA ENTRE
C LA PRESION EN EL FLUJO Y EL AMBIENTE LA DENSIDAD DEL

C FLUJO CAMBIA UN POCO.
 C ENTONCES SE USA UNA ITERACION (2 VECES) PARA CALCULAR
 C LA PRESION ESTATICA, LA DENSIDAD Y LA VELOCIDAD.
 C EN EL CASO QUE SE MIDE EN FLAMAS SE TIENE QUE TENER
 C EN CUENTA LA COMPOSICION Y LA TEMPERATURA DEL FLUJO.
 C*****

```

DO 70 IRHO=1,2
V(I2)=SQRT(2.ACP*9.81/(RHO(I2)*CV))
PST(I2)= -.125*IRHO(I2)*V(I2)*V(I2)*CPS+0.25A(2.*P0(I2)+
1 P2(I2)+P4(I2))*9.81
RHO(I2)=RHO0A(PST(I2)+PU+P17)
70 CONTINUE

```

C*****
 C A PARTIR DEL VALOR DE LA VELOCIDAD CALCULADA SE CHECA
 C SI LA CURVA DE CALIBRACION UTILIZADA FUE LA ADECUADA.
 C*****

```

IF (V(I2) .GT. 96.75) LV(I2)=5
IF (V(I2) .LE. 96.75) LV(I2)=4
IF (V(I2) .LE. 66.35) LV(I2)=3
IF (V(I2) .LE. 42.05) LV(I2)=2
IF (V(I2) .LE. 20.9) LV(I2)=1

```

```

102 CONTINUE
200 CONTINUE
WRITE(6,802)
802 FORMAT(1H0,8X,75('A')/3X,'A RESULTADOS',59X,'A')
WRITE(6,87)
87 FORMAT(3X,'A',3X,'Y',7X,'V',3X,'BETA',3X,'ALPHA',3X,'UAX',
1 5X,'UR',4X,'UTAN',4X,'Uxy',4X,'Uxz',2X,'delta')
WRITE(6,133)
133 FORMAT(3X,'A',3X,'MM',5X,'M/S',18X,'M/S',4X,'M/S',4X,
1 'M/S',4X,'M/S',4X,'M/S',8X,'A')

```

C*****
 C LA VELOCIDAD TOTAL SE DESCOMPONE EN SUS TRES COMPONENTES
 C AXIAL, RADIAL Y TANGENCIAL. ADEMÁS SE CALCULA LA
 C DENSIDAD MÀSICA DEL FLUJO A PARTIR DE LA DENSIDAD LOCAL.
 C*****

```

DO 110 I10=2,NS
BE=BETA(I10)*PI/180.
AL=ALPHA(I10)*PI/180.
IF (ALPHA(I10) .LE. -180.) ALPHA(I10)=ALPHA(I10)+360.
PBYN(I10)=0.5*IRHO(I10)*V(I10)*V(I10)
PGES(I10)= PST(I10)+PBYN(I10)
VZ(I10)=-V(I10)*COS(BE)*SIN(AL)
VX(I10)=V(I10)*COS(BE)*COS(AL)
VY(I10)=-V(I10)*SIN(BE)
UAX(I10)=VX(I10)
RHOUAX(I10)=RHO(I10)*UAX(I10)
RURUCK(I10)=(ABS(RHOUAX(I10))-RHOUAX(I10))/2.
UTAN(I10)=VZ(I10)*SIGN(1.,Y(I10))
UR(I10)=VY(I10)*SIGN(1.,Y(I10))
110 CONTINUE

```

C*****
 C CONDICIONES DE FRONTERA PARA LAS INTEGRACIONES:
 C A LA PARED TODAS LAS VELOCIDADES SON CERO.
 C LA PRESION ESTATICA DE LA PARED SE TOMA COMO LA PRESION
 C ESTATICA MEDIDA EN EL PUNTO MÀS CERCANO A ESTE.
 C LA PRESION DINÀMICA ES CERO SEGUN EL HECHO QUE NO EXISTE
 C NINGUNA VELOCIDAD, ENTONCES VALE PTOTAL=PESTATICA.
 C*****
 UAX(1)=0.

201

RHOUAX(1)=0.
 RURUCK(1)=0.
 UTAN(1)=0.
 UR(1)=0.
 PWAND=PST(2)
 PST(1)=PWAND
 PGES(1)=PST(1)

CONTINUE

 C CALCULO DE LOS VALORES INTEGRALES COMO FLUJO VOLUMETRICO
 C FLUJO MASICO Y FLUJO DEL IMPULSO. CADA FLUJO TOTAL SE
 C DESCOMPONE EN FLUJO EN DIRECCION ABLANTE Y FLUJO EN
 C DIRECCION HACIA ATRAS (RECIRCULACION). PARA ESTO SE USA
 C LA SUBROUTINA TRAPEZ QUE SE TIENE QUE COMPILAR POR
 C SEPAKADO.

 VOLPSI=TRAPEZ(UAX,EINS,EINS,R,NNEG)
 VOLAX=VOLPSI*A3.6*PI*A2.E-3
 AMAX=PI*A3.6*TRAPEZ(RHOUAX,EINS,EINS,R,NNEG)*A(1.E-3)*A2.
 AMSOLL=VSOLL*A1.293
 FEHLM=(AMAX-AMSOLL)/AMSOLL*A100.
 AMRUCK=PI*A3.6*TRAPEZ(RURUCK,EINS,EINS,R,NNEG)*A(1.E-3)*A2.
 PRUCK=AMRUCK/AMAX*A100.
 AIAX=PI*ATRAPEZ(UAX,RHOUAX,EINS,R,NNEG)*A1.E-06*A2.
 DTAN=PI*ATRAPEZ(RHOUAX,UTAN,R,R,NNEG)*A(1.E-9)*A2.
 SDRUCK=PI*ATRAPEZ(PST,EINS,EINS,R,NNEG)*A(1.E-6)*A2.
 SSCHUB=AIAX+SDRUCK
 EAX=PI*ATRAPEZ(UAX,UAX,RHOUAX,R,NNEG)*A(0.5E-6)*A2.
 EDRUCK=PI*ATRAPEZ(PST,UAX,EINS,R,NNEG)*A(1.E-06)*A2.
 ETAN=PI*ATRAPEZ(RHOUAX,UTAN,R,NNEG)*A(0.5E-6)*A2.
 BGES=EAX+ETAN+EDRUCK
 PZ(1)=PST(1)
 PZ(2)=PST(2)
 PHI(1)=1.
 PSI=0.
 NNEG1=NNEG-1

 C CALCULO DE LA PRESION ESTATICA A PARTIR DE LA ECUACION
 C SIMPLIFICADA DE CONSERVACION DEL IMPULSO EN FUNCION DEL
 C TRANSCURSO DE LA VELOCIDAD RADIAL. MUCHAS VECES ESTE METODO
 C ES MAS EXACTO QUE EL METODO DIRECTO A PARTIR DE LOS VALORES
 C DE MEDICION DE LA SONDA.
 C PHI ES LA PARTE DEL FLUJO VOLUMETRICO QUE CORRE DENTRO DEL
 C RADIO EN CONSIDERACION RELACIONADO AL FLUJO VOLUMETRICO
 C TOTAL (VOLPSI).

 DO 45 I10=2,NNEG1
 PZ(I10+1)=PZ(I10)-0.5*(RHO(I10)*UTAN(I10)*A2./R(I10)+
 1 RHO(I10)*UTAN(I10+1)*A2./R(I10+1))*A(R(I10)-R(I10+1))
 PSI=PSI+0.5*(UAX(I10)*R(I10)+UAX(I10-1)*R(I10-1))*A
 1 ABS(R(I10)-R(I10-1))
 PHI(I10)=1.-PSI/VOLPSI
 45 CONTINUE
 PHI(NNEG)=0
 NNEG1=NNEG+1

 C TODOS LOS VALORES PARA PHI Y PZ EN LOS PUNTOS CON COORDENADAS
 C NEGATIVAS SE IGUALAN A CERO.

 DO 47 I12=NNEG1,NS

Ch

PZ(I12)=0.
PHI(I12)=0.
CONTINUE

47

C*****
C IMPRESION DE LOS RESULTADOS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C*****

DO 46 I10=2,NS
VVXY(I10)=SQRT(UAX(I10)**2+UR(I10)**2)
VVXZ(I10)=SQRT(UTAN(I10)**2+UAX(I10)**2)
VDELTA(I10)=ATAN(UR(I10)/UAX(I10))
VDELTA1(I10)=VDELTA(I10)*180./3.1416
WRITE(6,5)Y(I10),V(I10),BETA(I10),ALPHA(I10),UAX(I10),
1 UR(I10),UTAN(I10),VVXY(I10),VVXZ(I10),VDELTA1(I10)
FORMAT(3X,'*',F6.1,9(X,F6.1),1X,'*')

5
46

CONTINUE
CONTINUE
WRITE(6,803)
FORMAT(9X,75('A'))
ZDRUCK=PI*TRAPEZ(PZ,EINS,EINS,R,NNEG)*A(1.E-6)**2.
ZEDRUK=PI*TRAPEZ(PZ,UAX,EINS,R,NNEG)*A(1.E-6)**2.
ZSCHUB=A*IAX+ZDRUCK

803

C*****
C CALCULO DEL NUMERO DE SWIRL SEGUN DIFERENTES DEFINICIONES:
C SDRALL = MOMENTO DEL IMPULSO TANGENCIAL/RADIO*TENSION AXIAL
C ZDRALL = EL MISMO, PERO SE UTILIZA LA PRESION ESTATICA PZ
C CALCULADA CON LA CONVERSION DEL IMPULSO
C DRALL2 = MOMENTO DEL IMPULSO TANGENCIAL/RADIO*IMPULSO AXIAL
C NO SE TIENE EN CUENTA LA FUERZA DE LA PRESION.
C DRALL3 = FLUJO DE LA ENERGIA DEL SWIRL(TANGENCIAL)/FLUJO
C DE LA ENERGIA (AXIAL)

C*****
SDRALL=DTAN/(RBA*(A*IAX+SDRUCK))*A1.E03
ZDRALL=DTAN/(RBA*(A*IAX+ZDRUCK))*A1.E03
DRALL2=DTAN/(RBA*IAX)*A1.E03
DRALL3=ETAN/EAX
WRITE(6,140) IBCDY

140

FORMAT(1H0,10A4,' VALORES INTEGRALES - TODOS LAS '
1 'PRESIONES Y VALORES CALCULADOS A PARTIR DE PRESIONES '
2 'SON RELACIONADOS A P17')

30

WRITE(6,30) VOLAX,AMAX,AMSOLL,FEHLM
FORMAT(1H0,' FLUJO VOLUMETRICO AXIAL ',F8.2,' M3/H',
1 ' FLUJO MASICO AXIAL ',F8.2,' KG/H'/5X,
2 ' FLUJO MASICO A LA ENTRADA ',F8.2,' KG/H',
3 ' DISCREPANCIA ',F6.1,'%')

34

WRITE(6,34) AMRUCK,PRUCK
FORMAT(1H0,' FLUJO MASICO RECIRCULANTE ',F7.1,
1 ' KG/H',3X,F5.1,'% DEL FLUJO MASICO TOTAL')
WRITE(6,31) A*IAX,SDRUCK,SSCHUB,DTAN

31

FORMAT(1H0,' IMPULSO AXIAL ',F10.5,' N PROMEDIO DE '
1 'LA FUERZA DE PRESION ',F10.5,' N'' PROMEDIO DE LA '
2 'FUERZA DE TENSION',F10.5,' N' IMPULSO DEL SWIRL '
3 F10.5,' NM')

32

WRITE(6,32) EAX,ETAN,EDRUCK,EGES
FORMAT(1H0,' ENERGIA AXIAL ',F8.3,' WATT ENERGIA '
1 'DEL SWIRL',F8.3,' WATT'' ENERGIA DE LA PRESION '
2 F8.3,' WATT ENERGIA TOTAL ',F8.3,' WATT')
WRITE(6,33)SDRALL,DRALL2,DRALL3

33

FORMAT(1H0,' NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) ',F10.5,5X,
1 'SWIRL2 (DRALL2) ',F10.5,5X,'SWIRL3 (DRALL3) ',F10.5)
WRITE(6,16) ZDRUCK,ZSCHUB,ZEDRUCK,ZDALL

hhl

```
16  FORMAT(///IX,'VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ',
1  'ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL'/
2  2X,'FUERZA DE PRESION',F8.4,' N      FUERZA DE TENSION ',
3  F8.4,' N      ENERGIA DE PRESION ',F9.3,' WATT      SWIRL',
4  F8.4)
900  CONTINUE
      STOP
      END
```

Sh

 APPLANO A 5 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR PTO. LIBERTAD
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 50. *
 APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARE
8.00	-12.00	4.00	4.00	-26.00	-116.00
16.00	-16.00	-6.00	4.00	-26.00	-116.00
24.00	-16.00	-4.00	-4.00	-5.00	-95.00
32.00	-16.00	-6.00	-6.00	-18.00	-108.00
40.00	-22.00	-6.00	-6.00	-40.00	-130.00
48.00	-20.00	-5.50	-6.00	-40.00	-130.00
56.00	-21.00	-6.00	-6.00	-40.00	-130.00
64.00	-21.00	-6.00	-6.00	-40.00	-130.00
72.00	-12.00	6.50	-14.00	6.00	-84.00
80.00	22.00	22.00	10.00	0.00	-90.00
88.00	24.00	18.00	2.50	5.00	-85.00
96.00	28.00	30.00	2.00	5.00	-85.00
104.00	12.00	6.00	16.00	2.00	-88.00
112.00	18.00	12.00	3.00	25.00	-65.00
120.00	22.00	6.00	6.00	25.00	-65.00
128.00	-24.00	-6.00	-6.00	25.00	-65.00
136.00	-21.00	-16.00	-14.00	25.00	-65.00
144.00	-28.00	-15.00	-14.00	-15.00	-105.00
152.00	-28.00	-14.00	-14.00	-15.00	-105.00
160.00	-26.00	-15.00	-14.00	-22.00	-112.00
168.00	-29.00	-15.00	-14.00	-22.00	-112.00
176.00	12.00	18.00	3.00	-10.00	-100.00
184.00	36.00	12.00	46.00	-8.00	-98.00
192.00	46.00	8.00	40.00	-5.00	-95.00
16.00000	2.50000	-16.00000	-10.00000	-20.00000	BE
24.00000	2.50000	-16.00000	-12.00000	-12.00000	BE
32.00000	2.50000	-16.00000	-10.00000	-10.00000	BE
40.00000	2.50000	-22.00000	-16.00000	-16.00000	BE
48.00000	2.50000	-20.00000	-14.50000	-14.00000	BE
56.00000	2.50000	-21.00000	-15.00000	-15.00000	BE
64.00000	2.50000	-21.00000	-15.00000	-15.00000	BE
72.00000	-3.15385	-12.00000	-18.50000	2.00000	BE
128.00000	0.00000	-24.00000	-18.00000	-18.00000	BE
136.00000	0.00000	-21.00000	-5.00000	-7.00000	BE
144.00000	0.00000	-28.00000	-13.00000	-14.00000	BE
152.00000	0.00000	-28.00000	-14.00000	-14.00000	BE
160.00000	0.00000	-26.00000	-11.00000	-12.00000	BE
168.00000	0.00000	-29.00000	-14.00000	-15.00000	BE

9/11

* RESULTADOS										*
* Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	*
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 8.0	13.1	1.5	-116.4	-5.8	-0.3	11.7	5.8	13.1	3.3	*
* 80.0	25.6	-5.0	-90.1	0.0	2.2	25.5	2.2	25.5	-89.2	*
* 88.0	20.7	-11.5	-84.7	1.9	4.1	20.2	4.5	20.3	65.6	*
* 96.0	26.2	-13.3	-84.6	2.4	6.1	25.4	6.5	25.5	68.3	*
* 104.0	21.5	9.5	-89.0	0.4	-3.5	21.2	3.6	21.2	-83.9	*
* 112.0	17.8	-8.8	-64.9	7.5	2.7	15.9	7.9	17.6	20.0	*
* 120.0	16.0	1.3	-65.4	6.7	-0.4	14.6	6.7	16.0	-3.5	*
* 176.0	20.9	-10.8	-99.8	-3.5	3.9	20.2	5.2	20.5	-48.4	*
* 184.0	35.1	11.6	-99.1	-5.4	-7.1	34.0	8.9	34.4	52.4	*
* 192.0	32.1	12.9	-96.1	-3.3	-7.1	31.1	7.9	31.3	65.0	*

PLAN

FLUJO VOLUNETRICO AXIAL -66.51 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -65.63 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 890.6 KG/H

IMPULSO AXIAL 2.54196 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 65.31963 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 62.77766 N IMPULSO DEL SWIRL 0.45713 NM

ENERGIA AXIAL 2.373 WATT ENERGIA DEL SWIRL 38.049 WATT
 ENERGIA DE LA PRESION 50.383 WATT ENERGIA TOTAL 14.708 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 0.09709 SWIRL2 (DRALL2) 2.39779
 SWIRL3 (DRALL3) 16.03352

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
 FUERZA DE PRESION 46.4520 N FUERZA DE TENSION 48.9939 N ENERGIA DE PRESION

44

 APLANO A 10 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR PTO. LIBERTAD
 *POSICION DE LA SONDIA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AHB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARI
8.00	-12.00	2.00	1.00	0.00	-90.00
16.00	-16.00	1.00	1.00	0.00	-90.00
24.00	-12.00	1.00	1.00	0.00	-90.00
32.00	-15.00	-1.00	-1.00	0.00	-90.00
40.00	-12.00	-1.00	-1.00	0.00	-90.00
48.00	-12.00	-10.00	-12.00	0.00	-90.00
56.00	-19.00	-12.00	-10.00	-23.00	-123.00
64.00	-22.00	-6.00	-9.00	-14.00	-104.00
72.00	-20.00	3.00	10.00	-13.00	-103.00
80.00	-10.00	1.00	6.00	-9.00	-99.00
88.00	-2.00	4.00	4.00	-7.00	-97.00
96.00	-2.00	2.00	1.00	-5.00	-95.00
104.00	-10.00	4.00	3.00	-7.00	-97.00
112.00	-21.00	9.00	5.00	-7.00	-97.00
120.00	-22.00	10.00	8.00	-20.00	-110.00
128.00	-20.00	14.00	8.50	-22.00	-112.00
136.00	-22.00	-12.00	-12.00	0.00	-90.00
144.00	-20.00	-11.00	-8.00	0.00	-90.00
152.00	-21.00	-10.00	-10.00	0.00	-90.00
160.00	-19.00	-11.00	-11.00	0.00	-90.00
168.00	-22.00	-9.00	-9.00	0.00	-90.00
176.00	17.00	8.00	11.00	13.00	-77.00
184.00	12.00	6.00	11.00	2.00	-88.00
192.00	28.00	22.00	10.00	6.00	-84.00
32.00000	-0.93333	-15.00000	-14.00000	-14.00000	BF
40.00000	-0.93333	-12.00000	-11.00000	-11.00000	BF
48.00000	-0.93333	-12.00000	-2.00000	0.00000	BF
56.00000	-0.93333	-19.00000	-7.00000	-9.00000	BF
64.00000	-0.93333	-22.00000	-16.00000	-13.00000	BF
136.00000	0.00000	-22.00000	-10.00000	-10.00000	BF
144.00000	0.00000	-20.00000	-9.00000	-12.00000	BF
152.00000	0.00000	-21.00000	-11.00000	-11.00000	BF
160.00000	0.00000	-19.00000	-8.00000	-8.00000	BF
168.00000	0.00000	-22.00000	-13.00000	-13.00000	BF

* RESULTADOS

* Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	* A
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		* A
* 8.0	7.9	-4.4	-90.1	0.0	0.6	7.9	0.6	7.9	-88.7	* A
* 16.0	6.6	1.5	-90.4	0.0	-0.2	6.5	0.2	6.5	74.9	* A
* 24.0	6.5	1.5	-90.4	0.0	-0.2	6.5	0.2	6.5	74.9	* A

PH

*	72.0	17.1	10.0	-104.0	-4.1	-3.0	16.3	5.0	16.8	36.0	*
*	80.0	12.6	12.8	-100.1	-2.2	-2.8	12.1	3.5	12.3	52.4	*
*	88.0	13.1	1.5	-97.4	-1.7	-0.3	13.0	1.7	13.1	11.2	*
*	96.0	7.9	-4.4	-95.1	-0.7	0.6	7.9	0.9	7.9	-40.8	*
*	104.0	12.2	-1.1	-97.2	-1.5	0.2	12.1	1.6	12.2	-8.5	*
*	112.0	17.2	-3.6	-97.1	-2.1	1.1	17.0	2.4	17.1	-26.6	*
*	120.0	19.7	-0.5	-110.3	-6.8	0.2	19.4	6.8	19.7	-1.5	*
*	128.0	21.7	-2.7	-112.2	-8.2	1.0	20.1	8.3	21.7	-7.2	*
*	176.0	20.8	4.0	-77.6	4.5	-1.5	20.2	4.7	20.7	-18.1	*
*	184.0	19.6	6.1	-88.7	0.4	-2.1	19.5	2.1	19.5	-78.3	*
*	192.0	25.6	-5.0	-84.1	2.6	2.2	25.3	3.5	25.5	40.5	*

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -585.14 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -591.20 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 1158.1 KG/H

IMPULSO AXIAL 2.76508 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 66.47852 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 63.71344 N IMPULSO DEL SWIRL 0.11119 NM

ENERGIA AXIAL 6.311 WATT ENERGIA DEL SWIRL 22.017 WATT
 ENERGIA DE LA PRESION 115.923 WATT ENERGIA TOTAL 87.595 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 0.02327 SWIRL2 (DRALL2) 0.53615
 SWIRL3 (DRALL3) 3.48854

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
 FUERZA DE PRESION 21.6106 N FUERZA DE TENSION 18.8455 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 15 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR PTO. LIBERTAD.
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 150. *
 APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C A

DATOS DE MEDICION

Y	P(O)-P(AWB)	P(O)-P(Z)	P(O)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARE
8.00	-10.00	4.00	5.00	3.00	-87.00
16.00	-16.00	3.00	2.00	3.00	-87.00
24.00	-13.00	1.00	1.00	1.00	-89.00
32.00	-15.00	1.00	1.00	1.00	-89.00
40.00	-12.00	-1.00	-1.00	0.00	-90.00
48.00	-11.00	-1.00	-1.00	-30.00	-120.00
56.00	-10.00	-2.00	-1.00	-30.00	-120.00
64.00	-10.00	3.00	-0.50	-30.00	-110.00
72.00	-6.00	5.00	1.00	-17.00	-107.00
80.00	-1.50	7.00	2.00	-15.00	-105.00
88.00	-1.00	8.50	4.00	-15.00	-105.00
96.00	-1.00	6.00	5.00	-13.00	-103.00
104.00	-5.00	3.00	1.00	-13.00	-103.00
112.00	-14.00	4.00	2.00	-18.00	-108.00
120.00	-16.00	4.00	4.00	-24.00	-114.00
128.00	-20.00	4.50	4.00	-30.00	-120.00
136.00	-17.00	5.00	4.00	-30.00	-120.00
144.00	-17.00	-5.00	-4.00	-30.00	-120.00
152.00	-16.00	-3.00	-6.00	0.00	-90.00
160.00	-16.00	-1.00	-8.00	0.00	-90.00
168.00	-7.00	14.00	16.00	0.00	-90.00
176.00	4.00	20.00	15.00	-5.00	-95.00
184.00	20.00	36.00	14.00	-6.00	-96.00
192.00	30.00	34.00	3.00	-6.00	-96.00
40.00000	0.83333	-12.00000	-11.00000	-11.00000	BE
48.00000	0.83333	-11.00000	-10.00000	-10.00000	BE
56.00000	0.83333	-10.00000	-8.00000	-9.00000	BE
144.00000	0.00000	-17.00000	-12.00000	-13.00000	BE
152.00000	0.00000	-16.00000	-13.00000	-10.00000	BE
160.00000	0.00000	-16.00000	-15.00000	-8.00000	BE

RESULTIADOS

Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
8.0	14.2	3.3	-87.5	0.6	-0.8	14.2	1.0	14.2	-53.1
16.0	9.3	1.5	-87.4	0.4	-0.2	9.3	0.5	9.3	-29.4
24.0	6.5	1.5	-89.4	0.1	-0.2	6.5	0.2	6.5	-67.5
32.0	6.6	1.5	-89.4	0.1	-0.2	6.5	0.2	6.5	-67.5
64.0	8.5	-19.7	-109.2	-2.6	2.9	7.6	3.9	8.0	-47.6
72.0	11.4	-9.8	-106.8	-3.2	1.9	10.7	3.8	11.2	-30.8
80.0	13.7	-8.1	-104.9	-3.5	1.9	13.1	4.0	13.6	-28.8
88.0	16.1	-4.8	-105.1	-4.2	1.4	15.5	4.4	16.1	-18.0
96.0	15.3	-0.2	-103.3	-3.5	0.0	14.9	3.5	15.3	-0.7
104.0	9.1	-7.2	-103.0	-2.0	1.1	8.8	2.3	9.0	-29.2
112.0	11.2	-4.4	-108.1	-3.5	0.9	10.6	3.6	11.2	-13.8

001

* 120.0	13.1	1.5	-114.4	-5.4	-0.3	11.9	5.4	13.1	3.5 *
* 128.0	13.5	0.4	-120.3	-6.8	-0.1	11.6	6.8	13.5	0.8 *
* 136.0	13.9	-0.5	-120.3	-7.0	0.1	12.0	7.0	13.9	-1.0 *
* 168.0	25.2	3.2	-90.5	-0.2	-1.4	25.2	1.4	25.2	80.8 *
* 176.0	27.3	-0.9	-95.3	-2.5	0.4	27.2	2.5	27.3	-9.7 *
* 184.0	31.9	-6.2	-96.0	-3.3	3.4	31.6	4.8	31.7	-45.9 *
* 192.0	38.1	-12.8	-95.6	-2.7	6.2	27.2	6.8	27.4	-66.6 *

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -1346.48 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -1368.00 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 1387.5 KG/H

IMPULSO AXIAL 1.90893 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 84.66705 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 82.75812 N IMPULSO DEL SWIRL 0.80827 NM

ENERGIA AXIAL 5.425 WATT ENERGIA DEL SWIRL 52.174 WATT
 ENERGIA DE LA PRESION 87.281 WATT ENERGIA TOTAL 29.682 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 0.13022 SWIRL2 (DRALL2) 5.64555
 SWIRL3 (DRALL3) 9.61748

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
 FUERZA DE PRESION 41.5876 N FUERZA DE TENSION 39.6787 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 5 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR 23 ALABES
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 50. *
 *APRESION ATMOSFERICA B7115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 23.C *

DATOS DE MEDICION

Y	F(0)-P(AMB)	F(0)-P(2)	F(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARI
8.00	20.00	18.00	5.00	-10.00	-100.00
16.00	13.00	13.00	-2.00	-30.00	-120.00
24.00	12.00	-2.00	-3.00	65.00	-25.00
32.00	15.00	20.00	2.00	-55.00	-145.00
40.00	12.00	21.00	2.00	-45.00	-135.00
48.00	4.00	15.00	4.00	-35.00	-125.00
56.00	-12.00	-2.00	2.00	-35.00	-128.00
136.00	-12.00	3.00	3.00	35.00	-55.00
144.00	5.00	7.00	12.00	33.00	-57.00
152.00	15.00	6.00	18.00	40.00	-50.00
160.00	16.00	6.00	20.00	45.00	-45.00
168.00	20.00	6.00	20.00	40.00	-50.00
176.00	15.00	5.00	8.00	13.00	-77.00
184.00	22.00	12.00	10.00	0.00	-90.00
192.00	16.00	5.00	12.00	-5.00	-95.00
24.00000	0.00000	12.00000	14.00000	15.00000	BF
56.00000	2.00000	-12.00000	-10.00000	-14.00000	BF

* RESULTADOS *	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta	*
Y	MM	M/S		M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		
8.0	21.6	-8.3	-99.9	-3.7	3.1	21.0	4.8	21.3	-40.3	*
16.0	17.7	-19.3	-119.2	-8.1	5.9	14.6	10.0	16.7	-35.7	*
32.0	21.5	-12.5	-144.6	-17.1	4.6	12.2	17.8	21.0	-15.2	*
40.0	22.0	-12.6	-134.6	-15.1	4.8	15.3	15.9	21.5	-17.6	*
48.0	19.9	-8.4	-124.9	-11.3	2.9	16.2	11.7	19.7	-14.5	*
136.0	11.3	1.5	-55.4	6.4	-0.3	9.3	6.4	11.3	-2.6	*
144.0	20.7	5.6	-57.7	11.0	-2.0	17.4	11.2	20.6	-10.4	*
152.0	23.4	10.2	-51.0	13.9	-4.0	17.2	14.4	23.1	-16.0	*
160.0	23.4	10.8	-46.1	15.9	-4.4	16.5	16.5	23.0	-15.4	*
168.0	23.4	10.8	-51.1	14.4	-4.4	17.8	15.1	22.9	-16.9	*
176.0	17.1	5.1	-77.7	3.6	-1.5	16.7	4.0	17.1	-22.7	*
184.0	21.6	0.1	-90.3	-0.1	0.0	21.6	0.1	21.6	14.3	*
192.0	19.4	7.9	-95.9	-2.0	-2.7	19.2	3.3	19.3	53.7	*

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL 1612.64 M3/H FLUJO MASICO AXIAL 1651.25 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 1044.3 KG/H

IMPULSO AXIAL 11.43626 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 25.59835 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 14.16209 N IMPULSO DEL SWIRL 1.43396 NM

ENERGIA AXIAL 29.819 WATT ENERGIA DEL SWIRL 44.344 WATT
 ENERGIA DE LA PRESION 62.449 WATT ENERGIA TOTAL 11.714 WATT

25

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 1.35004 SWIRL2 (DRALL2) 1.67182
SWIRL3 (DRALL3) 1.48711

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 72.2092 N FUERZA DE TENSION 83.6454 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 10 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR 22 ALABES
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 23.C A

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARE
8.00	20.00	10.00	15.00	-15.00	-105.00
16.00	22.00	13.00	15.00	-35.00	-125.00
24.00	16.00	14.00	10.00	-50.00	-140.00
32.00	10.00	15.00	10.00	-45.00	-135.00
40.00	8.00	10.00	8.00	60.00	-30.00
120.00	-16.00	-2.00	-3.00	-65.00	-155.00
128.00	-22.00	-4.00	-1.00	-30.00	-120.00
136.00	-23.00	-4.00	-1.00	-45.00	-135.00
144.00	12.00	11.00	13.00	45.00	-45.00
152.00	14.00	9.00	13.00	40.00	-50.00
160.00	16.00	10.00	14.00	38.00	-52.00
168.00	12.00	10.00	12.00	28.00	-62.00
176.00	12.00	15.00	7.00	5.00	-85.00
184.00	18.00	15.00	8.00	-5.00	-95.00
192.00	15.00	10.00	12.00	-5.00	-95.00
120.00000	0.00000	-16.00000	-14.00000	-13.00000	BE
128.00000	0.00000	-22.00000	-18.00000	-21.00000	BE
136.00000	0.00000	-23.00000	-19.00000	-22.00000	BE

* RESULTADOS *

* Y	* V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	*
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 8.0	22.9	5.4	-105.7	-6.2	-2.2	21.9	6.5	22.8	19.3	*
* 16.0	24.2	3.3	-125.5	-14.0	-1.4	19.7	14.1	24.2	5.6	*
* 24.0	22.5	-1.3	-140.2	-17.3	0.5	14.4	17.3	22.5	-1.7	*
* 32.0	22.9	-1.9	-135.2	-16.2	0.8	16.1	16.3	22.9	-2.7	*
* 40.0	19.6	-0.5	-30.3	16.9	0.2	9.9	16.9	19.6	0.6	*
* 144.0	22.4	3.5	-45.5	15.7	-1.4	16.0	15.7	22.4	-4.9	*
* 152.0	21.5	5.1	-50.7	13.6	-1.9	16.5	13.7	21.4	-8.0	*
* 160.0	22.4	4.9	-52.6	13.6	-1.9	17.8	13.7	22.3	-8.0	*
* 168.0	21.5	3.6	-62.5	9.9	-1.3	19.0	10.0	21.4	-7.8	*
* 176.0	21.2	-4.8	-85.1	1.8	1.8	21.0	2.5	21.1	44.6	*
* 184.0	21.7	-3.8	-95.1	-1.9	1.4	21.6	2.4	21.7	-36.7	*
* 192.0	21.5	3.6	-95.5	-2.1	-1.3	21.3	2.5	21.4	33.1	*

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL 4362.18 M3/H FLUJO MASICO AXIAL 4466.94 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 488.9 KG/H

IMPULSO AXIAL 22.01121 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 34.80849 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 12.79728 N IMPULSO DEL SWIRL 2.73700 NM

ENERGIA AXIAL 150.151 WATT ENERGIA DEL SWIRL 140.865 WATT
 ENERGIA DE LA PRESION 161.579 WATT ENERGIA TOTAL 129.437 WATT

54

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 2.85165 SWIRL2 (DRALL2) 1.65794
SWIRL3 (DRALL3) 0.93816

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 63.1720 N FUERZA DE TENSION 85.1832 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 15 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR 22 ALABES
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 150. *
 APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAREF
8.00	18.00	12.00	8.00	-20.00	-110.00
16.00	15.00	15.00	7.00	-35.00	-125.00
24.00	16.00	13.00	6.00	-40.00	-130.00
32.00	10.00	12.00	6.00	-45.00	-135.00
40.00	5.00	8.00	5.00	-55.00	-145.00
48.00	-4.00	6.00	3.00	-60.00	-150.00
112.00	-9.00	8.00	1.00	-60.00	-150.00
120.00	3.00	14.00	-4.00	-53.00	-143.00
128.00	10.00	22.00	-6.00	47.00	-43.00
136.00	15.00	26.00	-5.00	40.00	-50.00
144.00	12.00	22.00	-7.00	30.00	-60.00
152.00	10.00	24.00	-8.00	20.00	-70.00
160.00	8.00	20.00	-7.00	10.00	-80.00
168.00	6.00	20.00	-5.00	8.00	-82.00
176.00	10.00	15.00	3.00	4.00	-86.00
184.00	10.00	13.00	4.00	10.00	-80.00
192.00	8.00	6.00	4.00	6.00	-84.00

* RESULTADOS

* Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	*
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 8.0	20.6	-3.1	-110.2	-7.1	0.7	19.4	7.2	20.6	-6.0	*
* 16.0	21.2	-4.8	-125.1	-12.2	1.8	17.3	12.3	21.1	-8.4	*
* 24.0	19.9	-5.0	-130.1	-12.7	1.7	15.1	12.8	19.8	-7.7	*
* 32.0	19.4	-4.4	-135.1	-13.7	1.5	13.6	13.8	19.3	-6.2	*
* 40.0	16.6	-2.6	-145.2	-13.6	0.8	9.5	13.6	16.6	-3.2	*
* 48.0	13.7	-4.4	-150.1	-11.8	1.0	6.8	11.9	13.7	-5.0	*
* 112.0	14.2	-11.5	-149.7	-12.1	2.8	7.0	12.4	14.0	-13.2	*
* 120.0	18.0	-23.9	-142.0	-13.0	7.3	10.1	14.9	16.5	-29.3	*
* 128.0	21.0	-24.1	-42.0	14.3	8.6	12.9	16.6	19.2	31.0	*
* 136.0	23.2	-21.3	-49.1	14.1	8.4	16.3	16.4	21.6	30.8	*
* 144.0	20.9	-25.7	-59.0	9.7	9.0	16.1	13.3	18.8	43.0	*
* 152.0	21.8	-26.2	-69.0	7.0	9.6	18.2	11.9	19.5	53.9	*
* 160.0	19.8	-26.8	-79.0	3.4	8.9	17.4	9.6	17.7	69.3	*
* 168.0	20.1	-23.3	-81.0	2.9	8.0	18.3	8.5	18.5	70.1	*
* 176.0	19.7	-9.8	-85.8	1.4	3.4	19.4	3.6	19.4	67.2	*
* 184.0	18.8	-7.6	-79.9	3.3	2.5	18.4	4.1	18.7	37.5	*
* 192.0	14.6	-2.1	-84.2	1.5	0.5	14.5	1.6	14.6	19.7	*

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -817.58 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -830.12 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 2344.9 KG/H

IMPULSO AXIAL 11.80832 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 23.37012 N
 PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 11.56180 N IMPULSO DEL SWIRL 0.58760 NM

ENERGIA AXIAL 22.045 WATT ENERGIA DEL SWIRL 24.143 WATT

ENERGIA DE LA PRESION 65.470 WATT ENERGIA TOTAL 67.567 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 0.67763 SWIRL2 (DRALL2) 0.66349
SWIRL3 (DRALL3) 1.09514

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 49.1250 N FUERZA DE TENSION 60.9333 N ENERGIA DE PRESION

 *PLANO A 5 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR IIE-4
 *POSICION DE LA Sonda EN EL EJE Z EN MM= 50. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 27.C *

DAIOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHARE
8.00	25.00	20.00	10.00	5.00	-85.00
16.00	18.00	12.00	8.00	15.00	-75.00
24.00	15.00	10.00	5.00	30.00	-60.00
32.00	20.00	18.00	4.00	39.00	-51.00
40.00	17.00	20.00	4.00	40.00	-50.00
48.00	15.00	22.00	2.00	40.00	-50.00
56.00	12.00	25.00	-2.00	35.00	-55.00
64.00	7.00	28.00	-3.00	34.00	-56.00
72.00	-10.00	15.00	5.00	35.00	-55.00
112.00	-20.00	6.00	4.00	-52.00	-148.00
120.00	4.00	15.00	10.00	-45.00	-135.00
128.00	13.00	13.00	13.00	-47.00	-137.00
136.00	20.00	14.00	12.00	-50.00	-140.00
144.00	20.00	15.00	12.00	-52.00	-142.00
152.00	21.00	15.00	10.00	-50.00	-140.00
160.00	17.00	10.00	10.00	-50.00	-140.00
168.00	18.00	9.00	11.00	-40.00	-130.00
176.00	20.00	12.00	6.00	-18.00	-102.00
184.00	23.00	14.00	10.00	-6.00	-96.00
192.00	15.00	8.00	11.00	-6.00	-96.00

* RESULTADOS *

Y	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta	
8.0	24.9	-4.3	-85.1	2.1	1.9	24.8	2.8	24.9	41.4
16.0	20.7	-2.1	-75.2	5.3	0.7	30.0	5.3	20.7	8.1
24.0	21.2	-8.0	-59.9	10.5	2.9	18.2	10.9	21.0	15.6
32.0	21.3	-9.5	-50.8	13.3	3.5	16.3	13.7	21.0	14.9
40.0	22.3	-10.0	-49.8	14.2	3.9	16.8	14.7	22.0	15.3
48.0	22.7	-12.7	-49.6	14.3	5.0	16.9	15.2	22.1	19.2
56.0	23.3	-17.6	-54.3	12.9	7.0	18.0	14.7	22.2	28.6
64.0	24.5	-18.5	-55.2	13.3	7.8	19.1	15.4	23.2	30.4
72.0	20.5	-7.2	-55.0	11.7	2.6	16.6	11.9	20.3	12.3
112.0	14.7	-2.1	-148.2	-12.5	0.5	7.7	12.5	14.7	-2.4
120.0	23.1	-1.9	-135.2	-16.4	0.8	16.2	-16.4	23.1	-2.7
128.0	23.5	1.9	-137.4	-17.3	-0.8	15.9	17.3	23.5	2.6
136.0	23.6	0.3	-140.3	-18.2	-0.1	15.1	18.2	23.6	0.5
144.0	24.1	-0.3	-142.3	-19.1	0.1	14.7	19.1	24.1	-0.4
152.0	23.0	-1.9	-140.2	-17.7	-0.8	14.7	17.7	23.0	-2.5
160.0	20.8	1.5	-140.4	-16.0	-0.5	13.2	16.0	20.8	1.9
168.0	20.6	3.8	-130.6	-13.4	-1.3	15.6	13.4	20.6	5.8
176.0	19.4	-4.4	-108.1	-6.0	1.5	18.4	6.2	19.4	-13.8
184.0	22.6	-1.3	-96.2	-2.5	0.5	22.5	2.5	22.6	-12.1
192.0	20.8	4.0	-96.6	-2.4	-1.5	20.6	2.8	20.8	31.5

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -2966.01 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -2997.56 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

25

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 4171.8 KG/H

IMPULSO AXIAL 21.52127 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 35.83607 N
PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 14.31480 N IMPULSO DEL SWIRL 2.04613 NM

ENERGIA AXIAL 117.378 WATT ENERGIA DEL SWIRL 69.470 WATT
ENERGIA DE LA PRESION 90.592 WATT ENERGIA TOTAL 96.257 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 1.90584 SWIRL2 (DRALL2) 1.26766
SWIRL3 (DRALL3) 0.59185

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 86.9927 N FUERZA DE TENSION 108.5140 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 10 CM DE LA SALIDA ESTABILIZADOR IIE-4
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. A
 APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 27.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHA
8.00	20.00	15.00	10.00	5.00	-85.00
16.00	18.00	13.00	6.00	13.00	-77.00
24.00	18.00	16.00	6.00	32.00	-58.00
32.00	16.00	20.00	3.00	34.00	-56.00
40.00	15.00	23.00	3.00	34.00	-56.00
48.00	11.00	23.00	4.00	33.00	-57.00
56.00	-5.00	15.00	6.00	36.00	-54.00
64.00	-15.00	5.00	4.00	56.00	-34.00
112.00	-23.00	-4.00	-5.00	25.00	-65.00
120.00	37.00	4.00	2.00	-38.00	-128.00
128.00	30.00	3.00	3.00	-45.00	-135.00
136.00	27.00	3.00	3.00	-46.00	-136.00
144.00	29.00	3.00	5.00	-46.00	-136.00
152.00	25.00	3.00	4.00	-47.00	-137.00
160.00	15.00	10.00	10.00	-44.00	-134.00
168.00	15.00	9.00	8.00	-26.00	-116.00
176.00	20.00	12.00	8.00	-8.00	-98.00
184.00	21.00	12.00	11.00	-4.00	-94.00
192.00	8.00	3.00	6.00	-4.00	-94.00

112.00000 -0.66667 -23.00000 -19.00000 -18.00000 B

 RESULTADOS

* Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta	*
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 8.0	23.0	-1.9	-85.2	1.9	0.8	22.9	2.1	23.0	22.1	*
* 16.0	19.9	-5.0	-77.1	4.4	1.7	19.3	4.8	19.8	21.3	*
* 24.0	21.2	-6.4	-58.0	11.2	2.4	17.9	11.4	21.1	12.0	*
* 32.0	22.0	-11.2	-55.7	12.1	4.3	17.8	12.9	21.5	19.4	*
* 40.0	23.4	-11.7	-55.7	12.9	4.7	19.0	13.8	22.9	20.2	*
* 48.0	23.7	-10.6	-56.8	12.8	4.4	19.5	13.5	23.3	18.9	*
* 56.0	20.8	-6.0	-54.0	12.1	2.2	16.7	12.3	20.6	10.1	*
* 64.0	13.9	-0.5	-34.3	11.5	0.1	7.8	11.5	13.9	0.6	*
* 120.0	11.2	-4.4	-128.1	-6.9	0.9	8.8	6.9	11.2	-7.1	*
* 128.0	11.4	1.5	-135.4	-8.1	-0.3	8.0	8.1	11.4	2.1	*
* 136.0	11.4	1.5	-136.4	-8.2	-0.3	7.8	8.2	11.4	2.0	*
* 144.0	13.5	5.4	-136.7	-9.8	-1.3	9.2	9.9	13.4	7.4	*
* 152.0	12.6	3.8	-137.6	-9.3	-0.8	8.5	9.3	12.6	5.1	*
* 160.0	20.8	1.5	-134.4	-14.5	0.5	14.8	14.5	20.8	2.1	*
* 168.0	19.1	0.4	-116.3	-8.5	-0.1	17.1	8.5	19.1	0.9	*
* 176.0	20.7	-2.1	-98.2	-3.0	0.7	20.5	3.0	20.7	-14.2	*
* 184.0	22.2	1.0	-94.4	-1.7	-0.4	22.2	1.7	22.2	12.9	*
* 192.0	14.3	6.7	-94.8	-1.2	-1.7	14.1	2.0	14.2	54.6	*

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -1302.57 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -1323.40 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H
 FLUJO MASICO RECIRCULANTE 2378.3 KG/H

021

IMPULSO AXIAL 9.18125 N PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 17.02862 N
PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 7.84737 N IMPULSO DEL SWIRL 0.96716 NM

ENERGIA AXIAL 9.844 WATT ENERGIA DEL SWIRL 19.279 WATT
ENERGIA DE LA PRESION 126.860 WATT ENERGIA TOTAL 155.984 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 1.64329 SWIRL2 (DRALL2) 1.40455
SWIRL3 (DRALL3) 1.95838

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 79.4663 N FUERZA DE TENSION 79.6476 N ENERGIA DE PRESION

 APLANO A 15 CM DE LA SALINA ESTABILIZADOR IIE-4
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 150. *
 APRESION ATMOSFERICA 87115.MM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 27.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(ANR)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
8.00	15.00	15.00	7.00	12.00	-78.00
16.00	14.00	17.00	3.00	25.00	-65.00
24.00	17.00	20.00	5.00	36.00	-54.00
32.00	17.00	21.00	4.00	40.00	-50.00
40.00	12.00	18.00	5.00	42.00	-48.00
48.00	5.00	10.00	5.00	46.00	-44.00
56.00	-5.00	7.00	4.00	60.00	-30.00
112.00	-20.00	-4.00	-3.00	29.00	-63.00
120.00	-2.00	8.00	5.00	-60.00	-150.00
128.00	7.00	13.00	6.00	-54.00	-144.00
136.00	14.00	12.00	9.00	-52.00	-142.00
144.00	15.00	12.00	10.00	-49.00	-139.00
152.00	15.00	10.00	9.00	-42.00	-132.00
160.00	15.00	11.00	7.00	-30.00	-120.00
168.00	15.00	13.00	5.00	-19.00	-109.00
176.00	17.00	14.00	6.00	-10.00	-100.00
184.00	10.00	8.00	6.00	-5.00	-95.00
192.00	5.00	3.00	3.00	-2.00	-92.00

112.00000 -0.20000 -20.00000 -16.00000 -17.00000 B

 * RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
8.0	21.3	-4.8	-78.1	4.4	1.8	20.8	4.7	21.2	22.3
16.0	20.4	-10.6	-64.8	8.5	3.7	18.2	9.3	20.1	23.6
24.0	22.7	-8.9	-53.9	13.2	3.5	18.1	13.7	22.4	14.9
32.0	22.8	-10.2	-49.8	14.5	4.0	17.1	15.0	22.4	15.6
40.0	21.7	-8.3	-47.9	14.4	3.1	15.9	14.7	21.5	12.3
48.0	17.7	-4.4	-44.1	12.7	1.4	12.3	12.8	17.7	6.1
56.0	15.3	-3.3	-30.1	13.2	0.9	7.7	13.2	15.2	3.9
120.0	16.7	-2.6	-150.2	-14.4	0.8	8.3	14.5	16.6	-3.0
128.0	19.9	-5.0	-144.1	-16.1	1.7	11.7	16.2	19.9	-6.1
136.0	21.2	-0.9	-142.3	-16.8	0.3	13.0	16.8	21.2	-1.1
144.0	21.7	0.1	-139.3	-16.5	0.0	14.2	16.5	21.7	0.1
152.0	20.2	0.5	-132.3	-13.6	-0.2	14.9	13.6	20.2	0.8
160.0	19.6	-2.5	-120.2	-9.9	0.8	16.9	9.9	19.6	-4.9
168.0	19.4	-6.2	-109.0	-6.3	2.1	18.2	6.6	19.2	-18.6
176.0	20.4	-5.5	-100.0	-3.5	2.0	20.0	4.0	20.3	-28.9
184.0	17.4	-1.1	-95.2	-1.6	0.3	17.3	1.6	17.4	-11.6
192.0	11.4	1.5	-92.4	-0.5	-0.3	11.4	0.6	11.4	31.5

PLAN

FLUJO VOLUMETRICO AXIAL -2549.04 M3/H FLUJO MASICO AXIAL -2576.43 KG/H
 FLUJO MASICO A LA ENTRADA 13126.54 KG/H

FLUJO MASICO RECIRCULANTE 3688.6 KG/H

IMPULSO AXIAL 17.82063 M PROMEDIO DE LA FUERZA DE PRESION 35.44173 N

12

PROMEDIO DE LA FUERZA DE TENSION 17.62111 N IMPULSO DEL SWIRL 1.64648 NM

ENERGIA AXIAL 77.738 WATT ENERGIA DEL SWIRL 57.884 WATT
ENERGIA DE LA PRESION 71.468 WATT ENERGIA TOTAL 64.144 WATT

NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) 1.24584 SWIRL3 (DRALL2) 1.23189
SWIRL3 (DRALL3) 0.74469

VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL
FUERZA DE PRESION 49.3686 N FUERZA DE TENSION 67.1892 N ENERGIA DE PRESION

APENDICE 3.

RESULTADOS PARA LA DETERMINACION DE LA INTENSIDAD DE TURBULENCIA.

PRODUCIDA POR LOS ESTABILIZADORES PUERTO LIBERTAD. 22 ALABES

RECTOS Y EL DISEÑO IIE-4.

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: PUERTO LIBERTAD

PLANO DE MEDICION: 5 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	3.64	0.0171	17.59	1.74	0.09
2	1.32	0.0054	7.44	1.69	0.22
3	1.40	0.0054	7.79	1.69	0.21
4	1.34	0.0051	7.53	1.69	0.22
5	1.26	0.0048	7.18	1.68	0.25
6	1.18	0.0039	6.83	1.68	0.24
7	1.16	0.0046	6.74	1.69	0.25
8	1.20	0.0052	6.92	1.69	0.24
9	1.51	0.0080	8.27	1.70	0.20
10	3.22	0.012	15.75	1.72	0.10
11	6.50	0.0126	30.11	1.72	0.05
12	6.39	0.0114	29.72	1.71	0.05
13	6.34	0.0132	29.41	1.72	0.05
14	5.90	0.0141	27.48	1.73	0.06
15	4.38	0.0141	20.83	1.73	0.08
16	2.26	0.0114	11.55	1.71	0.14
17	1.20	0.0055	6.92	1.69	0.24
18	1.10	0.0044	6.48	1.68	0.26
19	1.16	0.0045	6.74	1.68	0.25
20	1.14	0.0046	6.65	1.69	0.25
21	1.17	0.0050	6.78	1.69	0.24
22	1.23	0.0052	7.05	1.69	0.24
23	7.70	0.0105	35.36	1.71	0.04
24	7.47	0.0138	34.35	1.73	0.05

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: PUERTO LIBERTAD

PLANO DE MEDICION: 10 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	4.48	0.0159	21.27	1.73	0.08
2	1.89	0.0090	9.93	1.70	0.17
3	1.08	0.0048	6.39	1.69	0.26
4	1.05	0.0042	6.26	1.68	0.25
5	1.12	0.0043	6.57	1.68	0.25
6	1.11	0.0044	6.52	1.68	0.25
7	1.20	0.0048	6.92	1.69	0.24
8	1.25	0.0050	7.13	1.69	0.23
9	2.06	0.0090	10.68	1.70	0.16
10	3.12	0.0114	15.32	1.71	0.11
11	4.19	0.0132	20.00	1.72	0.08
12	5.03	0.0126	23.67	1.72	0.07
13	5.01	0.0126	23.59	1.72	0.07
14	4.01	0.0123	19.21	1.72	0.07
15	2.32	0.0099	11.82	1.71	0.14
16	1.79	0.0085	9.50	1.70	0.17
17	1.37	0.0065	7.66	1.69	0.22
18	1.20	0.0050	6.92	1.69	0.24
19	1.12	0.0045	6.57	1.68	0.25
20	1.07	0.0042	6.35	1.68	0.26
21	1.05	0.0040	6.26	1.68	0.26
22	1.03	0.0042	6.17	1.68	0.27
23	3.54	0.0150	17.35	1.73	0.10
24	4.45	0.0135	21.14	1.72	0.08

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: PUERTO LIBERTAD
 PLANO DE MEDICION: 15 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	2.82	0.0159	14.00	1.73	0.12
2	1.79	0.0078	9.50	1.70	0.17
3	1.49	0.0068	8.18	1.69	0.20
4	1.55	0.0066	8.45	1.69	0.18
5	1.69	0.0068	9.06	1.69	0.18
6	1.80	0.0070	9.54	1.70	0.17
7	1.82	0.0075	9.63	1.70	0.17
8	1.93	0.0080	10.11	1.70	0.16
9	2.10	0.0081	10.85	1.70	0.15
10	3.00	0.0099	14.79	1.71	0.11
11	3.20	0.0108	15.49	1.71	0.12
12	3.16	0.0108	15.49	1.71	0.11
13	2.83	0.0102	14.05	1.71	0.12
14	2.29	0.0090	11.68	1.70	0.18
15	1.88	0.0075	9.89	1.70	0.17
16	1.75	0.0075	9.32	1.70	0.17
17	1.62	0.0072	8.75	1.70	0.18
18	1.60	0.0065	8.67	1.69	0.19
19	1.47	0.0068	8.10	1.69	0.20
20	1.88	0.0085	9.89	1.70	0.17
21	3.04	0.0111	14.97	1.71	0.11
22	4.63	0.0132	21.92	1.72	0.07
23	4.70	0.0123	22.23	1.72	0.07
24	4.72	0.0108	22.32	1.71	0.07

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: 22 ALABES RECTOS

PLANO DE MEDICION: 5 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	7.05	0.0034	32.51	1.68	0.05
2	6.35	0.0210	29.45	1.76	0.05
3	6.58	0.0186	31.16	1.75	0.05
4	6.74	0.0126	31.16	1.72	0.05
5	6.40	0.0111	29.67	1.71	0.05
6	5.41	0.0135	25.34	1.72	0.06
7	2.32	0.0120	11.82	1.70	0.14
8	1.82	0.0090	9.63	1.70	0.18
9	1.76	0.0084	9.37	1.70	0.18
10	1.68	0.0072	9.02	1.70	0.18
11	1.59	0.0065	8.62	1.69	0.19
12	1.50	0.0065	8.23	1.69	0.20
13	1.50	0.0065	8.23	1.69	0.20
14	1.57	0.0080	8.53	1.70	0.19
15	1.64	0.0090	8.84	1.70	0.19
16	2.27	0.0120	11.60	1.72	0.14
17	2.26	0.0120	11.55	1.72	0.14
18	2.62	0.0108	13.13	1.71	0.13
19	2.80	0.0108	13.92	1.72	0.12
20	2.87	0.0132	14.22	1.72	0.12
21	3.31	0.0180	16.15	1.74	0.10
22	6.75	0.0035	31.20	1.68	0.05
23	6.99	0.0030	32.25	1.68	0.05
24	7.02	0.0120	32.38	1.72	0.05

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: 22 ALABES RECTOS

PLANO DE MEDICION: 10 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	6.25	0.70	29.01	4.73	0.16
2	6.00	1.20	27.92	6.92	0.24
3	5.57	0.90	26.04	5.60	0.21
4	5.70	0.96	26.61	5.87	0.22
5	5.30	0.90	24.86	5.60	0.22
6	4.10	0.84	19.60	5.34	0.27
7	3.38	0.93	16.45	5.73	0.34
8	3.70	0.90	13.60	5.60	0.40
9	2.14	0.84	11.03	5.34	0.48
10	1.93	0.81	10.11	5.21	0.51
11	1.92	0.78	10.07	5.08	0.50
12	1.97	0.78	10.28	5.08	0.49
13	2.00	0.78	10.42	5.08	0.48
14	2.08	0.87	11.33	5.47	0.50
15	2.21	0.99	11.33	6.00	0.52
16	2.40	1.08	12.17	6.39	0.52
17	2.70	1.14	13.48	6.65	0.49
18	4.11	1.17	19.65	6.78	0.34
19	4.70	1.08	22.23	6.39	0.28
20	5.08	0.90	23.89	5.60	0.23
21	5.48	0.78	25.64	5.08	0.19
22	5.88	0.96	27.39	5.87	0.21
23	6.05	0.78	28.14	5.08	0.18
24	6.23	0.52	28.92	3.94	0.13

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: 22 ALABES RECTOS

PLANO DE MEDICION: 15 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	4.74	1.26	22.40	7.18	0.32
2	5.07	1.14	23.85	6.65	0.27
3	5.54	1.20	25.91	6.92	0.26
4	6.03	1.14	28.05	6.65	0.23
5	5.96	1.14	27.74	6.65	0.23
6	5.40	1.20	25.29	6.92	0.27
7	2.55	0.96	12.82	5.87	0.45
8	1.92	0.84	10.07	5.34	0.53
9	1.55	0.76	8.45	4.99	0.59
10	1.43	0.66	7.92	5.21	0.57
11	1.39	0.60	7.75	4.29	0.55
12	1.41	0.58	7.83	4.20	0.53
13	1.39	0.60	7.75	4.29	0.55
14	1.70	0.78	9.10	5.08	0.55
15	2.04	0.90	10.59	5.60	0.52
16	2.86	1.05	14.18	6.26	0.44
17	3.69	1.14	17.81	6.65	0.37
18	4.67	1.14	22.10	6.65	0.30
19	5.03	1.05	22.67	6.26	0.26
20	4.83	0.90	22.80	5.60	0.24
21	5.28	0.90	24.77	5.60	0.22
22	5.68	0.96	26.52	5.87	0.22
23	5.98	0.99	27.83	6.00	0.21
24	5.55	1.05	25.95	6.26	0.24

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: IIE-4

PLANO DE MEDICION: 5 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	6.55	0.62	30.32	4.38	0.14
2	5.43	1.05	23.45	6.26	0.24
3	6.13	0.56	28.49	4.12	0.14
4	6.82	0.46	31.52	3.68	0.11
5	7.03	0.62	32.46	4.38	0.13
6	6.87	0.90	31.74	5.60	0.17
7	5.80	1.20	27.08	6.92	0.25
8	3.48	1.50	16.93	6.22	0.48
9	1.98	1.02	10.33	6.13	0.59
10	2.12	0.87	10.94	5.47	0.50
11	2.40	0.78	12.17	5.08	0.41
12	2.40	0.84	12.19	5.34	0.43
13	2.20	0.93	11.31	5.73	0.50
14	2.79	1.20	13.89	6.92	0.49
15	5.32	1.56	24.95	8.49	0.34
16	6.90	1.05	31.90	6.26	0.19
17	7.02	0.75	32.41	4.95	0.15
18	6.75	0.54	31.22	4.03	0.12
19	6.30	0.48	29.27	3.77	0.12
20	6.04	0.56	28.12	4.12	0.14
21	5.17	0.96	24.29	5.87	0.24
22	6.01	0.45	27.99	3.63	0.13
23	6.31	0.53	29.29	3.98	0.13
24	5.35	0.84	25.08	5.34	0.21

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: IIE-4

PLANO DE MEDICION: 10 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	5.90	0.96	27.50	5.87	0.21
2	5.49	0.81	25.69	5.21	0.20
3	6.00	0.70	27.95	4.73	0.16
4	6.22	0.68	28.91	4.64	0.16
5	6.13	0.90	28.51	5.60	0.19
6	5.37	1.17	25.17	6.78	0.26
7	4.11	1.32	19.66	7.44	0.37
8	3.16	1.20	15.50	6.92	0.44
9	2.98	1.05	14.70	6.26	0.42
10	2.16	0.96	11.26	5.87	0.52
11	2.22	0.90	11.42	5.60	0.49
12	2.27	0.90	11.60	5.60	0.48
13	2.33	0.93	11.90	5.73	0.48
14	1.61	0.77	8.72	5.03	0.57
15	2.35	1.05	11.95	6.26	0.52
16	3.91	1.29	18.79	7.31	0.38
17	5.11	1.20	24.03	6.92	0.28
18	6.00	0.90	27.94	5.92	0.24
19	6.32	0.64	29.36	4.47	0.15
20	6.04	0.62	28.10	4.38	0.15
21	5.58	0.78	26.11	5.08	0.19
22	5.43	0.90	24.44	5.60	0.22
23	6.16	0.72	28.63	4.82	0.16
24	5.43	0.90	25.44	5.60	0.22

NOMBRE DEL ESTABILIZADOR: IIE-4

PLANO DE MEDICION: 15 cm.

PUNTO	\bar{V} (Volts)	v' (Volts)	\bar{U} (m/s)	u' (m/s)	I
1	5.33	0.96	25.01	5.87	0.23
2	5.69	0.90	26.56	5.60	0.21
3	5.69	0.87	26.57	5.47	0.20
4	5.88	0.90	27.39	5.60	0.20
5	5.08	0.87	23.93	5.47	0.22
6	5.91	0.93	27.54	5.73	0.20
7	5.57	1.14	26.05	6.65	0.25
8	2.46	0.96	12.47	5.87	0.47
9	1.95	0.90	10.23	5.60	0.54
10	1.77	0.84	9.42	5.34	0.56
11	1.74	0.72	9.31	4.82	0.51
12	1.81	0.80	9.59	5.17	0.53
13	1.83	0.78	9.72	5.08	0.52
14	1.92	0.85	10.07	5.38	0.53
15	2.82	1.02	14.03	6.13	0.43
16	4.02	1.14	19.29	6.65	0.34
17	5.20	1.05	24.45	6.26	0.25
18	5.96	0.90	27.77	5.60	0.20
19	6.37	0.90	29.55	5.60	0.18
20	6.11	0.96	28.44	5.87	0.20
21	5.70	0.93	26.62	5.73	0.21
22	5.52	0.96	25.86	5.87	0.22
23	5.74	0.90	26.78	5.60	0.20
24	5.18	0.96	24.35	5.87	0.24