

01173
2e)
2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

División de Estudios de Posgrado

de la Facultad de Ingeniería.

**"Simulación Física de los Patrones de Flujo
y de Mezclado en un Modelo del Hogar de un
Generador de Vapor de 300 MW."**

TESIS

**Que para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería
Mecánica.**

(Opción Termofluidos)

PRESENTA

MARCO ANTONIO MARTINEZ FLORES.

Director: Dr. JAIME CERVANTES DE GORTARI.

Asesores: Ing. ANIBAL MARTINEZ ALVAREZ.

Ing. JULIO MILAN FORESSI.

México D.F. 1988.

**TESIS CON
FALLA DE ORGANIZACION**



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
CAPITULO I.	
INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....	1
CAPITULO II.	
ANTECEDENTES.....	8
CAPITULO III.	
ANALISIS DIMENSIONAL Y CONDICIONES DE SIMILITUD.....	31
CAPITULO IV.	
EQUIPO EXPERIMENTAL.....	39
CAPITULO V.	
EXPERIMENTACION.....	84
CAPITULO VI.	
RESULTADOS E INTERPRETACION.....	97
CAPITULO VII.	
COMPARACION CON RESULTADOS EN PLANTA.....	204

CAPITULO VIII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....212

REFERENCIAS.....220

ANEXO I.

PROGRAMA DE COMPUTO MODSE, COEFICIENTES DE CALIBRACION,
SUBROUTINA TRAPEZ.

ANEXO II.

RESULTADOS SONDA DIRECCIONAL DE 5 ORIFICIOS.

ANEXO III.

RESULTADOS ANALIZADOR DE HIDROCARBUROS.

CAPITULO I

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

A partir de diversas experiencias realizadas en planta por investigadores del Departamento de Combustibles Fósiles, del Instituto de Investigaciones Eléctricas y del personal de operación y mantenimiento de diversas centrales termoeléctricas del país, particularmente a través de los 'diagnósticos de combustión', se han puesto de manifiesto una serie de problemas que las unidades generadoras de vapor tienen en la actualidad (referencia 1). Particularmente en el sistema de combustión se han encontrado marcados desbalances en los flujos de aire y combustible a los diferentes quemadores. Esto impide obtener combustión completa con bajos excesos de aire, lo que trae como consecuencia severos problemas bien identificados en la actualidad, tales como elevada formación de SO_3 , prematuro deterioro y ensuciamiento de los precalentadores de aire, fallas en tubos por recalentamiento, depósito de partículas e inquemados, entre otros.

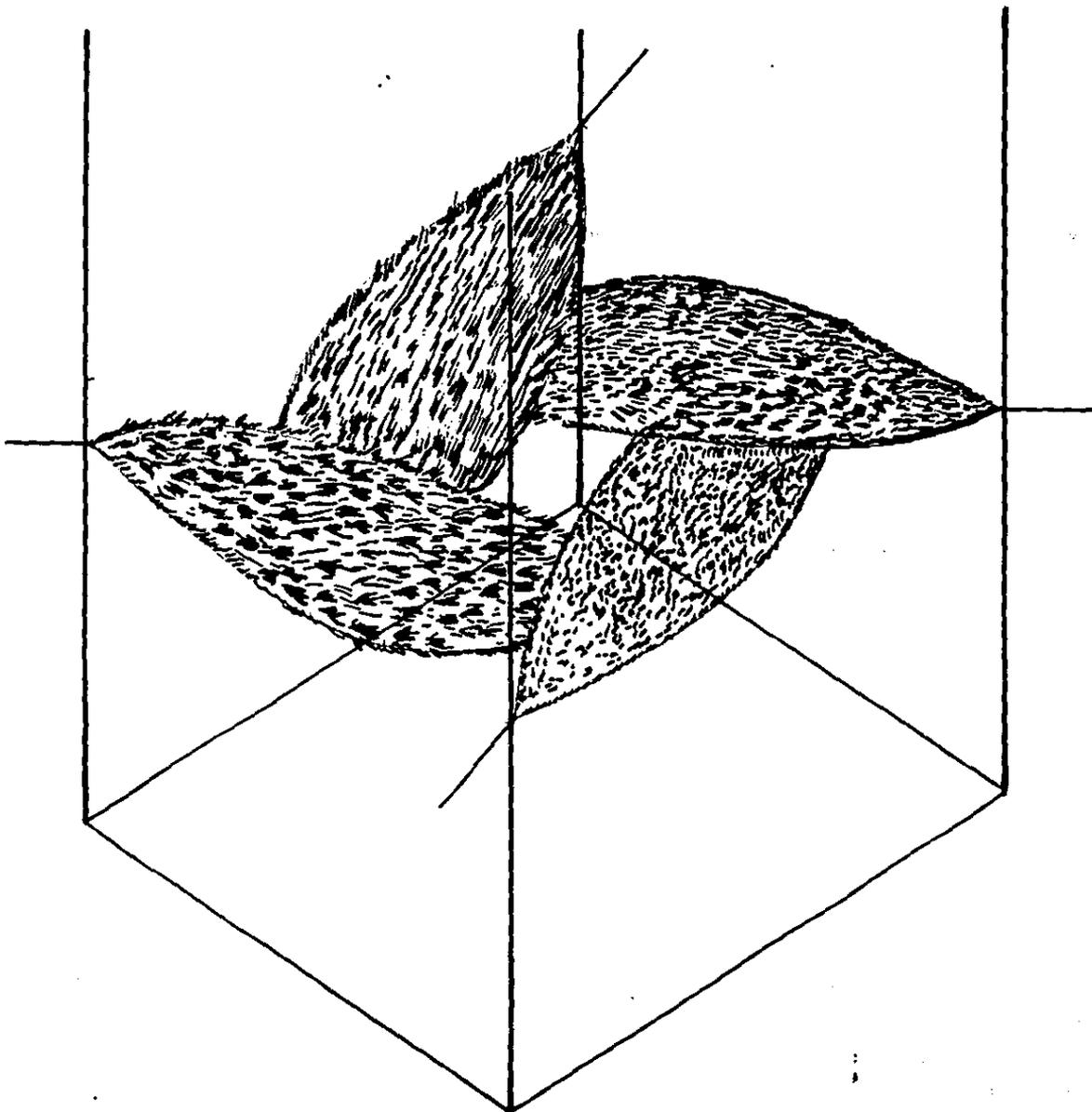
Una de las pruebas que se efectúan en los diagnósticos de combustión es aquella en la que se intenta corregir las condiciones que determinan que los quemadores operen en condiciones diferentes. Sin embargo, el proceso para determinar qué quemador es el que está operando mal, en la mayoría de las ocasiones requiere de un gran número de pruebas en planta, ya que la única posibilidad para determinar cual de los 16 quemadores es el que se encuentra en mal

estado, consiste en sacar de operación quemador por quemador, analizando al mismo tiempo los productos de combustión (O_2 , CO, Partículas, SO_2 , SO_3), que se obtienen a la salida del economizador (entrada a los precalentadores de aire regenerativos).

Cuando el análisis de los productos de combustión (principalmente O_2 y CO) indica igual concentración a la entrada de los dos precalentadores (lado "A" y lado "B"), la unidad se encuentra balanceada, es decir, se puede asegurar que la relación aire-combustible para cada uno de los quemadores es la misma.

Quitar y poner en operación un quemador sin lugar a dudas produce modificaciones en el patrón de flujo que se origina en el hogar para cada condición de operación, efecto que hasta la fecha no ha sido determinado para los diversos diseños con que cuenta el sector eléctrico nacional. Ahora bien, de los dos tipos de diseños de generadores de vapor (en cuanto a la posición de los quemadores en el hogar), uno de los más utilizados por la CFE es aquel que posee quemadores tangenciales, cuya característica esencial es que los quemadores se ubican en las esquinas del hogar (figura 1), de tal modo que en operación forman un ciclón de flamas en el centro del mismo. Este tipo de diseño permite fácilmente inclinar los quemadores en un rango de -30° a 30° de inclinación, con el fin de controlar la temperatura del vapor recalentado. Las posiciones características de inclinación de los quemadores son -30° , 0° y 30° con respecto al plano horizontal, teniendo para cada caso un determinado patrón de flujo.

El conocimiento de los patrones de flujo de gases de combustión en



GENERADOR DE VAPOR CON QUEMADORES TANGENCIALES

FIGURA. I

el hogar tiene una gran importancia, ya que éstos permiten comprender la causa de muchos de los fenómenos que se originan al operar el generador de vapor. Entre los aspectos más importantes que implica conocer los patrones de flujo se pueden enumerar los siguientes:

- a) Comprender los patrones de mezclado, es decir, cuál es la interacción entre los 16 quemadores en operación a partir de la influencia de uno de ellos sobre los demás.
- b) Determinar la zona de máxima liberación de calor dentro del hogar, dado que el tiempo de residencia del combustible atomizado en regiones de alta temperatura es función de la trayectoria que éste siga.
- c) Comprender la causa del deterioro de las toberas ajustables de aire y quemadores, así como de los sobrecalentamientos registrados en los diferentes bancos de tubos.
- d) Explicar y conocer la causa de los desbalances en la combustión que se manifiestan principalmente por las distintas concentraciones de oxígeno, monóxido de carbono y partículas inquemadas en cada uno de los ductos de salida del economizador.
- e) Decidir qué acciones permitirán mejorar la mezcla aire-combustible y por tanto la combustión.

El conocimiento de los patrones de mezclado permitirá reducir el

número de pruebas que se llevan a cabo para determinar qué quemadores se encuentran operando en forma deficiente (con relación aire-combustible diferente a los de los demás).

Pese a que la mejor forma de caracterizar un fenómeno, es la medición física de éste en su lugar de origen, lo cual aseguraría que lo que se mide es lo que está ocurriendo, mucha veces esta práctica resulta imposible de realizar por múltiples causas. En virtud de lo anterior, una gran cantidad de fenómenos tienen que ser estudiados en modelos físicos a escala reducida a fin de poder determinar, mediante el uso de equipos e instrumentos de medición adecuados, las características del fenómeno en consideración.

Por lo ya expuesto y debido a la obvia dificultad para realizar los estudios en una planta en operación, los objetivos del presente trabajo son:

1. Determinar e interpretar los patrones de flujo que se forman en el hogar de un generador de vapor con quemadores tangenciales de 300 MW de capacidad, mediante la simulación física 'en frío' a escala reducida, para las siguientes condiciones fijas de operación:

- Puertas de aire auxiliar cerradas.
- Puertas del recirculador de gases cerradas.
- Puertas de NO_x cerradas.
- Igual apertura de salida del ventilador.

Variando la inclinación de los quemadores en las siguientes

posiciones:

1.1 A -30° .

1.2 A 0° .

1.3 A 30° .

2. Determinar los patrones de mezclado a partir de la simulación de un quemador que se encuentra en mal estado, bajo las mismas condiciones de operación del objetivo 1.

3. Obtener una visualización del flujo en el interior del hogar simulando las siguientes condiciones de operación.

3.1 Todos los quemadores con el mismo ángulo de inclinación (-30°) para observar el ciclón formado.

3.2 Tres de las esquinas con -30° de inclinación y una de ellas a -15° , variando la inclinación para cada esquina.

3.3 Todas las esquinas a -30° para observar la componente ascensional del ciclón.

Alcanzados los objetivos propuestos en este trabajo, se intentará extrapolar los resultados obtenidos en el modelo a una planta en operación.

A continuación se presenta un breve resumen del contenido de los capítulos que integran el trabajo.

En el CAPITULO II se presenta una breve descripción de los principales componentes de los generadores de vapor que utilizan quemadores tangenciales, la problemática que en los últimos años ha surgido y sus primeras soluciones. Se plantea además la conveniencia de realizar estudio en modelos a escala reducida así como los trabajos a realizar para alcanzar los objetivos planteados.

En el CAPITULO III se dan las condiciones de semejanza que fueron cumplidas para que los resultados obtenidos en el modelo fuesen extrapolados al generador de vapor.

En el CAPITULO IV se muestra el desarrollo del equipo experimental, sus etapas de construcción así como los materiales empleados. Además se presentan los principios de operación y características más importantes de los equipos de medición utilizados.

En el CAPITULO V se presenta la metodología experimental así como las diversas pruebas realizadas.

Los resultados y su interpretación se presentan en el CAPITULO VI, desglosando éstos de acuerdo con el orden de los objetivos planteados.

En el CAPITULO VII se realiza una primera comparación de los resultados obtenidos en el Modelo con diversos resultados de las pruebas efectuadas en generadores de vapor en operación.

Por último, en el CAPITULO VIII se presentan las conclusiones y recomendaciones de este estudio.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

Resulta importante señalar que del total de la capacidad instalada para generar energía eléctrica en nuestro país (24,694 MW), más del 68% de ésta proviene de Centrales Termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles (ver tabla 1) (referencia. 2). Aunque existen diversos tipos de centrales termoeléctricas (ciclo combinado, turbo-gas, combustión interna, etc.), enfocaremos nuestro estudio únicamente a las centrales termoeléctricas de vapor, y más específicamente a aquellas centrales termoeléctricas que utilizan generadores de vapor con quemadores tangenciales.

Para el presente estudio se ha elegido un diseño de caldera que es representativo de los que en los últimos años ha adquirido la Comisión Federal de Electricidad. Por otra parte, a este diseño corresponden unidades que están operando en buenas condiciones, lo que permitirá realizar, en una segunda etapa, pruebas en planta para confirmar los resultados experimentales de laboratorio.

El diseño mencionado es de Combustion Engineering-Mitsubishi y su capacidad es de 300 MW. Las unidades 3 y 4 de la central termoeléctrica de Manzanillo corresponden a este diseño y son las que específicamente se han modelado.

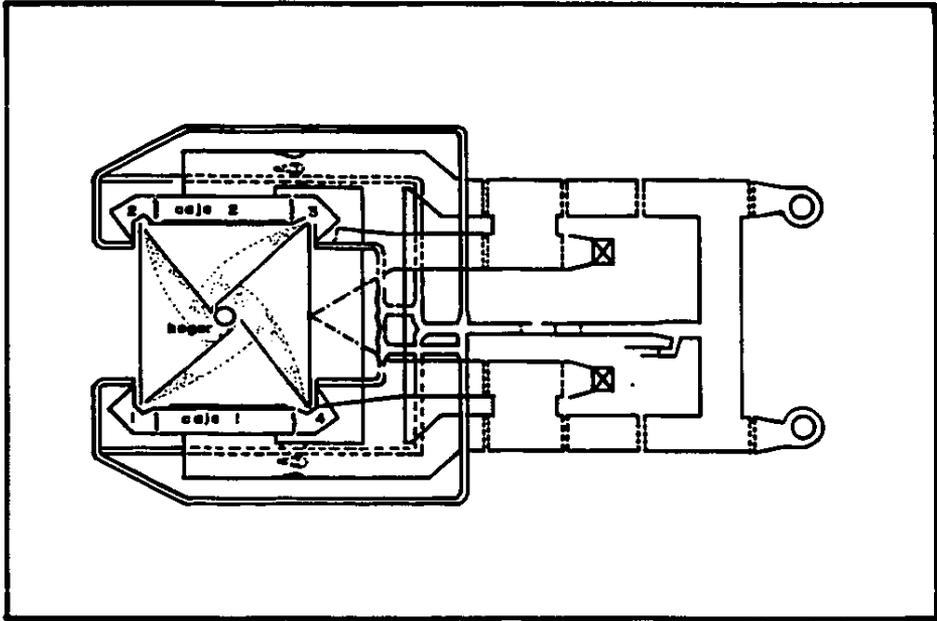
TABLA 1 - CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACION ELECTRICA
PROGRAMADA HASTA 1988 (MW) (2).

TIPO DE PLANTA	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Hidroeléctricas	6550	6550	6550	7446	7722	7814
Geotérmicas	205	425	645	645	645	645
Carboeléctricas	600	600	600	900	1200	1200
Nucleares	11695	12627	13264	13794	14473	15925
T O T A L	19050	20202	21059	22785	24694	26892

A continuación se presenta una descripción general de este tipo de diseño (referencia 3).

Los generadores de vapor de combustión tangencial reciben este nombre ya que durante su operación se forma un ciclón de flamas en el hogar. Los quemadores compuestos con toberas de aire auxiliar y aire de combustión principal están instalados en cada esquina del hogar con su eje definiendo una línea tangente a un círculo imaginario en el centro del hogar (figura 2). 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 aire-combustible, siendo lo anterior, uno de los factores principales para obtener combustión completa.

Cada una de las 4 esquinas consta de 6 niveles de quemadores, 2 para quemar gas natural (nivel inferior), 2 que pueden quemar gas o combustóleo (nivel medio) y 2 de combustóleo (niveles superiores)



CORTE TRANSVERSAL, GENERADOR DE VAPOR, DISEÑO COMBUSTION ENGINEERING 300 MW.

FIGURA 2

figura 3. Cada quemador está provisto de un piloto que se encuentra adyacente, y además, de un detector de flama en su parte superior.

El quemador se compone de tres compartimientos de aire, uno para el aire principal de combustión, en el cual se localiza el cañón y el atomizador, y dos para aire auxiliar, uno arriba y otro abajo del compartimiento de aire principal. A la entrada de cada compartimiento de aire se localiza una compuerta distribuidora la cual regula el flujo de aire que entra al hogar. El sistema atomizador de combustóleo está instalado al centro de cada compartimiento de aire principal. Un detalle de los componentes principales se presenta en la figura 4, la que además muestra el ensamble de los mismos. Cada compartimiento de aire contiene las toberas inclinables, las cuales tienen en el lado hogar un material resistente al calor. Estas toberas pueden ser inclinadas con respecto al plano horizontal 30° hacia arriba ó hacia abajo, en forma manual remota desde el cuarto de control, o en forma automática de acuerdo a un programa preestablecido.

Las compuertas de las cajas de aire distribuyen el aire a los diferentes compartimientos, y permiten regular los flujos de aire para obtener la mezcla más adecuada de aire y combustible atomizado en el hogar. El total del aire suministrado al hogar es controlado por las compuertas de succión de los tiros forzados.

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

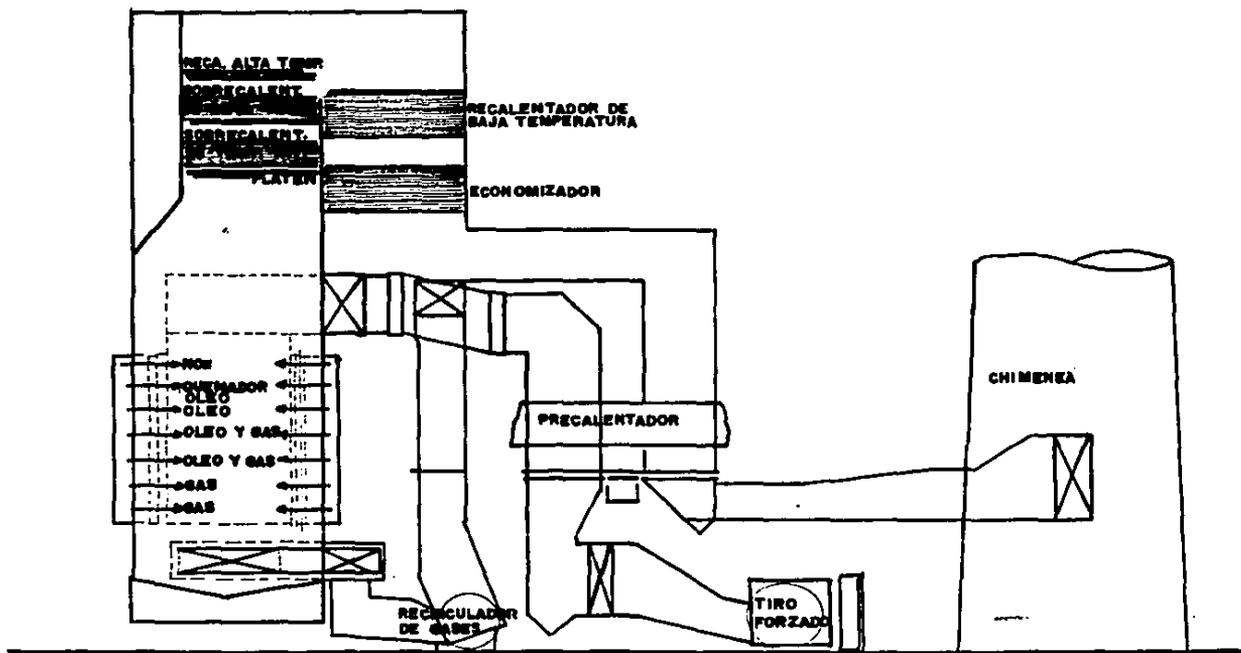
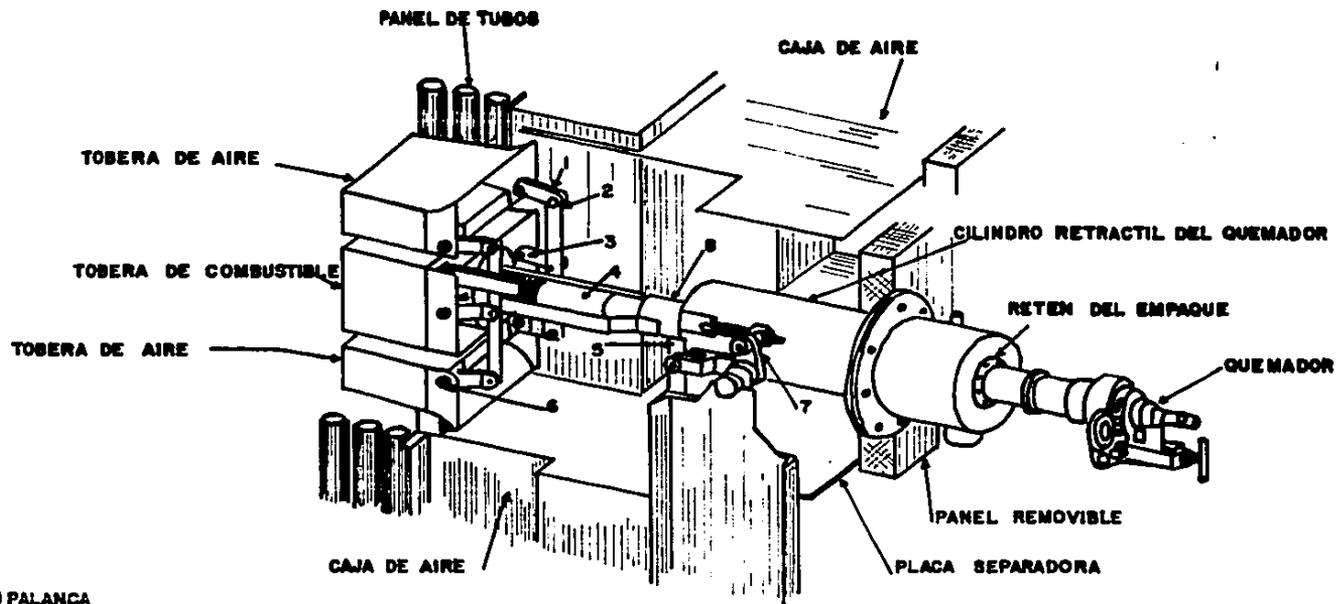


FIGURA 3 .ARREGLO GENERAL DEL GENERADOR DE VAPOR



- 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 4. PARTES PRINCIPALES DE UN QUEMADOR TANGENCIAL

Aspectos teóricos de la combustión.

Para establecer la forma y estructura de la flama, sus dimensiones, el grado de emisividad y, por consiguiente, el mecanismo de liberación de calor en las condiciones de flama estable, es necesario conocer, además de la cinética de las reacciones de oxidación, la aerodinámica del sistema, la geometría del local, el grado de turbulencia de los fluidos, el estado de dispersión del combustible, la homogeneidad de la mezcla en reacción y otros parámetros de carácter puramente físicos (p.e. tipo de estabilizador).

Un combustible reacciona con el comburente en tres etapas diversas: en la primera, cuando aún no ha alcanzado la temperatura mínima de ignición se produce una oxidación lenta, durante la cual la reacción oxidante y el proceso de liberación del calor tienen lugar con bajas velocidades específicas, y a veces sin manifestaciones visibles (flama); en la segunda, la mezcla reactiva combustible-aire es inducida a reaccionar por medio de una fuente localizada de calor, produciéndose una onda de deflagración, dando lugar a un frente de flama; la tercera ocurre cuando se producen las ondas de detonación, que pueden producirse como consecuencia de la mayor densidad de reactivos, generado por una onda de presión, derivada de una onda precedente de deflagración. El régimen más interesante, es sin duda, el de las ondas de deflagración; éstas constituyen, en efecto, el sistema más simple y eficiente para convertir la energía química de un combustible en energía térmica. Estas ondas, que se propagan a velocidades definidas (bajas), características del tipo de mezcla

química y de otros parámetros relacionados con las condiciones físicas del combustible y el hogar, están constituidas por una fina zona de reacción (espesor de 1 mm hasta una decena de mm) dentro de la cual tiene lugar el inicio de la combustión; esta zona de reacción divide la región donde comienza a existir una mezcla reactiva.

De los diversos procesos físicos que intervienen en la combustión, la turbulencia es, con mucho, el más importante. Corresponde a un movimiento desordenado de los fluidos, con formación de un gran número de torbellinos que tienen interrelaciones simultáneas, dispersos en todo el medio en reacción, de volumen y características cinéticas muy diversas entre sí.

La turbulencia incrementa la velocidad de difusión favoreciendo el mezclado entre el aire y el combustible; este efecto es tan importante que puede considerarse como el factor controlante de la combustión.

Los movimientos turbulentos ejercen una acción determinante sobre la combustión, ya que los fluidos en movimiento desordenado 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, y se obtiene un aumento neto de la velocidad de liberación del calor. El movimiento turbulento provoca además un avance más rápido de la onda en 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 instantánea de los productos de combustión.

Lewis ha analizado el desarrollo y la extinción de la flama a la luz de los fenómenos de la turbulencia. Encontrando que la distancia entre dos puntos limitrofes, en un medio caracterizado por alta turbulencia, tiende a aumentar con el tiempo, como consecuencia de la acción difusora de la turbulencia. Si se considera un pequeño cuadrado hipotético de frente de flama, se debe admitir un continuo aumento de su área (función de la intensidad y del tipo de turbulencia). Al mismo tiempo, la combustión de la mezcla tiende a disminuir la superficie de flama: La velocidad de reducción es proporcional a dicha superficie (A) por unidad de volumen (V_i) de la mezcla no quemada (A/V_i) multiplicada por la velocidad de combustión laminar v_l .

La superficie de flama por unidad de volumen varía, por tanto, en forma continua; puede alcanzar desde valores iniciales muy pequeños ($.001 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$), con evolución exponencial, valores máximos alrededor de $10 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$, y, por tanto, decrece, primero rápidamente y después más lentamente; la combustión de las últimas fracciones de los gases en reacción requiere una parte sustancial del hogar ó cámara de combustión.

Sin embargo, el aumento excesivo de la turbulencia puede producir efectos negativos y llevar a disminuciones del rendimiento térmico, y aún, en el caso extremo, a la extinción de la flama.

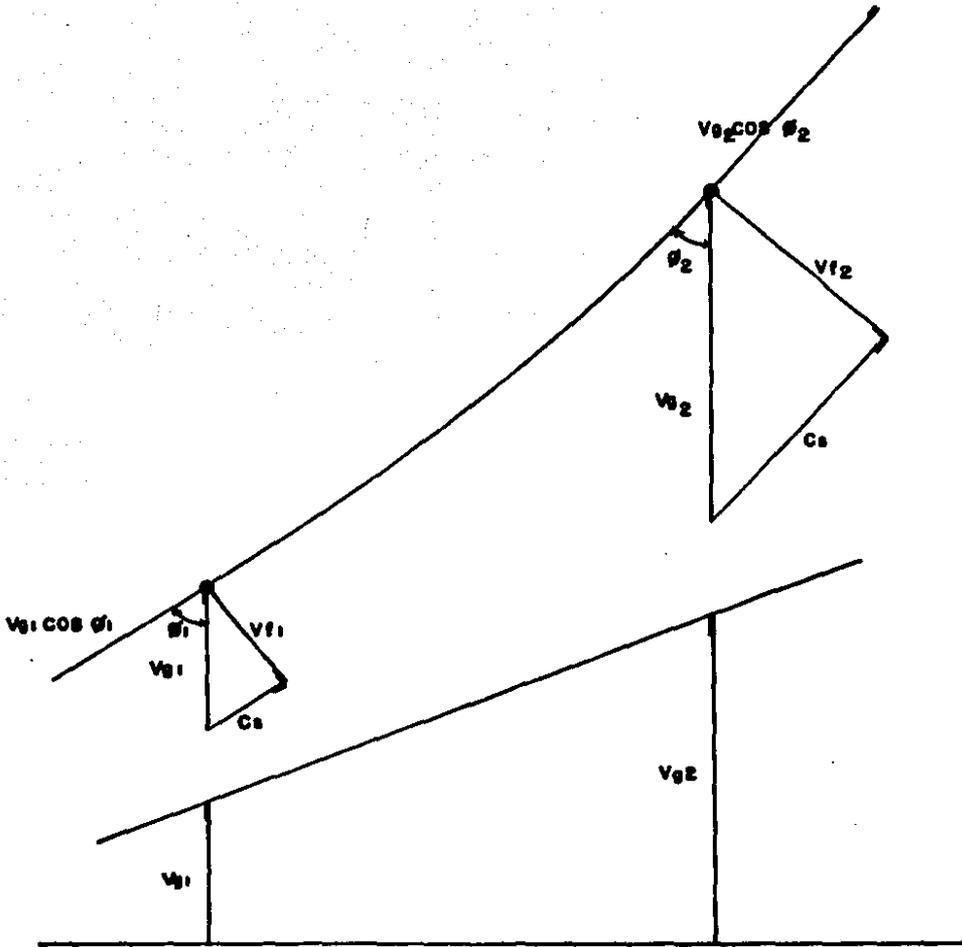


FIGURA 5. FRENTA DE FLAMA LUMINOSA EN UN FLUJO GASEOSO CON GRADIENTE DE VELOCIDAD

La figura 5 muestra una onda estacionaria de combustión (línea de frente de flama) en una corriente de gas caracterizada por una variación de la velocidad a lo largo del eje "y" del quemador (caso de los fluidos gaseosos que circulan por un conducto). La componente de la velocidad paralela a la onda de combustión, C_s , crece pasando de la zona de flama con baja velocidad del gas (v_{g1}) a las de alta velocidad (v_{g2}), por consiguiente, la flama es sometida a un alargamiento o dilatación y su superficie se ve obligada a aumentar.

El calor que fluye desde la zona de reacción hacia la zona adyacente de precalentamiento, donde se encuentra la mezcla no reactiva (y vuelve a transmitirse por convección a la zona de reacción), se distribuye de este modo sobre una superficie mayor; esto produce un descenso de la temperatura de la flama, que a su vez, origina una fuerte reducción en la velocidad de la reacción química y, por consiguiente, de la velocidad de flama. La flama, por tanto, se alarga hasta finalmente llegar a extinguirse.

El alargamiento crítico influye en muchas variables que caracterizan la flama, como la energía mínima de ignición, las condiciones para la formación de una flama estable, la potencia térmica requerida por una flama piloto, la máxima intensidad de turbulencia soportada por una flama y, finalmente, la máxima intensidad de liberación de energía.

En la realización de los experimentos relativos a la velocidad de combustión de mezclas combustible-aire, se observa la existencia de composiciones con porcentajes límites en combustible, más allá de

las cuales la flama no puede propagarse; éstas son conocidas como los límites superiores e inferiores de inflamabilidad del correspondiente par combustible/comburente. Los límites forman un intervalo de composiciones que incluye a las estequiométricas, siendo uno de los extremos al correspondiente a la mezcla más pobre en combustible y el otro a la más rica.

Sus valores dependen del método de ignición, de que los gases se encuentren en movimiento o en reposo, y de la dirección de propagación de la flama. Asimismo, dichos valores están vinculados con el calor de reacción, con la conductividad térmica, a la velocidad de difusión y a los calores específicos de los diversos componentes. Es evidente que yendo hacia composiciones más ricas o más pobres que las estequiométricas, se deben alcanzar valores extremos de composición porcentual, con lo que se obtiene una liberación de calor insuficiente para propagar la flama.

Todas las mezclas combustible-comburente se caracterizan por límites de detonabilidad, o bien por dos concentraciones límite en combustible, situadas en un campo interior a los límites de inflamabilidad, que corresponden a los extremos de una zona dentro de la que son posibles, en ciertas condiciones, combustiones del tipo supersónicas (detonaciones).

Mientras que la velocidad de propagación en las flamas premezcladas viene determinada por la de las reacciones de oxidación en el frente de flama (onda de deflagración que se mueve dentro de la mezcla homogénea combustible-comburente), en las flamas de difusión dicha velocidad no está bien definida, ya que, por la misma naturaleza del

proceso, los dos reactivos están siempre separados por un estrato de productos de la combustión, de espesor variable, que condiciona la velocidad de reacción global; además, en el caso de los combustibles constituidos por hidrocarburos, pueden verificarse reacciones de cracking térmico en el seno de la masa del combustible antes de que éste alcance al oxígeno, y, por tanto, modificaciones en la naturaleza del combustible y de los productos intermedios de combustión, con ulteriores variaciones de la velocidad de propagación.

Las características principales de flamas de este tipo están condicionadas por los fenómenos de difusión (molecular y por la turbulencia), puesto que tanto la velocidad de reacción como la de difusión están ligadas al camino libre medio de las moléculas, que varía, como es sabido, en forma inversamente proporcional a la presión, a bajas presiones se obtiene una difusión alta y una desaceleración de la velocidad de reacción; estos hechos tienden a aproximar el comportamiento de una flama de difusión, realizada en condiciones de vacío parcial, al de una flama premezclada.

En las flamas turbulentas de difusión, el nacimiento de torbellinos por efecto de las fuerzas de rozamiento genera el movimiento de pequeños volúmenes elementales de cada uno de los reactivos, uno dentro del otro; al mismo tiempo, la difusión molecular en las zonas de contacto de estos pequeños volúmenes determina la mezcla final de los dos reactivos.

Las flamas de difusión estables pueden estar fijadas a la boca del quemador o suspendidas a cierta altura; éstas últimas son siempre

del tipo turbulento. La zona de reacción de una flama de difusión es generalmente más dilatada que la de una flama premezclada. La primera debe considerarse como una región de transición entre un ambiente de puro combustible y otro de puro comburente. La zona de reacción genera productos de combustión que tienden a difundirse tanto hacia el comburente como hacia el combustible, diluyendo la concentración de los reactivos y por lo tanto reduciendo la velocidad de reacción.

El estudio de la evolución de las concentraciones y de la variación de la temperatura en la flama, pone de manifiesto cómo en la región donde hay porciones estequiométricas se tiene la máxima temperatura; ésta asume un valor igual al de las flamas premezcladas estequiométricas del mismo par combustible-comburente.

Los mayores cambios de cantidad de movimiento que se verifican en el flujo turbulento, tienen por efecto 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 (ó zona) de menor presión, por lo que, una parte de los gases de combustión recircula hacia atrás para sustituir el aire que 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.

Condiciones de operación durante el arranque del generador de vapor.

En la operación de arranque del generador de vapor, las mamparas de los compartimientos de aire auxiliar y quemadores de combustóleo permanecen cerradas, iniciándose la combustión por medio de los quemadores de gas. En general, los combustibles gaseosos se queman y regulan con mayor facilidad. La combustión se realiza en una sola fase, y no existen problemas de atomización y vaporización. El gas natural no contiene compuestos inorgánicos que forman depósitos por lo que no ensucia la cámara de combustión.

Condiciones de operación a plena carga del generador de vapor.

Una vez alcanzado el 30% de la capacidad instalada del generador, los elementos del generador que están en contacto con los gases de combustión se encuentran a una temperatura superior al punto de rocío del SO_2 , por lo cual se apagan los quemadores de gas y se cierran al mismo tiempo sus compuertas de aire. Paralelamente, se encienden los quemadores de combustóleo sin que se abran las mamparas reguladoras de aire de los compartimientos de aire auxiliar. La última operación se efectúa con el propósito de suministrar todo el aire necesario para la combustión a través de los compartimientos de quemadores para combustóleo, tratando de obtener así, una mejor mezcla entre el aire y el combustible. A fin de controlar la temperatura del vapor, los quemadores son inclinados según sea la necesidad en operación.

Problemas que surgen durante la operación de estos generadores.

Dentro de la problemática de disponibilidad y eficiencia de los generadores de vapor de centrales termoeléctricas, el proceso de combustión ocupa un lugar preponderante, ya que de él se derivan gran parte de los problemas de ensuciamiento y deterioro en dichos generadores, los que afectan directamente tanto la disponibilidad como la eficiencia.

A partir del año de 1979, simultáneamente con un incremento en la incidencia de fallas en los generadores de vapor del país, se comenzó a detectar, mediante análisis sistemáticos, que la calidad de los combustóleos empleados para la generación de energía eléctrica había sufrido un aumento en la concentración de los diferentes elementos indeseables con respecto a los años anteriores. Tal modificación (como puede apreciarse en la tabla 2) afectó principalmente a la viscosidad, al contenido de azufre, de vanadio y de asfaltenos.

TABLA 2 - VARIACION EN EL CONTENIDO DE ALGUNOS COMPONENTES DE LOS COMBUSTIBLES MEXICANOS

COMPONENTE	1979	1982-1985	
		Promedio	Máximo
Azufre (%)	3.3	3.7	4.5
Vanadio (ppm)	125.0	198.0	283.0
Asfaltenos (%)	8.2	14.3	19.5
Viscosidad (s.s.u.)	350.0	554.0	1537.0

Los problemas ocasionados en los generadores de vapor por el quemado de combustóleos con altos contenidos de azufre, vanadio y

asfaltenos, pueden resumirse en:

- a) Formación de depósitos que producen corrosión y ensuciamiento en las regiones de alta temperatura. (sobrecalentadores y recalentadores).
- b) Formación de compuestos que provocan corrosión y ensuciamiento en las regiones de baja temperatura. (precalentadores de aire).
- c) Disminución de la eficiencia de los generadores de vapor debida principalmente a ensuciamiento y formación de productos de combustión incompleta.

Aunados a estos problemas originados por el quemado de un combustible con las características mencionadas, existen otros que se encuentran relacionados con la aerodinámica del sistema de combustión, de los cuales es necesario mencionar los siguientes.

- a) El tiempo de vida útil de las toberas ajustables de aire disminuye considerablemente, dado que éstas sufren un deterioro acelerado que hace obligatorio, en muchos casos, el paro de la unidad para su reparación o su sustitución.
- b) Por otra parte, se ha observado que la combustión del sistema resulta difícil de controlar, ya que la flama producida durante el proceso, en ocasiones se separa mucho del cañón del quemador (llegando en ocasiones a apagarse) y en otras a estar demasiado

cerca del estabilizador (produciendo su rápido deterioro).

- c) Se ha puesto de manifiesto que generalmente este tipo de unidades necesitan operar con excesos de aire elevados para producir combustión completa, lo cual resulta inconveniente por múltiples razones (referencias 4 y 5).
- d) Como consecuencia de la presencia de vanadio, sodio y azufre se manifiesta un alto grado de corrosión causado por estos compuestos (principalmente vanadatos de bajo punto de fusión) que se depositan en ciertas regiones en las que existen altas temperaturas.

A fin de resolver algunos de los problemas ya citados, desde 1981 el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Facultad de Ingeniería de la UNAM (F.I.), han venido desarrollando en conjunto diversos trabajos. Destacándose de esta serie de trabajos los siguientes:

1. Puesta a punto del sistema de combustión en calderas de C.F.E.
2. Modelación fluidodinámica de quemadores tangenciales en calderas de C.F.E.
3. Simulación en frío de un horno con quemadores tangenciales.

A continuación se presenta una breve descripción de estos trabajos.

La puesta a punto del sistema de combustión en calderas de C.F.E.

consiste principalmente en evaluar el sistema de combustión para varias condiciones de operación. Las más importantes son:

- Carga de la unidad (potencia generada).
- Temperatura del combustible a quemadores.
- Relación vapor-combustible en los atomizadores.
- Diferencia de presiones cajas de aire hogar.
- Posición de las compuertas de aire a quemadores.

La evaluación se realiza a través de varias pruebas, en las que para cada conjunto de valores de las condiciones mencionadas se modifica el exceso de aire con que opera el generador de vapor, y para cada exceso de aire se determina la composición de los gases de combustión a la salida del economizador (entrada de gases a los precalentadores de aire regenerativos P.A.R.) mediante el análisis de las concentraciones de:

- Oxígeno (O_2 , %).
- Monóxido de Carbono (CO, ppm).
- Trióxido de Azufre (SO_3 , ppm)
- Contenido de Partículas (Part., mg/Nm³)

Con los datos obtenidos se construyen curvas de operación del sistema, que muestran las variaciones en el contenido de SO_3 , CO y partículas en función del contenido de O_2 . A partir de estas curvas es posible determinar el exceso de aire más adecuado para cada conjunto de valores de las condiciones de operación (parámetros de operación).

Durante el desarrollo de la puesta a punto del sistema de

combustión, se ha encontrado que en generadores de vapor que utilizan quemadores tangenciales existen marcados desbalances en la concentración de los productos de combustión a la entrada de cada precalentador, por ejemplo, se han registrado casos en que la concentración de oxígeno a la entrada del P.A.R. 'A' era de 1% y en P.A.R. 'B' era del 2% o más, de igual forma variaban las concentraciones de CO, SO₂ y partículas. En algunos casos al efectuar una revisión del estado de cada uno de los 16 quemadores en operación, se encontró que alguno de ellos operaba deficientemente (por ejemplo, desgaste de la ficha de atomización) o en condiciones diferentes a los demás (por presión de vapor del combustible diferente, etc.), por lo que al ser sustituido o corregida su operación, desaparecía el desbalance observado. Esto hace suponer que el sistema de combustión, a pesar de que da lugar a la formación de un ciclón de flama, lo que sugiere excelentes condiciones de mezclado, es muy sensible al estado de cada uno de sus componentes.

En el trabajo 2, a fin de analizar los problemas mencionados en los incisos A y B, en el I.I.E. se investigó el problema con varios trabajos de simulación en frío. (referencia 6) para lo cual se construyeron a escala dos de las cuatro esquinas de un generador, además se construyó un modelo a escala 1:2 de un compartimiento para quemador. El estudio se encaminó a determinar la distribución del aire en los ductos, así como al análisis de distintos tipos de estabilizadores de flama. También se realizaron experimentos con varias configuraciones de toberas de aire a fin de encontrar las diferencias en los patrones de aire que cada una producía.

De estos trabajos se concluyó que los diseños podrían ser mejorados, particularmente en lo referente al diseño de las toberas y estabilizadores de flama, lográndose un ahorro aproximado del 15% en el material de construcción de las toberas sin alterar sustancialmente el patrón de flujo que se obtenía en el diseño original, además el rediseño del estabilizador permitió mejorar la eficiencia de la combustión.

La simulación en frío de un horno con quemadores tangenciales se efectuó en los laboratorios del Departamento de Fluidos y Térmica de la F.I. de la UNAM, teniendo como objetivo llegar a conocer el comportamiento del ciclón de flamas, utilizando diversas técnicas de visualización de flujos, pudiendo así describir el proceso en el interior del horno (referencia 7).

De este trabajo se concluyó que el ciclón ejerce una fuerte influencia en el deterioro de las toberas de aire auxiliar y secundario, ya que éstas al operar con flujos de aire menores a los de las toberas principales, propician que ciertos patrones de flujo (recirculación de gases) tiendan a dirigirse hacia las esquinas, con la consecuente formación de zonas de alta temperatura muy cercanas a las toberas.

Es importante mencionar que la técnica empleada para describir el fenómeno proporciona una descripción cualitativa del patrón de flujo formado, por otro lado, las diferentes visualizaciones son realizadas únicamente en un plano de medición, y por último sólo se modela el compartimiento de quemador para cada esquina, lo cual limita el trabajo. Los anteriores estudios proporcionaron las bases

para elaborar el diseño experimental del presente trabajo.

Obtener información más completa del ciclón tridimensional que se forma en el hogar del generador bajo diversas condiciones de operación, y conocer la influencia de cada uno de los quemadores a la salida del economizador, son los enfoques principales que se tuvieron al realizar este trabajo.

Como consecuencia de la dificultad para realizar estudios de patrones de flujo en una planta en operación, se consideró la posibilidad de simular este sistema con un modelo físico, a fin de utilizar equipos de medición de fácil manejo para determinar magnitud y dirección de los vectores de velocidad, así como de un equipo capaz de determinar la concentración de un gas trazador, que en conjunto muestran los patrones de flujo y de mezclado en el sistema.

Con base en lo anterior, se construyó un modelo a escala 1:20 de un generador de vapor, el cual fuera capaz de simular todas las condiciones de operación "frías" que tienen lugar en el hogar de un generador. Para lograr el objetivo 1 expuesto en el capítulo 1, se plantearon los siguiente trabajos:

1. Se determinaron los patrones de flujo para tres posiciones de los quemadores.

- 1.1 Inclinación de quemadores a -30°

- 1.2 Inclinación de quemadores a 0°

1.3 Inclinación de quemadores a +30°G.

manteniendo las siguientes condiciones de operación fijas.

- Puertas de aire auxiliar cerradas
- Puertas del recirculador de gases cerradas.
- Puertas de NO_x cerradas
- Igual apertura de salida del ventilador

Para cubrir el objetivo 2 se realizó el siguiente trabajo

2. Se determinaron los patrones de mezclado a partir de la simulación de un quemador que opera deficientemente. Los productos de combustión de éste se simularon con un gas trazador; las variaciones de concentración de este trazador, se determinaron con un equipo analizador específico.

Para lograr el objetivo 3 el cual consiste en obtener una visualización del ciclón formado, se utilizó un equipo fotográfico que brinda una idea general del movimiento del ciclón.

CAPITULO III

ANALISIS DIMENSIONAL Y CONDICIONES DE SIMILITUD

Para poder realizar los estudios en modelos físicos es importante tener en cuenta ciertas condiciones que hacen válidos los estudios en ellos. En general se consideran las siguientes tres condiciones de similitud:

- a) Similitud geométrica. Se da entre sistemas de diferentes tamaños, si la relación entre las dimensiones correspondientes de un sistema, son iguales a las del otro.
- b) Similitud 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).
- c) Similitud dinámica. Se da entre dos sistemas diferentes si se tiene similitud geométrica y cinemática, y además las relaciones de fuerza en puntos correspondientes son iguales: fuerza de inercia o dinámica, fuerza de tensión superficial y fuerza elástica. Por lo tanto, para que exista una similitud dinámica estricta, los números de Reynolds (Re), Mach (Ma), Froud (Fr) y Weber (We), deben tener el mismo valor en ambos sistemas.

Lo anterior resulta prácticamente imposible de lograr cuando se

tienen relaciones de escala diferentes de 1:1 entre modelo y prototipo, sin embargo, por tratarse de un flujo continuo a través de un ducto sólo dos de las fuerzas mencionadas son de particular interés y son precisamente las que relaciona el número de Reynolds. Por tanto, para lograr la similitud (geométrica, cinemática y dinámica) entre modelo y prototipo es necesario mantener el mismo número de Reynolds en ambos casos.

El número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{\text{fuerza de inercia}}{\text{fuerzas viscosas}} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu V L} = \frac{\rho L V}{\mu} \quad (1)$$

donde: ρ = Densidad de flujo
 L = Longitud característica
 V = Velocidad del fluido
 μ = Viscosidad dinámica

Por otro lado, se tiene que:

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho}$$

(2)

donde: γ = Viscosidad cinemática

Al sustituir (2) en (1), encontramos que:

$$Re = \frac{LV}{\gamma}$$

(3)

De la ecuación (3) se observa que el Re sólo depende de la velocidad, ya que tanto la longitud característica (L), como la viscosidad cinemática (γ) son parámetros fijos.

Ahora bien, de datos proporcionados por el Departamento Mecánico de la Central Termoeléctrica de Manzanillo, se tiene que:

La velocidad de salida por las toberas de aire para combustión es de aproximadamente 70 m/seg. La longitud característica de un compartimiento para quemador es de 0.761 m., y la viscosidad cinemática de 3.017×10^{-5} m²/seg, por lo que el Re en la unidad será de:

$$Re = \frac{(0.761)(70)}{3.017 \times 10^{-5}} = 1.766 \times 10^6$$

Este número de Reynolds, resulta prácticamente imposible de alcanzar en el modelo, sin embargo, de acuerdo con la bibliografía existente (referencia 10), si el número de Reynolds excede a 10,000 y el sistema consiste principalmente de ductos, codos, y cambios irregulares de sección, el patrón de flujo y el factor de fricción se vuelven sustancialmente independientes del número de Reynolds. Además, la influencia del factor de fricción en la pérdida de carga se vuelve despreciable comparada con la que producen los cambios de dirección y restricciones al flujo.

Para explicar lo anterior con más detalle, se sabe que la suma de pérdidas de carga por fricción da la medida de la resistencia ofrecida por las diferentes partes de la instalación al paso del gas. Dicha resistencia se manifiesta de manera particular en las curvas, en los estrechamientos del conducto, en las zonas con paredes rugosas y en general en aquellos tramos donde existan impedimentos para la libre circulación.

En un conducto rectilíneo de sección rectangular, se presentan pérdidas esencialmente por fricción en las paredes, que se pueden evaluar por la expresión:

$$-Pr = \frac{\gamma g \cdot v^2}{2g} \frac{L}{dF}$$

donde: F = coeficiente de fricción

v = velocidad del gas

L y d = longitud y diámetro del conducto

Si el conducto tiene una sección rectangular, en lugar del diámetro que figura en la expresión precedente se utiliza el llamado "diámetro medio hidráulico". El coeficiente de fricción (F) depende del Re y de la rugosidad de las paredes. En el régimen laminar, F depende solamente del Re y no de la rugosidad; para valores de Re entre 2000 y 3500, F tiende a bajar en forma notable, y finalmente, con Re superiores a 4000 (régimen turbulento) se obtienen una serie de curvas que dependen del grado de rugosidad de las paredes.

Si las pérdidas de carga se originan por bruscas variaciones de la dirección de la corriente o de la velocidad del gas donde tiene lugar una fuerte turbulencia la ecuación para las pérdidas se convierte en :

$$-Pr = \frac{\gamma g \cdot v^2}{2g} K$$

Donde K es independiente del Reynolds.

La presión dinámica se transforma en gran parte en energía térmica, y el factor K es precisamente una medida de la energía así transformada.

Otra consideración importante a este respecto se analiza en la referencia 11, en la cual se observa que si el número de Reynolds es muy grande (mezcla turbulenta) se puede despreciar el transporte molecular, ya que el proceso de transferencia de momentum, calor y masa son controladas por fuerzas turbulentas.

Ya que se estableció que el número de Reynolds en el modelo no necesariamente debe ser igual al del prototipo pero si mayor que 10,000. El número de Reynolds en el modelo se puede calcular del siguiente modo.

Para una escala 1:20, las dimensiones del compartimiento para quemador de combustóleo son:

largo = 3.55 cm

ancho = 3.05 cm

El cálculo del diámetro equivalente del ducto de alimentación a la

salida será:

$$Deq = \frac{4A}{S}$$

Por lo que:

$$\text{Area} = A = (3.55)(3.05) = 10.83 \text{ cm}^2$$

$$\text{Perímetro} = S = (3.55)(2) + (3.05)(2) = 13.2 \text{ cm}$$

$$Deq = \frac{(4)(10.83)}{13.2} = 3.282 \text{ cm}$$

Las propiedades del aire en Cuernavaca, Mor, a 640 mm Hg son:

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = 0.997 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$$

$$\mu_{25^\circ\text{C}} = 0.00018 \text{ gr/cm-sec}$$

De acuerdo a la velocidad promedio de salida en las 4 esquinas del modelo, se tiene una velocidad media de:

$$V = 21.38 \text{ m/seg}$$

Por lo que el número de Reynolds será:

$$Re_m = \frac{(2138)(3.282)(0.997 \times 10^{-3})}{0.00018}$$

$$Re_m = 38,866 \text{ (} > 10,000 \text{)}$$

Con lo cual se asegura la semejanza dinámica, y al mismo tiempo la extrapolación de los resultados.

CAPITULO IV

EQUIPO EXPERIMENTAL

El equipo experimental con el cual se llevó a cabo el presente trabajo, se compone principalmente de un modelo a escala 1:20 de un generador de vapor diseño Mitsubishi - Combustion Engineering. Los equipos de medición utilizados fueron: una sonda direccional de 5 orificios, un analizador de hidrocarburos, portasonda, equipo comparador de presiones, manómetro diferencial y un ventilador para proporcionar el aire necesario para la experimentación.

A continuación se presenta la descripción de estos equipos:

Modelo

La construcción del modelo se llevó a cabo respetando el diseño proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad; los planos y dimensiones corresponden a un generador de vapor diseño Mitsubishi-Combustion Engineering de 300 MW que opera con quemadores tangenciales. Es importante mencionar que el modelo seleccionado es una réplica de las unidades 3 y 4 de la central termoeléctrica de Manzanillo, Col. Se eligió este tipo de generador de vapor porque representa el diseño del tipo tangencial más frecuente en las instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad. Por otro lado, existe la posibilidad de que en un futuro se validen los resultados obtenidos en el modelo experimental, ya que las unidades

de la central termoeléctrica de Manzanillo se encuentran en perfecto estado.

Como ya se anotó en capítulos anteriores, para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo, se decidió modelar desde el cenicero hasta la salida del economizador a escala 1:20. Esta escala de construcción no permitió construir el modelo de una sola pieza, por lo que se construyeron las diferentes partes en forma separada, las cuales, una vez concluidas, se ensamblaron hasta formar el modelo completo.

Desarrollo de construcción.

La primera etapa en el desarrollo de la construcción del modelo, consistió en obtener los planos de construcción del generador, con el fin de tener todas las dimensiones y características de este tipo de diseño. Los planos de construcción fueron proporcionados por el departamento mecánico de la C.T. de Manzanillo, Col.

Una vez elaborados los planos de construcción del modelo experimental, se buscó en el mercado un material que fuera capaz de resistir la presión del aire a plena carga del ventilador, que además, tuviese la facilidad de su corte y unión, y permitiera acceso visual a los fenómenos que se producen en el interior del modelo. El material de construcción que satisfizo los requerimientos anteriores fué el acrílico transparente de 3 mm. de espesor.

La primera parte que se modeló fueron las 4 esquinas. Tomando en

cuenta que las dimensiones y ángulos de salida de las esquinas 1 y 3 son simétricas, así como las de las esquinas 2 y 4, se realizaron dos plantillas con el propósito de uniformar y facilitar su corte y unión, como se muestran en la figura 6. Como se observa en la figura 7, cada esquina consta de 14 compartimientos de aire y éstos a su vez contienen un deflector de aire para evitar la recirculación de gases calientes dentro de él. Los deflectores de aire fueron contruidos con papel "pescado", el cual ofrece un fácil manejo y la suficiente rigidez para no deformarse en operación. Es importante remarcar, que los cortes realizados para construir cada una de las partes de cada esquina, debieron ser efectuados con la mayor precisión posible, ya que de esto dependía obtener un ciclón de aire representativo del fenómeno en estudio. Las toberas que se localizan a la salida de cada uno de los compartimientos resultaba prácticamente imposible de modelar a la escala de construcción, por lo que se decidió simular únicamente la función orientadora de éstas, es decir, sustituirlas por una placa que pudiera ser inclinada en las tres posiciones deseadas. Al mismo tiempo, se tuvo que diseñar un mecanismo que realizara la función de colocar todas las placas en la misma posición, a fin de asegurar igual condición de inclinación durante la experimentación, en la figura 8 se observan estos detalles. Las placas fueron contruidas de latón y soldadas con estaño al mecanismo de movimiento. En los objetivos planteados, una de las condiciones fijas de operación, es la de mantener cerradas las mamparas reguladoras de aire a los compartimientos de aire auxiliar, por lo que éstas se sustituyeron

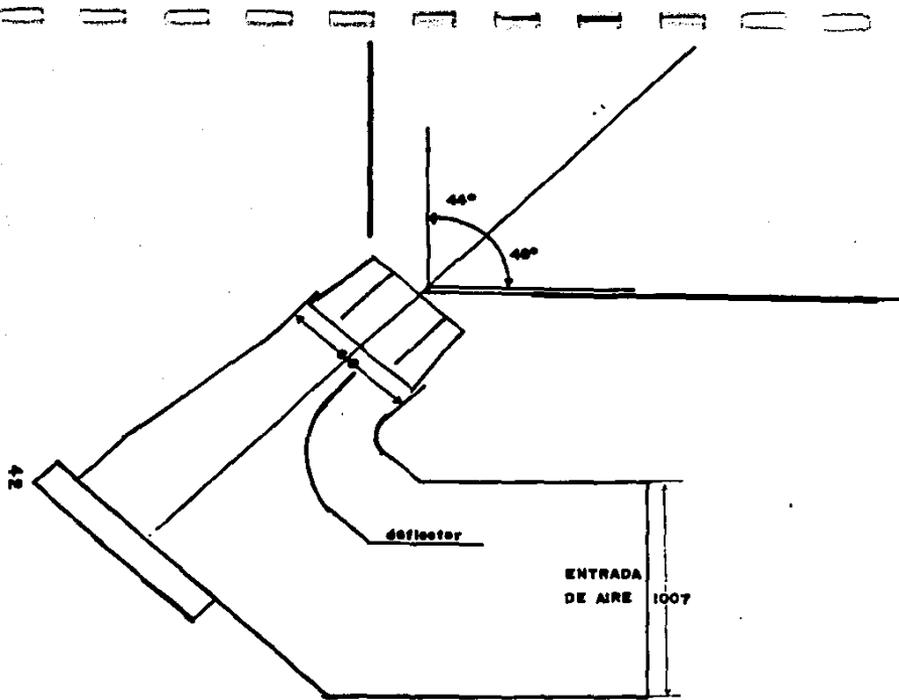


FIGURA 6a. VISTA SUPERIOR, ESQUINAS 1 Y 3.

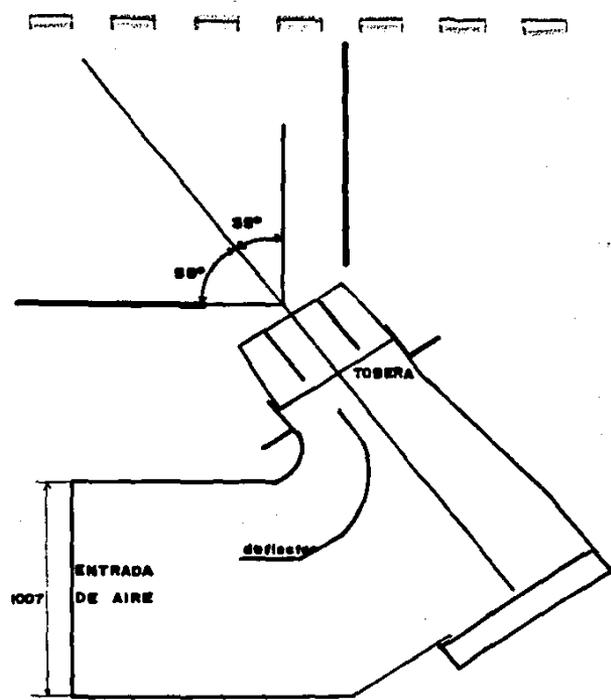
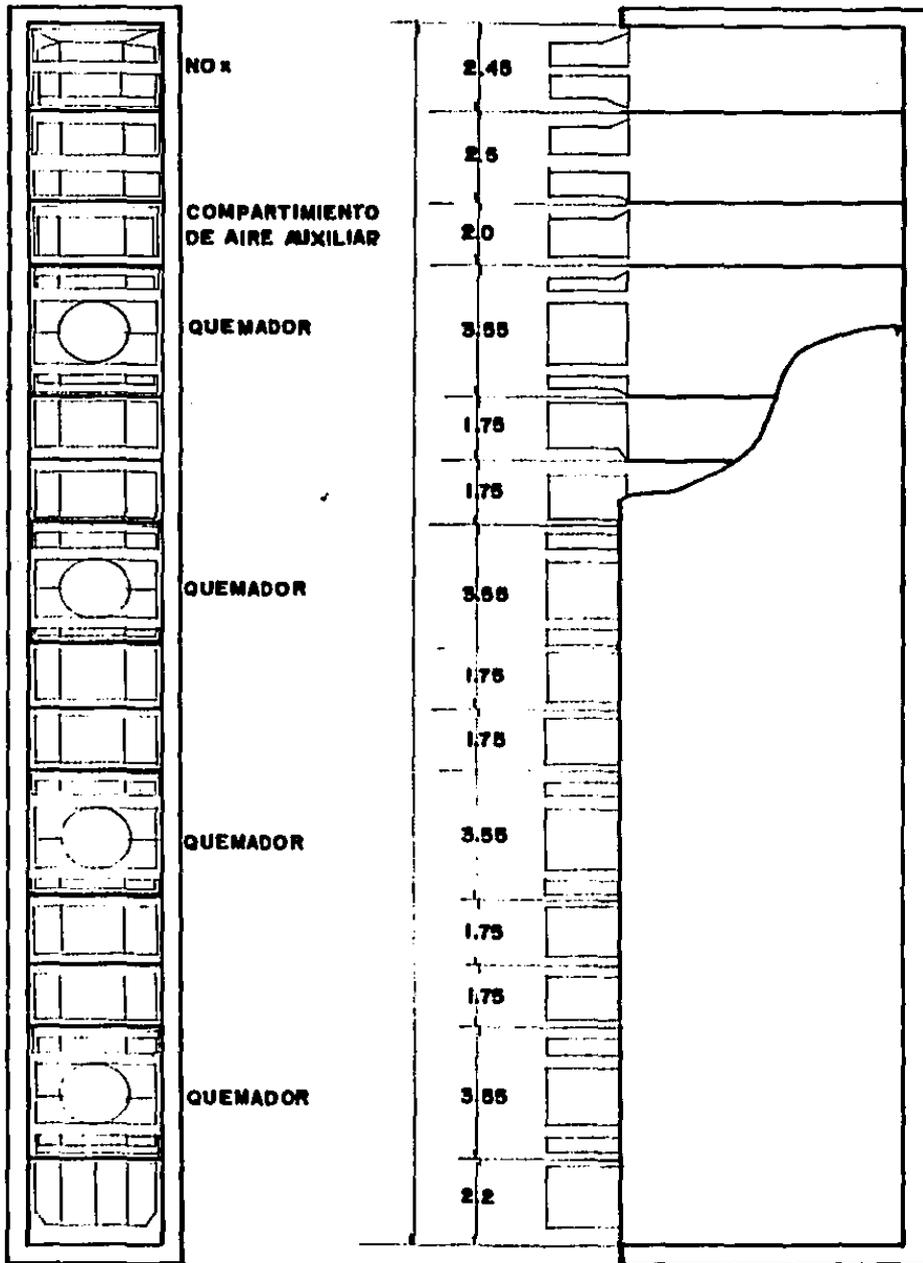


FIGURA. 6b .VISTA SUPERIOR, ESQUINAS 2 Y 4.



Acotaciones en cm.

FIGURA 7. DISTRIBUCION DE LOS COMPARTIMENTOS DE AIRE

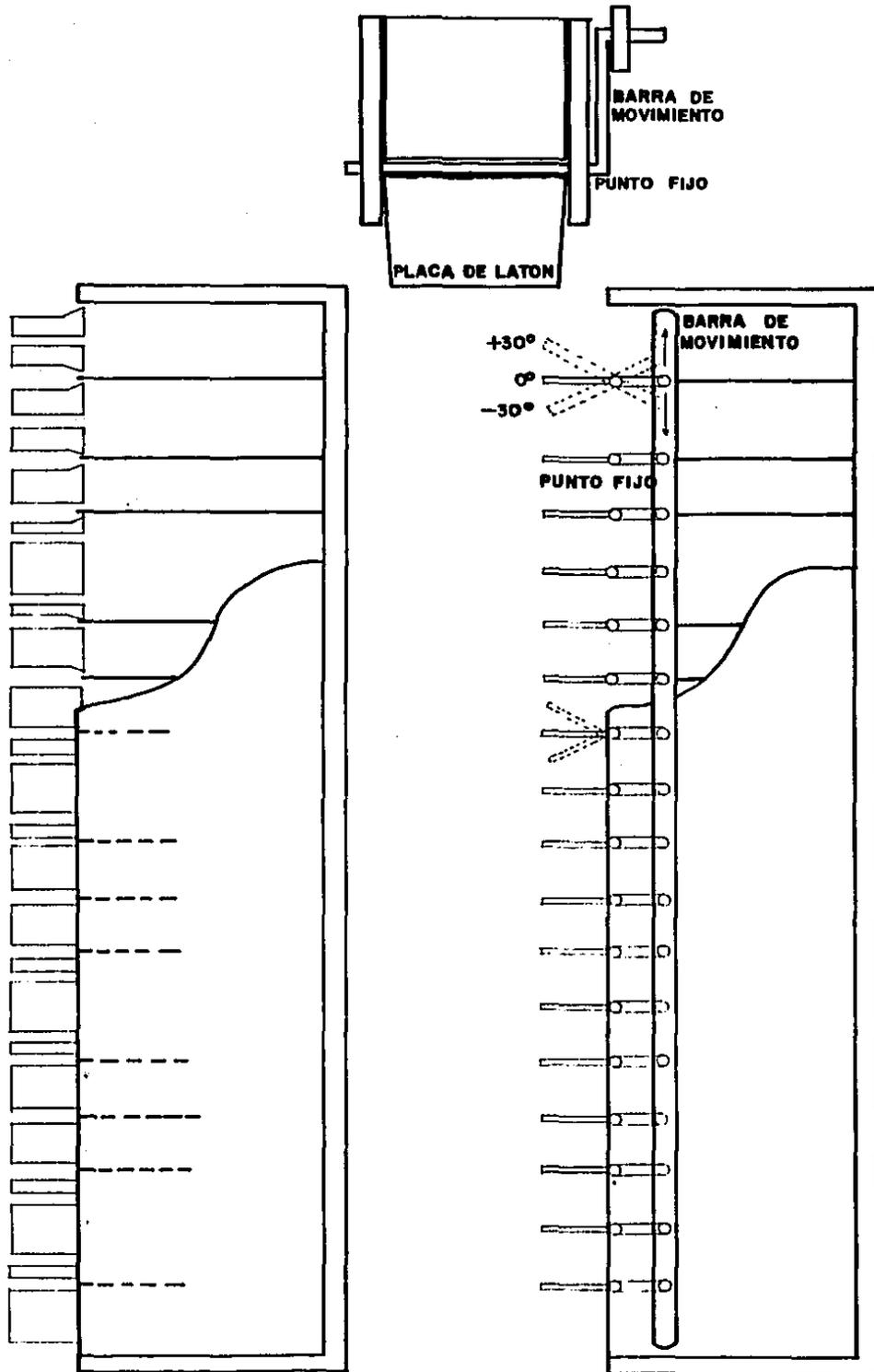


FIGURA 8. DETALLES DE LA SIMULACION DE LAS TOBERAS POR LAS PLACAS DE LATON

por una serie de placas de lámina galvanizada, que tuvieran la facilidad de poder ser retiradas para permitir, según sea necesario, la libre entrada de aire a estos compartimientos.

Concluida la construcción de las cuatro esquinas, se construyeron las dos cajas de aire que alimentan a cada esquina, utilizándose para su construcción una gran cantidad de refuerzos y escuadras realizadas con el mismo material. En las figuras 9a y 9b se observan estos detalles.

Con el propósito de tener acceso al interior del modelo, por si existiera la necesidad de realizar una modificación o reparación de las partes internas (como sucedió), en una de las paredes laterales del hogar se le acondicionó un puerto de entrada, cuyas dimensiones se observan en la figura 10.

En las fotografías 1, 2 y 3 se muestran los detalles descritos.

Una vez terminadas las dos cajas de aire, las 4 esquinas y las otras dos paredes laterales del hogar, en una de las cuales se localiza el puerto de acceso, se inició la construcción de la parte baja del hogar, llamada cenicero. El piso de esta sección tuvo que ser reforzado con placa doble de acrílico para facilitar su unión, además, para darle el ángulo indicado por los planos cada placa fué rebajada con lima hasta darle el corte exacto. También se construyeron los ductos correspondientes al recirculador de gases de combustión, con sus puertos removibles de acceso al hogar. En la figura 11 se muestra en detalle esta sección.

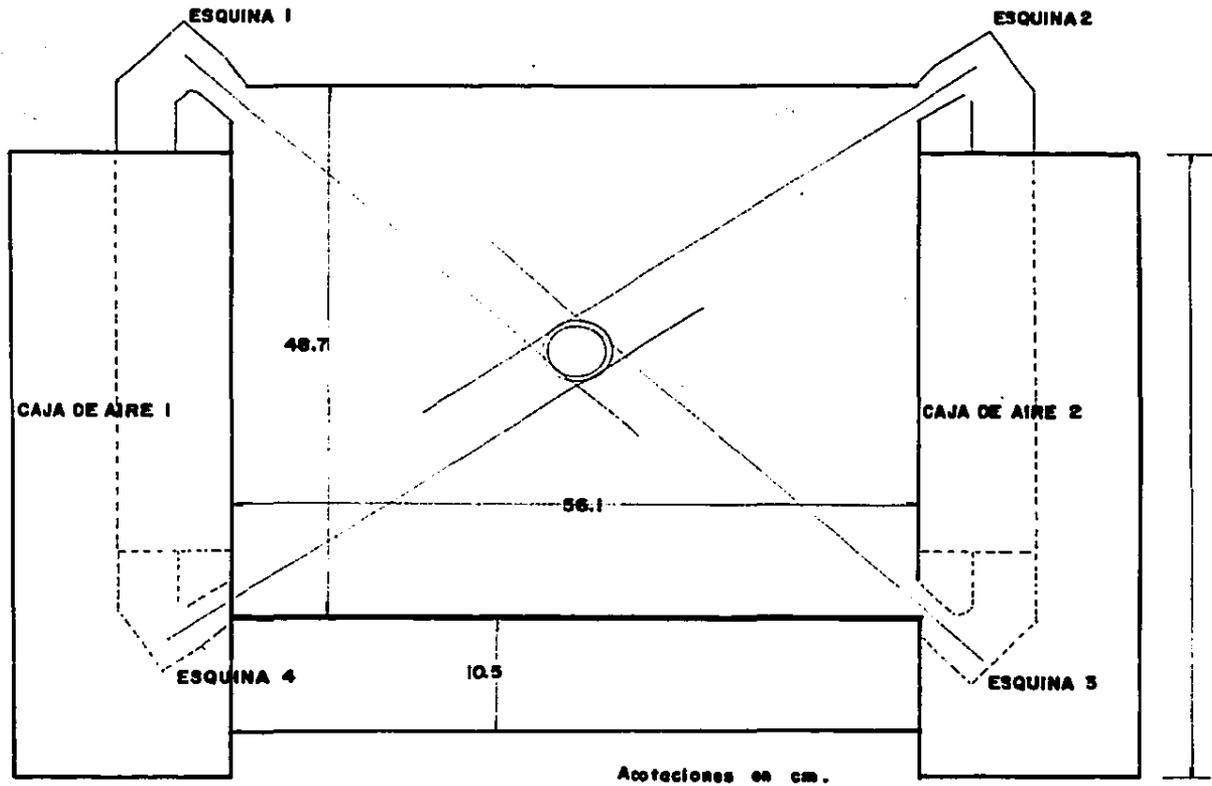


FIGURA 9a. CORTE TRANSVERSAL, VISTA SUPERIOR CAJAS DE AIRE 1 Y 2.

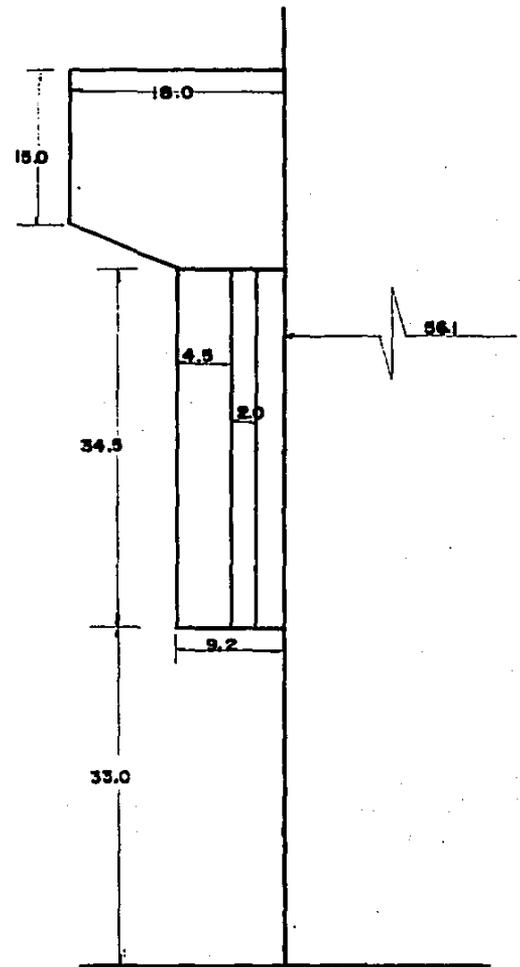
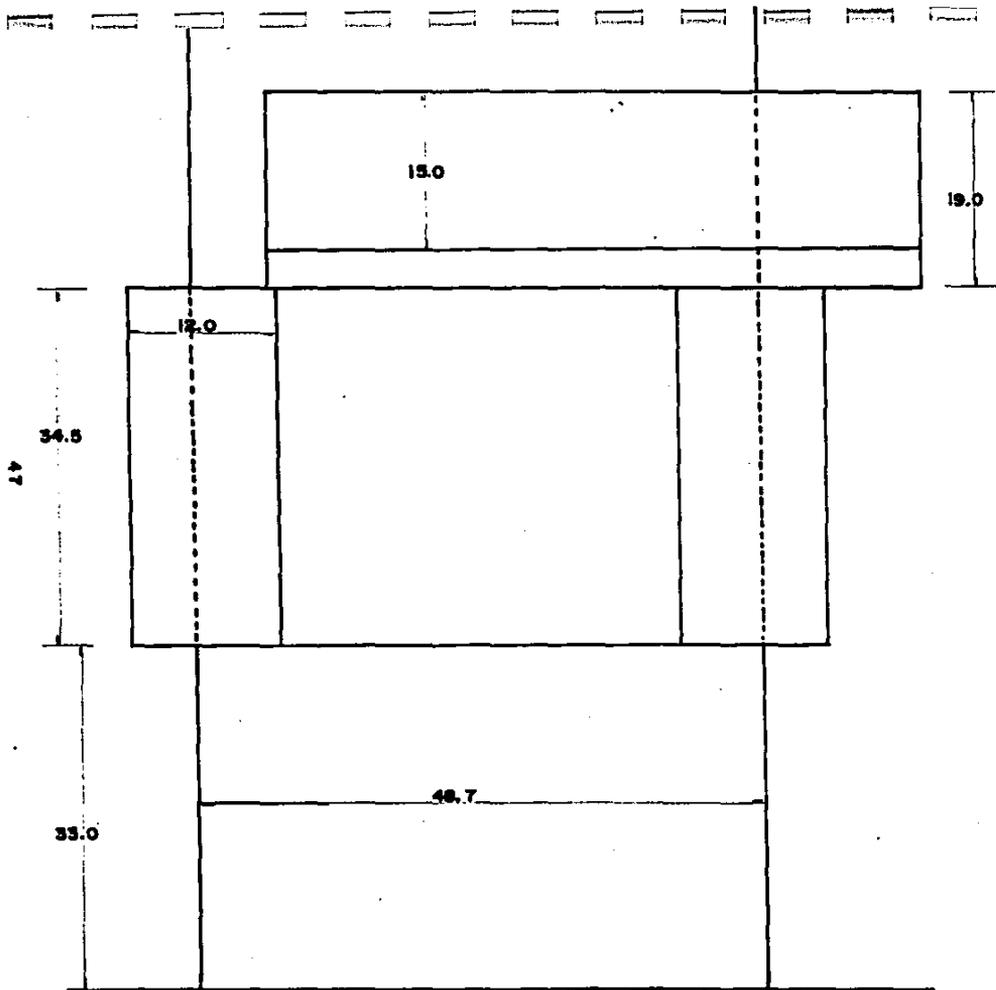


FIGURA 9b. VISTAS LATERALES, CAJAS DE AIRE

Acotaciones en cm. 1

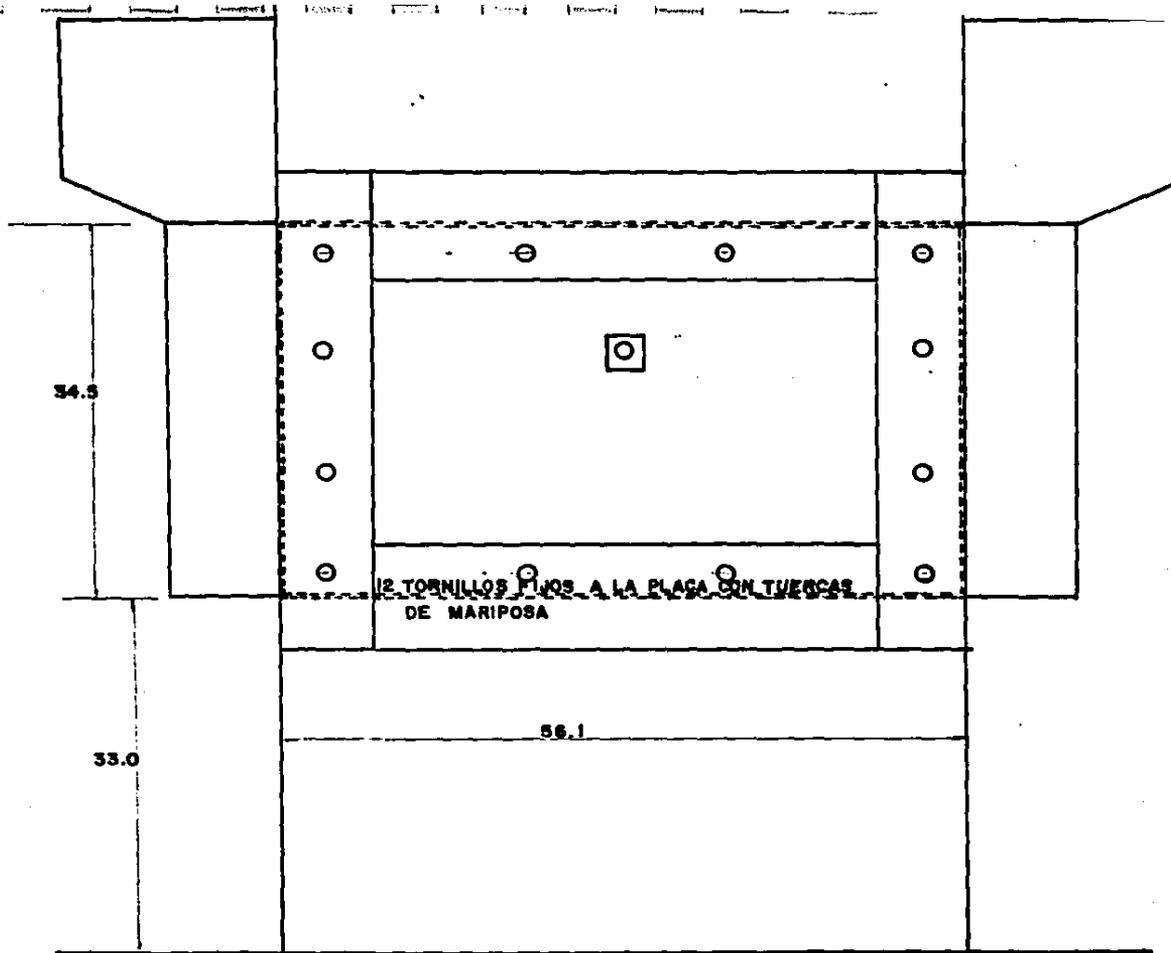
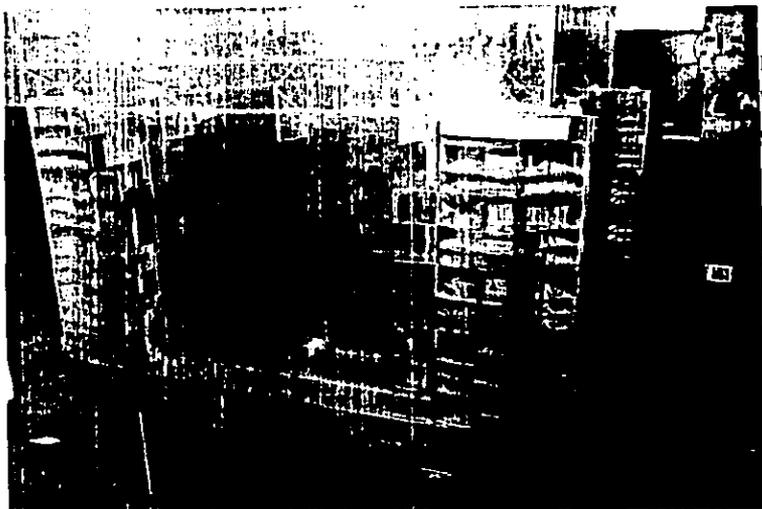
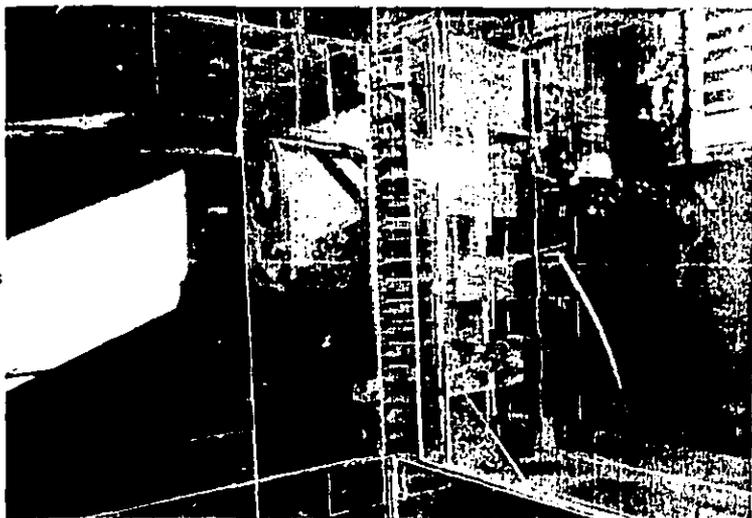


FIGURA 10. DETALLES DE CONSTRUCCION DEL PUERTO DE ACCESO AL HOGAR



FOTOGRAFIA 1.

Vista lateral de una caja
de aire y esquinas construidas



FOTOGRAFIA 2.

Simulación de las toberas
de aire.

Para poder ensamblar las dos cajas de aire con sus esquinas al cenicero, hubo que construir lo que vendría a ser la estructura metálica del modelo, la cual tendría como fin, sostener a las dos cajas de aire y al ducto general de alimentación, soportando en su base al cenicero. En la fotografía 4 se muestra ya construido.

La siguiente etapa de construcción, consistió en modelar la parte superior del generador de vapor, en la cual se localizan todos los bancos de tubos (desde el platen hasta el economizador). La modelación de este nivel fue, tal vez, la de que mayor trabajo significó para su construcción, ya que se tuvieron que modelar con exactitud el diámetro exterior de los tubos para cada banco, la separación entre cada línea de tubos y el número total de ellos. Sin embargo, si se considera que el diámetro exterior de los tubos (p.e. platen) es de 42.7 mm., este diámetro a la escala de modelación corresponde a 2.13 mm., por lo que, el espacio entre tubo y tubo alineados hacia arriba prácticamente podría ser despreciado y de esta forma, simplificarse la construcción de los bancos de tubos, al simularlos como si fueran una sola placa con un espesor igual al diámetro exterior del tubo. Tomando como base lo anterior, los bancos fueron simulados con placas de acrílico adelgazadas con un tensilkcut al diámetro requerido. La altura de la placa simula el número de tubos que se encontraban alineados y su longitud es equivalente a la longitud misma del tubo.

A continuación se presentan las características más importantes de los bancos de tubos modelados.

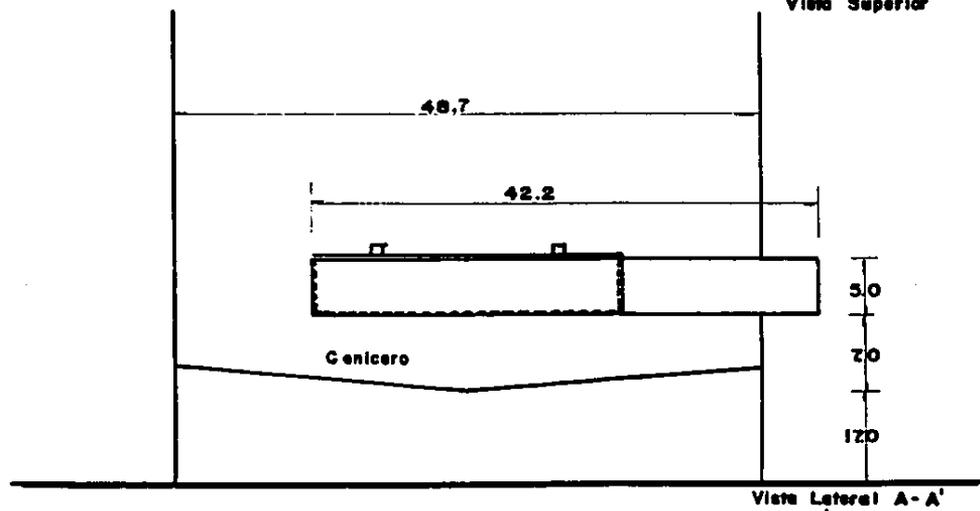
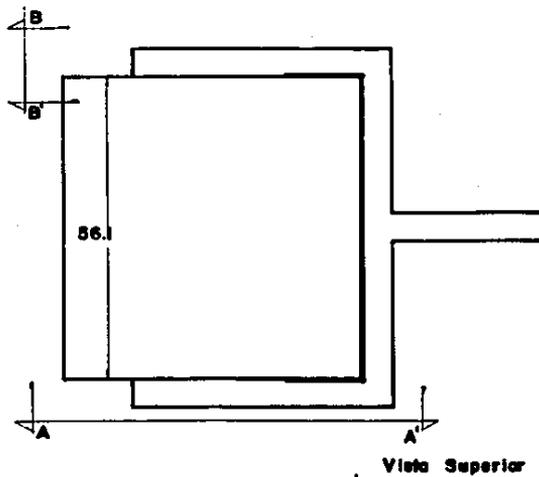
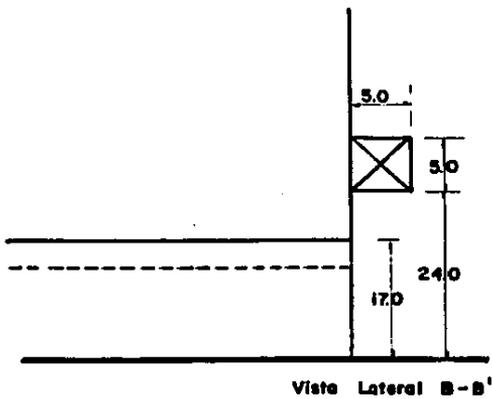
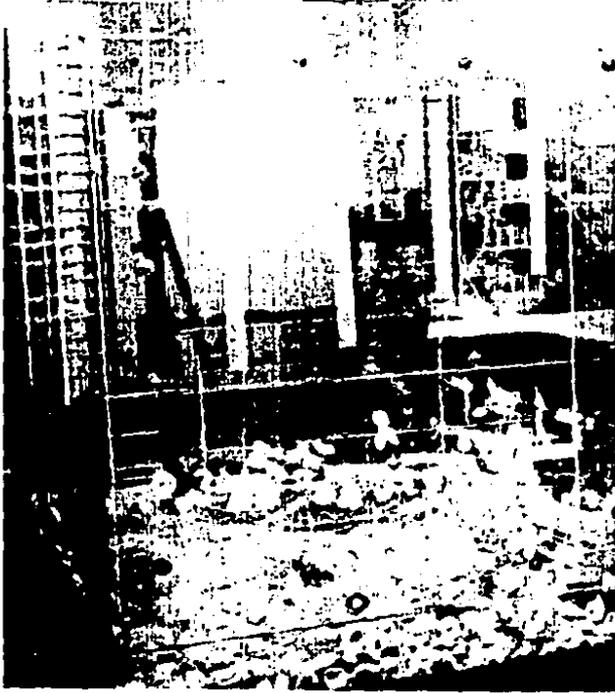
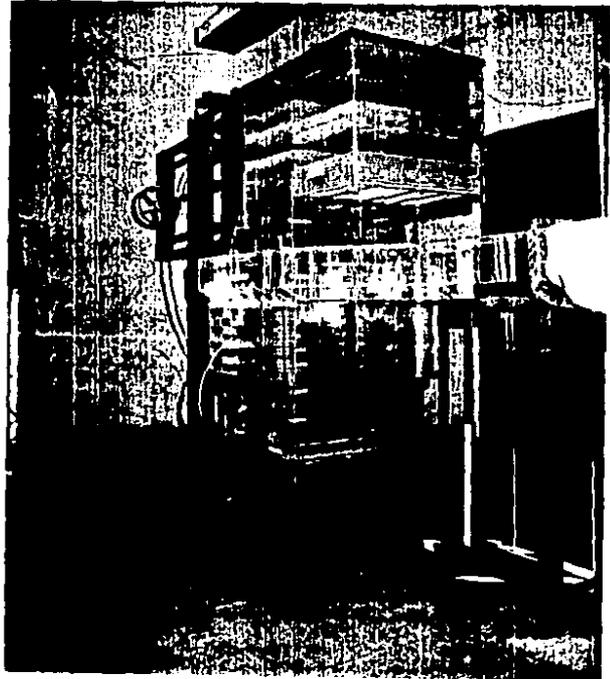


FIGURA II. PLANOS DE CONSTRUCCION DE LA PARTE BAJA DEL HOGAR



FOTOGRAFIA 3.
Puerto de entrada al
hogar del generador.



FOTOGRAFIA 4.
Estructura metálica
empleada en el modelo.

Platen

Tienen en total 72 tubos alineados a lo ancho, con un diámetro exterior de 4.27 cm, en total son 7 tubos alineados hacia arriba.

Sobrecalentador de Temperatura intermedia.

Tiene también en total 72 tubos distribuidos en forma similar a los del platen, con 19 tubos alineados hacia arriba, cuyo diámetro exterior es de 4.27 cm.

Sobrecalentador de Alta Temperatura.

También son en total 72 tubos distribuidos en igual forma al platen, con 19 tubos alineados hacia arriba y un diámetro exterior de 4.5 cm.

Recalentador de Alta Temperatura.

De igual forma son 72 tubos distribuidos como los anteriores, con 6 tubos alineados hacia arriba cuyo diámetro exterior es de 4.86 cm.

Recalentador de Baja Temperatura.

Tiene en total 108 tubos distribuidos a lo ancho, con 27 tubos alineados, cuyo diámetro exterior es de 5.4 cm.

Economizador.

Está compuesto por tubos aletados con arreglo triangular, cuyo diámetro exterior es de 4.5 cm y aleta de 1 cm.

En las figuras 12 a 17 se muestran los planos de construcción de cada banco de tubos modelado.

El único banco de tubos que no fue posible modelar bajo la técnica descrita anteriormente fue el economizador, ya que éste consiste en una serie de de tubos dispuestos en un arreglo triangular, por lo que se buscó algún material que fuese rígido, con un diámetro exterior de 2.75 mm., y al mismo tiempo que no fuese muy pesado, encontrándose un material plástico llamado espagueti, el cual puede deformarse al diámetro deseado, manteniendo su tensión y de muy bajo peso. Una vez elegido el material el proceso de construcción fue el siguiente: primeramente se dibujó en una placa de acrílico de 9 mm. de espesor el arreglo triangular, para posteriormente perforarla con una broca de diámetro equivalente al diámetro exterior del tubo, formándose el cuadro con otras dos placas del mismo espesor, por último se tejió el cuadro con el espagueti. Debido a la tensión que se le aplicó al espagueti para deformarlo, se tuvo que reforzar el cuadro de acrílico con una serie de soportes internos (varillas circulares de acero).

En las fotografías 5 y 6 se muestran los bancos de tubos contruidos.

Una vez contruidos todos los bancos de tubos, se decidió que éstos no fueran fijos al modelo, lo anterior con el propósito de poder

1010.2 417.5 179.8 836.2 15.1

1010.2 324.8 188.3 413.8 7.7

870.9 540.5 39.7 856.2 16.9

975.2 541.0 174.7 921.1 63.7

465.0 177.0 857.4

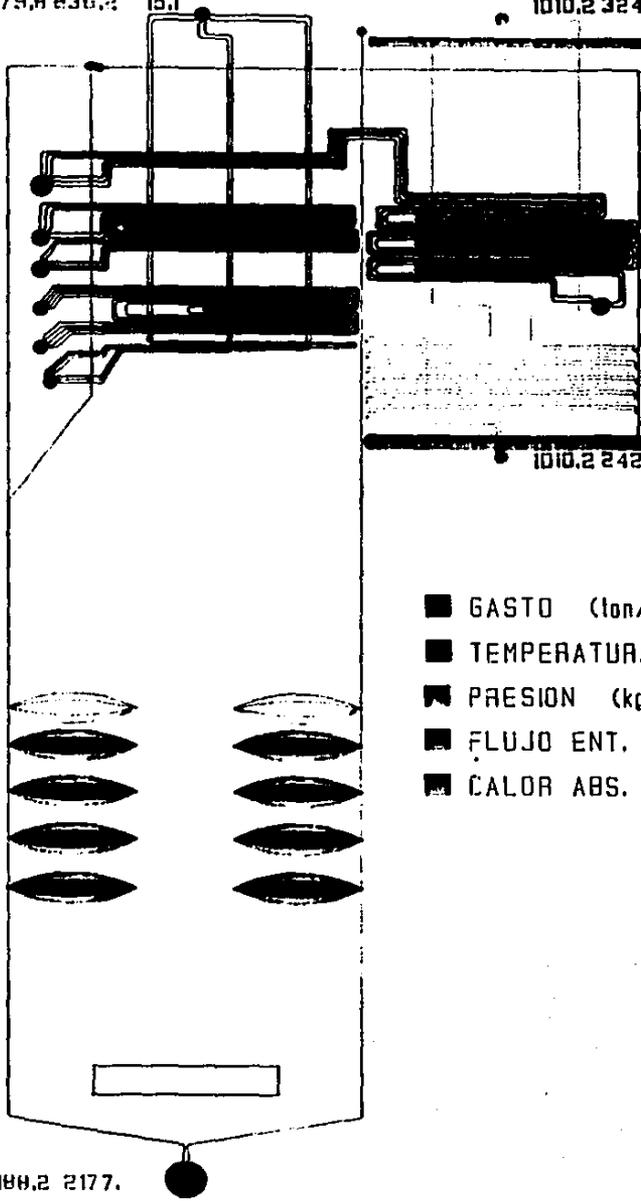
1015.1 468.1 177.1 895.2 93.1

390.0 179.6 802.1

1010.2 355.8 180.7 707.5 113.5

870.9 373.5 41.1 761.8

1010.2 242.8 190.2 295.4 110.7



- GASTO (ton/hr)
- TEMPERATURA (C)
- PRESION (kg/cm2)
- FLUJO ENT. (MW)
- CALOR ABS. (MW)

AGUA - VAPOR
GEN. DE VAPOR MITSUBISHI
C.E. MANZANILLO, U. 3-4

CARGA : MCR

TEMPERACION: 9.8 2.9
EXTRACCION: 44.7 39.6

4650.9 353.3 188.2 217.7

FIGURA 12. Arreglo general banco de tubos.

VAPOR - GASES

SC. BAJA TEMP. MITSUBISHI

CTE. MANZANILLO I. U. 3-4

CARGA: 50% ECR

GASTO GASES: 837.8

GASTO VAPOR: 397.6

CALOR ABSOR.: 58.5

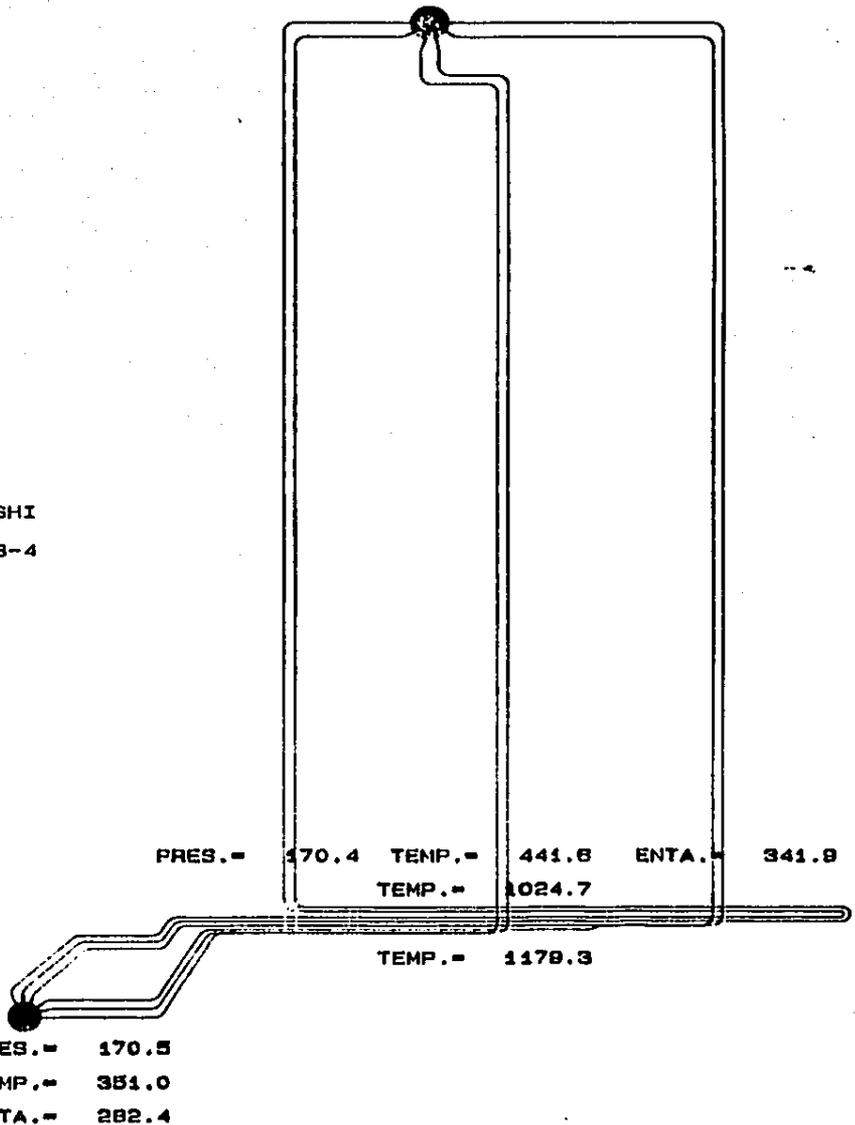


FIGURA 14. Sobrecalentador de baja temperatura.

VAPOR - GASES

ECONOMIZADOR MITSUBISHI

CTE. MANZANILLO I. U. 3-4

CARGA: MCR

GASTO GASES: 1336.5

GASTO VAPOR: 1010.2

TRABAJO ABSOR.: 110.7

PRES.- 189.1

TEMP.- 810.8

TEMP.- 320.1

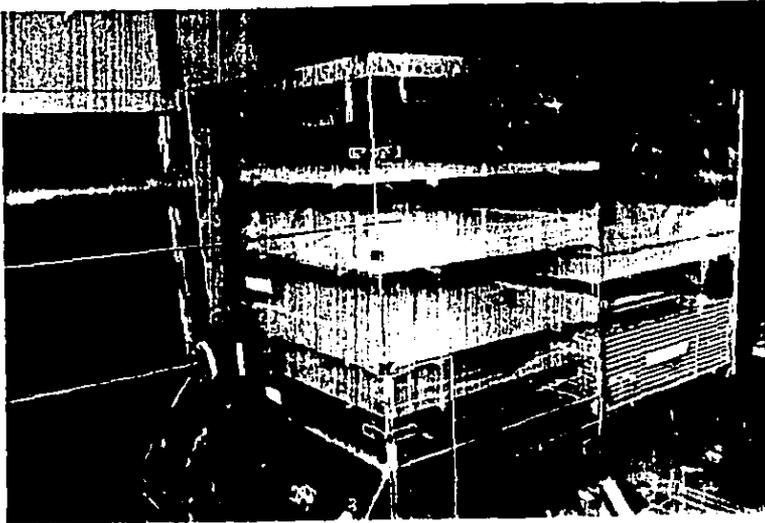
ENTR.- 408.1

TEMP.- 359.1

PRES.- 180.2

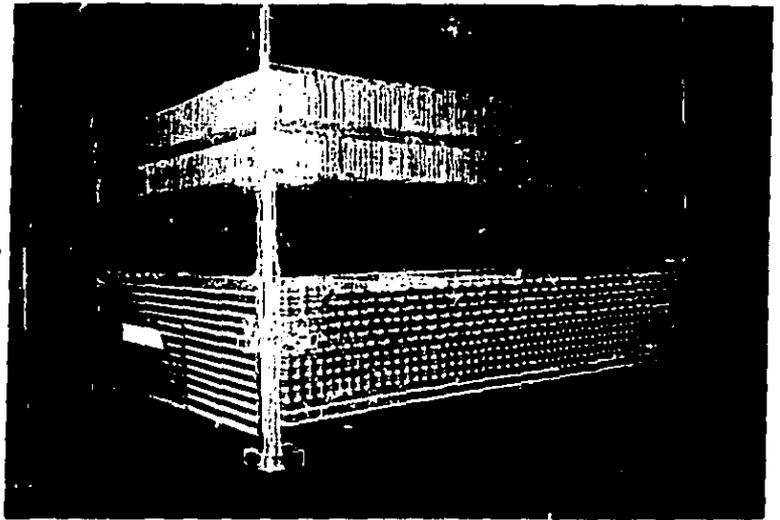
TEMP.- 242.8

FIGURA 17. Arreglo del economizador.



FOTOGRAFIA 5.
Simulación de los bancos
de tubos.

FOTOGRAFIA 6.
Banco de tubos simulado
Economizador.



realizar experimentación con diferentes arreglos de bancos de tubos en un plan a futuro. Para esto, los bancos fueron sujetos al modelo por medio de una serie de pijas, las cuales pueden ser retiradas del modelo cuando se requiera; por otro lado, la tapa superior del modelo no fue sellada con el fin de poder introducir los diferentes bancos de tubos al modelo.

La última etapa de construcción del modelo, consistió en la elaboración de los ductos de alimentación a las cajas de aire y el ensamble de éste con el ventilador. En la figura 18 se observan las dimensiones del ducto de alimentación, así como, un arreglo general de construcción. La unión del ducto principal con el ventilador se realizó con una lona, la cual fue sujeta y cosida a ambas partes. En la fotografía 7 se muestran estos ensambles ya concluidos, y el modelo terminado.

Equipos de Medición.

Para cubrir el primer objetivo del proyecto, las mediciones se llevaron a cabo con una sonda direccional de 5 orificios. El segundo objetivo se realizó con el equipo analizador de hidrocarburos, y para cumplir con el tercer objetivo se utilizó básicamente un equipo fotográfico.

1. Sonda direccional de 5 orificios.

El sistema medidor de presiones se seleccionó con base en las características mismas del flujo, es decir, el carácter rotacional, la naturaleza del fluido y las condiciones térmicas a las que opera,

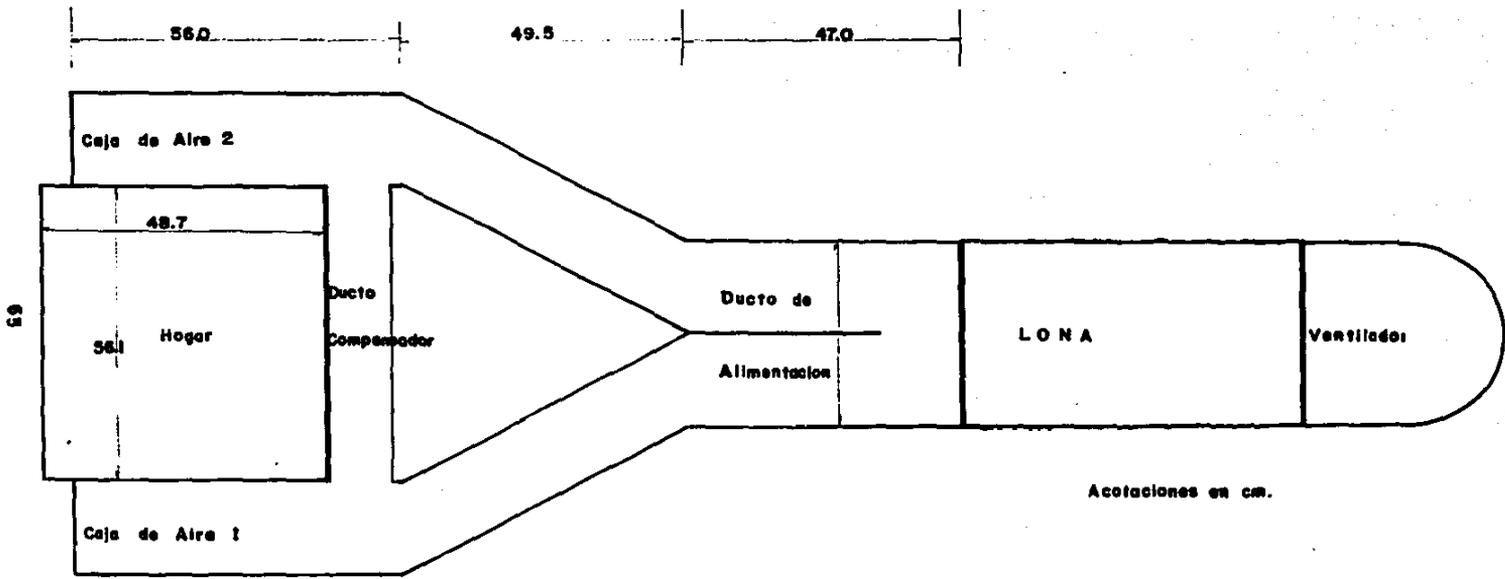
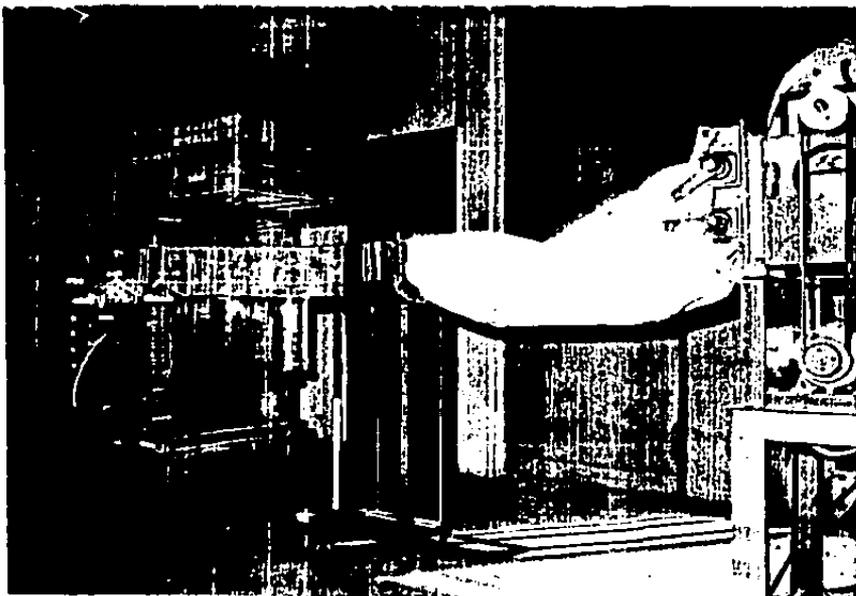


FIGURA 18. ARREGLO GENERAL DE CONSTRUCCION.



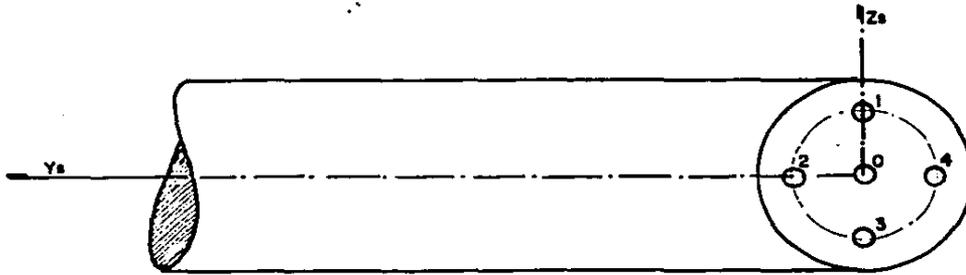
FOTOGRAFIA 7.
Ensamble modelo-ventilador, vista general
del modelo construido.

estos factores permitieron optar por una sonda direccional de 5 orificios como instrumento sensor de presiones.

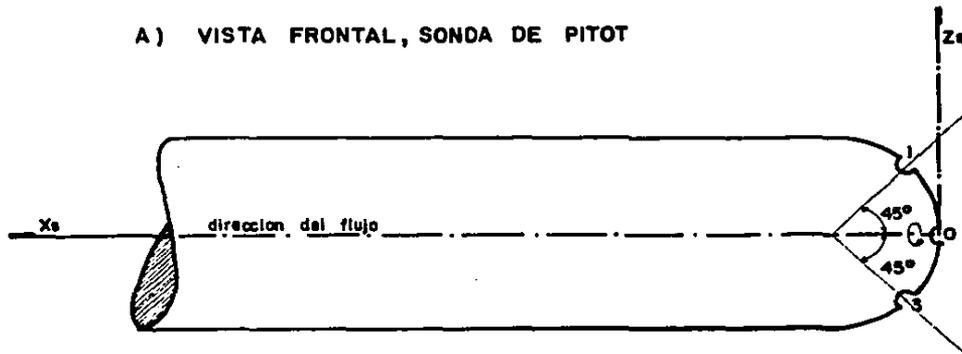
Es importante señalar que por la naturaleza del instrumento, las diferenciales de presión leídas, corresponden a un promedio local, por tanto, los vectores de velocidad calculados con estas presiones, también son un promedio local. Este aspecto marca una notable diferencia con otros sistemas de medición, por ejemplo, con el anemómetro laser en el que se obtiene una dirección determinada, mediciones cuantitativas muy precisas de velocidad instantánea, pero en forma discreta, o el anemómetro de hilo caliente con el que se obtienen valores de velocidad en forma continua. Comparando estas diferencias se concluyó que para los objetivos del presente trabajo, la sonda de 5 orificios era un equipo adecuado y versatil para las mediciones requeridas.

En lo que sigue se dará una breve explicación del modo de operación y del principio de funcionamiento de esta sonda.

Este equipo se compone de la sonda y un manómetro; la operación de la sonda para obtener las diferentes presiones no es difícil, mientras que para el cálculo de las velocidades se necesita correr un amplio programa de computación (ver apéndice I). La sonda se compone de una cabeza la cual tiene un diámetro de 5 mm y en ella se distribuyen 5 orificios de 0.4 mm de diámetro. El orificio central 0 (cero) está situado en el eje X_g de la punta de la cabeza. Con relación a este orificio, los otros 4 tienen un ángulo de 45° y entre sí de 90° (ver figura 19).



A) VISTA FRONTAL, SONDA DE PITOT



B) VISTA LATERAL, SONDA DE PITOT

FIGURA 19. POSICION DE LOS ORIFICIOS DE LA SONDA.

Para evitar perturbaciones al flujo en las cercanías del punto de medición, la cabeza y el cuerpo de la sonda están conectadas por un cuello de cisne. El desarrollo del principio de medición, calibración de la sonda y determinación del vector de velocidad, que a continuación se presenta, se basa en el trabajo realizado en la referencia 12.

Principio de Medición.

Para explicar el principio de medición con una base física, se aplica la teoría del flujo envolvente. Considérese un flujo paralelo, el cual no tiene ningún gradiente de velocidad o presión (figura 20).

Aplicando el teorema de Bernoulli para un punto n sobre una esfera envuelta con flujo de densidad constante, (figura 20) la presión en el punto n cumple con:

$$P_n + \frac{\rho}{2} V_n^2 = P_{est} + \frac{\rho}{2} V^2 \quad (1)$$

donde: ρ = Densidad del flujo
 P_n = Presión en el punto n
 V_n = Vector de velocidad en el punto n
 P_{est} = Presión estática.

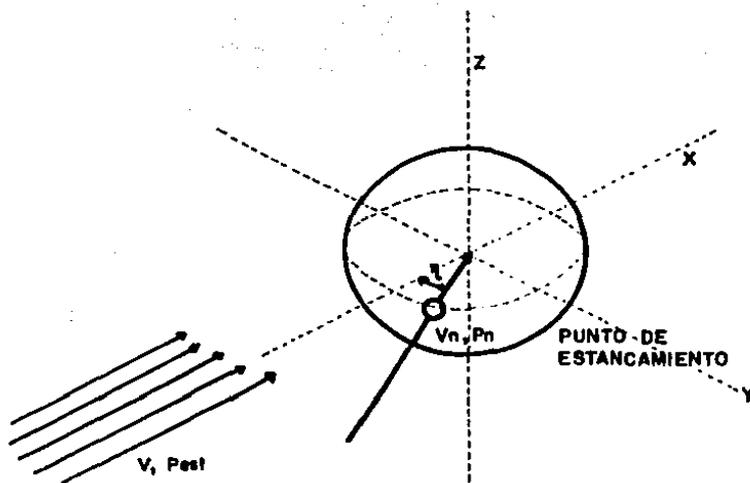


FIGURA 20. FLUJO ENVOLVENTE SOBRE UNA ESFERA

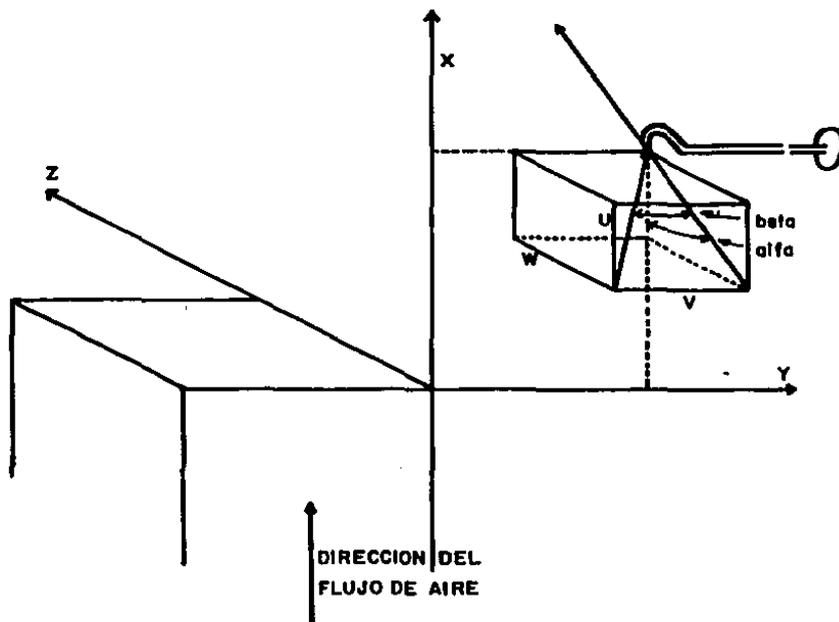


FIGURA 21 . SISTEMA COORDENADO DE LA SONDA

$V =$ Velocidad del flujo.

Si introducimos en (1):

$$Kn = \left| 1 - \frac{V_n^2}{V^2} \right| \quad (2)$$

La ecuación se transforma en:

$$P_n - P_{est} = \frac{\rho}{2} V^2 Kn \quad (3)$$

En la referencia 12 se comprueba que la relación entre las velocidades V_n y V depende exclusivamente del ángulo γ_n tomado entre la dirección del flujo principal y el radio vector n , además esta relación es independiente de la magnitud de las velocidades, e igual a:

$$\left| \frac{V_n}{V} \right| = \frac{3}{2} \operatorname{sen} \gamma_n \quad (4)$$

entonces:

$$Kn = 1 - \frac{9}{4} \operatorname{sen}^2 \gamma_n \quad (5)$$

Para encontrar la magnitud del vector velocidad se rota la sonda alrededor del eje de las Y_s de tal manera que el vector, el cuerpo y la cabeza de la sonda formen un mismo plano. Esta posición se obtiene cuando las presiones P_1 y P_3 son iguales ($P_1 - P_3 = 0$). El ángulo α se lee en el transportador que contiene el cuerpo de la sonda. La figura 21 muestra el sistema coordenado de flujo (X, Y, Z) y el de la sonda (X_s, Y_s, Z_s).

La determinación del ángulo β y de la magnitud de la velocidad se obtiene mediante la ec. 3 con la siguiente derivación.

$$P_o = P_{est} + \frac{\rho}{2} V^2 K_o \quad (6)$$

$$P_2 = P_{est} + \frac{\rho}{2} v^2 K_2 \quad (7)$$

$$P_4 = P_{est} + \frac{\rho}{2} v^2 K_4 \quad (8)$$

Calculando la diferencia entre dos presiones desaparece la presión estática y dividiendo una diferencia de presiones entre otra, se llega a:

$$P_{V_2} = \frac{P_2 - P_4}{P_0 - P_2} \frac{K_2 - K_4}{K_0 - K_2} \quad (9)$$

$$P_{V_4} = \frac{P_2 - P_4}{P_0 - P_4} \frac{K_2 - K_4}{K_0 - K_4} \quad (10)$$

Igualando las ecs. 9 y 10 con los cocientes de las diferencias de K_0 , K_2 , y K_4 y una vez que la dirección del flujo principal esté situada en el plano X_S , Y_S formado por la cabeza y el cuerpo de la sonda, los ángulos γ_0 , γ_2 y γ_4 dependen linealmente de β .

$$K_0 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \gamma_0 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \beta \quad (11)$$

$$K_2 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \gamma_2 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \beta \quad (12)$$

$$K_4 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \gamma_4 = 1 - \frac{9}{4} \text{sen}^2 \beta \quad (13)$$

Sustituyendo los valores de K_0 , K_2 y K_4 en las ecs. 9 y 10 se tiene

$$P_{V_2} = \frac{\text{sen}^2(45-\beta) - \text{sen}^2(45+\beta)}{\text{sen}^2\beta - \text{sen}^2(45-\beta)} \quad (14)$$

$$P_{V_4} = \frac{\text{sen}^2(45-\beta) - \text{sen}^2(45+\beta)}{\text{sen}^2\beta - \text{sen}^2(45+\beta)} \quad (15)$$

Las ecs. 14 y 15 dependen únicamente del ángulo β y sirven entonces para la determinación de β .

los coeficientes K_0 , K_2 y K_4 , y los valores derivados de ellos dependen del ángulo β y en mayor grado de la velocidad del flujo, por tanto deben ser determinados por medio de una calibración de la sonda.

Calibración de la sonda.

La sonda se calibró en el seno de un chorro libre, posicionada sobre el eje Y, a una distancia a la cual el diámetro de la tobera es igual a:

$$\frac{X}{d} = 1$$

El sistema de calibración de la sonda debe ser móvil en todas direcciones.

Durante condiciones constantes del flujo se miden las presiones para 22 posiciones del ángulo β (cada 5°). Se calibró además para un intervalo de velocidad de 0 a 40 m/seg.

Se ajustó la presión total de la tobera (P_t) de tal manera que su diferencia con la presión estática medida en $X/d=1$ corresponde a la velocidad deseada.

$$P_t - P_{est}(x/d=1) = P_{din} = \frac{\rho}{2}(V^2) \quad (16)$$

donde:

P_{din} = Presión dinámica.

A causa de defectos durante su construcción, podría ser que la cabeza de la sonda no fuese exactamente simétrica o que hubiese quedado torcida una vez soldada, en ese caso el eje de la punta de la sonda no coincidiría con el eje simétrico de la cabeza de la misma, lo cual traería como consecuencia que los vectores de velocidad no estuviesen situados en el plano formado por el eje del cuerpo y por el eje de la cabeza. Para prevenir esto, se tuvo que calibrar adicionalmente el ángulo α_c (c: corrección) el cual depende de β .

Con las presiones medidas de la calibración se calculan los coeficientes K_0 , K_2 y K_4 según las ecuaciones (6, 7 y 8). Además se usa P_{din} de la ec. 16 para obtener:

$$K_0 = \frac{P_0 - P_{est}}{P_{din}} \quad (17)$$

$$K_2 = \frac{P_2 - P_{est}}{P_{din}} \quad (18)$$

$$K_4 = \frac{P_4 - P_{est}}{P_{din}} \quad (19)$$

De esas relaciones se obtienen los términos para el cálculo de :

$$F_V = \begin{cases} \frac{P_2 - P_4}{P_0 - P_2} & P_2 \leq P_4 \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} \frac{P_2 - P_4}{P_0 - P_4} & P_2 > P_4 \end{cases} \quad (21)$$

$$K_{02} = K_0 - K_2 \quad (22)$$

$$K_{04} = K_0 - K_4 \quad (23)$$

$$K_{p5} = 2K_0 + K_2 + K_4 \quad (24)$$

Los puntos de medición se ajustan a una curva mediante polinomios de grado 11, según el método de los mínimos cuadrados.

Determinación del vector velocidad.

Se determina el plano del vector velocidad girando el cuerpo de la sonda (ángulo α) hasta que las presiones P_1 y P_3 sean iguales, es decir, $P_1 - P_3 = 0$.

Para la determinación del vector velocidad es necesario conocer P_0 , P_2 , P_4 y α .

Primeramente se calcula el cociente P_v . Mediante las curvas de calibración se obtiene el ángulo β , K_{02} , K_{04} y K_{05} así como el ángulo de corrección α_c .

Con esos valores se calcula la magnitud de la velocidad y la presión estática.

$$|\underline{V}| = \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{P_0 - P_2}{K_{02}}} \quad P_2 \leq P_4 \quad (27)$$

$$|\underline{V}| = \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{P_0 - P_4}{K_{04}}} \quad P_2 > P_4 \quad (28)$$

$$P_{est} = \frac{1}{4} \left(2P_0 + P_2 + P_4 - \frac{\rho}{2} V^2 K_{ps} \right) \quad (29)$$

Para el cálculo del vector velocidad se utilizan primeramente las curvas de calibración válidas para el intervalo de 5 m/s. En caso de que el valor de la velocidad sea mayor que 3 m/s se repite el cálculo utilizando las curvas de calibración que sean más cercanas a la velocidad calculada al principio.

Las componentes del vector resultantes son:

$$U = |\underline{V}| \cos\beta \cos(\alpha-\alpha_c) \quad \text{Velocidad Axial} \quad (30)$$

$$V = |\underline{V}| \operatorname{sen}\beta \quad \text{Velocidad radial} \quad (31)$$

$$W = |\underline{V}| \cos\beta \operatorname{sen}(\alpha-\alpha_c) \quad \text{Velocidad Tangencial} \quad (32)$$

2. Portasonda.

El portasonda es un equipo que contiene un mecanismo manual que permite hacer movimientos verticales, horizontales y de rotación sobre el eje Y de la sonda (fotografía 8).

Para encontrar el plano del vector velocidad en cada punto hay que rotar la sonda sobre su eje hasta tener en el micromanómetro una lectura de cero. Los movimientos de avance y retroceso de la sonda son logrados por una manivela que puede girar en contra o a favor de las manecillas del reloj. Por cada vuelta de la manivela se tiene un movimiento horizontal de 2 mm. Cuando se desea cambiar el nivel de las mediciones (eje Z) sólo se tiene que levantar o bajar el marco en el que se encuentra sujeta la sonda y el nuevo punto conservará su posición en el eje de las "Y".

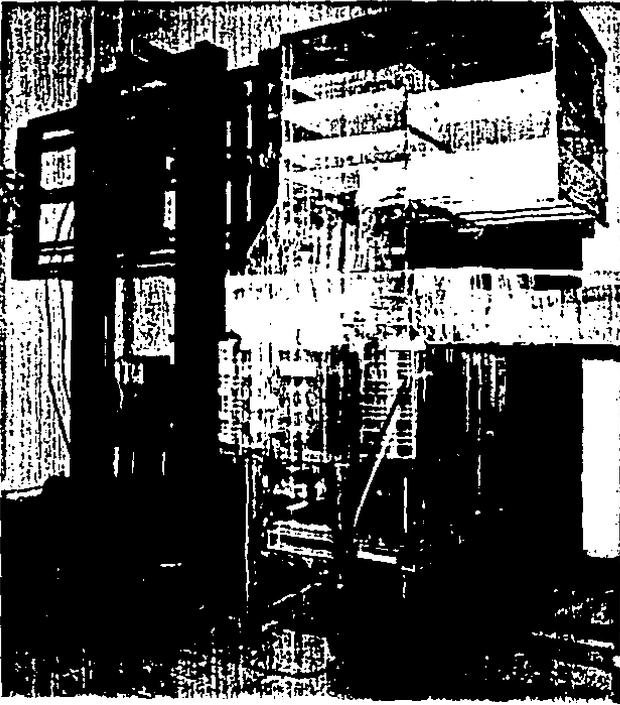
3. Selector de presiones y manómetro diferencial.

La unidad selectora de presiones con la que se realizaron las comparaciones de presión ($P_0 - P_2$, $P_0 - P_4$, $P_1 - P_3$) fue una del tipo 10-pair selection box, marca Furness control, la cual consiste básicamente en una serie de válvulas dispuestas de tal forma que la lectura comparativa resulta fácil de obtener, en la fotografía 9 se muestra el equipo utilizado. Los tubos de extensión de los 5 orificios de la cabeza de la sonda están conectados al selector mediante mangueras de polivinilo y las salidas de éste se leen en un micromanómetro diferencial con rango de 1 a 10 mm de c.a. al 1%, de 1 a 100 mm de c.a. a 10% y de 1 a 1000 mm de c.a. al 100%. Este micromanómetro, que se aprecia en la fotografía, es el modelo FC014 Micromanometer marca Furness Controls Limited.

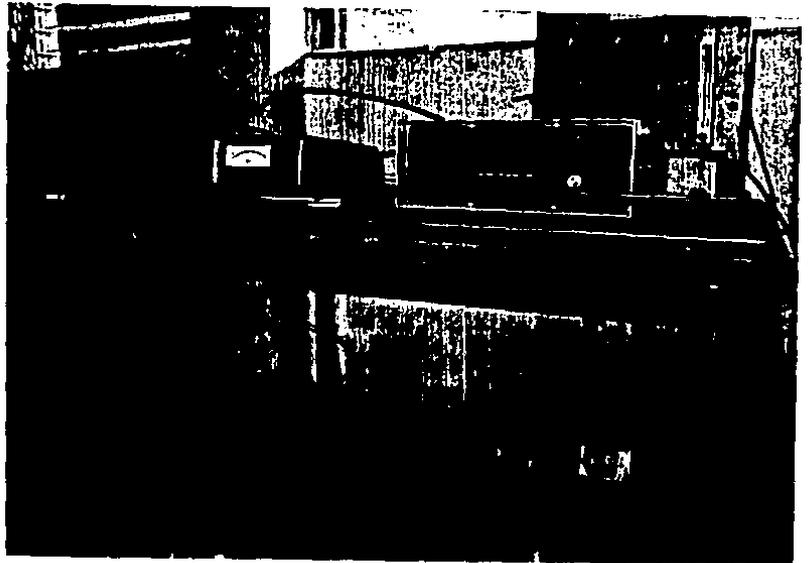
4. Analizador de Hidrocarburos.

Principio de operación.

El analizador de hidrocarburos utiliza un detector de ionización de flama para determinar y cuantificar la presencia de compuestos hidrocarbonados en la muestra. El principio de este detector se basa en la ionización que sufren todas las moléculas que contienen esqueletos hidrocarbonados, al entrar en flamas de alta temperatura. Tal ionización permite establecer un flujo de corriente iónica entre un par de electrodos polarizados, convenientemente dispuestos en la



FOTOGRAFIA 8.
Vista general del porta
sonda utilizadd.



FOTOGRAFIA 9.
Selector de presiones,
manómetro diferencial y
sonda direccional de 5
orificios.

región de la flama, los que forman un campo electrostático que produce la migración de los iones formados durante la combustión, hacia los respectivos electrodos, como resultado de lo cual se establece un pequeño flujo de corriente iónica entre cátodo y ánodo, la cual depende de la concentración en la flama de los compuestos hidrocarbonados provenientes de la muestra. La corriente iónica generada entre los electrodos es convenientemente amplificada y medida por medio de un electrómetro, el cual dá un voltaje de salida que es una función precisa de la corriente iónica.

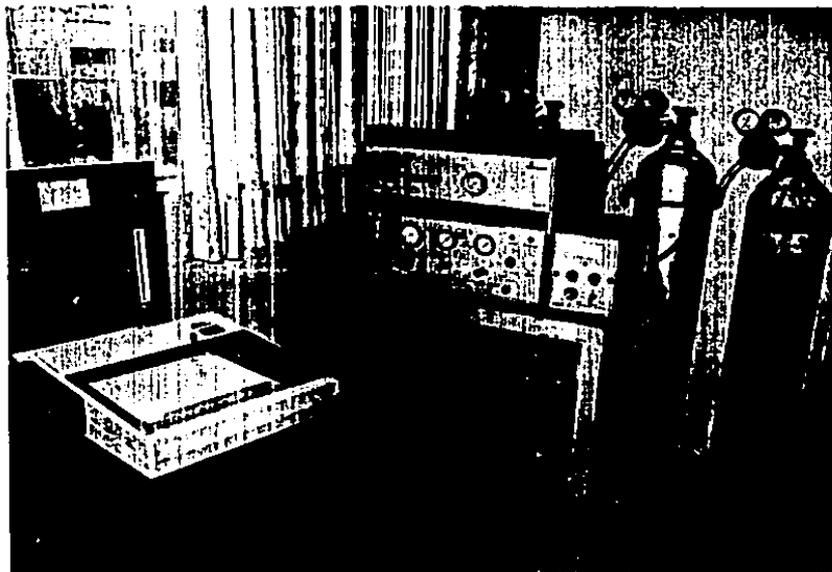
La flama es producida por un quemador alimentado con flujos perfectamente regulados de aire (u oxígeno) e hidrógeno, en muchos casos es conveniente que este último esté diluido en un gas inerte, nitrógeno o helio.

La muestra llega al quemador por medio de una bomba de vacío; el gasto es cuidadosamente medido con un rotámetro.

Antes de efectuar cualquier análisis el equipo debe calibrarse con un estándar que contenga una concentración de hidrocarburos conocida (diluida en un gas inerte, nitrógeno o helio).

En la figura 22 se muestran los principales componentes del quemador y en la figura 23 se presenta el diagrama de flujo del analizador. En la fotografía 10 se muestra el equipo utilizado.

Para una descripción más detallada de este equipo ver referencia 13.



FOTOGRAFIA 10.
Analizador de hidrocarburos, graficador y
rotámetro.

CAPITULO V

EXPERIMENTACION

Este capítulo comprende la descripción de todas las pruebas experimentales realizadas en este trabajo, las cuales tratan de cubrir los objetivos del mismo. La experimentación efectuada en el modelo se enfocó principalmente a determinar:

1° Los patrones de flujo que se tienen en el hogar para tres diferentes posiciones de quemadores (inclinación de las toberas $+30^\circ$, 0° , -30°).

2° La obtención de patrones de mezclado simulando una falla en la operación de algún quemador de combustóleo.

3° Una visualización del flujo existente en el interior del modelo simulando el movimiento del ciclón con un material trazador (esferas de unícel).

1. Mediciones realizadas en el modelo a fin de obtener los patrones de flujo.

Con el propósito de obtener los diferentes patrones de flujo que se forman en el hogar del generador de vapor, se llevaron a cabo tres tipos de mediciones, manteniendo en todas las pruebas los siguientes parámetros de operación fijos:

- A- Mamparas reguladoras de todos los compartimientos de aire auxiliar cerradas.
- B- Mamparas reguladoras de todos los compartimientos de NO_x cerradas.
- C- Compuertas del recirculador de gases de combustión cerradas
- D- La apertura de salida del ventilador en todas las pruebas fue la misma.

Las mediciones consistieron en la obtención de diferencias de presiones en los 5 orificios de la sonda direccional, leídas en el manómetro diferencial, y la lectura del ángulo alfa que se obtiene del transportador de la sonda. Las mediciones obtenidas se almacenan en un archivo de datos del programa de computación, MODSE (apéndice I), el cual permite obtener como resultados, la magnitud y la dirección del vector velocidad para cada punto de medición, los que graficados en conjunto, representan los patrones de flujo.

Dada la característica del flujo de aire en el hogar (altamente rotacional), la sonda direccional de 5 orificios debió ser introducida al modelo por la parte superior, a fin de poder encontrar la dirección del vector principal correspondiente al punto de medición y producir el mínimo de perturbación al patrón de flujo. Los planos 1 y 2 sin embargo, debieron ser determinados introduciendo la sonda en dos caras laterales del

modelo, ya que la longitud de la sonda únicamente permitía llegar desde la parte superior hasta el plano 3.

La serie I-1 se obtuvo con la inclinación de los quemadores a -30° G.

La serie I-2 se obtuvo con la inclinación de los quemadores a 0° G.

La serie I-3 se obtuvo con la inclinación de los quemadores a 30° G.

La sonda se posicionó en 11 planos de medición distribuidos en el hogar como se muestra en la figura 24, en la cual se observa que los planos 1 y 2 se localizan en la parte más baja del hogar (próximos al cenicero), mientras que los planos 3, 4, 5 y 6 se encuentran localizados en el centro de cada compartimiento para quemadores de combustóleo. El plano 7 se localiza en el centro del compartimiento de NO_x . Los planos 8, 9, 10 y 11 se distribuyen a distancias iguales en la parte superior del hogar; en estos planos se manifiesta la influencia en los patrones de flujo provocada tanto por la nariz del hogar como por la reducción en el área de salida (plano 11).

En la figura 25 se presentan los puntos de medición correspondientes a cada plano, los que fueron seleccionados para obtener patrones de flujo representativos. Es importante hacer notar que el sistema de coordenadas adoptado para las mediciones de los planos 3 al 11, es el de la sonda de pitot de 5 orificios, que para estos planos fue posicionada verticalmente.

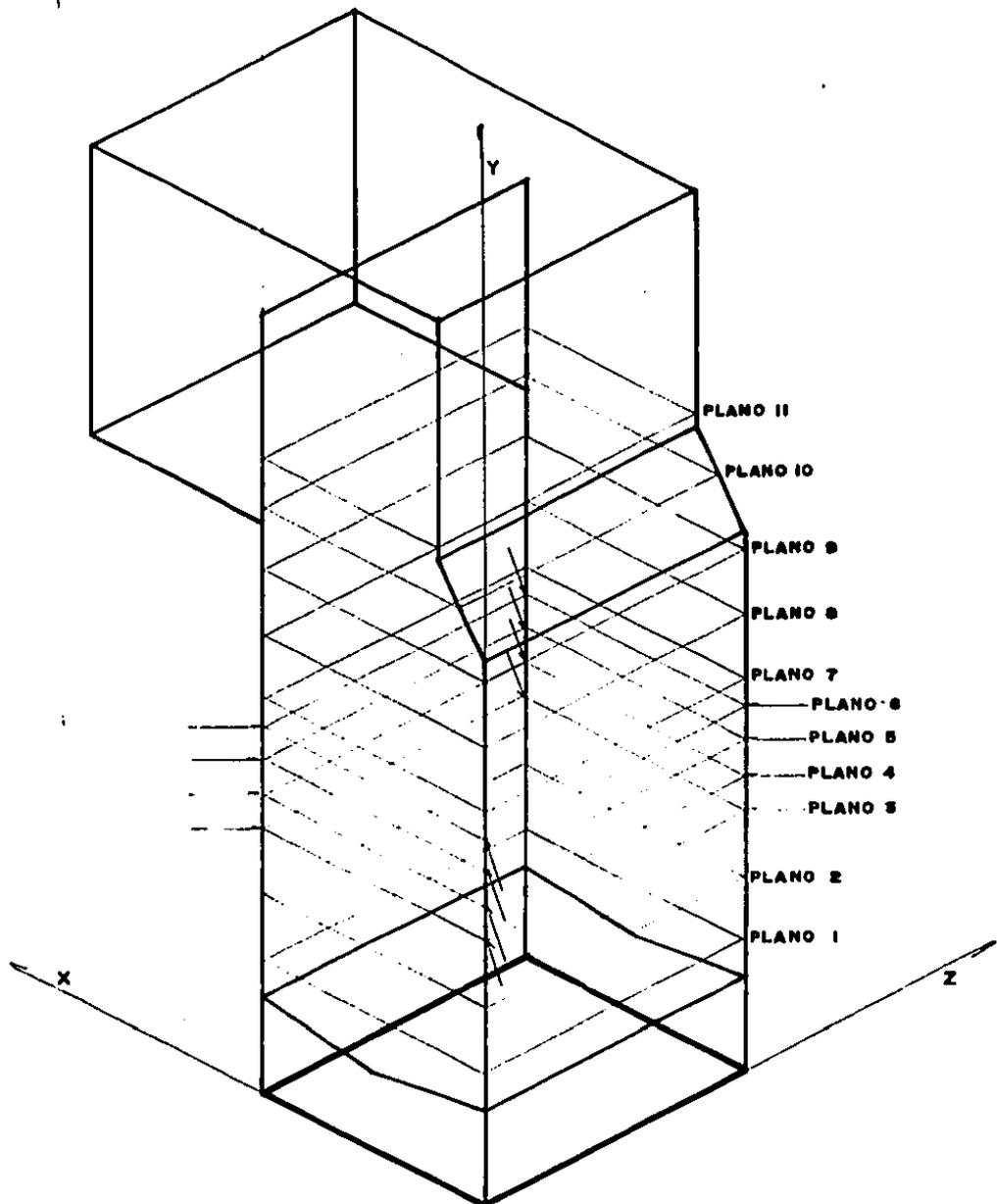


FIGURA 24 . VISTA ISOMETRICA DE LA DISTRIBUCION DE LOS PLANOS HORIZONTALES DE MEDICION EN EL MODELO

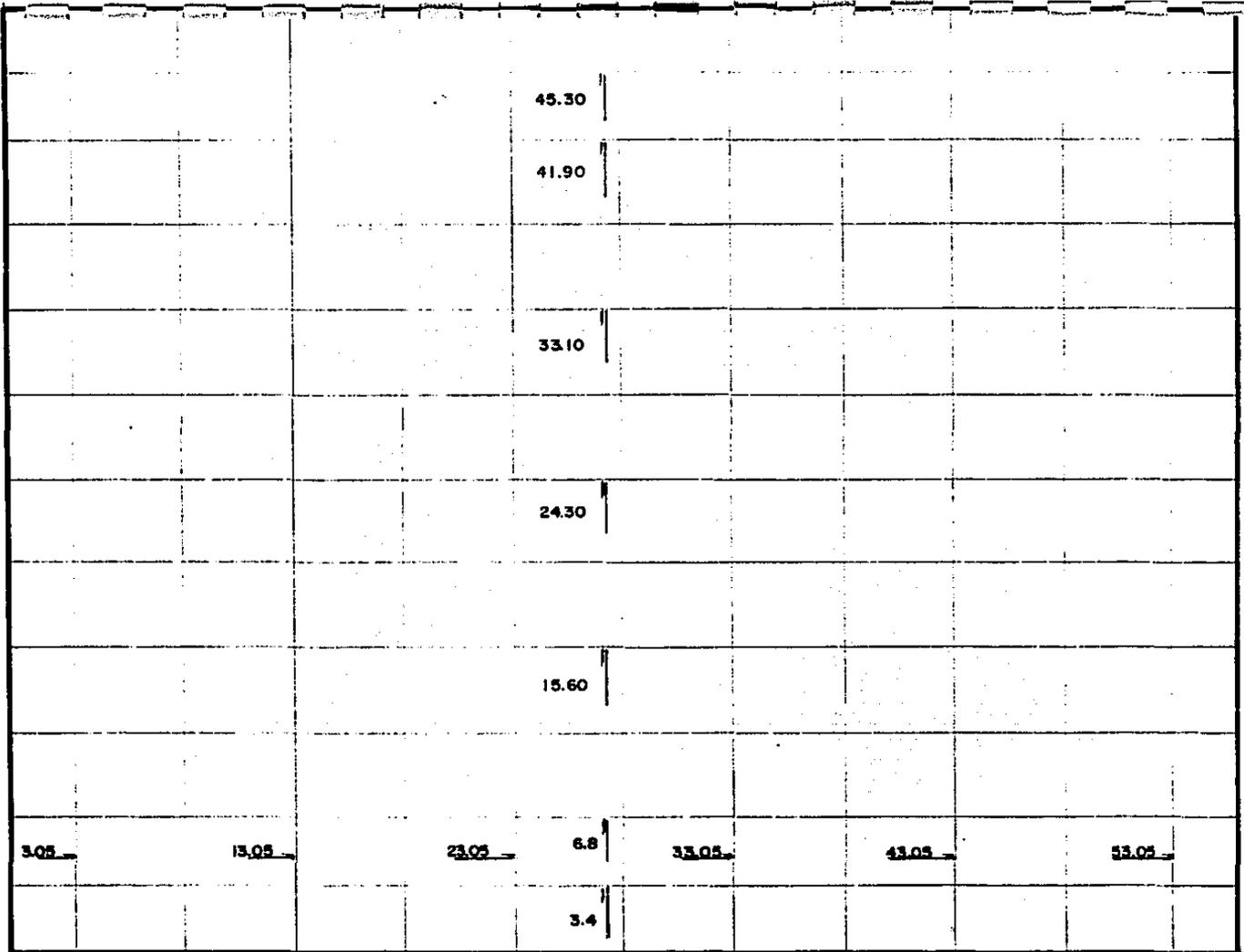


FIGURA 25 . PUNTOS DE MEDICION PLANO XZ .

En cambio para medir en los planos 1 y 2 la sonda fue introducida lateralmente, adoptando por lo tanto el sistema coordinado convencional. En la figura 26 se muestra el sistema coordinado para el modelo.

A fin de lograr una representación de la dirección ascensional del patrón de flujo, se representó, en cortes transversales del generador de vapor, la componente V_{rad} de todos los vectores obtenidos (ver figura 27), la cual en conjunto, describe el patrón ascensional del ciclón de gases para cada posición de los quemadores (-30° , 0° , $+30^\circ$).

2. Mediciones realizadas para obtener los patrones de mezclado.

Para determinar los patrones de mezclado en el modelo se simuló, mediante la inyección de un gas trazador, el efecto que produce un quemador operando deficientemente. La distribución del gas trazador se determinó con un analizador específico, para lo cual se efectuaron las series de mediciones II y III. Este aspecto de la experimentación se basó en las siguientes consideraciones:

1° Estudiar el patrón de mezclado de todos los quemadores que se encuentran en una esquina, (Nivel A, B, C y D) a fin de valorar la influencia de los diferentes niveles en el patrón de mezclado (serie II).

2° Para las demás esquinas, simular únicamente el nivel superior (ver figura 28), ya que el comportamiento de los demás niveles debe ser similar a los niveles de la esquina ya simulada

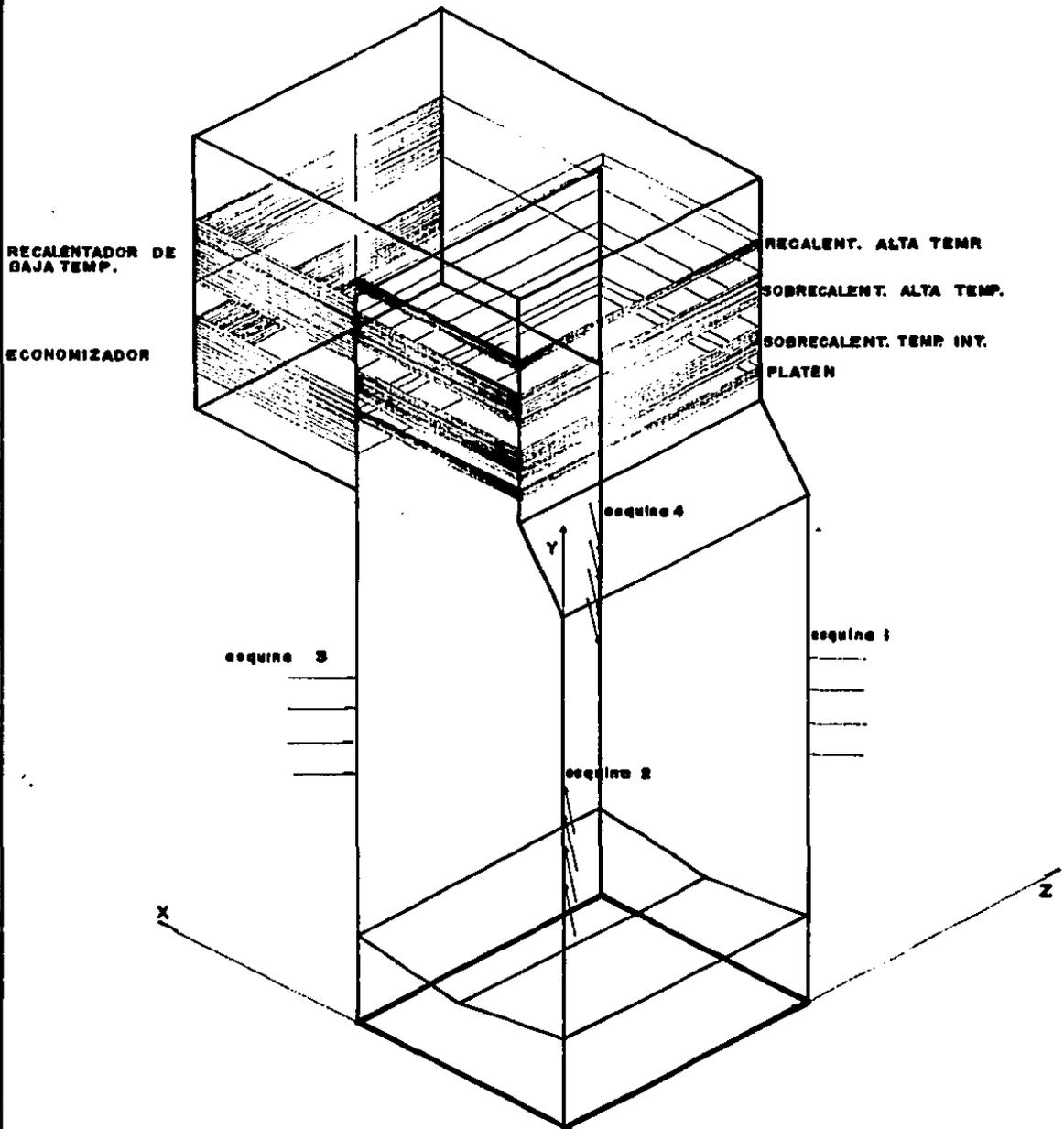


FIGURA 26 . VISTA ISOMETRICA DEL ARREGLO GENERAL DEL MODELO.

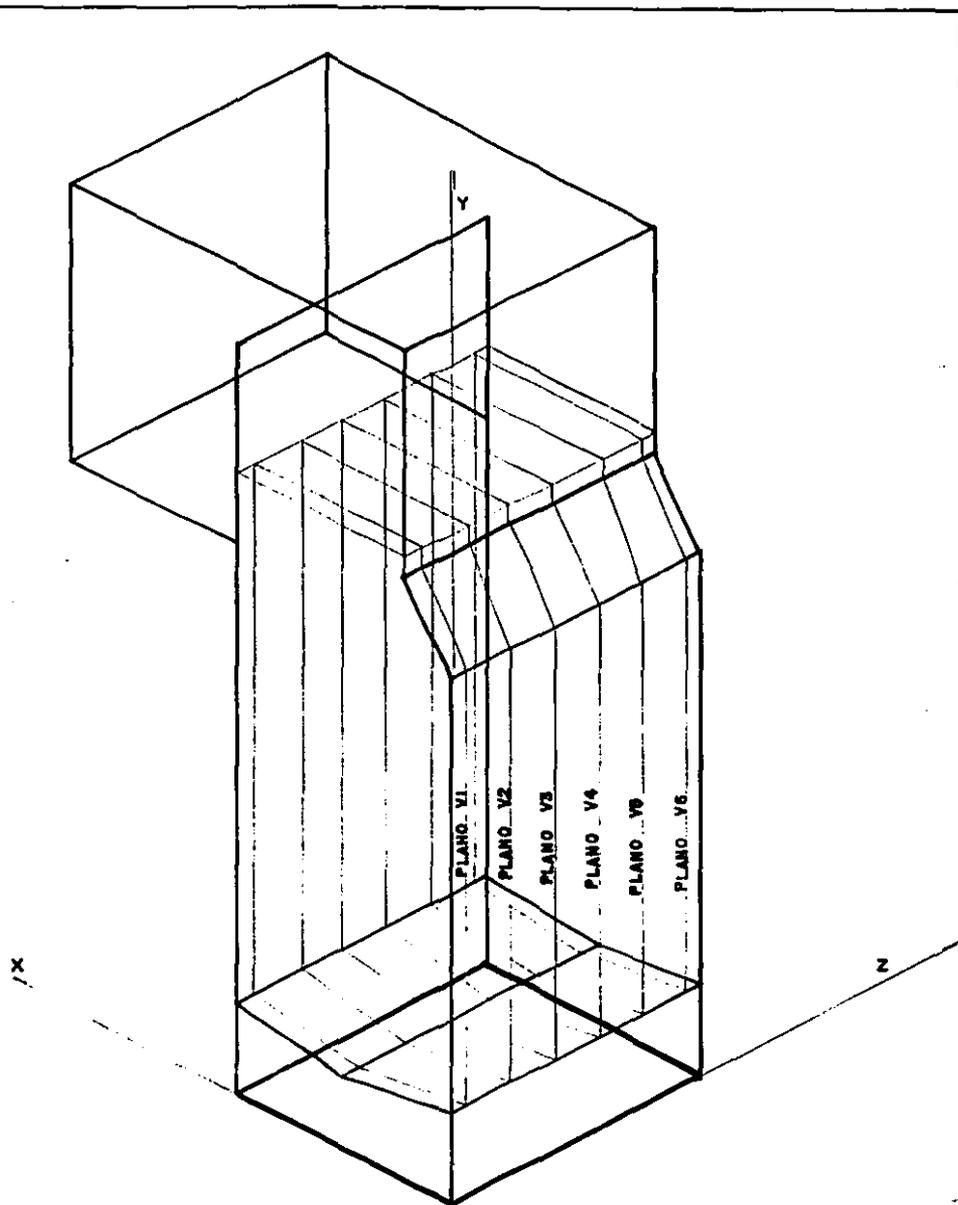


FIGURA 27 . DISTRIBUCION DE LOS PLANOS VERTICALES DE MEDICION

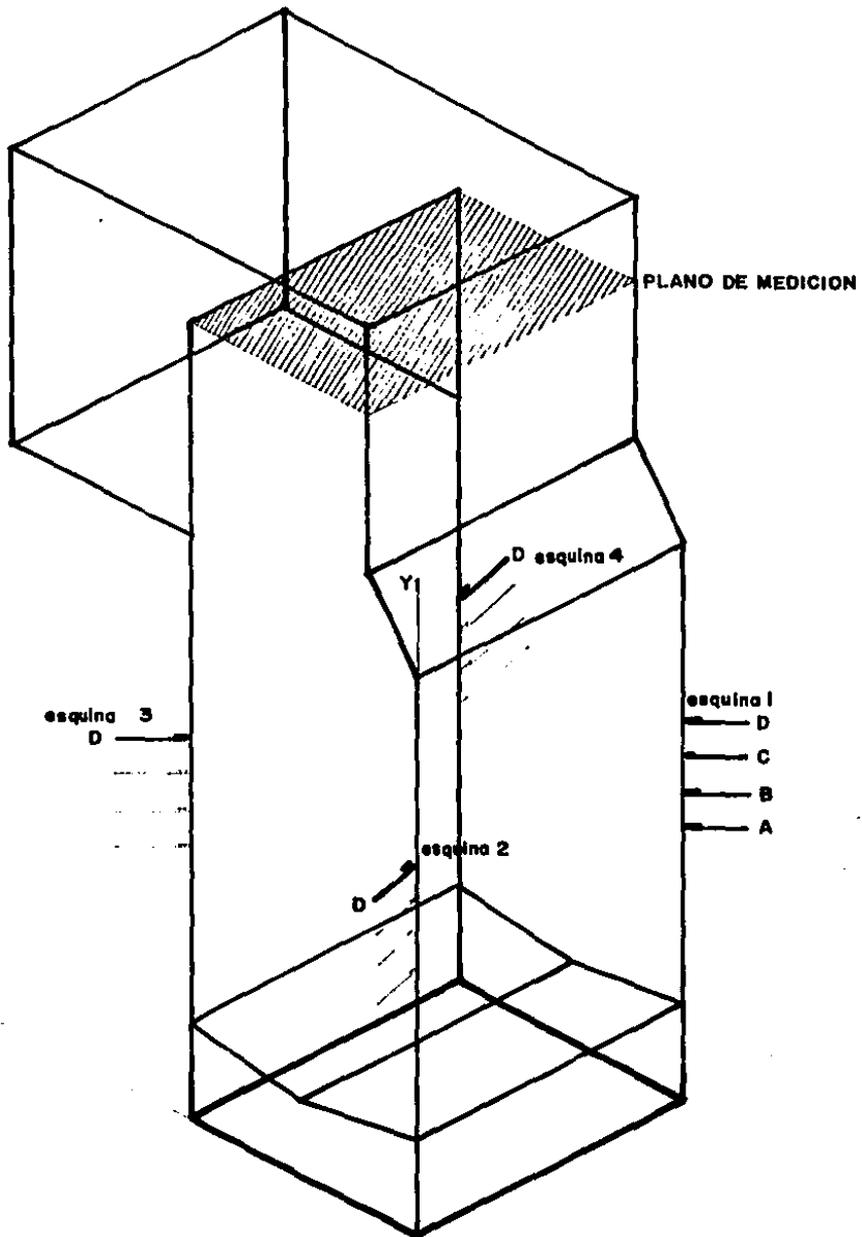


FIGURA 28 PLANO DE MEDICION Y QUEMADORES SIMULADOS PARA OBTENER EL PATRON DE MEZCLADO.

(serie III).

3° Caracterizar el nivel simulado en las tres posiciones de los quemadores (-30° , 0° , $+30^\circ$), a fin de conocer la influencia de la inclinación en el patrón de mezclado.

4° El plano de medición de concentraciones se localizó entre los bancos de tubos del sobrecalentador de alta temperatura y el recalentador de alta temperatura, pese a que en los generadores de vapor en operación la medición se realiza normalmente a la salida del economizador. Esto se pudo hacer ya que el flujo de aire cuando atraviesa los bancos de tubos pierde su carácter giratorio, dejando así de existir la posibilidad de que se siga mezclando (fotografías 11 y 12).

La experimentación en esta etapa consistió fundamentalmente en utilizar un gas trazador (en el experimento se usó gas L.P.) que fué introducido al modelo en forma continua en la posición exacta (ángulo de salida y posición) del quemador a simular, y su flujo medido y controlado, operando el ventilador a un flujo constante.

El plano de medición se dividió en 8 cuadrantes (como se observa en la figura 29) cada uno de los cuales contiene 3 puntos de medición, en los que se determinó la concentración del trazador. De ésto se obtuvo un promedio de concentración para cada cuadrante, resultando así, para cada caso, un patrón de mezclado.

Como en un generador de vapor difícilmente se tiene la



FOTOGRAFIA 11.



FOTOGRAFIA 12

Orientadores de flujo entre los bancos de tubos de los sobrecalentadores de intermedia y de alta temperatura.

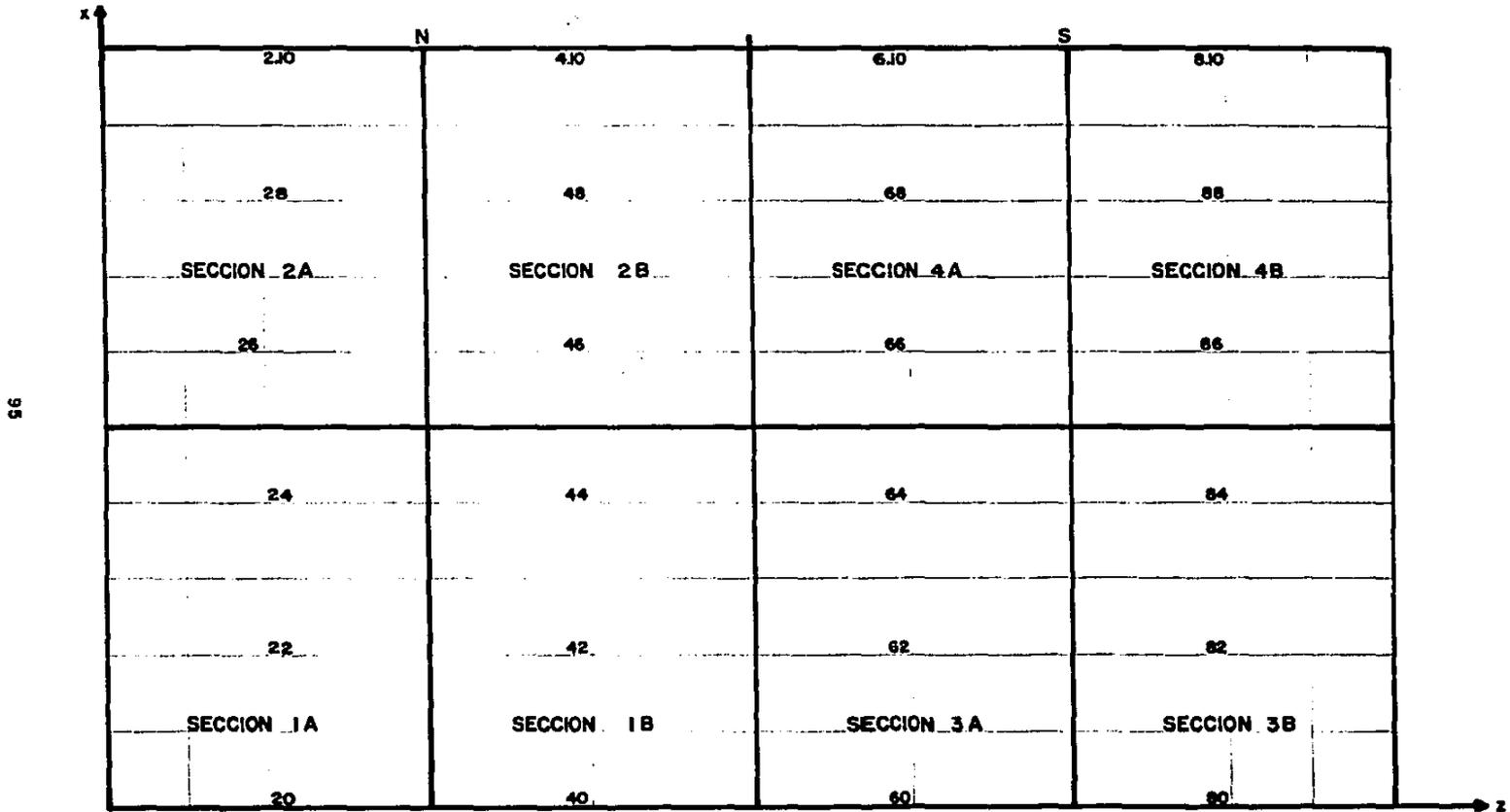


FIGURA 29 . PUNTOS DE MEDICION DE CADA UNA DE LAS 8 SECCIONES EN LAS QUE SE DIVIDIO EL PLANO DE MEDICION PARA OBTENER EL PATRON DE MEZCLADO.

posibilidad de medir en el hogar, las concentraciones de los productos de combustión se miden a la entrada de los precalentadores de aire regenerativos (normalmente denominados norte y sur). Para respetar dicha nomenclatura, en el experimento el plano de medición se divide en dos: Norte (N) y Sur (S).

3. Visualización del flujo.

Esta última etapa de experimentación se realizó con el objeto de obtener una idea general del fenómeno por medio de un material trazador que permitiese observar visulamente las características del ciclón formado en este tipo de generadores. Como es sabido, las técnicas de visualización pueden aportar en muchos fenómenos físicos, sobre todo en los relacionados con la mecánica de fluidos, información tan valiosa como la que pudiera obtenerse con aparatos de medición de complicado análisis de datos.

Aunque existen varias formas de obtener una visualización del experimento, en este caso se utilizó la técnica de fotografía, con el propósito de grabar la imagen del ciclón para diversas inclinaciones de los quemadores. Principalmente las imágenes fotográficas fueron tomadas con la inclinación de los quemadores a -30° y una de ellas a 0° , probando el desbalance para cada una de las esquinas. Se utilizó película plus-x-pan, con velocidad 1/30 seg. y apertura f/8.

CAPITULO VI

RESULTADOS E INTERPRETACION

6.1 Presentación de resultados.

Es importante aclarar el orden en que se presentarán de resultados obtenidos en el modelo experimental, a fin de evitar confusión durante la lectura de este capítulo.

Los resultados de las series de mediciones I-1, I-2 y I-3 (patrones de flujo) se presentarán, para cada serie, en dos partes: La primera de ellas consistirá en la observación de los patrones de flujo en 11 planos horizontales de medición, distribuidos como ya se presentó en la figura 24. En la segunda parte se presentarán las componentes radiales de los vectores de velocidad, para lo cual el hogar se dividirá en 6 planos verticales, distribuidos como ya se indicó en la figura 27.

Los resultados de las series de mediciones II y III (patrones de mezclado) se presentarán por medio de gráficas, en las cuales se mostrará, para cada inclinación de quemadores, la concentración registrada en cada una de las secciones del plano de medición, así como una serie de gráficas complementarias en las que se registrará, en forma específica, la influencia de nivel, inclinación y esquina del quemador en el plano de medición.

Por último, se presentarán las impresiones fotográficas de acuerdo al orden establecido en el capítulo anterior.

6.2 Resultados obtenidos de la serie I-1.

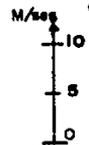
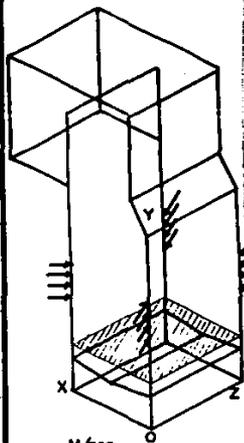
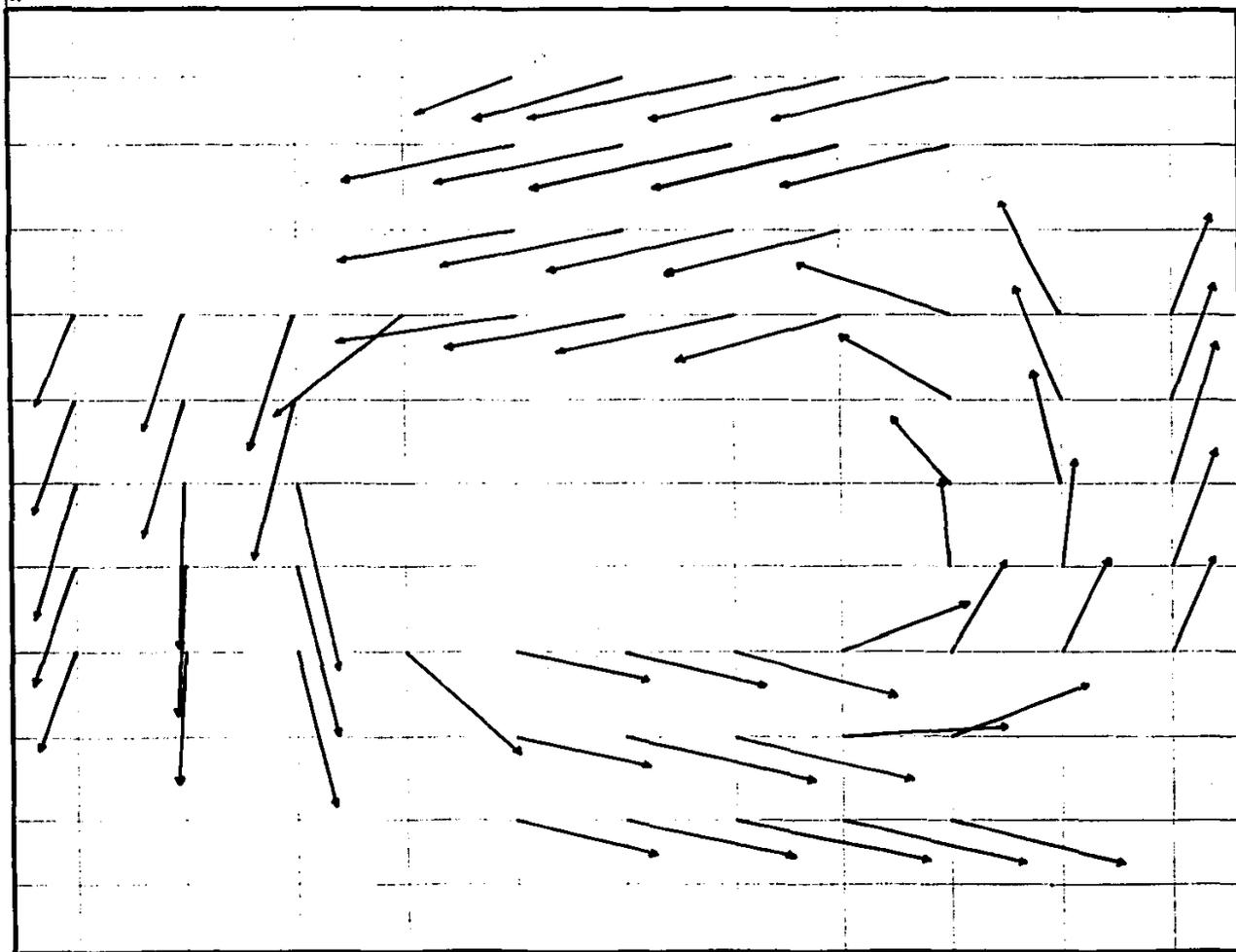
6.2.1 Análisis del patrón de flujo en los planos horizontales (inclinación -30°)

De las mediciones efectuadas en la serie I-1, se pueden observar los patrones de flujo que se obtienen inclinando las toberas -30° , en los 11 planos de medición (figuras 30 a 40). De ellos se puede inferir lo siguiente.

En las figuras 30 y 31 se observa que para una inclinación de -30° de las toberas, el ciclón se forma prácticamente en la base del generador de vapor (próximo al cenicero), al mismo tiempo se observa que existe una fuerte tendencia del ciclón a recargarse sobre las paredes.

En los planos 3, 4, 5 y 6 (figuras 32, 33, 34 y 35) se muestran los patrones de flujo que se obtienen a la altura del compartamiento central de quemadores. Estos tienen las siguientes características.

1. La tendencia del ciclón a recargarse en las paredes del hogar, observada en los planos 1 y 2, desaparece considerablemente, sin embargo, en puntos muy cercanos a las esquinas, los vectores de velocidad muestran direcciones opuestas, lo cual indica zonas de recirculación muy cercanas a las toberas.
2. Debido a la forma rectangular del hogar y al ángulo de salida de las esquinas 1 y 3 (35°), los vectores de velocidad, influidos por estas esquinas adquieren rápidamente un cambio de dirección.



NOTA: La escala utilizada para los patrones de flujo es siempre la misma.

ESCALA 1:50

FIGURA 39. PLANO I, INCLINACIÓN DE QUEMADORES -30° NIVEL CENICERO.

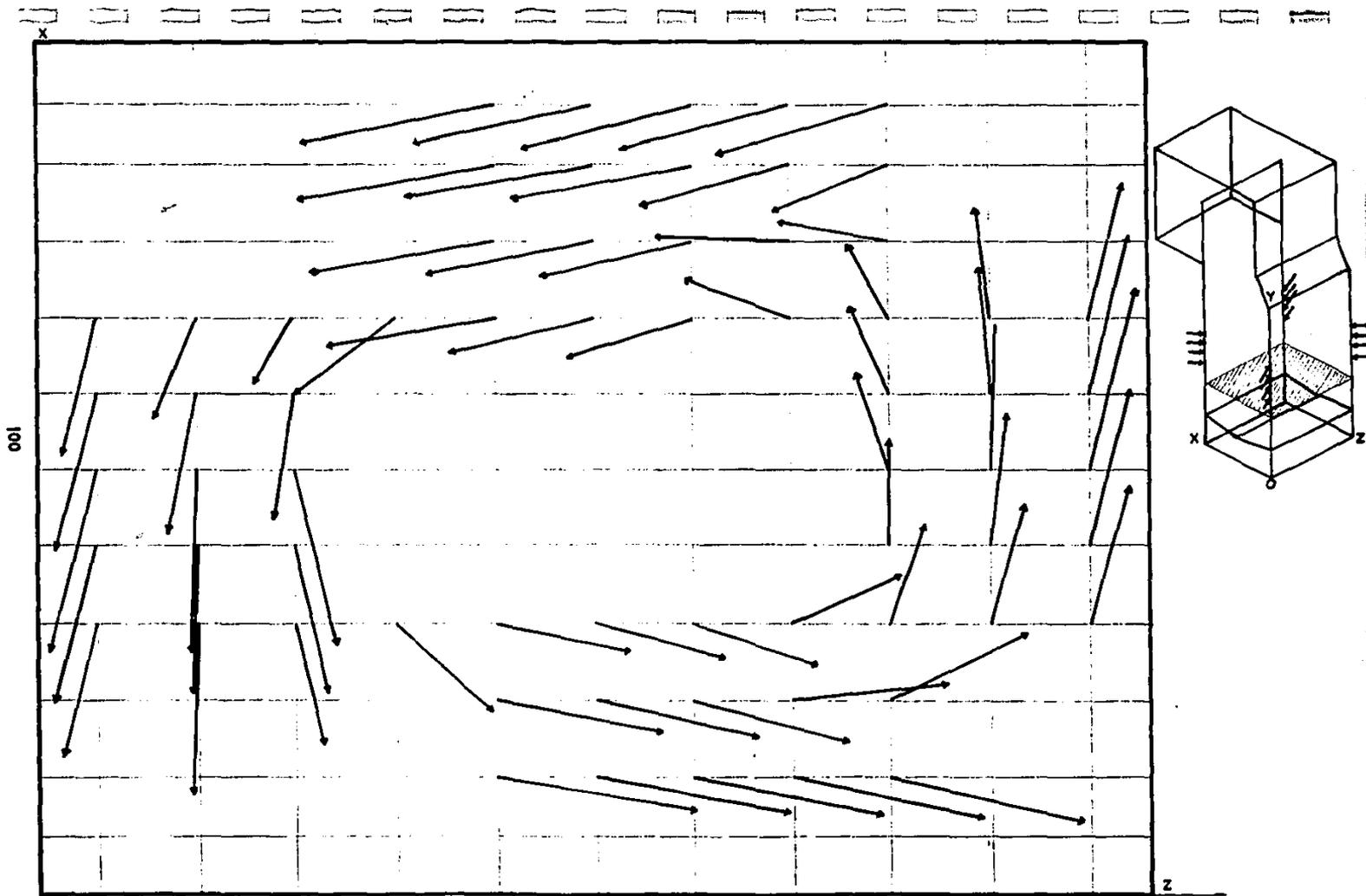


FIGURA 31 . PLANO 2, INCLINACION DE QUEMADORES -30°, NIVEL CENICERO

hacia las paredes del hogar, no siendo así para los vectores que se encuentran influidos por las esquinas 2 y 4 (con ángulo de salida de 46°). Lo anterior origina que el patrón de flujo del ciclón no sea circular sino elipsoidal.

Es importante señalar que los vectores que se encuentran exactamente a la salida de cada esquina fueron obtenidos colocando el sensor en forma perpendicular a cada salida, lo anterior debió hacerse así a fin de realizar una comparación rigurosa entre ellos. De este modo se encontró que existía una pequeña diferencia (menor del 10%) entre la magnitud de los vectores de velocidad de las 4 esquinas, atribuible a un pequeño desbalance de la entrada de aire al modelo.

En el plano 7 (figura 36), se muestra el patrón de flujo que se localiza al centro del compartimiento de NO_x . El conocimiento de este patrón de flujo es importante ya que estas toberas se encuentran, por lo general, durante la operación, sin aire de refrigeración. De esta figura se puede observar que al no salir aire por estos compartimientos, el flujo de aire tiende a pegarse inmediatamente a las paredes del hogar, manteniendo el ciclón la misma forma elipsoidal que presentó en los planos anteriores. En las esquinas del hogar, donde se encuentran estas toberas, se observa que los vectores de velocidad se dirigen hacia ellas, aumentando por lo tanto el flujo de aire en esta región, con consecuencias que serán analizadas más adelante.

En los planos 8 y 9 (figuras 37 y 38), se observa que prácticamente no existe ninguna variación en la forma del ciclón arriba de los

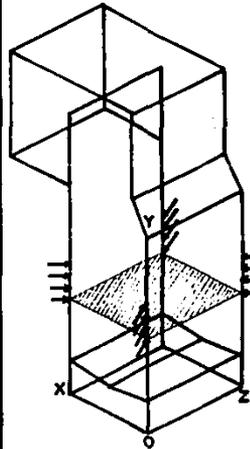
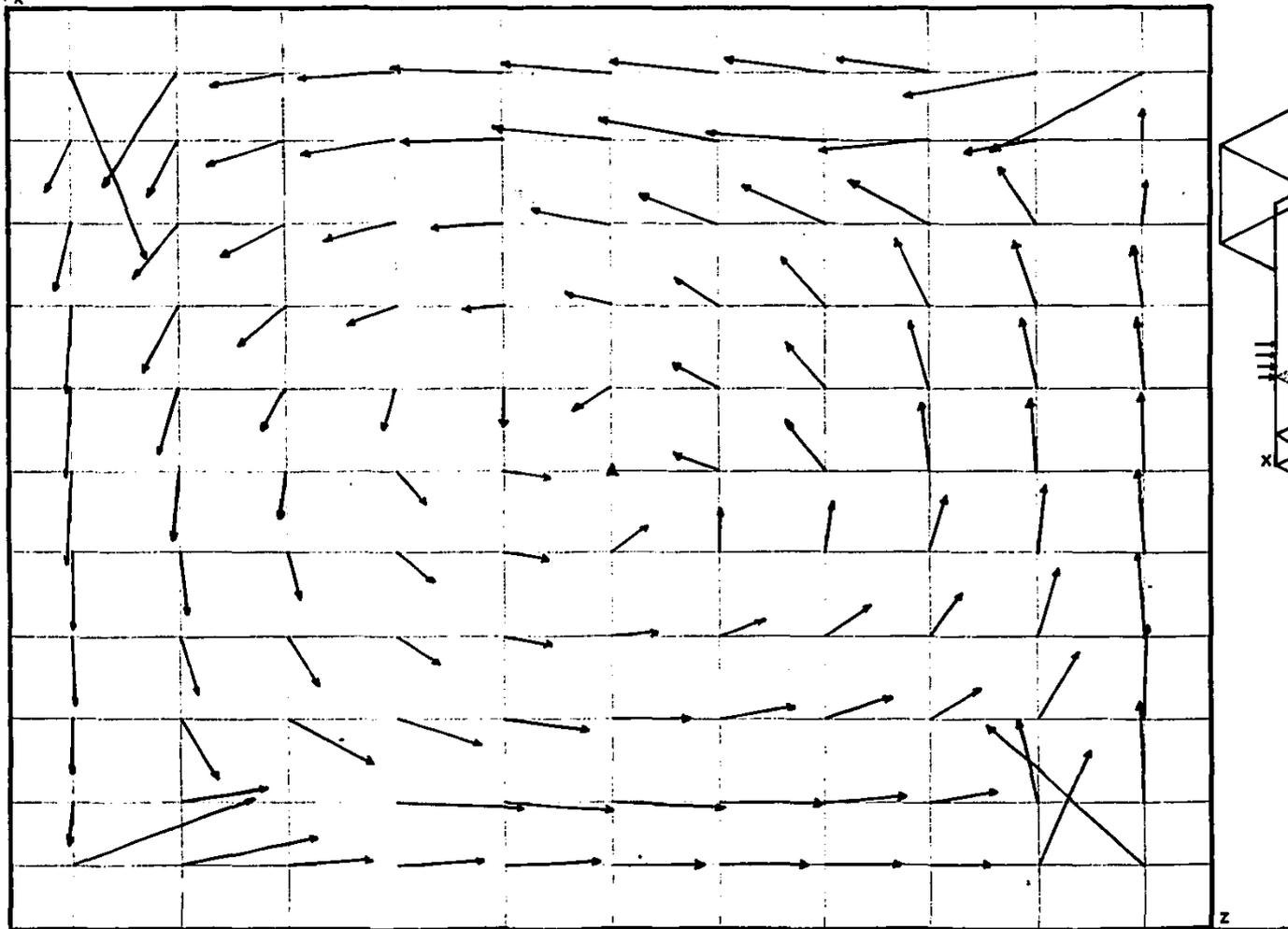


FIGURA 32 . PLANO 3, INCLINACION DE QUEMADORES -30° , 1^o NIVEL DE QUEMADORES.

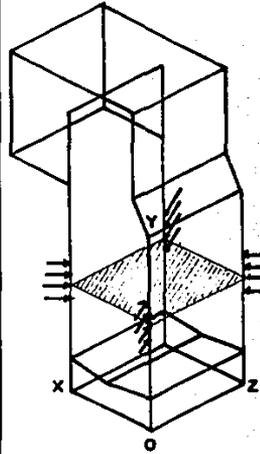
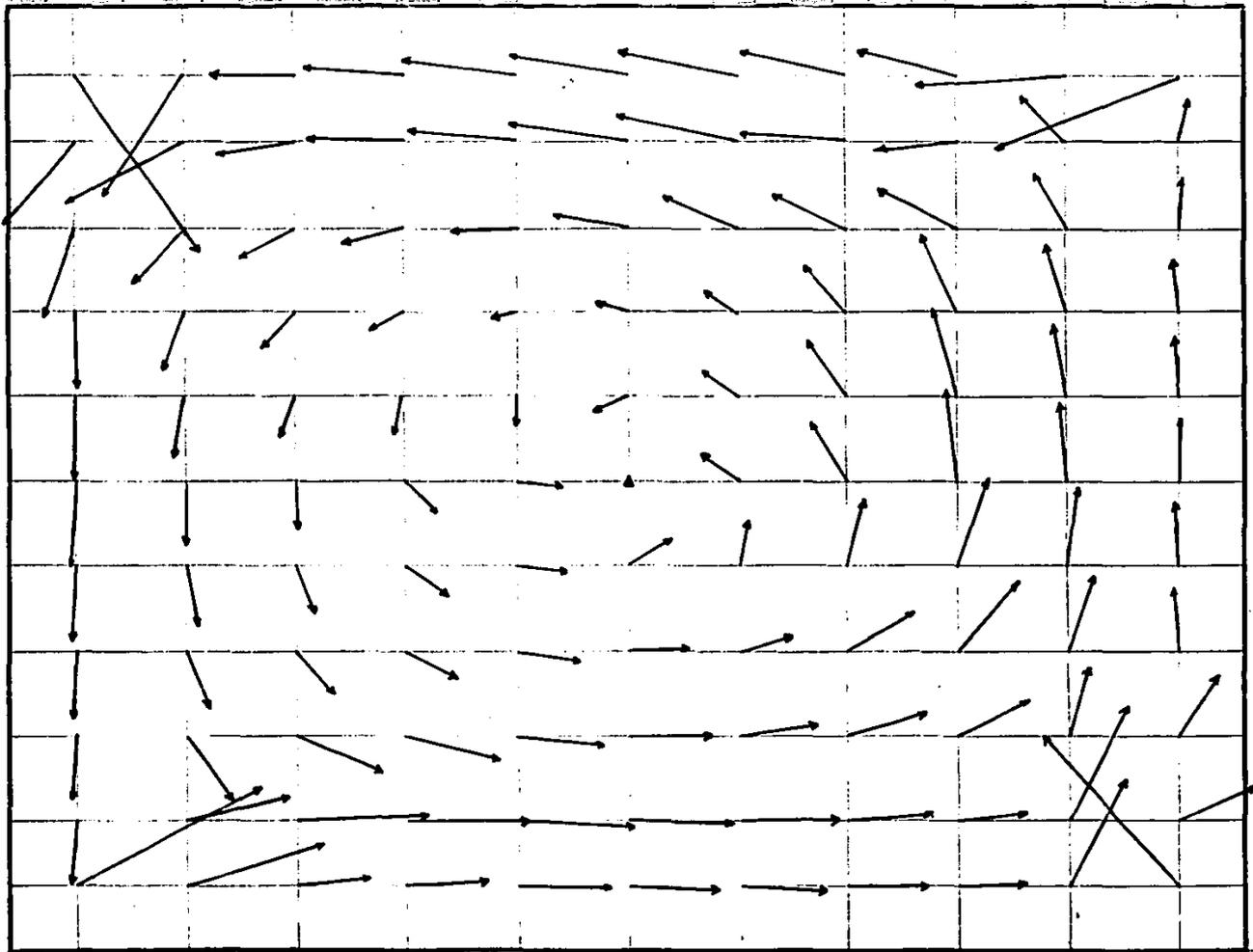


FIGURA 3.3 .PLANO 4 .INCLINACION DE QUEMADORES -30° ,2º NIVEL DE QUEMADORES .

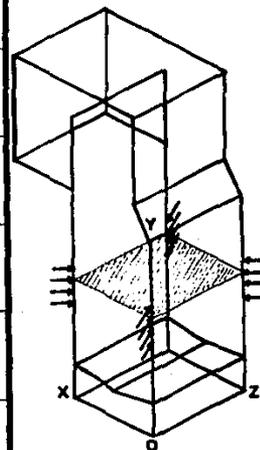
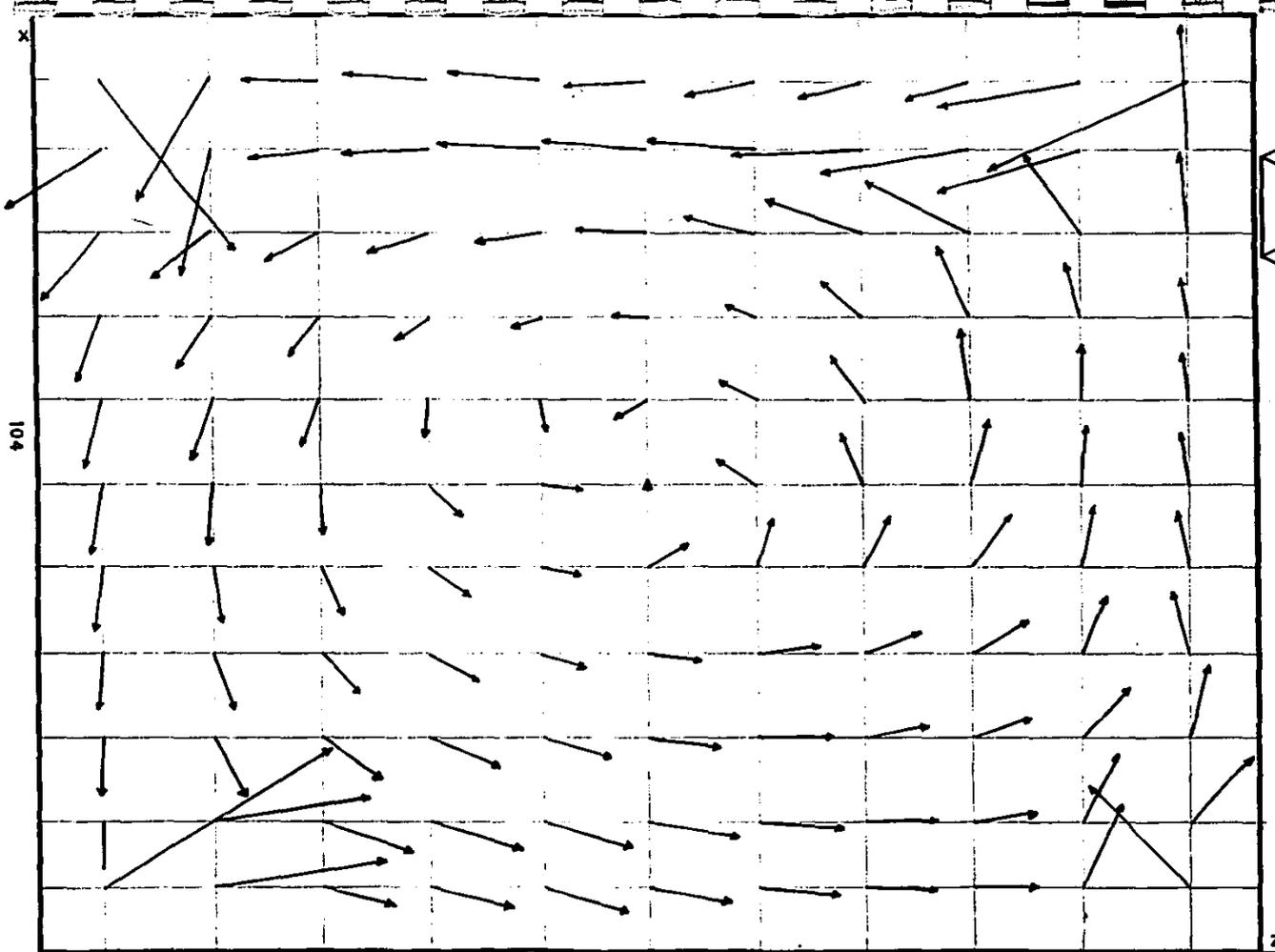


FIGURA 34 .INCLINACION DE QUEMADORES -30° ,PLANO 5 , 3º NIVEL DE QUEMADORES

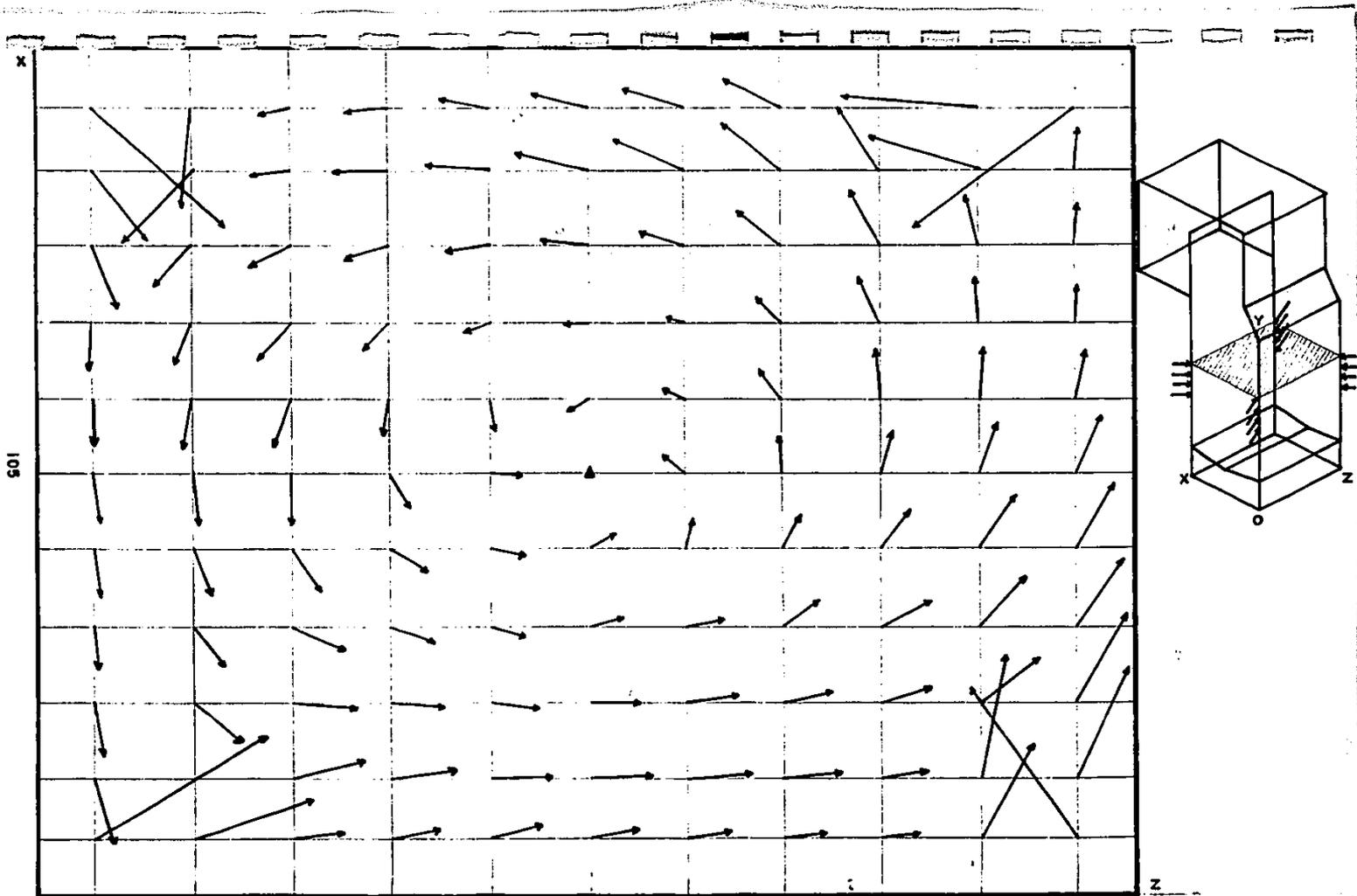


FIGURA 35 . INCLINACION DE QUEMADORES -30°, PLANO 6, 4º NIVEL DE QUEMADORES

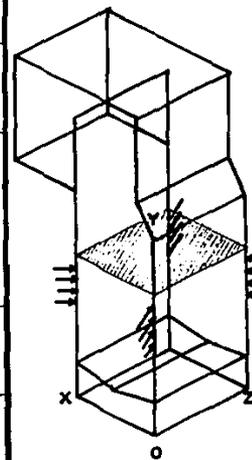
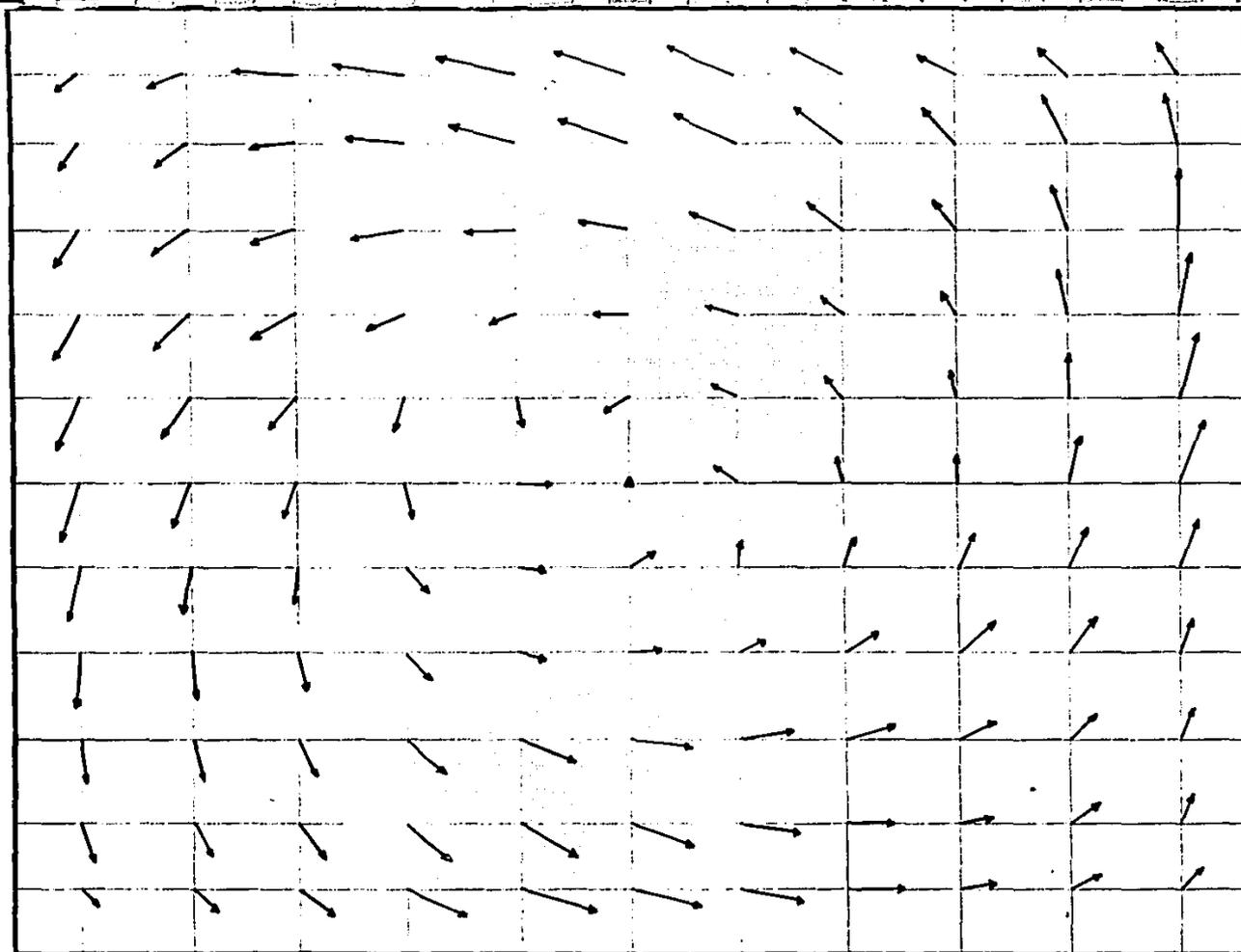


FIGURA 36 .NIVEL NOx ,PLANO 7, INCLINACION DE QUEMADORES -30°

compartimientos de quemadores, manteniendo tanto magnitud como forma.

En el plano 10 (figura 39) se muestra la influencia de la nariz del generador en el patrón de flujo, como se aprecia, existe un pequeño desplazamiento en el centro del ciclón, el cual parece dirigirse hacia la pared que se encuentra entre las esquinas 3 y 4, sin embargo, tanto la forma del ciclón, como la magnitud de sus vectores es muy similar a la de los planos anteriores.

La figura 40 (plano 11) muestra el patrón de flujo que se obtiene antes del primer banco de tubos, en este plano se observa que el ciclón prácticamente recupera su posición en el centro del hogar, manteniendo su forma elipsoidal, magnitud y dirección.

6.2.2 Análisis del patrón de flujo en los planos verticales (inclinación -30°).

A fin de lograr una representación de la dirección ascensional del patrón de flujo para una inclinación de los quemadores de -30° , se representaron las velocidades radiales en planos verticales. Los resultados se muestran en las figuras 41, 42, 43, 44, 45 y 46.

Dada la dificultad que implica interpretar en conjunto esta serie de figuras, se tratará de visualizar plano por plano, y al final se presentará una interpretación global.

La figura 41 muestra el plano $V1-30^\circ$, el cual se localiza a 3.05 cm del origen en el modelo, sobre el eje Z, plano XY. Esta figura permite deducir que el flujo de aire, cerca de la pared formada

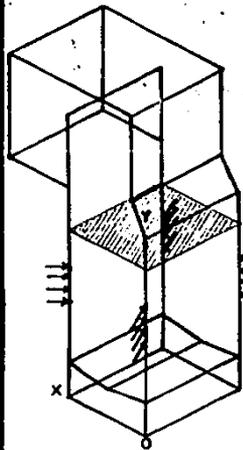
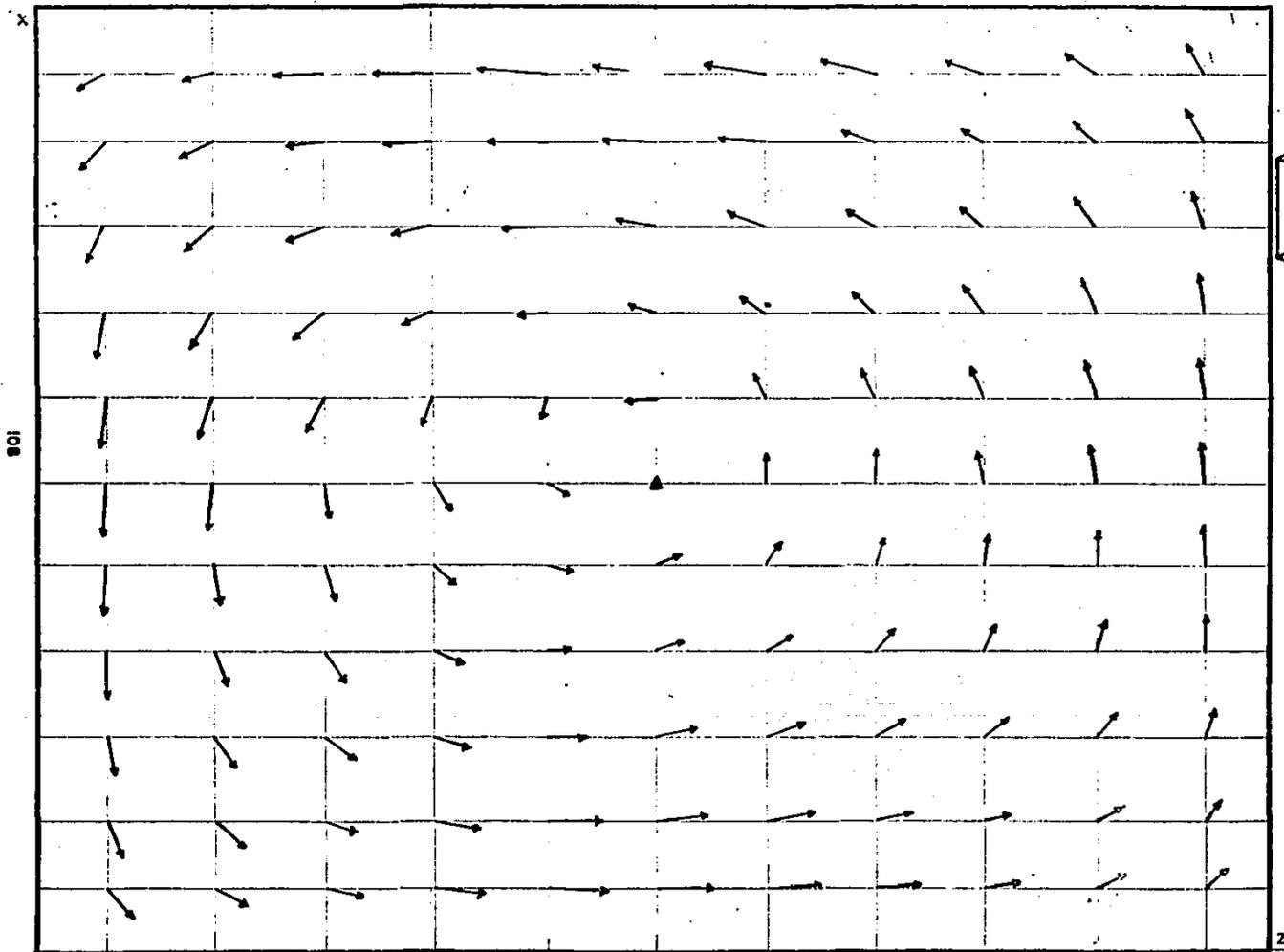


FIGURA 37 . PLANO 8, INCLINACION DE QUEMADORES -30°

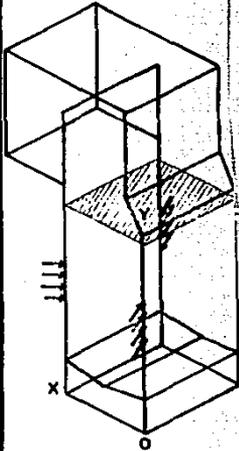
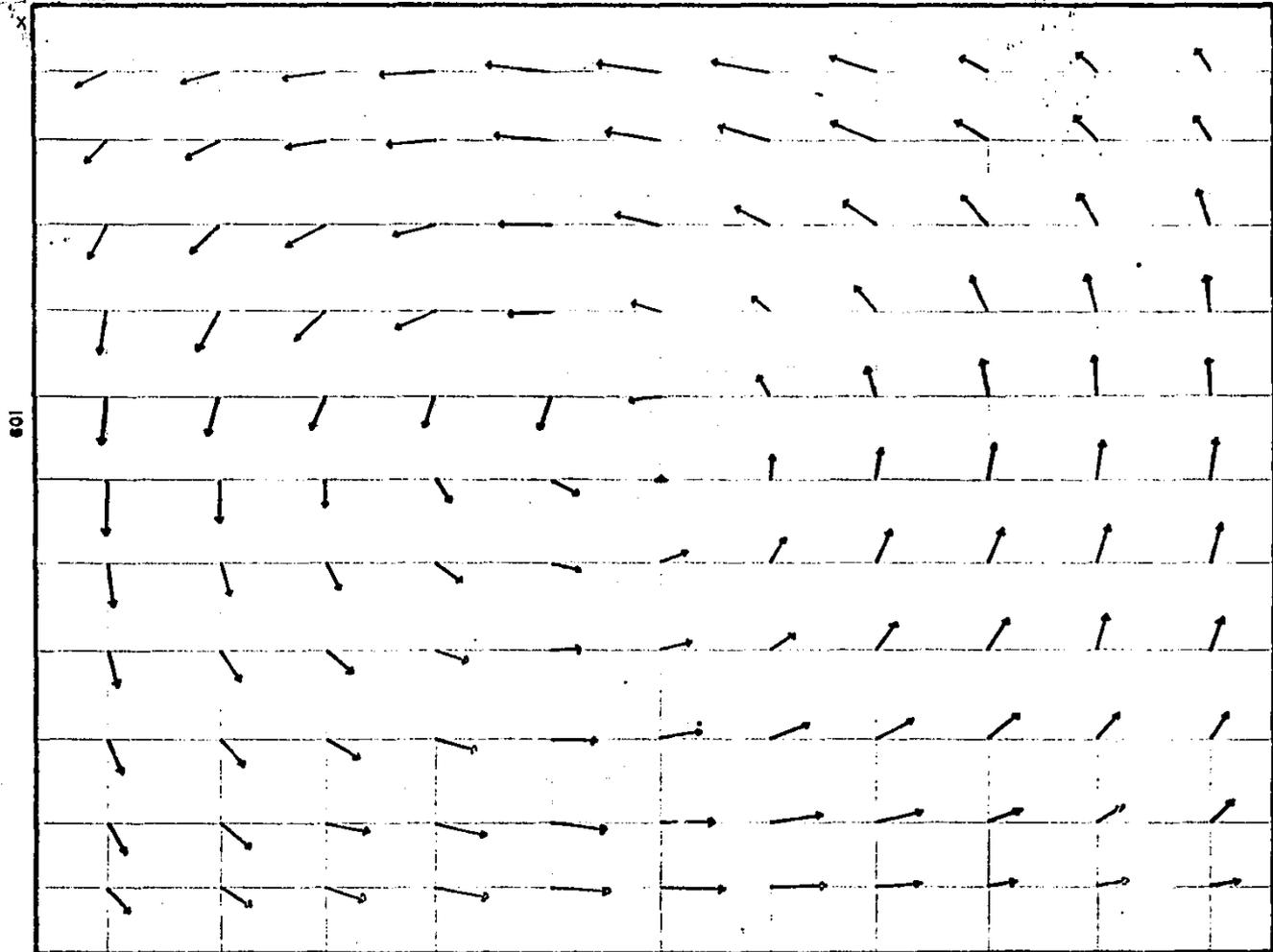


FIGURA 38 . INCLINACION DE QUEMADORES -30° , PLANO 9

x

110

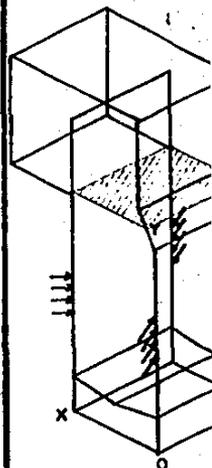
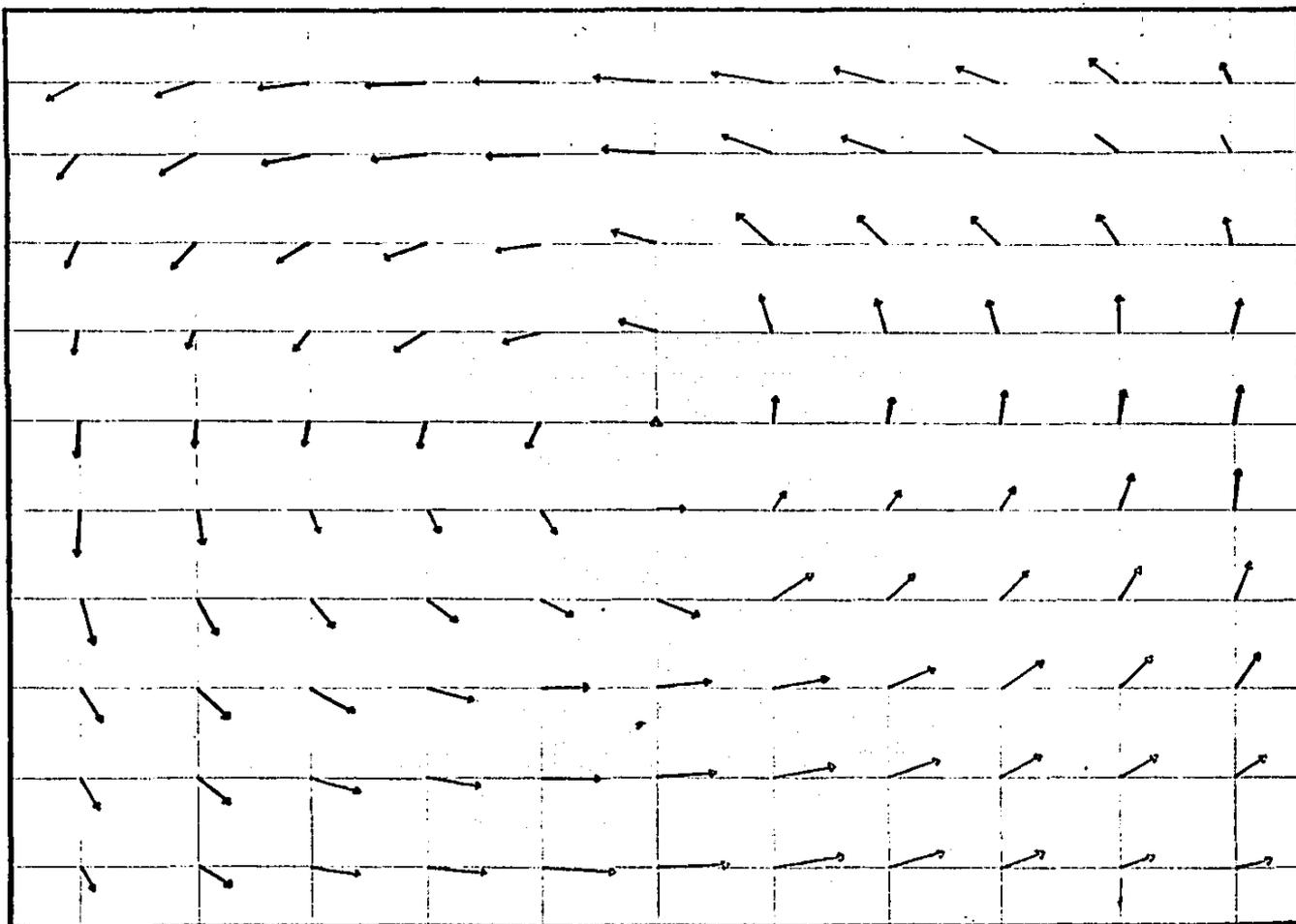


FIGURA 39 . PLANO 10 , INCLINACION DE QUEMADORES -30°

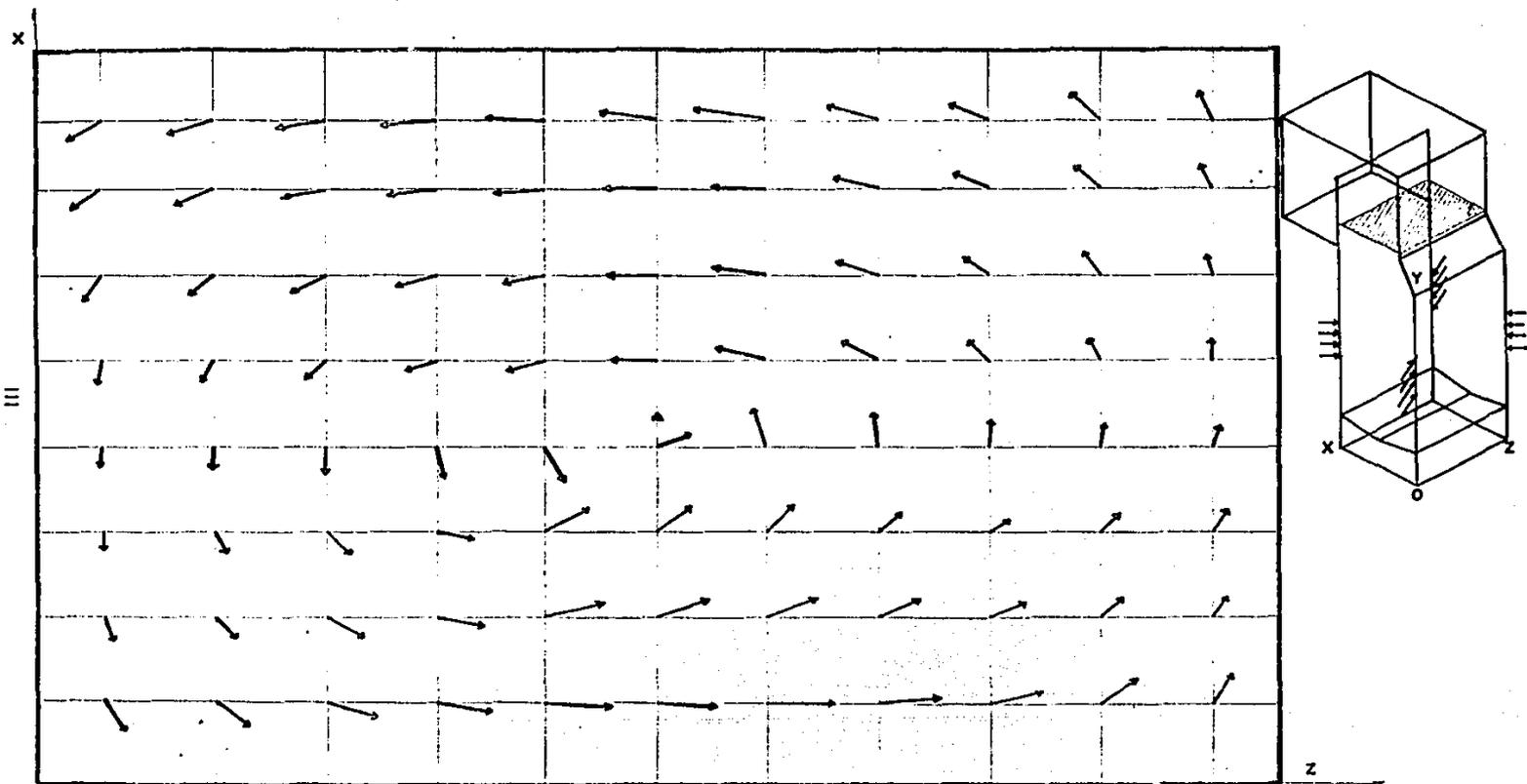


FIGURA 40 .PLANO II, INCLINACION DE QUEMADORES -30° .

entre las esquinas 2 y 3, desciende del primer nivel de quemadores hacia la parte baja del hogar (próxima al cenicero). Tomando en cuenta el análisis del patrón de flujo en los planos horizontales, debe inferirse que el descenso es giratorio (figuras 30, 31 y 32). Por otro lado, puede observarse que en este plano existen vectores cuyas componentes radiales tienen, a la altura de los quemadores, sentidos opuestos, cerca de las esquinas 2 y 3, ésto reafirma la existencia de zonas de recirculación, particularmente en la región próxima a las toberas, como se aprecia en esta figura representado por medio de círculos giratorios. También es posible observar que existe una gran zona de recirculación de gases cerca de la misma pared entre los planos 5 y 6. Por último, observando la dirección de las componentes radiales, una vez que se rebasa el plano 7 (al centro del compartimiento de NO_x), se puede deducir que el flujo de aire abandona el hogar sin ninguna otra modificación.

La figura 42 muestra el plano V2-30° , el cual se encuentra a 13.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Como se observa, en la parte baja del hogar (plano 1), la dirección del flujo es la misma que la del correspondiente plano de la figura 41, es decir, giratoria y descendente. Sin embargo, en el plano 2 existe un cambio de dirección importante, precisamente en el centro, lo cual originará que se produzcan dos corrientes giratorias, una descendente hacia el cenicero pegada a la pared, y una ascendente hacia el compartimiento de quemadores. De igual forma que en el plano V1-30° , vuelve a manifestarse cerca de los compartimientos de quemadores de la esquina 3 un cambio de dirección de las componentes radiales del

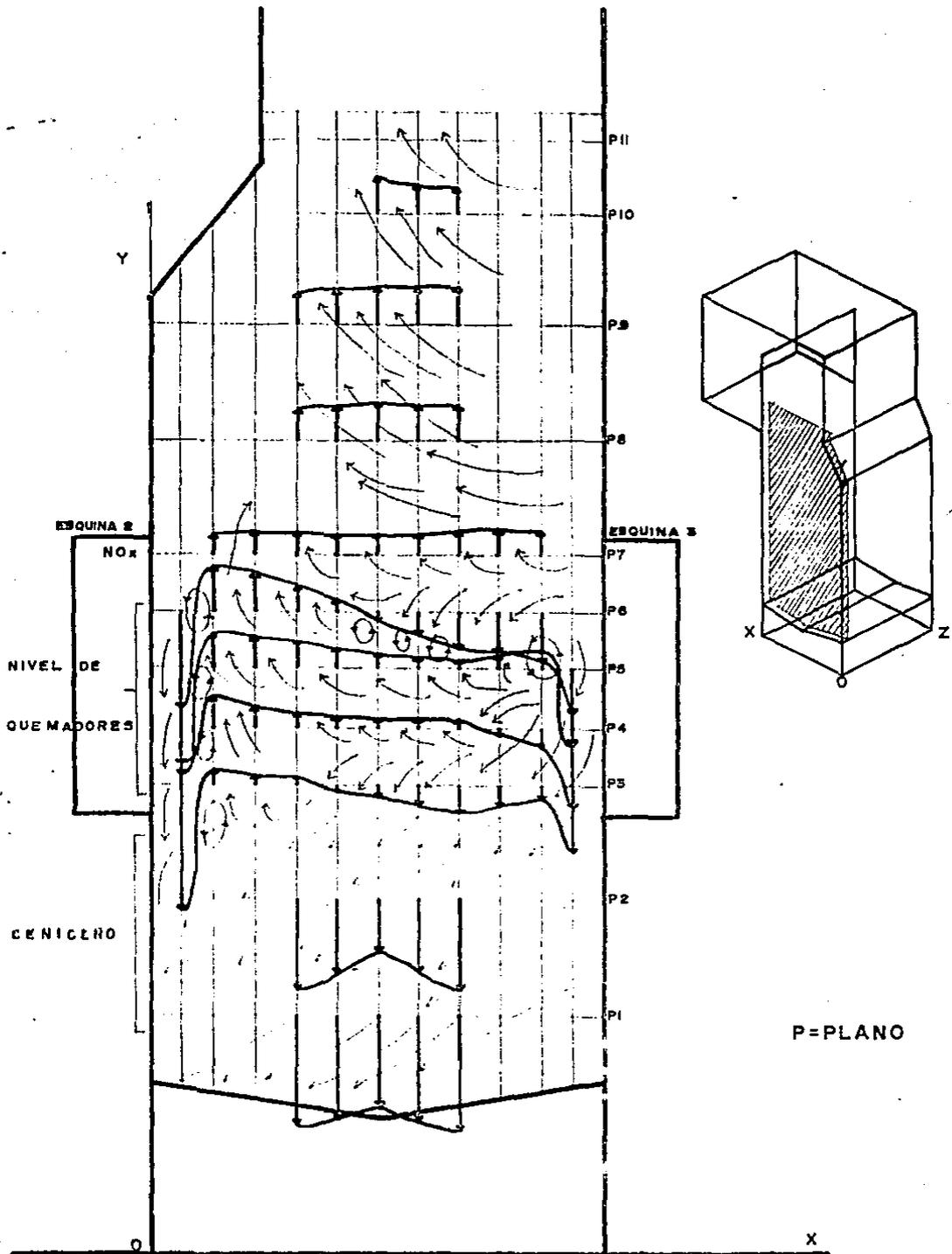


FIGURA 41 PLANO VI -30° G, A 3.05cm. DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, INCLINACION DE QUEMADORES -30°

vector de velocidad, lo cual indica que a una distancia aproximada de 2.6 mts del quemador, aún se siguen manifestando pequeñas zonas de recirculación. También es importante hacer notar que cerca de los compartimientos de quemadores (P3, P4, P5 y P6) de la esquina 2 todos los vectores radiales son ascendentes, en cambio en la figura 41, se observa que todos los vectores radiales, en los mismos puntos, son descendentes, lo cual indica que en ambas esquinas existen zona de recirculación de aproximadamente 2 mts de diámetro, cerca de las toberas de aire. Otro fenómeno que resulta también importante, se puede observar entre planos P6 y P3 de la figura 41 los plano P6 y P3 de esta figura, donde las componentes radiales tienen sentidos opuestos. Lo interesante es que esto indica que el ciclón, en estas zonas, además de girar sobre su eje vertical también rota sobre su eje radial. Por último, también se observa que una vez que se alcanza el nivel de NO_x (P7) el ciclón sale del hogar sin ninguna modificación.

La figura 43 muestra el plano V3-30° el cual se encuentra a 23.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Este plano se localiza a 5 cm del centro del hogar por lo que el centro del ciclón influye notablemente en el patrón de flujo en esta región. Esta figura se analizó del centro hacia las esquinas 3 y 4 y del centro hacia las esquinas 1 y 2, ya que el ciclón se mueve de la esquina 2 hacia la esquina 1 y de la esquina 4 hacia la esquina 3, es decir, el ciclón se mueve perpendicularmente a los vectores mostrados en un plano transversal (ver recuadro de la figura 43). Por lo tanto, analizando la primera mitad, se puede observar que la componente radial del vector de velocidad del plano 1 indica que el ciclón gira

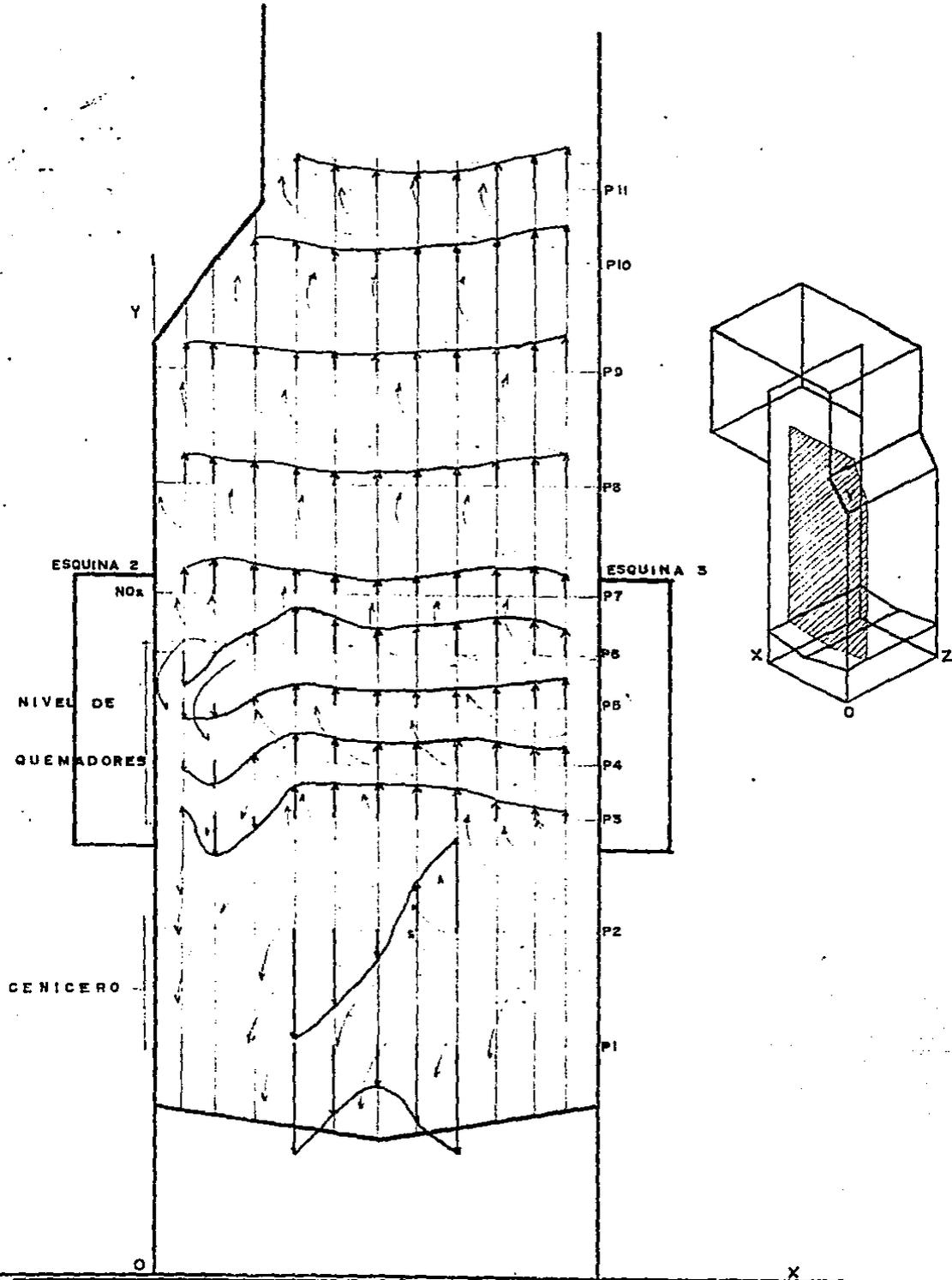


FIGURA 42 PLANO V2-30°, A 13.05 cm DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, INCLINACION DE QUEMADORES -30°. 115

en forma descendente hacia la parte baja del generador de vapor; en el plano 2 se observa que cerca de la pared el patrón de flujo desciende y a medida que se aproxima al centro del hogar cambia su dirección en forma ascendente. Comparando con la figura 42, se ve que los vectores del centro hacia la derecha son ascendentes y de magnitud mayor que los de la figura 4, lo cual indica que próximo al centro del hogar en la sección del cenicero, el centro del ciclón influye en el patrón de flujo haciendo que éste tienda hacia los niveles de quemadores. La distribución de los vectores de velocidad en los niveles de quemadores, indica que el centro del ciclón en esta región influye en el patrón de flujo en forma inversa a como lo hizo en el nivel de cenicero, es decir, la magnitud de los vectores que se encuentran más próximos decrece en los planos de medición superiores, llegando inclusive a ser negativo a partir del plano 6, incrementándose al mismo tiempo la magnitud de los vectores próximos a la pared. Por lo que respecta a la otra sección, es decir, del centro hacia la izquierda, se observa la existencia de un cambio de dirección en el patrón de flujo, el cual se localiza en la parte baja de generador. Este cambio de dirección se manifiesta porque los vectores de velocidad en los planos 1 y 2 de esta figura son ascendentes y los correspondientes vectores, para los mismos planos de la figura anterior, son descendentes, por lo que el flujo de aire en la pared que se encuentra entre las esquinas 1 y 2 tiende a subir, desplazándose hacia la esquina 1. De igual forma que en la sección ya analizada de esta figura, el centro del ciclón favorece que los vectores que se aproximan al centro del hogar tiendan hacia los niveles de quemadores. La distribución de los vectores radiales

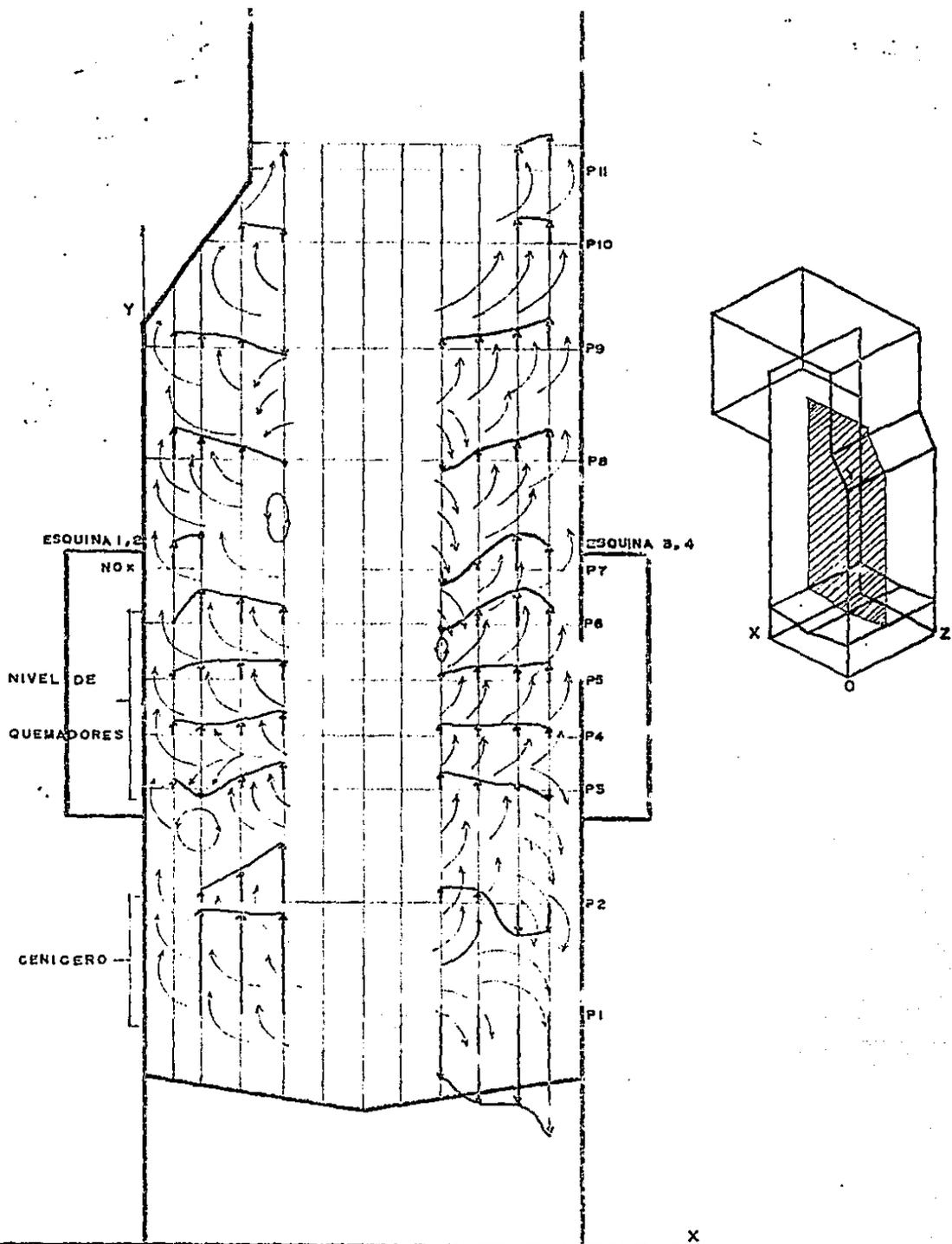


FIGURA 45 . PLANO V3-30°, A 23.05 cm DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, INCLINACION DE QUEMADORES -30°. 117

de los niveles de quemadores, en la proximidad de la pared es muy similar a la otra sección de esta figura ya analizada, es decir, se vuelve hacer notoria la influencia del centro del ciclón en la disminución de los vectores de velocidad que se aproximan a éste, y por otro lado, también incrementa la magnitud de los vectores próximos a la pared.

La figura 44 muestra el plano V4-30°, el cual se encuentra a 33.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Este plano es, con respecto a un plano central imaginario, simétrico al V3-30°. Por lo tanto, si se comparan estos dos planos se observa que no existe mucha diferencia en cuanto a la forma de distribución del patrón de flujo, y, por tanto su descripción resulta muy parecida a la del plano anterior, en el cual, también vuelve a ser notoria la influencia del centro del ciclón en los vectores que se encuentran cerca de él. En las proximidades del cenicero, la influencia se aprecia nuevamente en el aumento de la magnitud de los vectores de velocidad, y en los niveles de quemadores y arriba de éstos por una sensible disminución en su magnitud. El patrón de flujo en estos niveles tiene cierta tendencia a recargarse sobre las paredes dada la forma de la distribución de los vectores radiales.

La figura 45 muestra el patrón de flujo en el plano V5-30° que se localiza a 43.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. En esta figura se observa la existencia de una gran zona de recirculación en la parte baja del generador (próxima al cenicero), la cual se localiza prácticamente entre los planos 1 y 2, y la otra entre los planos 2 y 3. También se aprecia un cambio de dirección del flujo

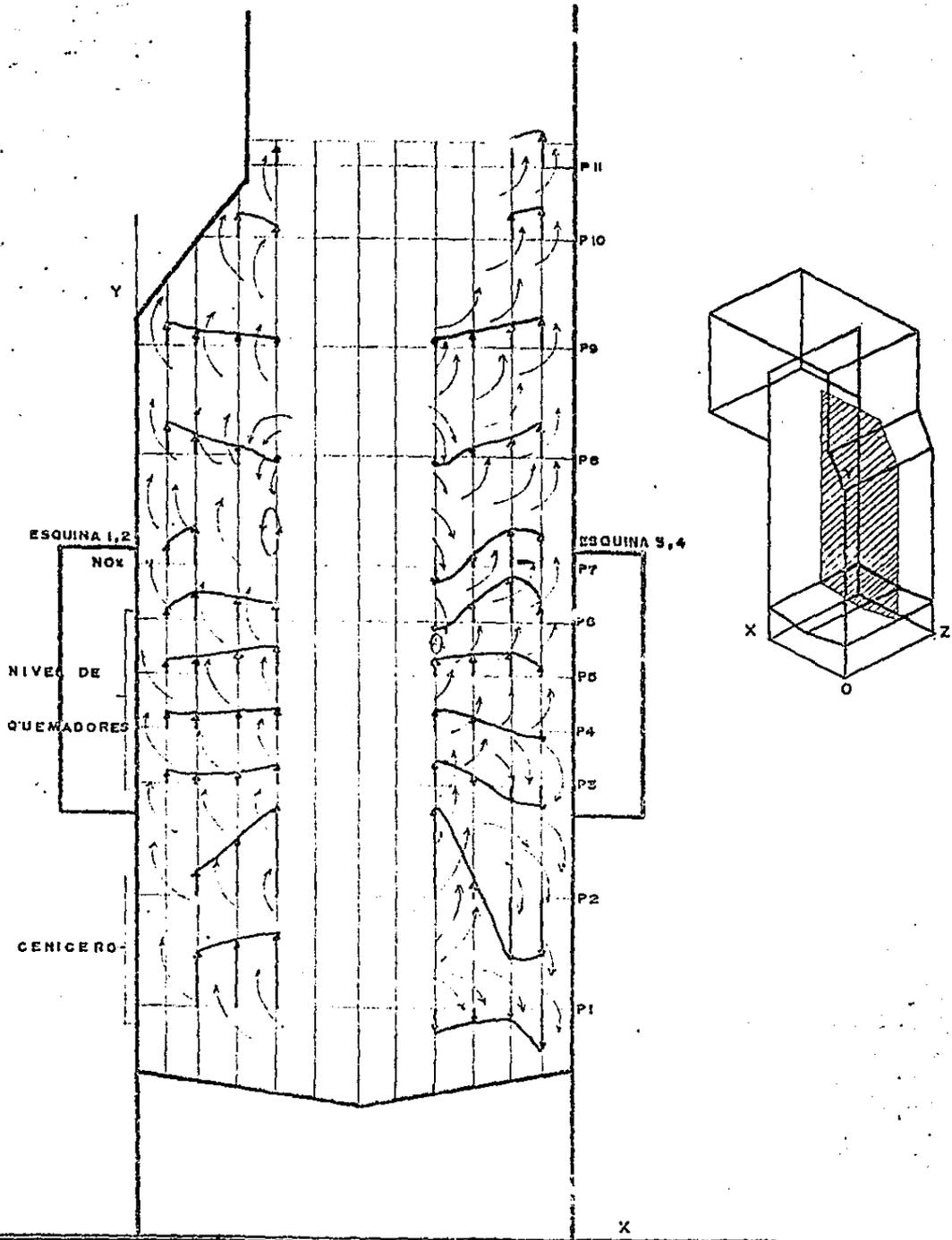


FIGURA 44 .PLANO V4-30°, A 33.05 cm. DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, INCLINACION DE QUEMADORES -30°. 119

de aire que se inicia en forma ascendente en la esquina 1, para cambiar, haciéndose descendente, a medida que se aproxima a la esquina 4. En los niveles de quemadores se observa un severo cambio de dirección cerca de la esquina 4 en forma también descendente, desapareciendo este fenómeno a partir del nivel de NO_x (Plano 7). Una vez más vuelve aparecer una pequeña zona de recirculación al centro entre los planos 7 y 8, para después mostrar una distribución totalmente ascendente hacia la salida del hogar del generador.

En la figura 46 se presenta el plano V6-30° , el cual se localiza a 53.05 cm del origen, sobre el eje Z, plano XY. Si se hace una comparación entre la distribución de los vectores del plano 2 de esta figura con el mismo plano de la figura anterior, es fácil observar un cambio de dirección en el vector central de ambos planos, lo cual indica que además de existir la zona de recirculación, existe una rotación sobre su eje radial al aproximarse a la pared que se encuentra entre las esquinas 1 y 4, tal como sucede en la pared que se encuentra entre las esquinas 2 y 3. También en este plano se vuelven a presentar las zonas de recirculación que se localizan cerca de las esquinas como ya se observó en el plano V1-30° , y los vectores descendentes se muestran en forma casi simétrica a los de dicho plano. Una vez que el flujo de aire rebasa el nivel de NO_x , sale sin ninguna alteración, existiendo sólo una pequeña rotación en el plano 8, la cual puede deducirse de la dirección que los vectores centrales tienen en este nivel en los planos V5-30° y V6-30° .

Con el fin de lograr una visualización completa de los vectores

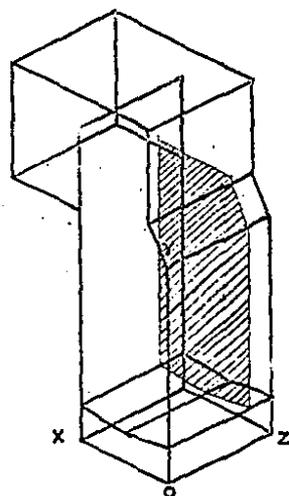
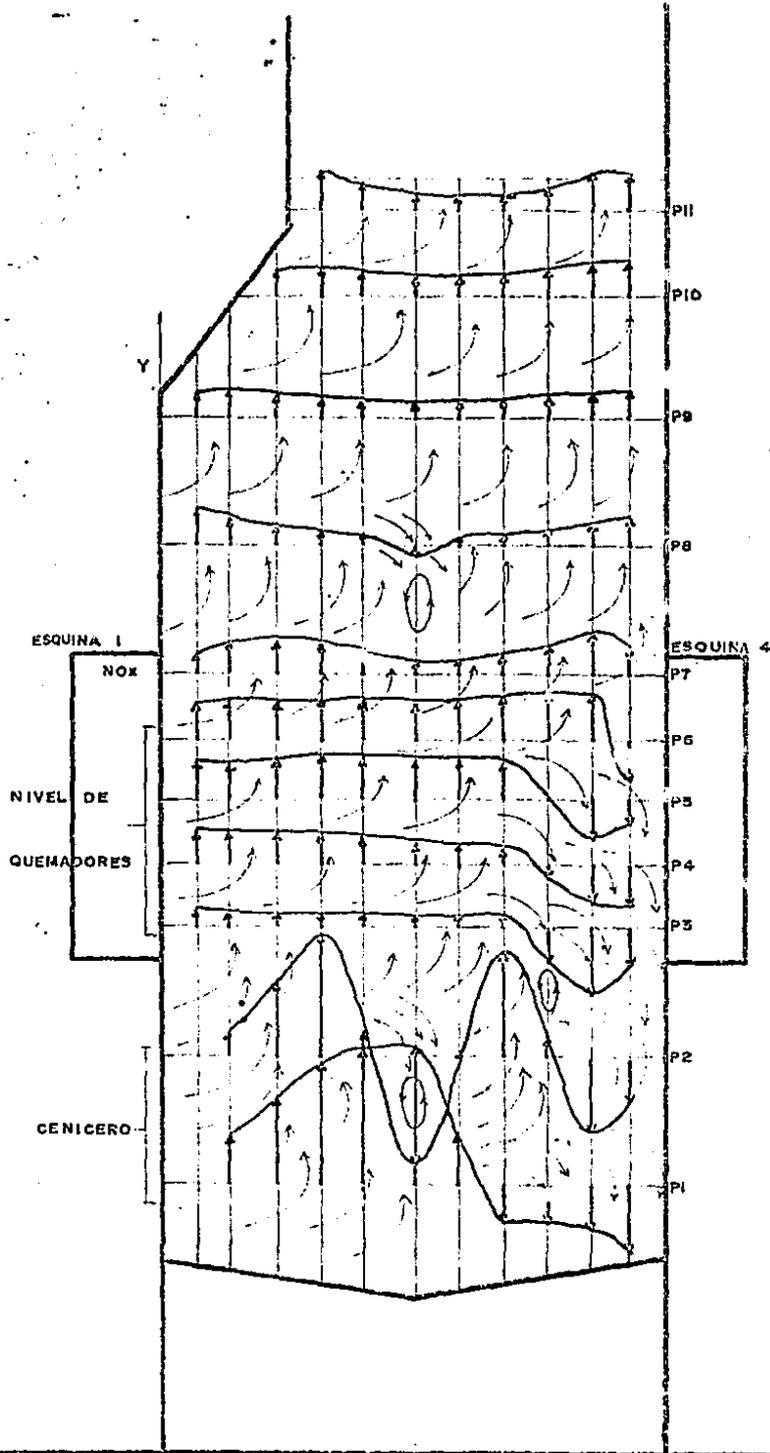


FIGURA 45 . PLANO V5-30°, A 43.05 DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, PLANO XY, INCLINACION DE QUEMADORES -30°.

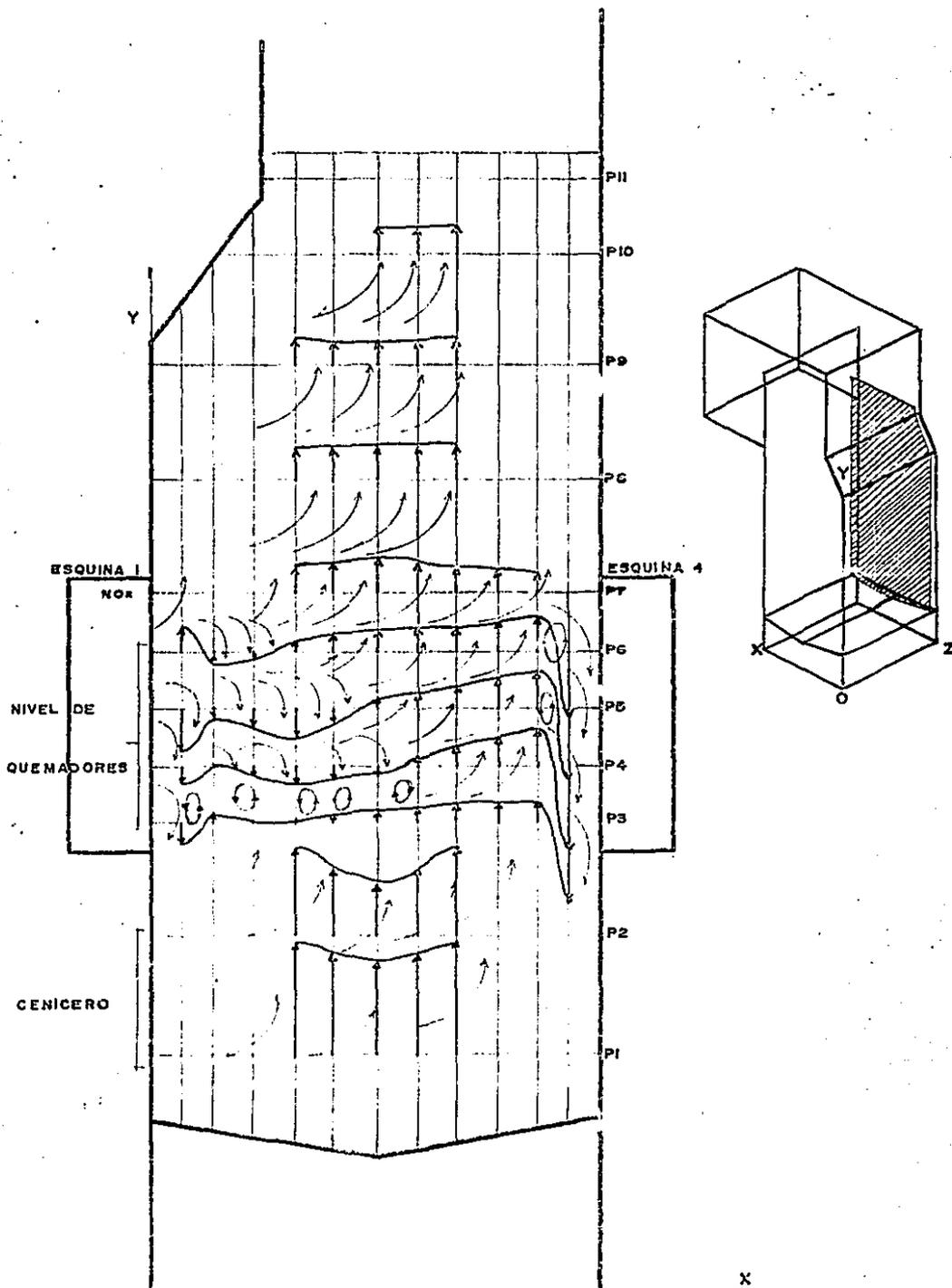


FIGURA 46 .PLANO V6-30°, A 53.05 cm. DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, PLANO XY,
 INCLINACION DE QUEMADORES -30° . 122

ascensionales de velocidad, se presentan en las figuras 47 a 52 una representación isométrica de todos los planos de medición obtenidos. De esta serie de figuras es posible observar en forma general el carácter ascendente y descendente de los patrones de flujo, ratificando lo ya expuesto anteriormente. Sin embargo, existen una serie de detalles que en los planos V1-30° a V6-30° no fue posible de visualizar, entre éstos, el eje de simetría del ciclón, el cual indica la región de ascenso y descenso del flujo; en la figura 47 se muestra este efecto con claridad para el plano 1. En casi toda esta serie de figuras, también se observa el carácter rotacional del ciclón cerca de las paredes del hogar. Esta representación muestra en forma más clara la gran influencia del centro del ciclón en los patrones de flujo, que primero es ascendente en el cenicero, para después una vez que va alcanzando los niveles superiores del hogar, se torna descendente.

6.3 Resultados obtenidos de la serie I-2.

6.3.1 Análisis del patrón de flujo en los planos horizontales (inclinación 0°)

De la serie I-2 se pueden observar los patrones de flujo que se obtienen al posicionar las toberas de aire a 0° de inclinación. Las figuras 53 a 63 muestran los resultados de esta serie.

En las figuras 53 y 54 se pueden observar que para esta inclinación de las toberas, en la parte baja del hogar el ciclón no se alcanza a formar, mostrándose una pequeña recirculación del flujo de aire en el cenicero del generador, cuya tendencia es separarse de la pared

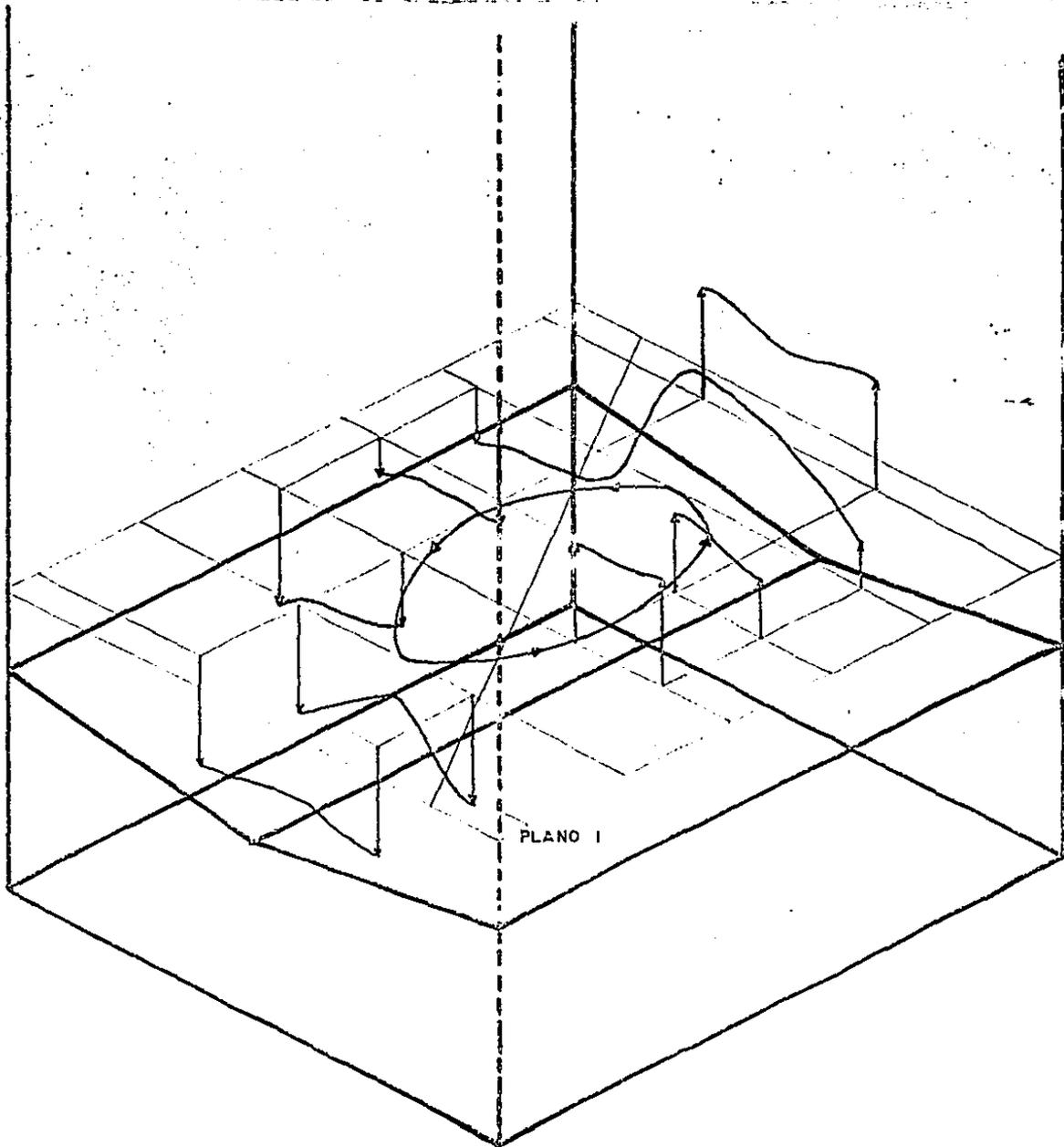
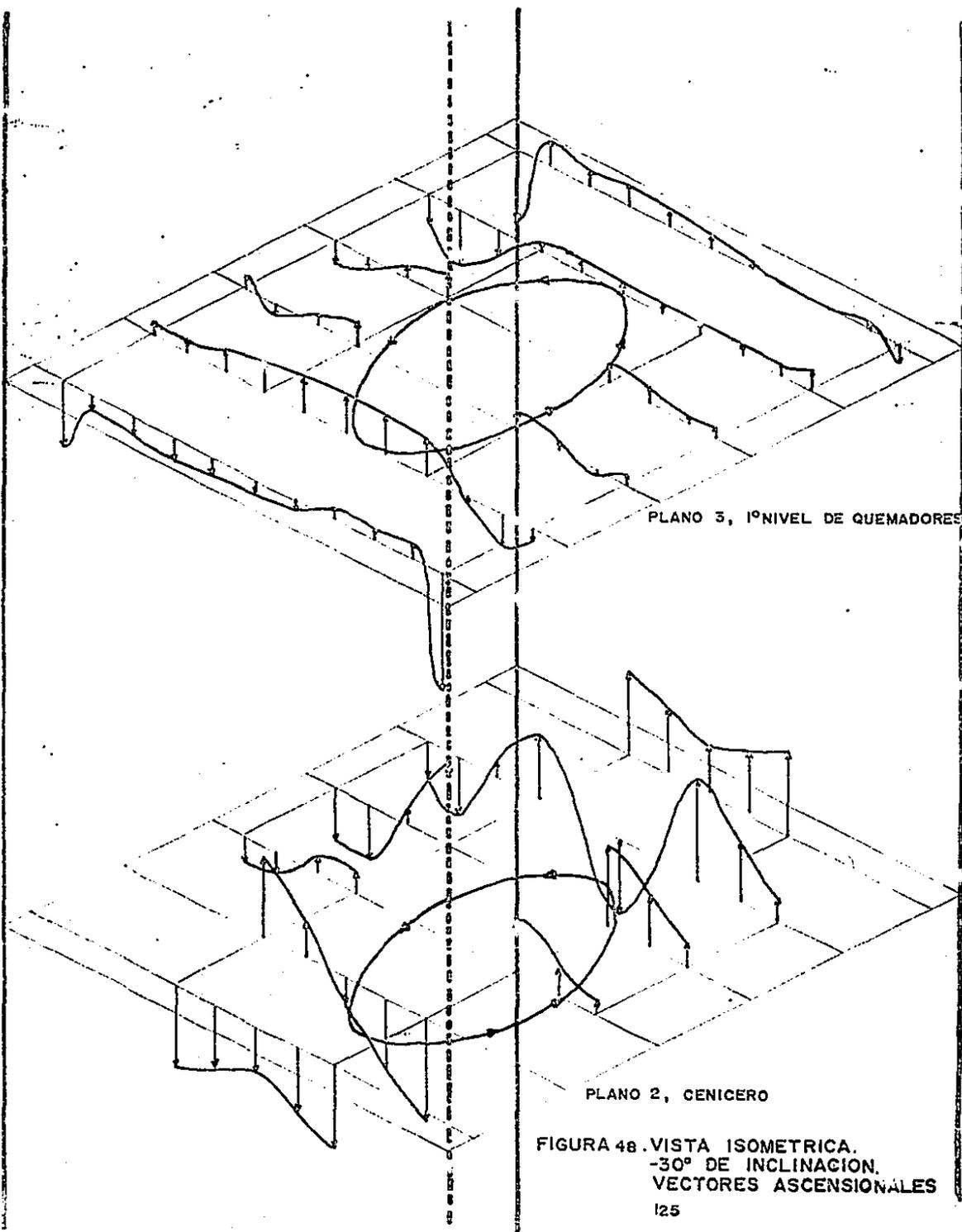


FIGURA 47. VISTA ISOMETRICA, VECTORES ASCENSIONALES PARA UNA INCLINACION DE -30° .



PLANO 3, 1º NIVEL DE QUEMADORES

PLANO 2, CENICERO

FIGURA 48. VISTA ISOMETRICA.
-30° DE INCLINACION.
VECTORES ASCENSIONALES

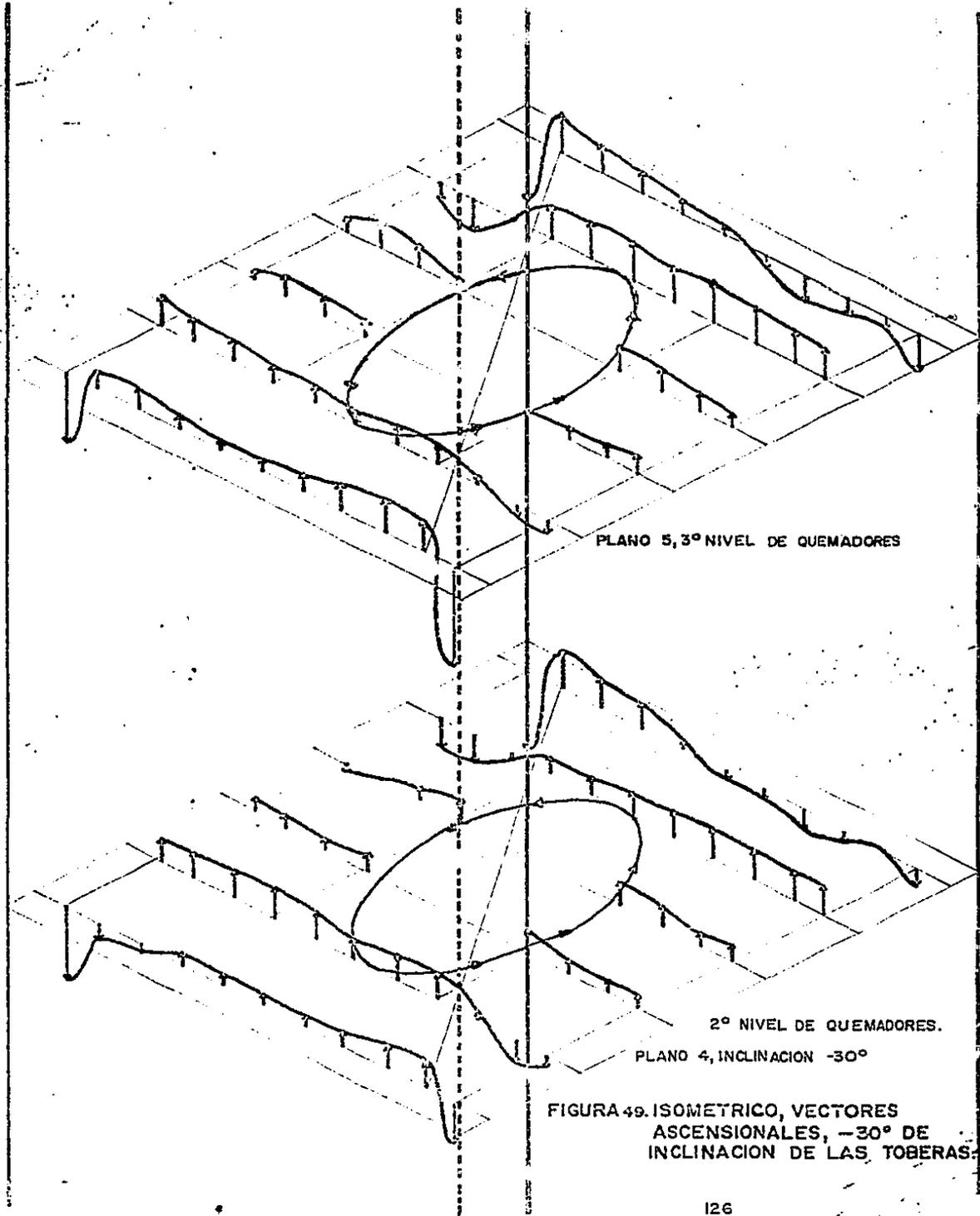


FIGURA 49. ISOMETRICO, VECTORES ASCENSIONALES, -30° DE INCLINACION DE LAS TOBERAS.

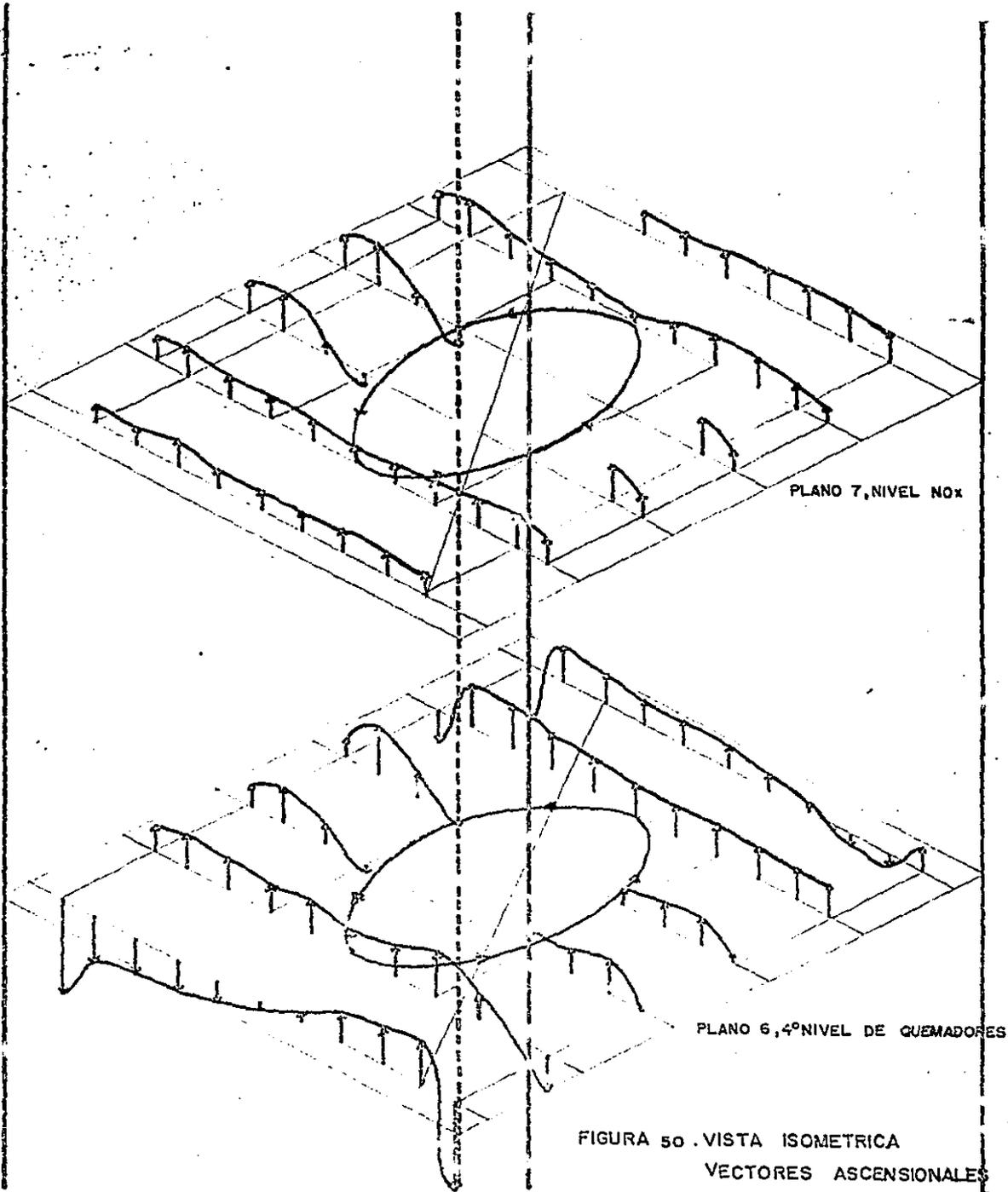


FIGURA 50 . VISTA ISOMETRICA
 VECTORES ASCENSIONALES

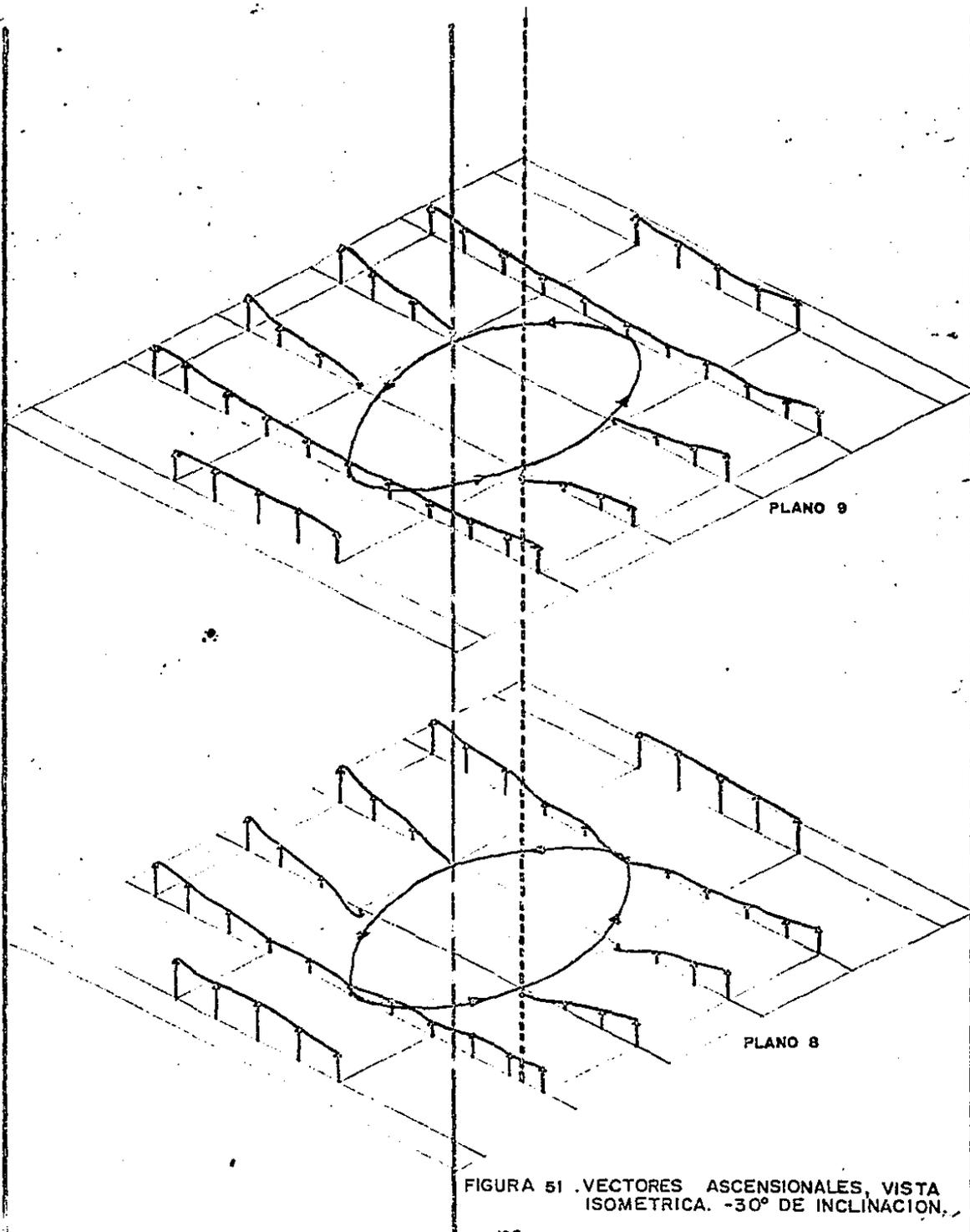


FIGURA 51 . VECTORES ASCENSIONALES, VISTA ISOMETRICA. -30° DE INCLINACION.

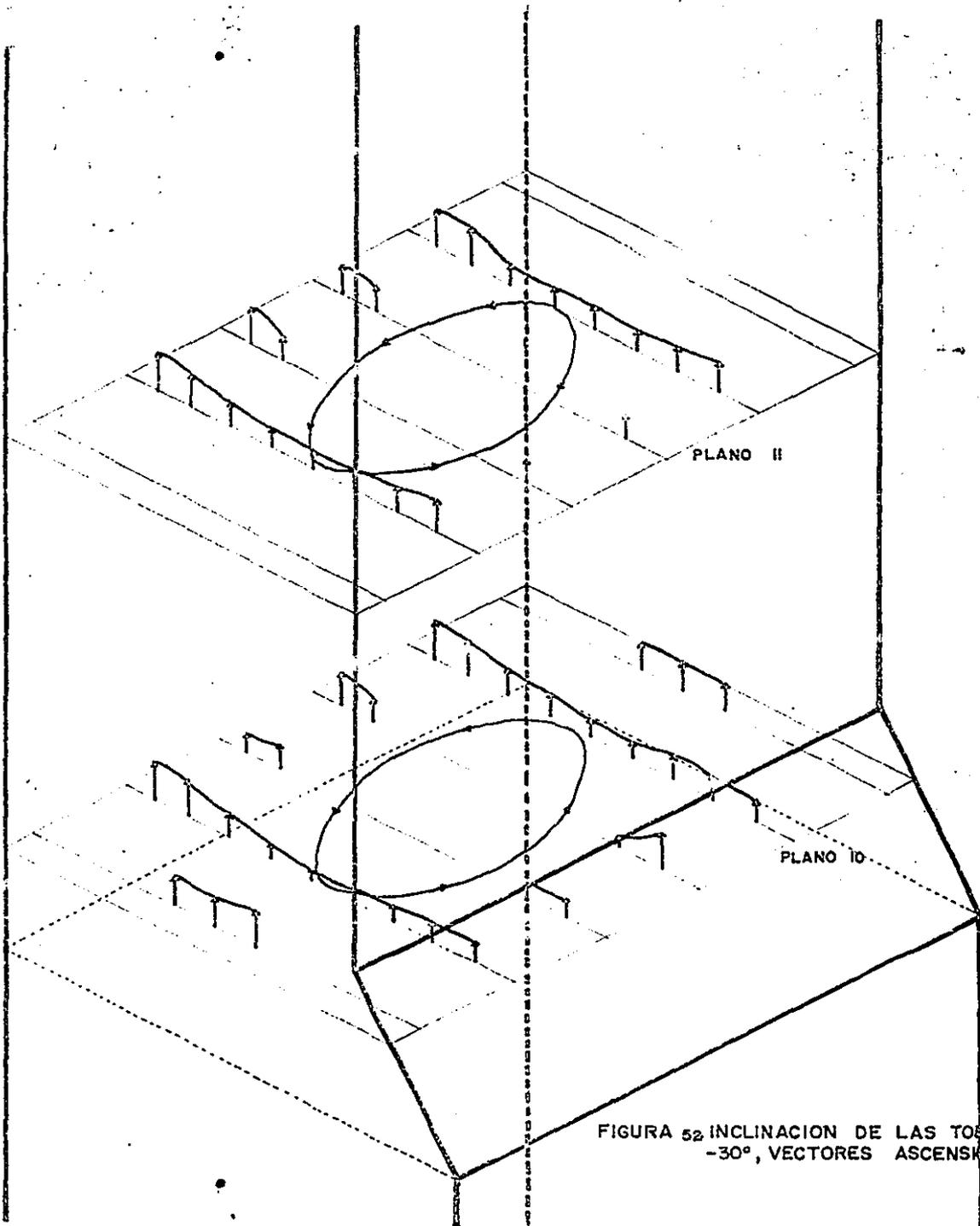


FIGURA 52 INCLINACION DE LAS TOBERAS.
 -30° , VECTORES ASCENSIONALES

130

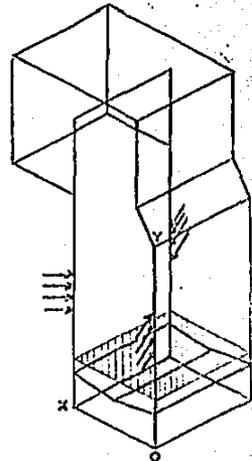
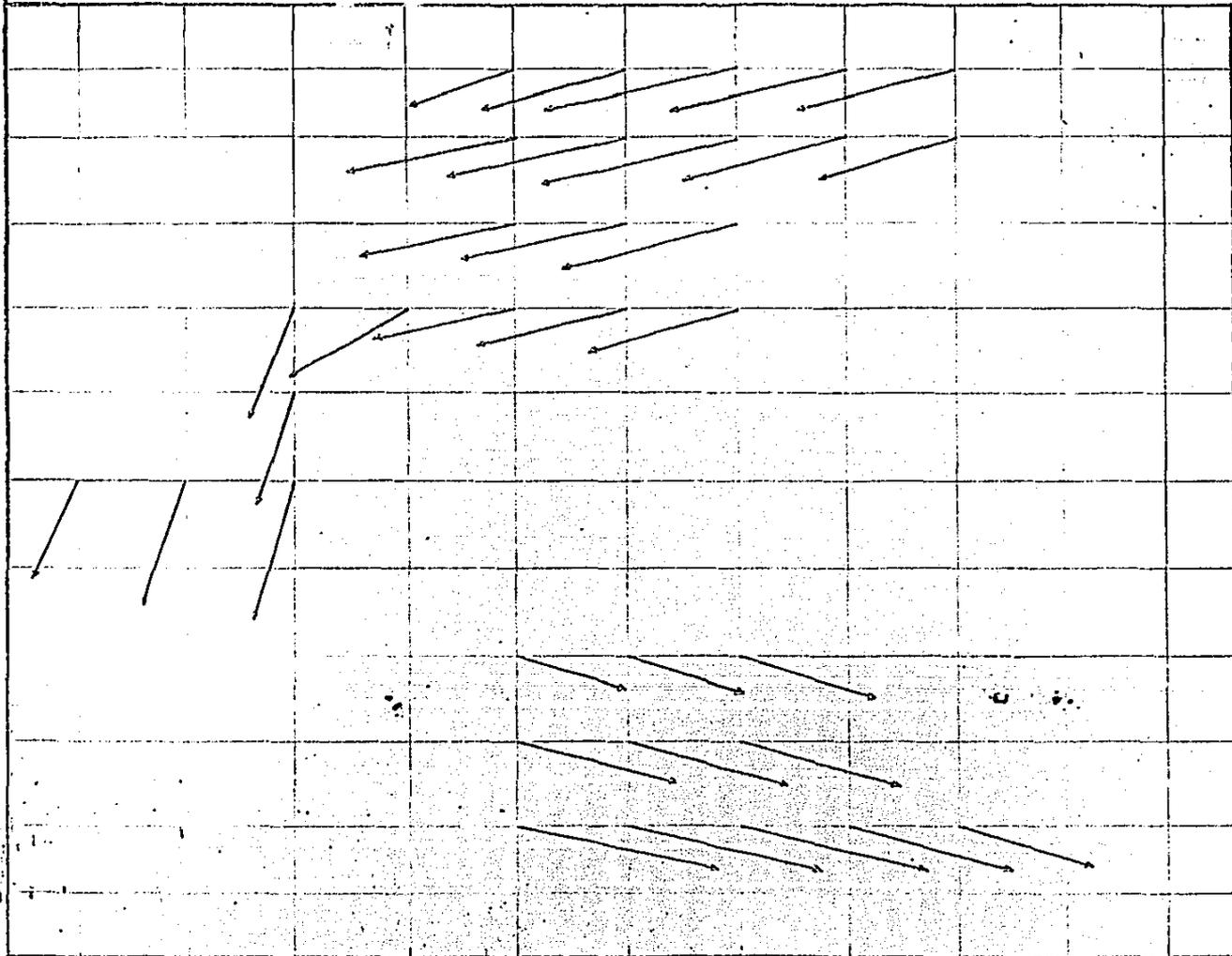


FIGURA 53 PLANO I INCLINACION DE QUEMADORES O G.

x

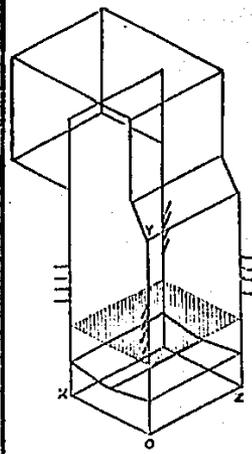
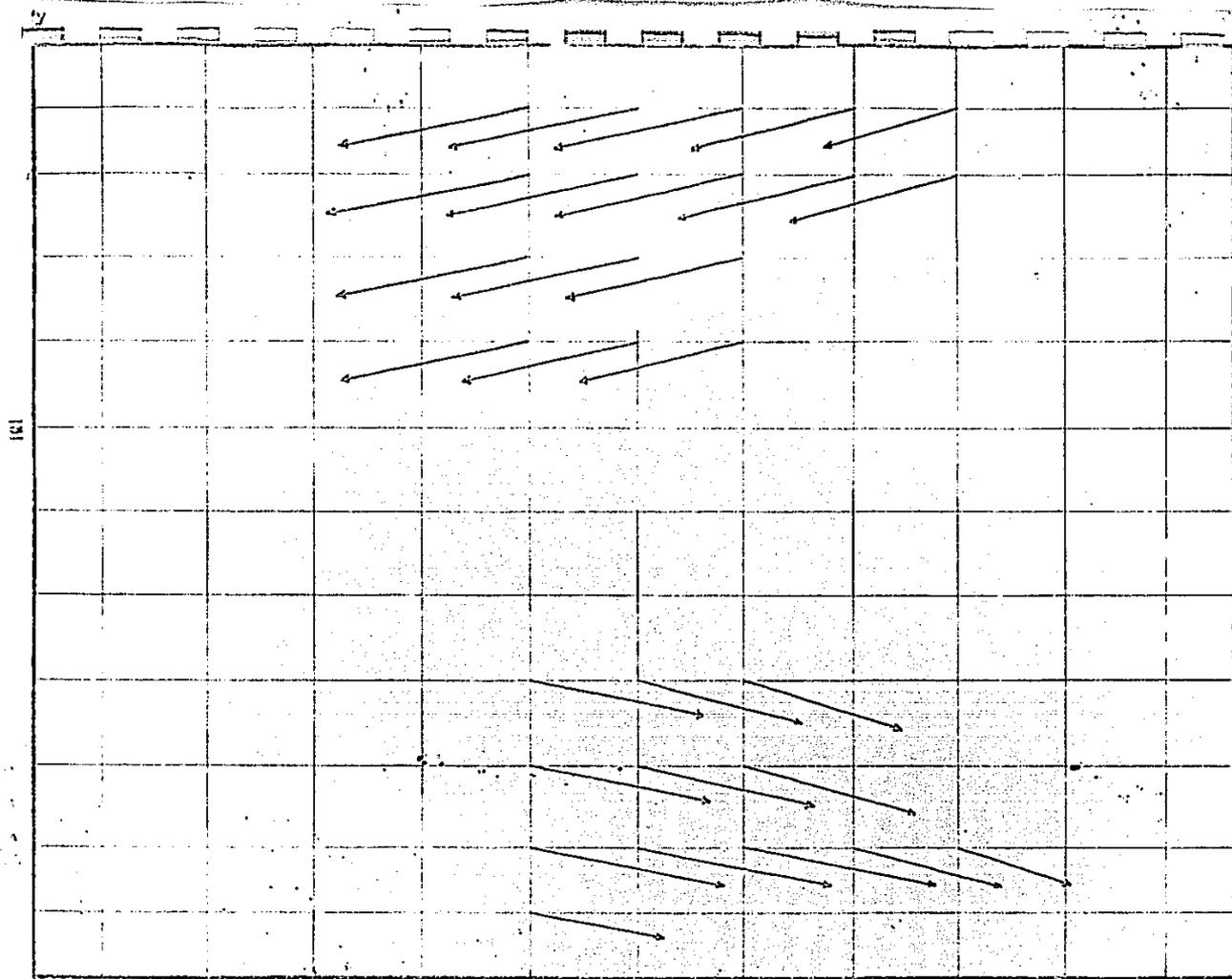


FIGURA 54 PLANO 2 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

o x

localizada entre las esquinas 3 y 4, tendiendo a recargarse sobre la localizada entre las esquinas 1 y 2.

En las figuras 55, 56, 57 y 58 se muestran los patrones de flujo que se obtienen en el centro de cada quemador, de ellas es posible observar lo siguiente:

El ciclón se forma en el primer nivel de quemadores, presentándose nuevamente en forma elíptica, sin embargo, se observa que para cada nivel existen características muy especiales que hacen diferentes los patrones de flujo de cada uno de estos niveles.

En el plano 3 (figura 55) el patrón tiene cierta tendencia a recargarse hacia la pared formada entre las esquinas 3 y 4.

En los planos 4 y 5 (figuras 56 y 57) el patrón de flujo se presenta claramente definido, sin tendencia a recargarse hacia ninguna de las paredes y su forma elíptica indica un buen balance del flujo de aire a la salida de estos compartimientos.

En el plano 6 (figura 58) la tendencia del flujo de aire a recargarse hacia la pared que se localiza entre las esquinas 3 y 4, se invierte por completo, es decir, los vectores más cercanos a esta pared se dirigen hacia el centro del hogar, sin alterar significativamente la forma del ciclón.

Es importante hacer notar que la magnitud de los vectores en el plano 3 es mayor que en los siguientes niveles, lo cual puede tener una explicación en el bajo flujo existente en el cenicero, y en los siguientes niveles, es evidente una gran influencia entre los

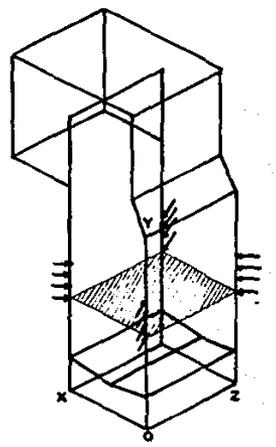
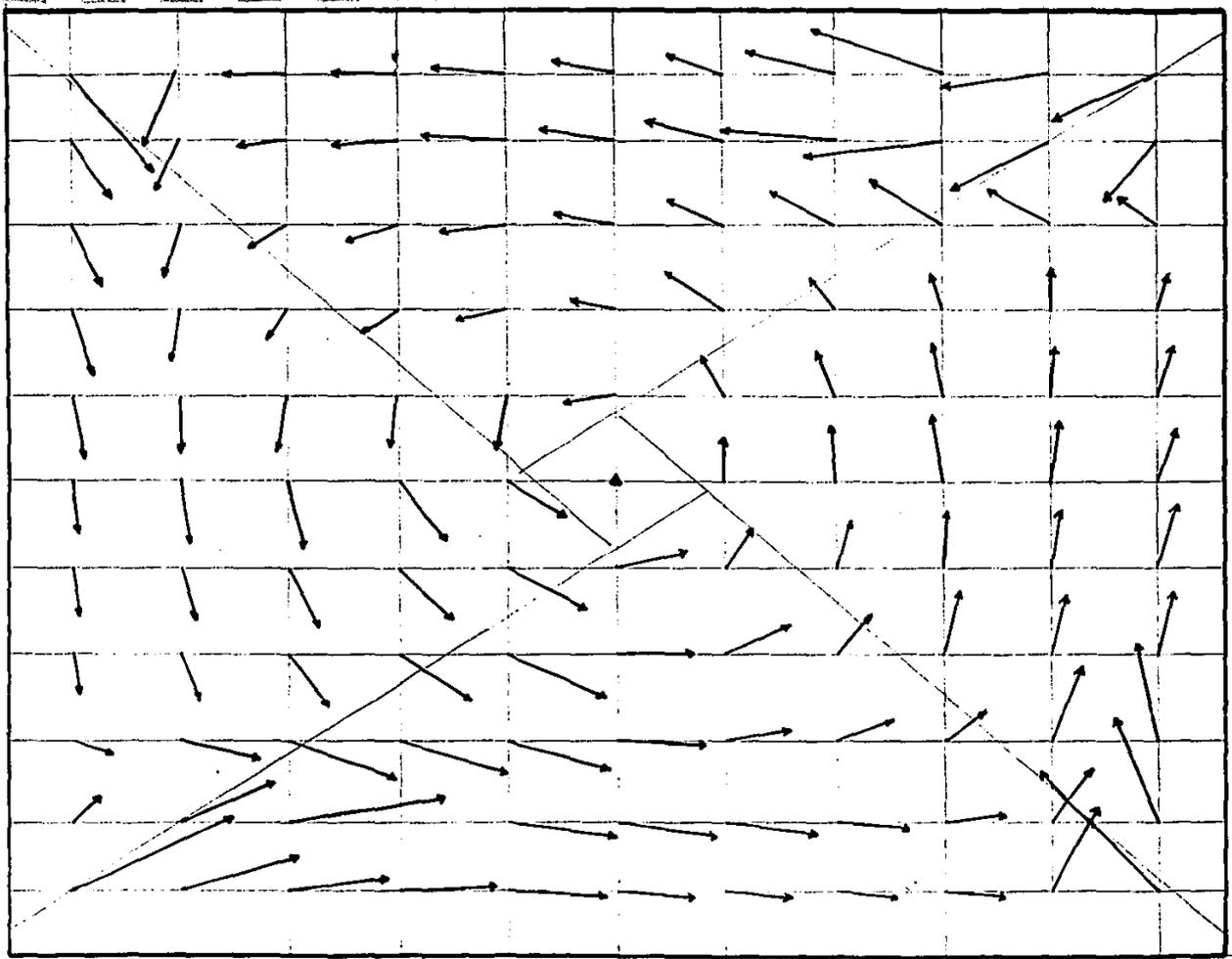


FIGURA 56. INCLINACION DE QUEMADORES O G. PLANO 3

→ z

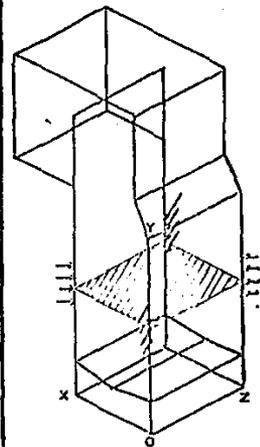
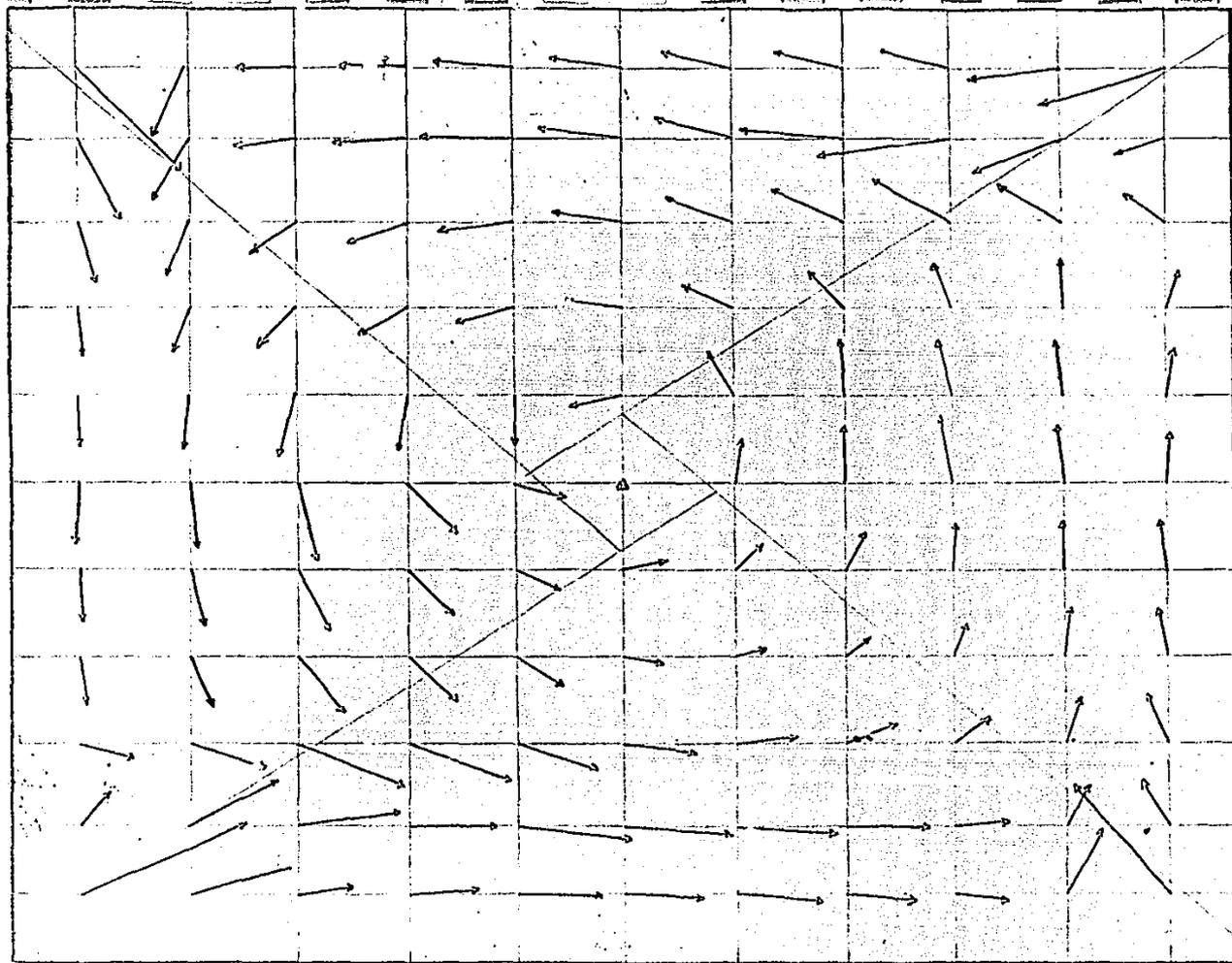


FIGURA 56. PLANO 4 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

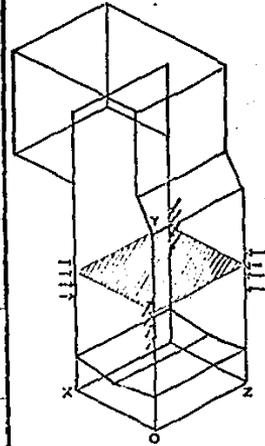
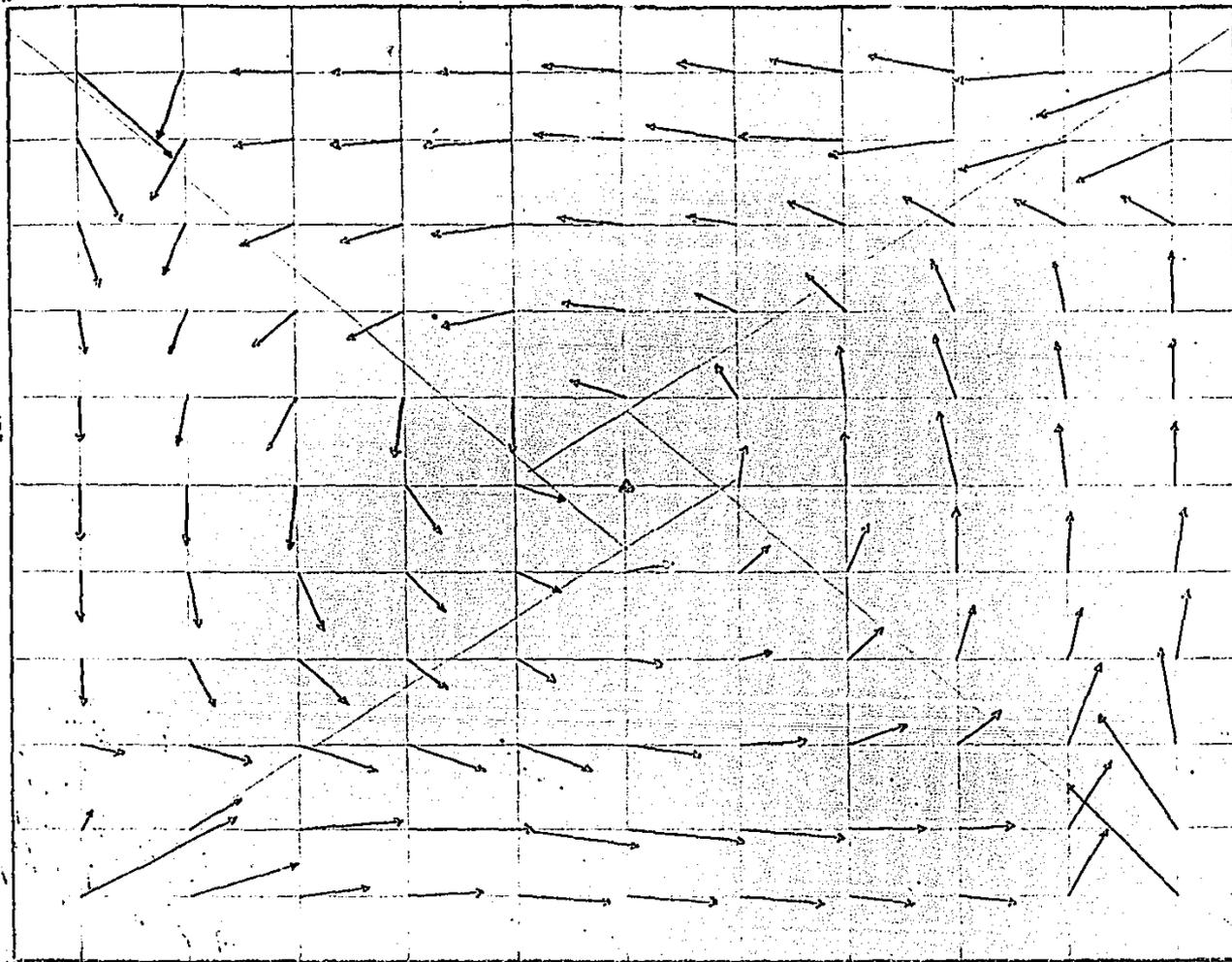


FIGURA 57. PLANO 5 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

vectores de éstos entre sí, es decir, los gradientes de presión van variando conforme se eleva el plano de medición.

Por otra parte, una característica que se repite en los planos 3, 4, 5 y 6 (figuras 55, 56, 57 y 58) es la que se presenta en las esquinas del hogar, donde los vectores de velocidad tienen sentidos opuestos cerca de las toberas, lo cual genera, como ya se dijo, zonas de recirculación, y, por consiguiente, dichas zonas localizadas cerca de las toberas de aire, serán de alta temperatura. Los efectos que esto produce se analizarán en detalle más adelante.

La figura 59 presenta el patrón de flujo formado en el compartimiento de NO_x , plano 7, en el cual se observa que el flujo de aire tiende a abrirse inmediatamente después de rebasar el último nivel de quemadores, existiendo una marcada tendencia a dirigirse hacia las esquinas 1 y 3 del hogar.

En el plano 8, figura 60, se observa que el ciclón recupera su balance, con forma elíptica definida y, aunque mantiene la tendencia a recargarse sobre las paredes, ésta es menor, como se ve en el plano 7, sin embargo, existe una considerable disminución en la magnitud de los vectores de velocidad que se obtienen en este plano, interpretándose por lo tanto que la velocidad radial aumentó.

En la figura 61, se muestra el patrón de flujo que se obtiene en el plano 9, el cual se localiza cerca de la nariz del generador. Es importante analizarlo y compararlo con el que se obtiene a -30° . En la figura mencionada el ciclón se encuentra desplazado hacia la pared contraria a la nariz, mientras que en el mismo plano pero con

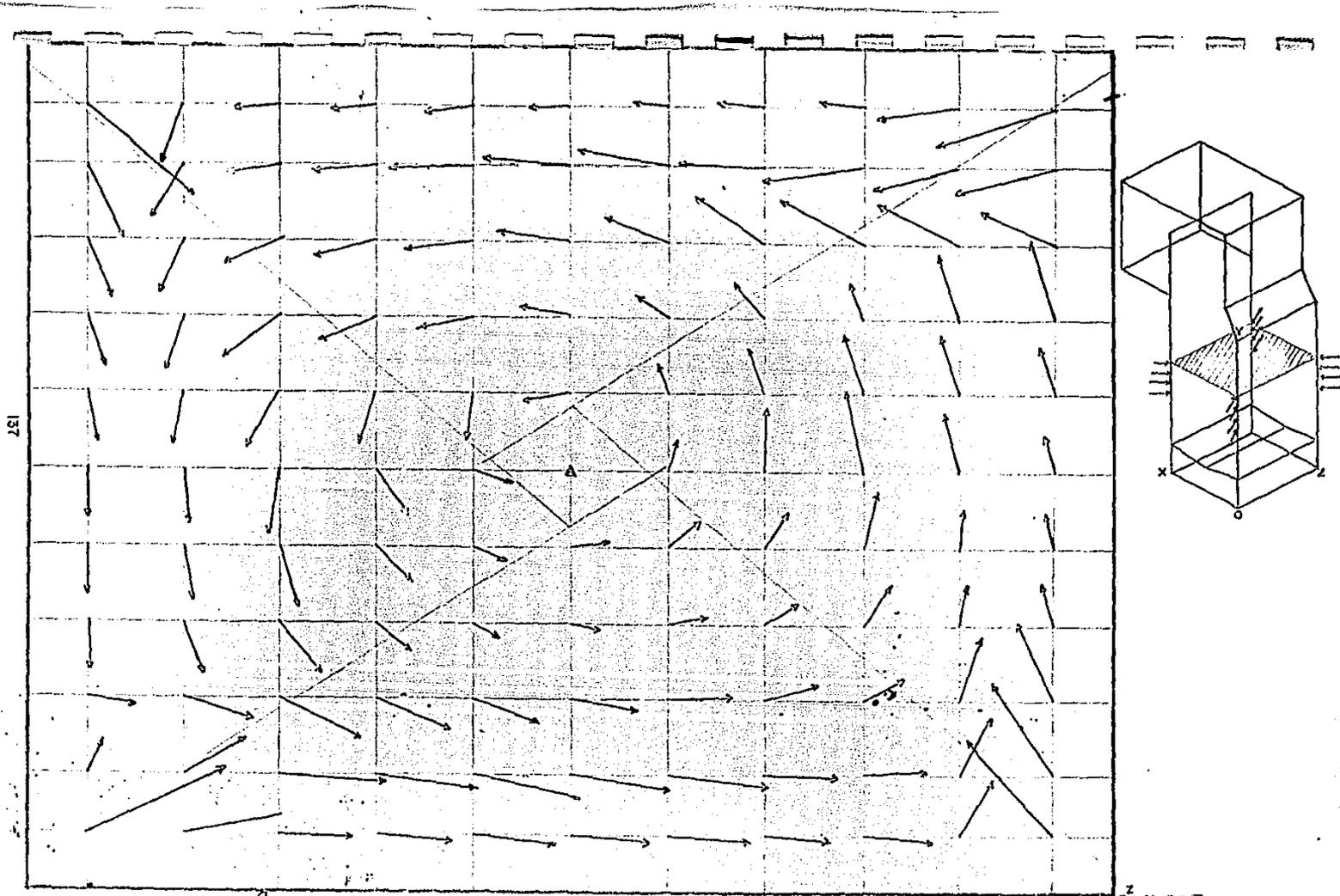


FIGURA 68. PLANO 6 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

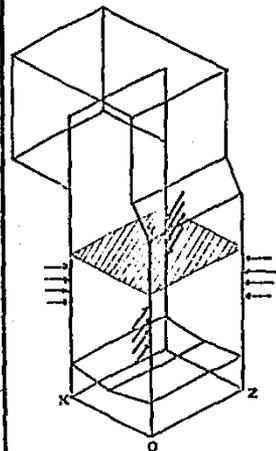
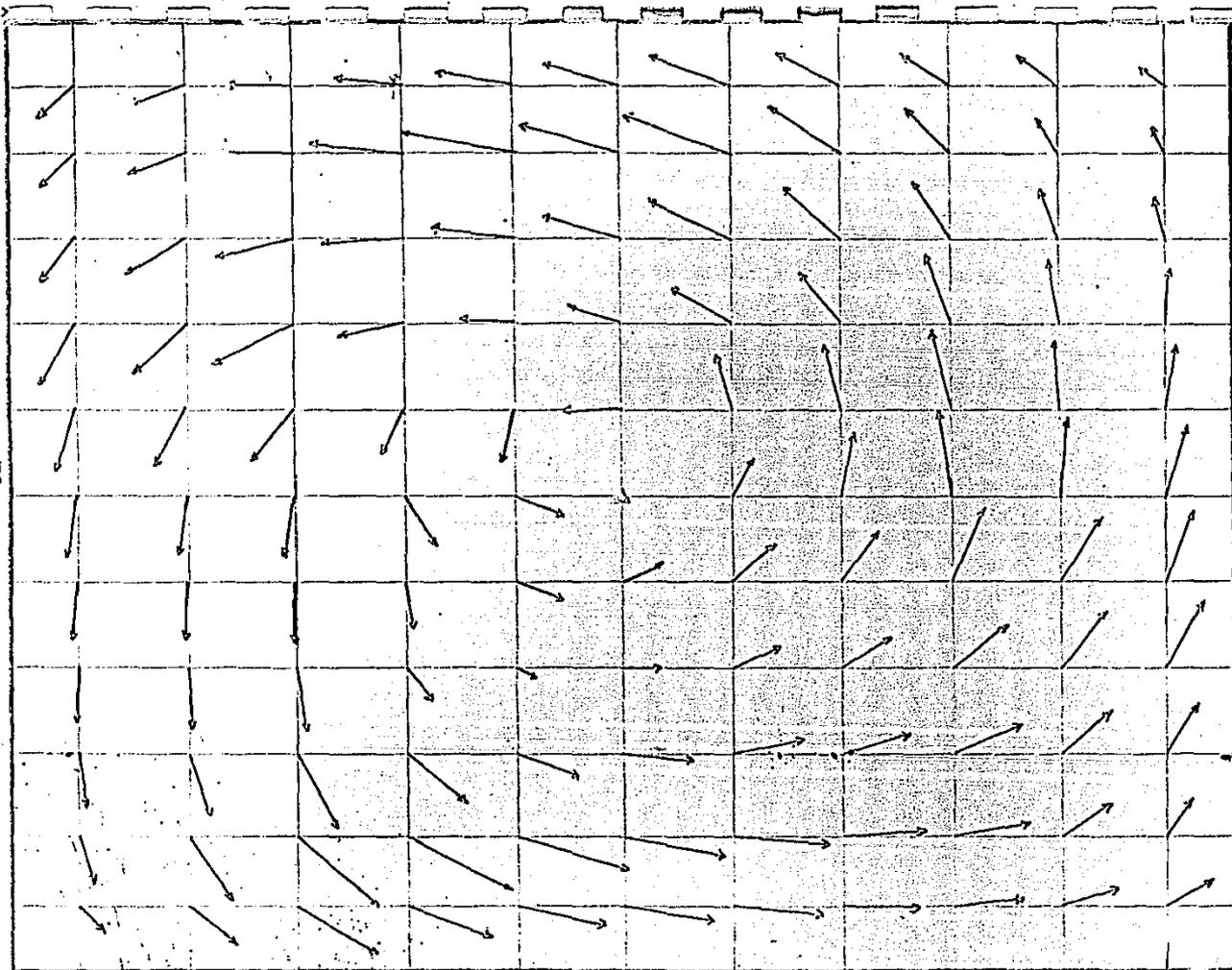


FIGURA 59. PLANO 7. INCLINACION DE QUEMADORES O G.

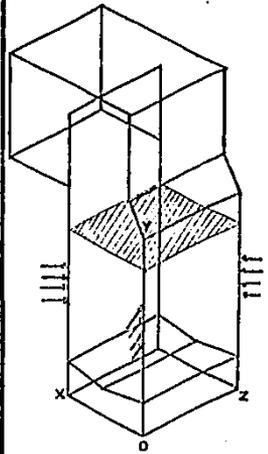
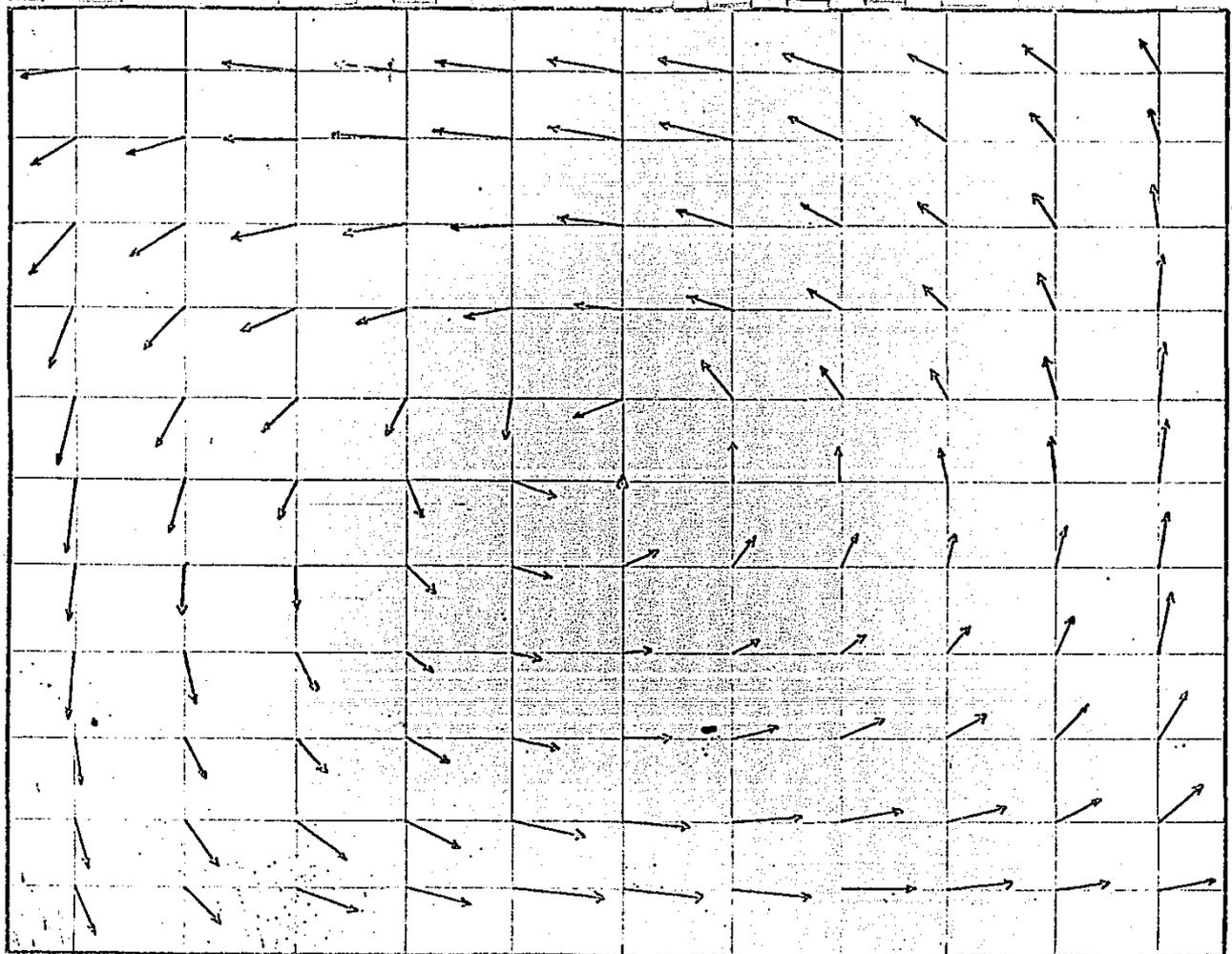


FIGURA 60 PLANO 8 INCLINACION DE QUEMADORES O. G.

z

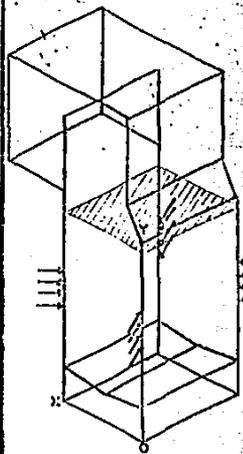
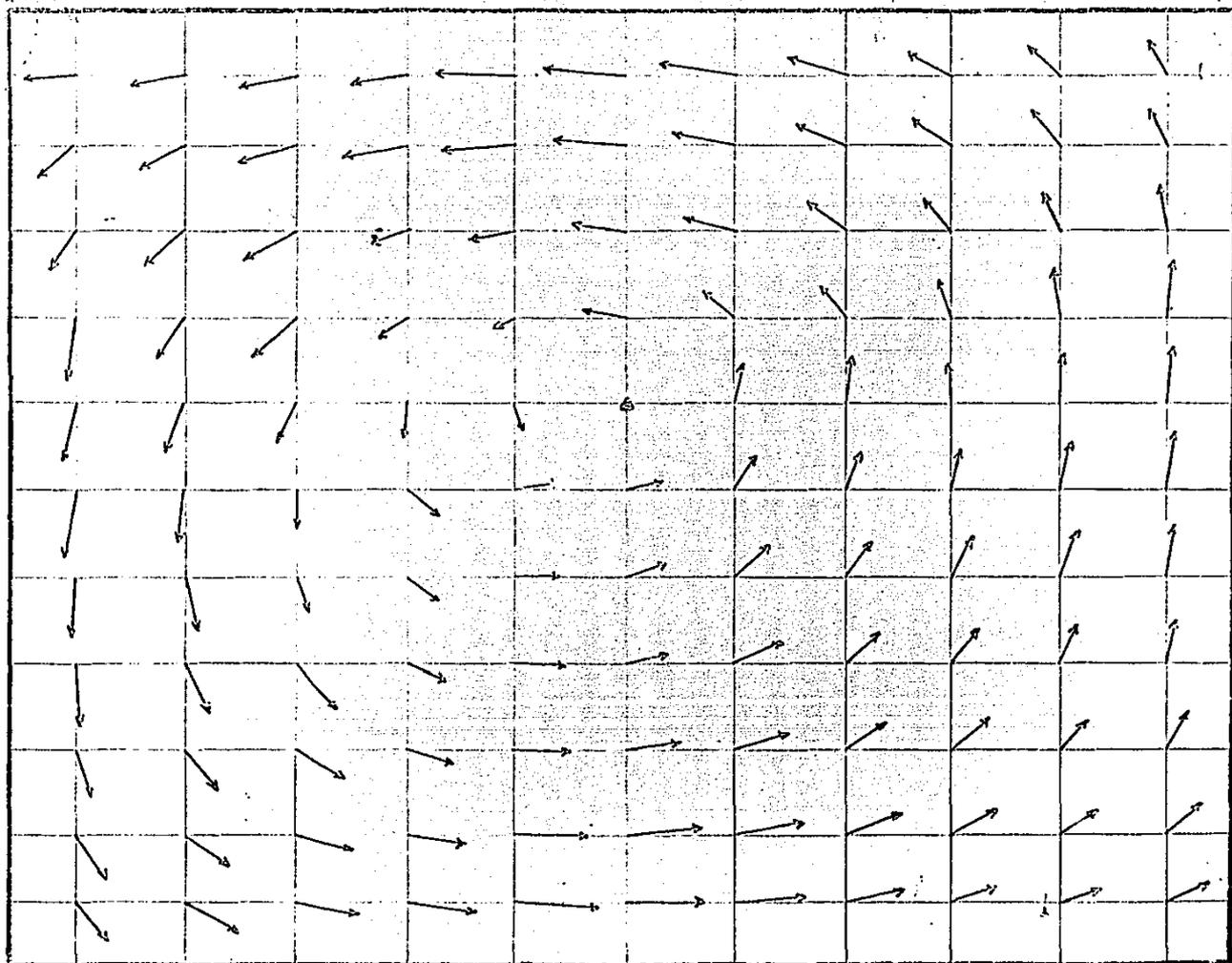


FIGURA 61. PLANO 9 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

una inclinación de -30° el ciclón se encuentra centrado.

La figura 62, muestra el patrón de flujo del plano que se localiza en la nariz del generador, en la cual se observa que el ciclón tiende a centrarse en el plano, aunque sigue recargandose hacia la pared opuesta de la nariz del generador.

En el plano 11, figura 63 se observa que antes de los bancos de tubos el ciclón recupera totalmente su centro y su balance.

6.3.2 Análisis del patrón de flujo en los planos verticales (inclinación 0°).

En la siguiente serie de figuras se presenta el patrón de flujo de los vectores ascendentes o descendentes obtenidos en 6 planos de medición, estas mediciones se efectuaron con una inclinación de las toberas de 0° .

En la figura 64 se muestra el plano V1, el cual se localiza a 3.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. De ésta se observa que en la parte baja del hogar no existe prácticamente flujo de aire cerca de la pared formada entre las esquinas 2 y 3, sin embargo, la tendencia en esta zona es descendente, dirigida hacia el cenicero. En los niveles de quemadores existen dos tendencias, una ascendente, la cual se dirige hacia el nivel superior de la esquina 2, y una descendente, la cual se manifiesta del centro hacia la esquina 3 de los planos 5, 6 y 7, presentándose también en los planos 3 y 4 con menor magnitud. Entre los planos 4 y 5 se generan una gran cantidad de pequeñas zonas de recirculación dado el sentido inverso que tienen algunos vectores de velocidad. Además, se observan pequeñas

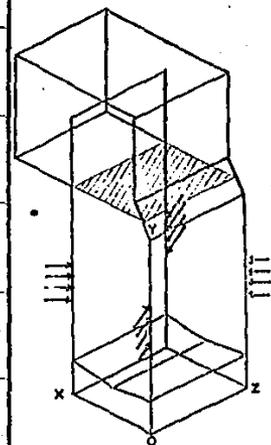
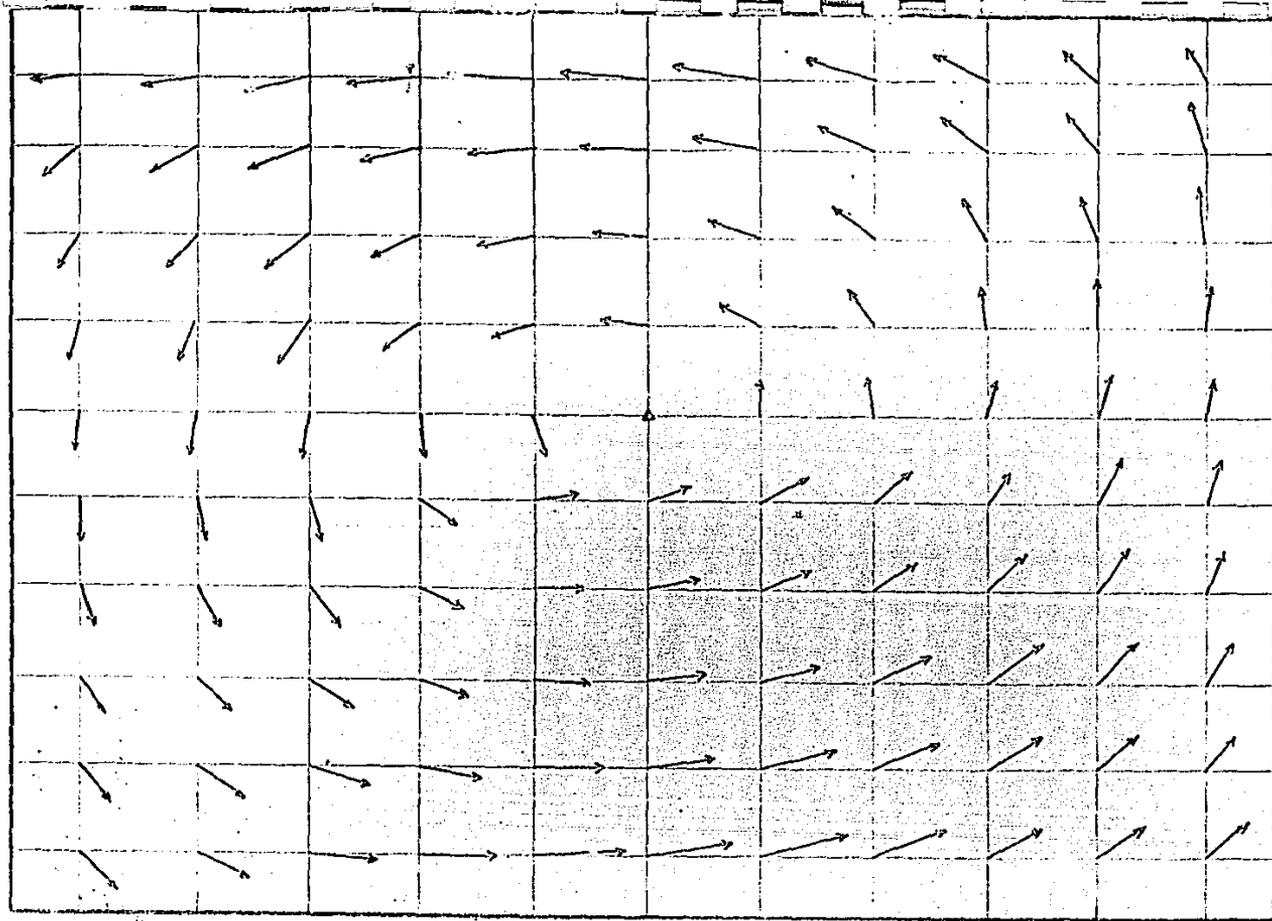


FIGURA 62 PLANO 10 INCLINACION DE QUEMADORES O G.

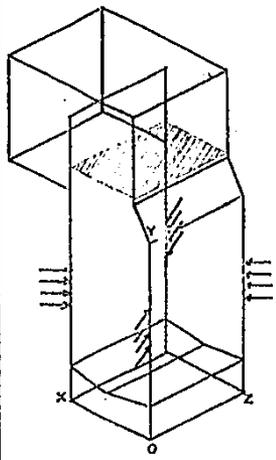
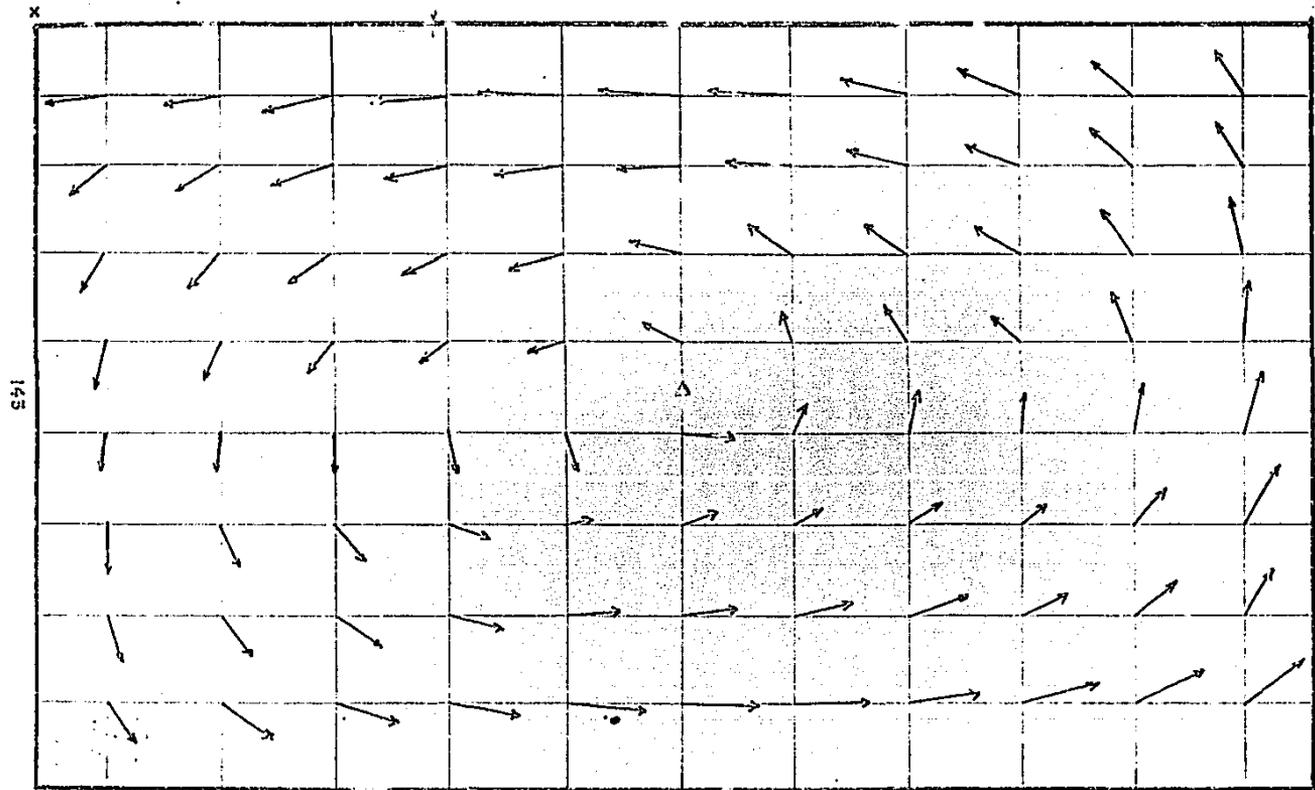


FIGURA 63. PLANO II INCLINACION DE QUEMADORES O G.

zonas de recirculación cerca de las esquinas del hogar. Por último, se observa también que una vez que los gases alcanzan el plano 8 el ciclón sale de esta región sin ninguna alteración de importancia.

En la figura 65 se presenta el plano V2, el cual se localiza a 13.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Esta figura muestra la existencia de flujo de aire en el plano 1, ó sea en la zona más baja del generador de vapor; este flujo que es descendente de la esquina 3 hacia el centro, pasa después a ser ascendente del centro hacia la esquina 2, generando pequeñas zonas de recirculación junto con los vectores del plano 3. Si se observa el patrón de flujo en los niveles de quemadores, el único plano que presenta vectores descendentes de magnitud importante es el plano 3, el plano 4 presenta algunos vectores de menor magnitud. La mayoría de los vectores determinados en estos niveles tienen dirección ascendente.

En la figura 64 se ve que del centro hacia la esquina 3, diversos vectores tienen sentidos opuestos (planos 4 al 6) a los equivalentes de la figura que se está analizando, por lo cual es posible deducir que el ciclón además de girar sobre un eje vertical también rota sobre un eje radial, esto según se aprecia sucede hasta el nivel de NO_x, Entre los compartimientos de quemadores se siguen manifestando también pequeñas zonas de recirculación preferentemente entre los planos 4 y 5. Una vez que el ciclón alcanza los niveles superiores (arriba del compartimiento de NO_x) no se presenta ninguna alteración sustancial.

La figura 66 muestra el plano V3 el cual se localiza a 23.05 cm del origen, sobre el eje Z, plano XY. Este plano se localiza a 5 cm

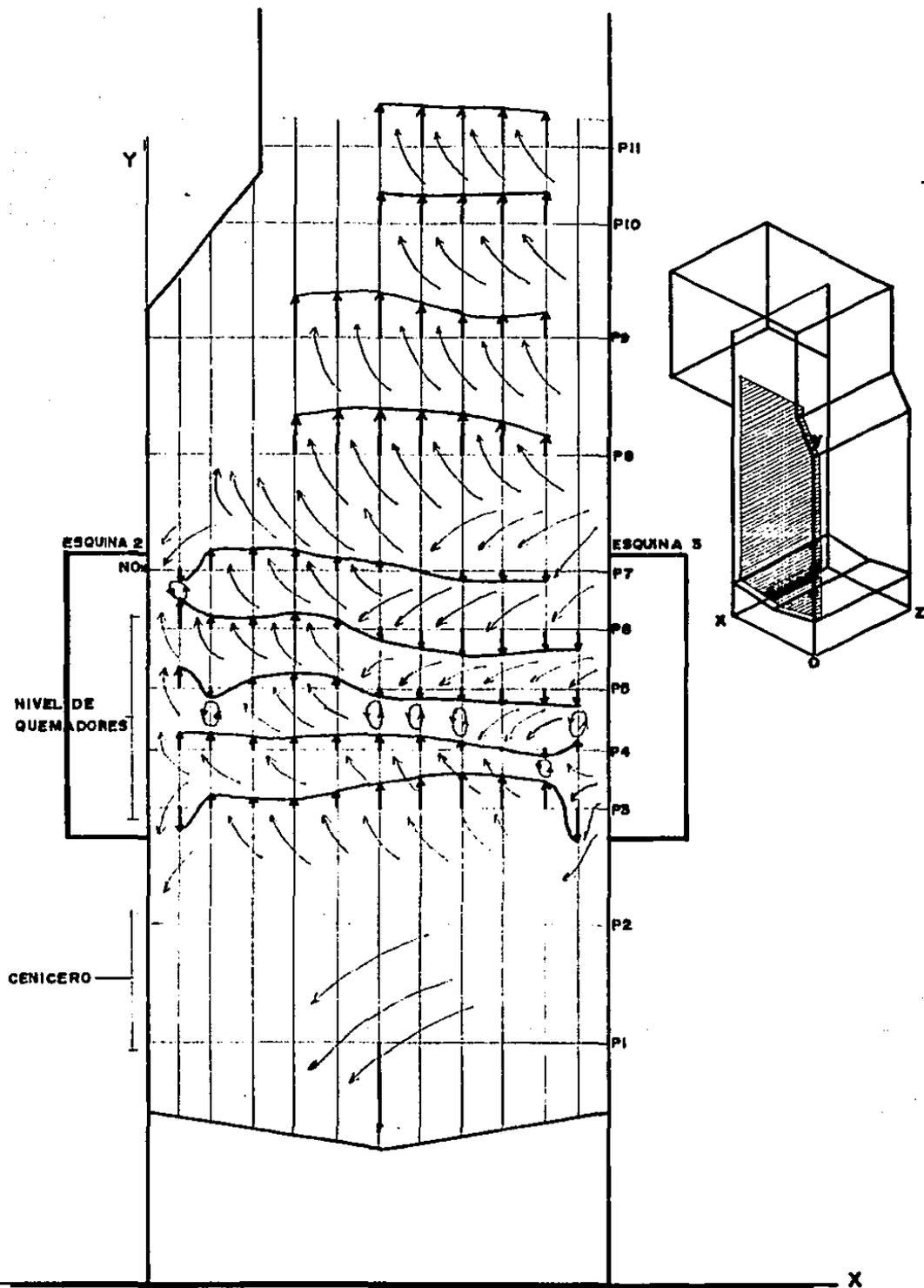


FIGURA 64. PLANO VI, A 3.05 cm DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, PLANO XY
 INCLINACION DE QUEMADORES 0°. 145

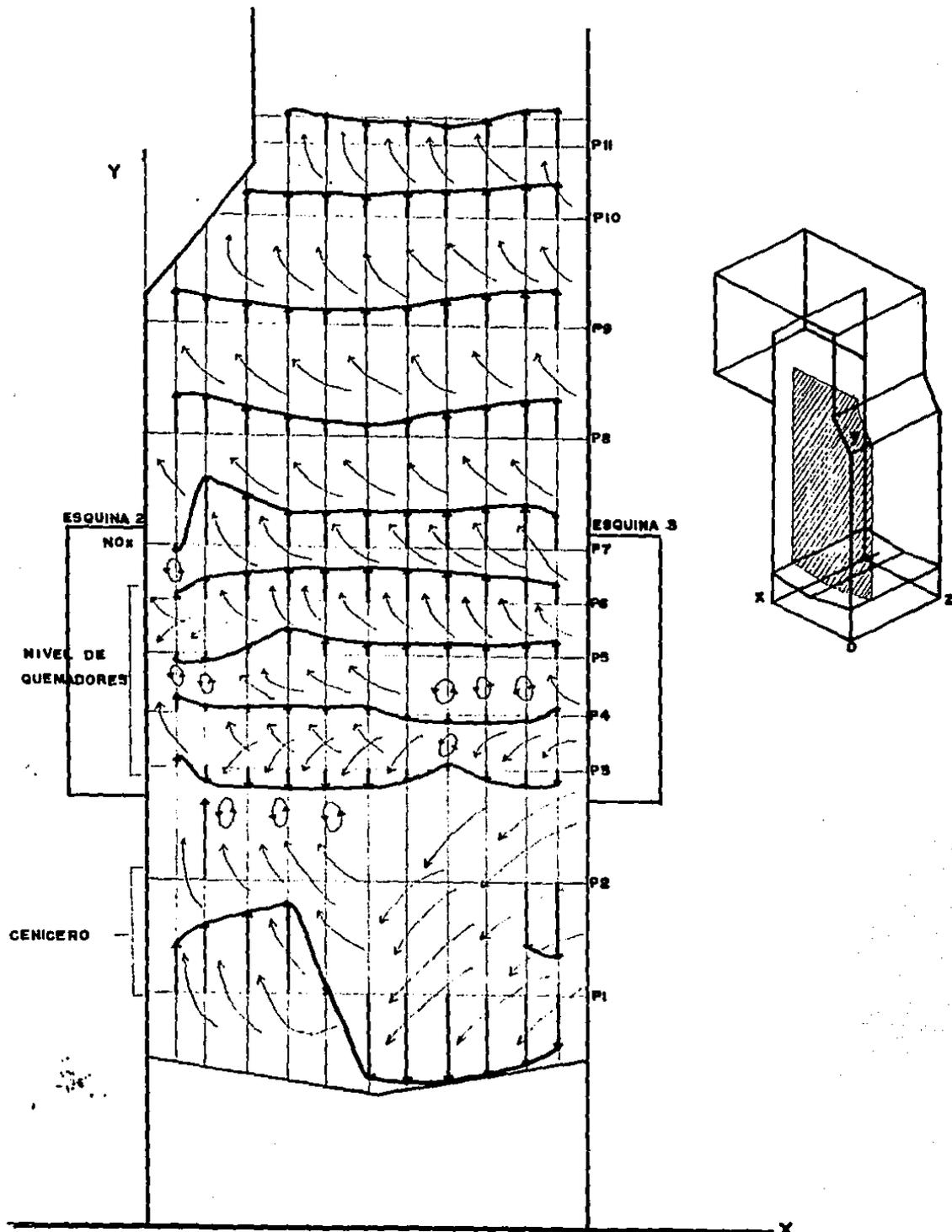


FIGURA 65 . PLANO V2, A 13.05 cm. DEL ORIGEN SOBRE EL EJE Z, PLANO XY
 INCLINACION DE QUEMADORES 0°. 146

antes del plano central del generador de vapor, por lo que el centro del ciclón influye fuertemente, como en el caso ya analizado para una inclinación de -30° . Como ya se explicó en la descripción del patrón de flujo para una inclinación de las toberas de -30° este plano se analizará en dos secciones. La primera de ellas del centro hacia las esquinas 3 y 4, y la segunda del centro hacia las esquinas 1 y 2. En la primera de ellas se observa que el flujo de aire se dirige en forma descendente hacia la esquina 3 de la parte baja del generador. En los niveles de quemadores los vectores de velocidad son ascendentes conforme se aproximan al centro del hogar, presentándose entre los planos 5 y 6 una pequeña zona de recirculación. Una vez que se rebasa el último nivel de quemadores los vectores de velocidad disminuyen su magnitud en el centro del ciclón, presentándose un incremento en la magnitud de los vectores que están cerca de la pared. En la otra sección del generador se observa que el flujo de aire asciende en la parte baja del generador, manteniendo los vectores el mismo sentido que se observa en la figura 65 (plano V2). Entre los planos P2 y P3 de esta figura se presenta una pequeña zona de recirculación. En los niveles de quemadores, los planos 3 y 4 presentan vectores descendentes, siendo ascendentes en los planos 5, 6 y 7, sin embargo, su magnitud decrece a medida que se consideran los planos superiores hasta ser negativos en el plano 8, existiendo la misma tendencia, que en la otra mitad ya analizada, a incrementar la magnitud de los vectores a medida que se aproximan a la pared.

La figura 67 muestra el plano V4, el cual se localiza a 33.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Este plano al igual que el

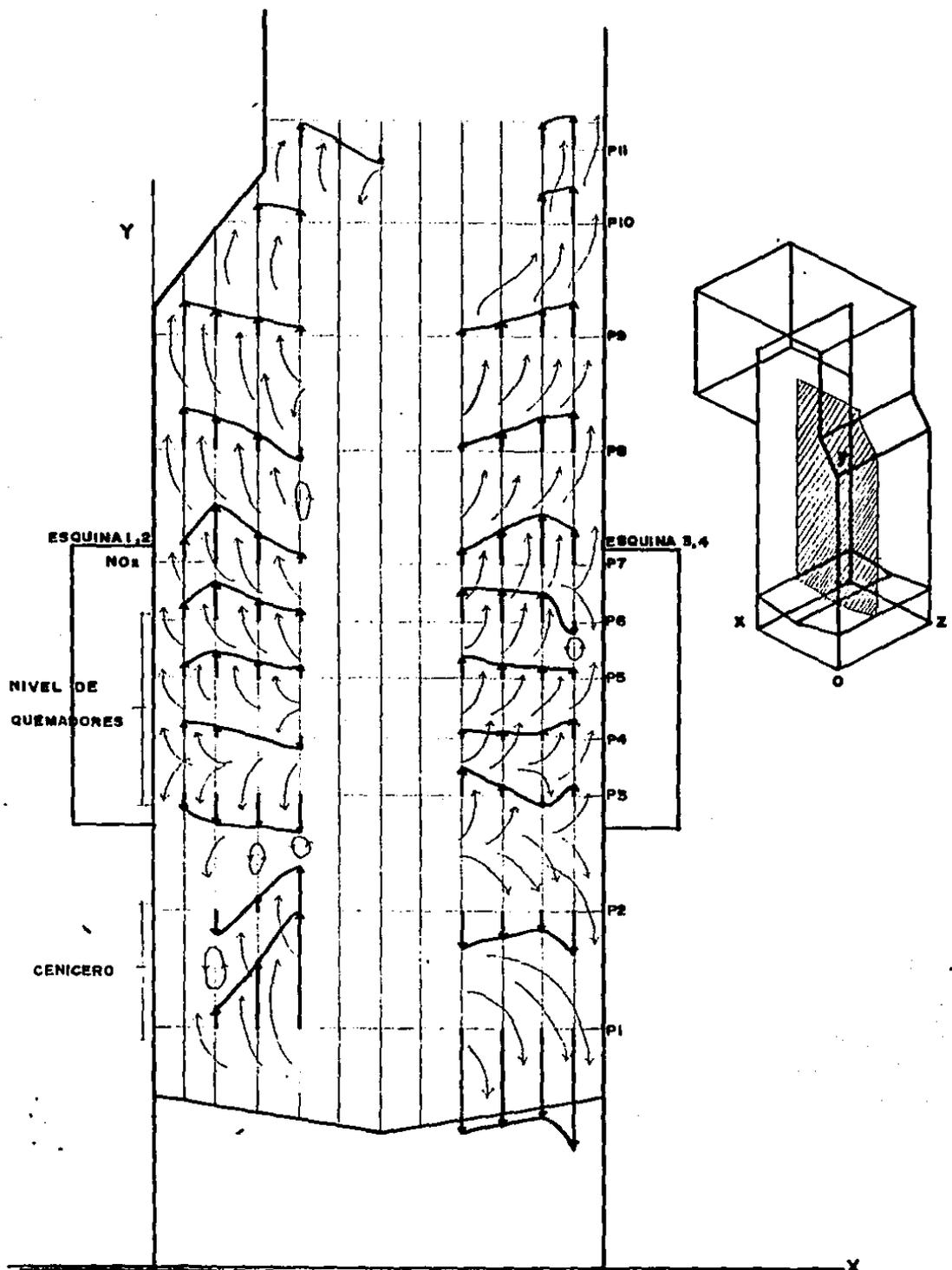


FIGURA 66 . PLANO V3, A 23.05 cm. DEL ORIGEN EJE XY, INCLINACION DE QUEMADORES 0°.

anterior se describe en dos secciones. En la primera de ellas, del centro hacia las esquinas 3 y 4, se observa que en la zona baja del generador parte del flujo se dirige hacia los niveles de quemadores y otra parte hacia la base del generador. Si se compara con la figura anterior se observa un cambio de dirección de los vectores en esta sección, lo cual indica una repentina modificación en la dirección del flujo. Arriba del primer nivel de quemadores los vectores de velocidad, cerca del centro del ciclón, son ascendentes, incrementándose su magnitud a medida que se consideran planos superiores. En el plano 8 se presenta un vector descendente en ambas secciones cerca del centro del ciclón, lo que da lugar a una zona de recirculación.

En la otra sección de este plano, del centro hacia las esquinas 1 y 2, en el plano inferior los vectores de velocidad son ascendentes, contrariamente a lo que ocurre en la sección derecha de la figura. Manteniendo la misma característica que en los planos anteriores, entre los planos 2 y 3 se siguen presentando vectores de velocidad de sentido opuesto (igual que en la figura anterior), y por lo tanto, en este plano también existen zonas de recirculación en estos niveles. La forma del patrón de flujo presenta características similares en ambas secciones de este plano, siendo la diferencia más importante la que se observa en el plano 9, donde el vector más próximo al centro cambia de sentido, haciéndose descendente.

La figura 68 presenta el plano V5 el cual se localiza a 43.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Esta figura muestra que la primera mitad en el cenicero del generador los vectores de velocidad son

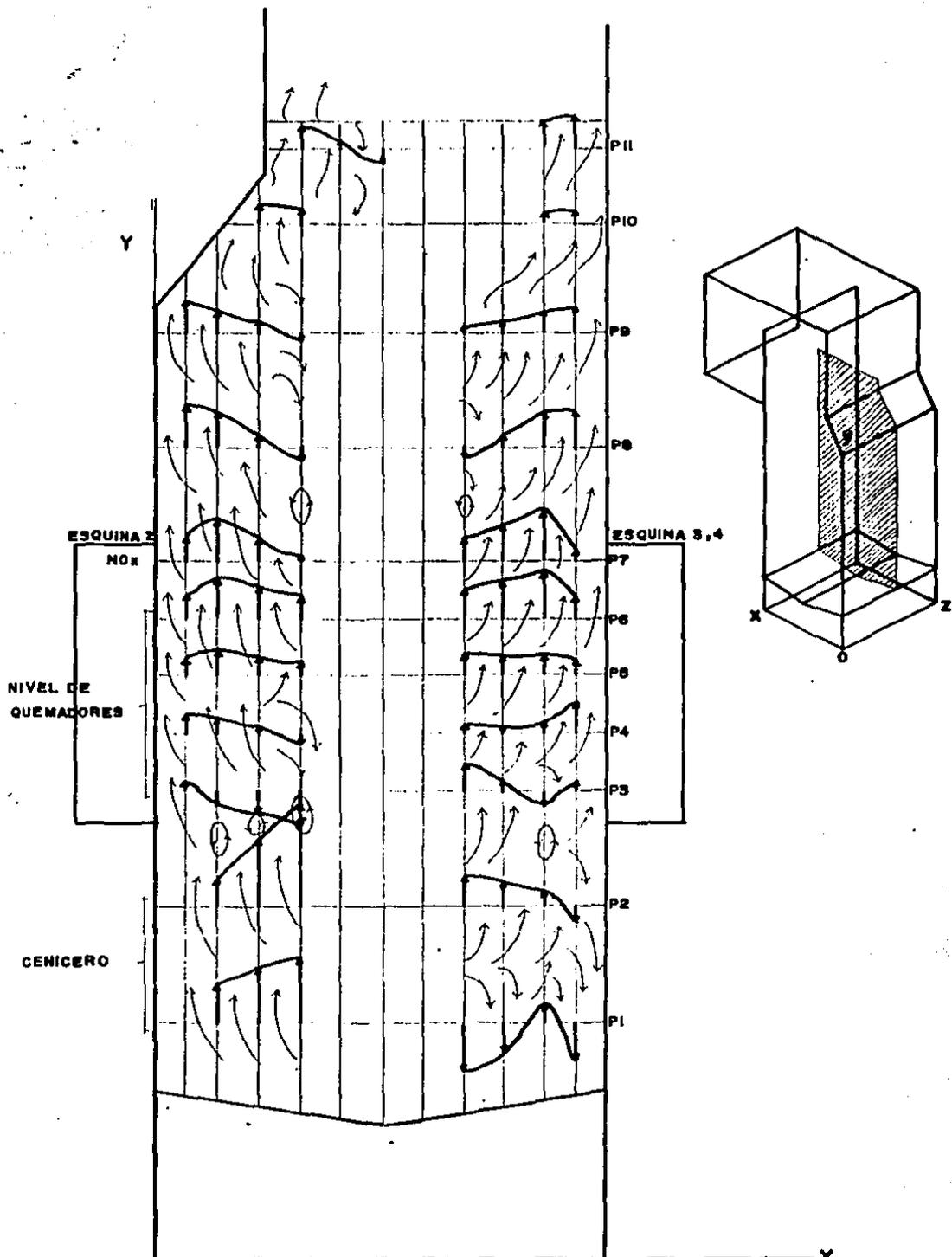


FIGURA 67. PLANO V4, A 33.05cm DEL ORIGEN EJE XY, INCLINACION DE QUEMADORES 0°. 150

ascendentes para girar en forma descendente a partir de la segunda mitad hacia la esquina 4. En este plano también se observan pequeñas zonas de recirculación entre los planos 2 y 3, ya que el sentido de los vectores del plano 3 es descendente. Si se compara esta figura con las tres anteriores se puede observar que estas zonas de recirculación se mantienen en la parte baja del generador. A partir del segundo nivel de quemadores, plano 4, se observa que los vectores de velocidad son ascendentes, presentándose algunos de sentido contrario preferentemente cerca de las esquinas. En el plano 8 se puede apreciar la influencia del centro del ciclón al invertir el sentido del vector que se localiza al centro del plano.

La figura 69 muestra el plano V6 el cual se encuentra a 53.05 cm del origen sobre el eje Z, Plano XY. En esta figura se observa nuevamente que cerca de la pared, ahora entre las esquinas 1 y 4, no se registraron vectores ascendentes ni descendentes, iniciándose éstos a partir del nivel más bajo de quemadores, siendo en los planos 3 y 4 ascendentes y en los planos 5, 6 y 7 descendentes, lo cual genera zonas de recirculación y al mismo tiempo de rotación del flujo de aire cerca de la pared del generador. Una vez que se alcanza el plano 8, todos los vectores son ascendentes, lo cual indica que cerca de la pared el flujo sale sin modificarse.

6.4 Resultados obtenidos de la serie de mediciones I-3.

6.4.1 Análisis del patrón de flujo en los planos horizontales (inclinación 30°).

De las mediciones efectuadas en la serie I-3 se pueden observar los

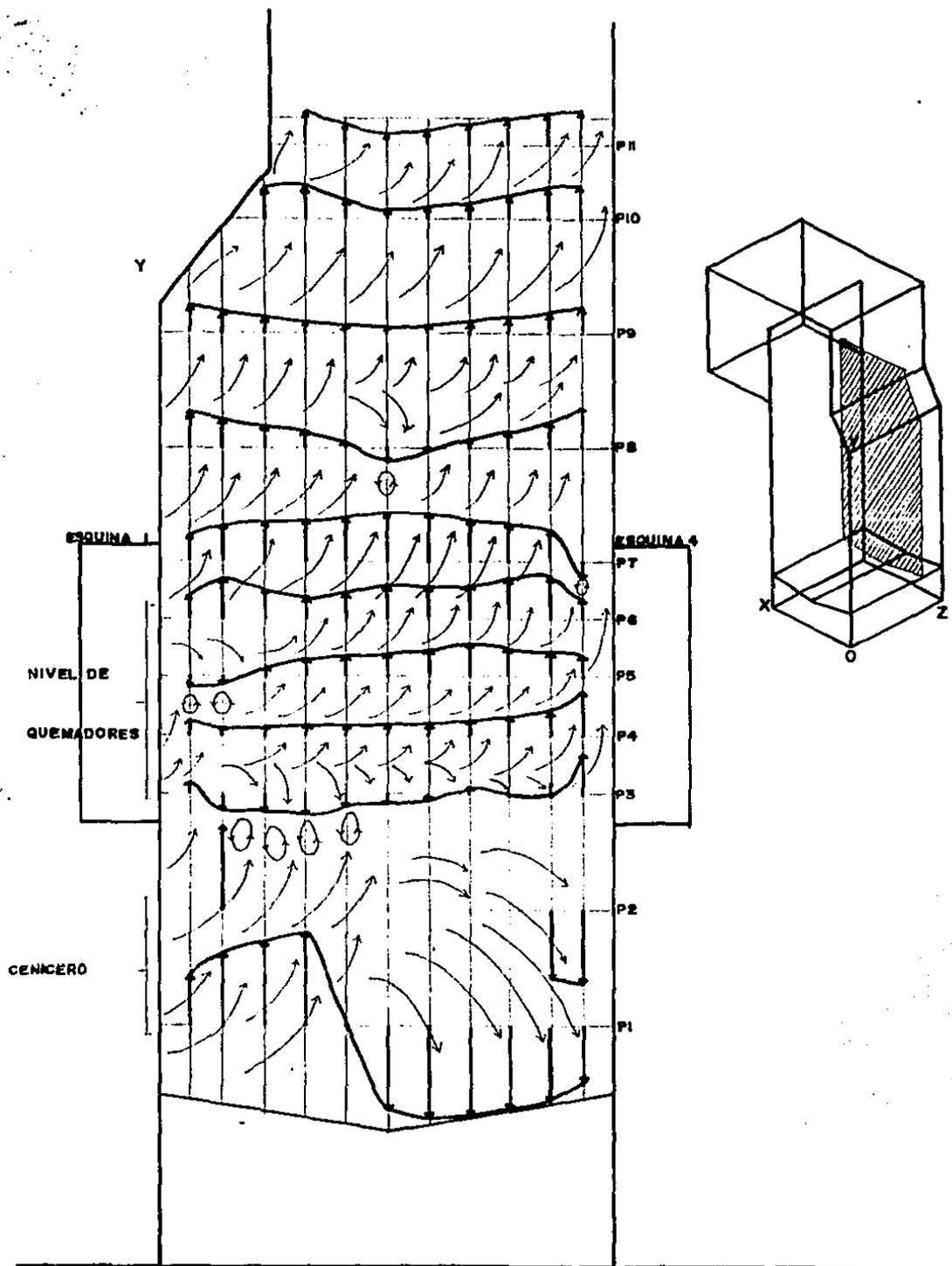


FIGURA 68. PLANO V5 A 43.05 DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES 0°G

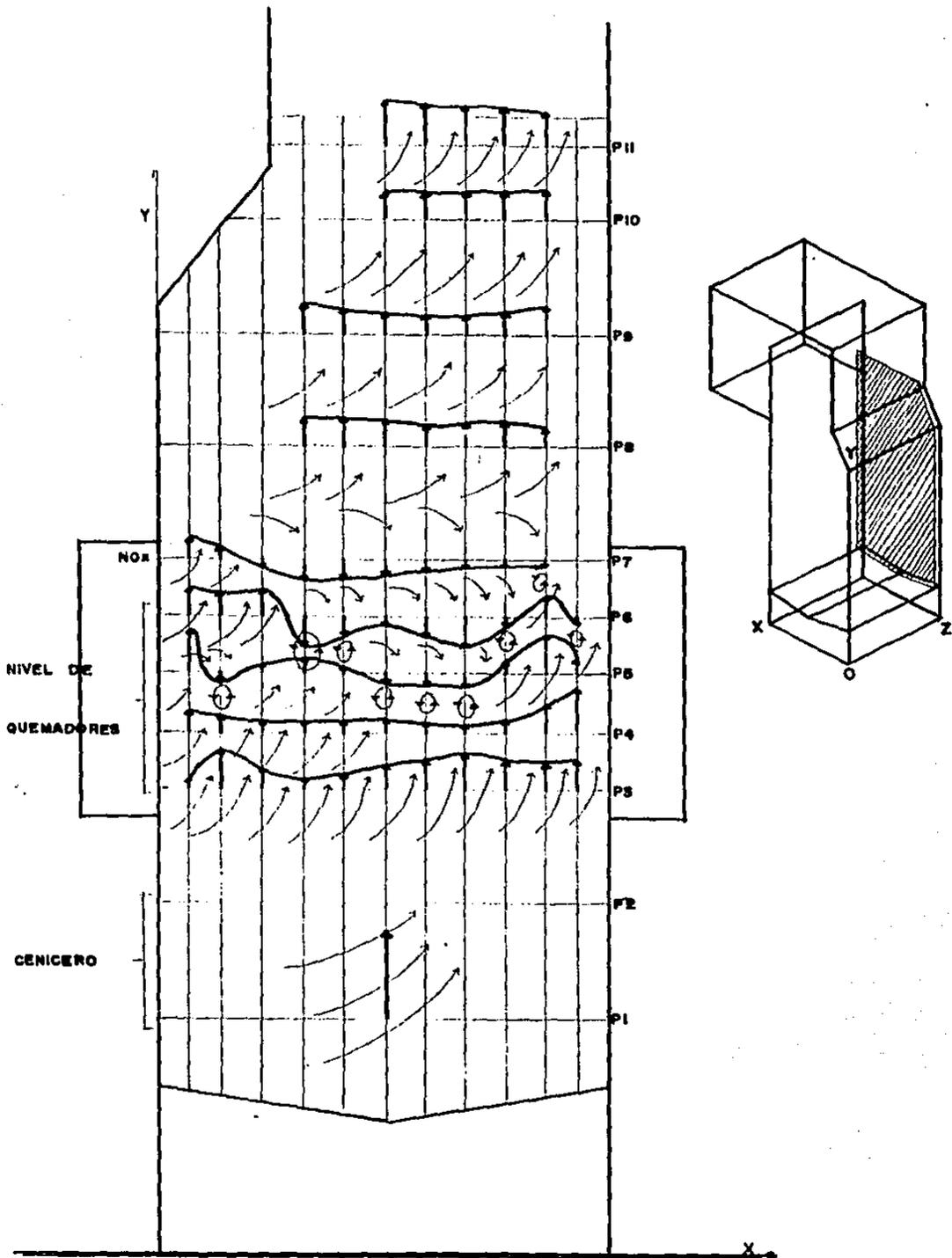


FIGURA 69 PLANO V6 A 53.05 DEL ORIGEN PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES 0°G

patrones de flujo que se obtienen inclinando las toberas 30° . A continuación se presenta una descripción de los planos obtenidos.

Las figuras 70, 71, 72 y 73 muestran los patrones de flujo en el plano horizontal, los cuales se ubican al centro de los quemadores. En estas figuras se observa que el ciclón empieza a formarse en el plano 3, en los planos superiores la configuración del patrón se amplía, llegando a ser completa en el nivel más alto de quemadores (figura 73 , plano 6). En el plano 3 se muestran vectores cuya magnitud es muy pequeña comparada, por ejemplo, con la del plano 6 donde el ciclón ya está formado. Es importante señalar, así como se hizo en la descripción de los patrones de flujo correspondientes a -30° de inclinación, que los vectores que se localizan a la salida de las esquinas del hogar fueron tomados perpendicularmente a la salida de la tobera, a fin de realizar un chequeo del flujo de aire a la salida de cada una de las esquinas. En la figura 73 plano 6, se presenta el ciclón ya formado, se puede observar que no tiene una configuración completamente elíptica como la de los otros patrones ya analizados, si no más bien circular, sin que las componentes del flujo tiendan a recargarse hacia alguna de las paredes. De igual forma que en las otras condiciones ya analizadas, se presentan zonas de recirculación próximas a las toberas, dado que vuelven hacerse presentes vectores de velocidad con sentidos opuestos muy cercanos a las esquinas.

La figura 74 plano 7, muestra el patrón de flujo que se obtiene al centro de los compartimientos del NO_x , se observa que a pesar de que por las esquinas de este nivel no fluye aire hacia el hogar, el

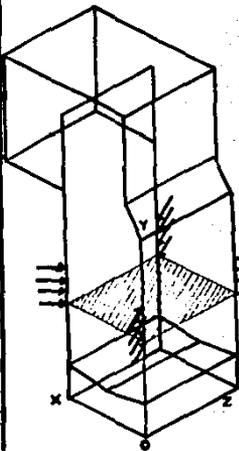
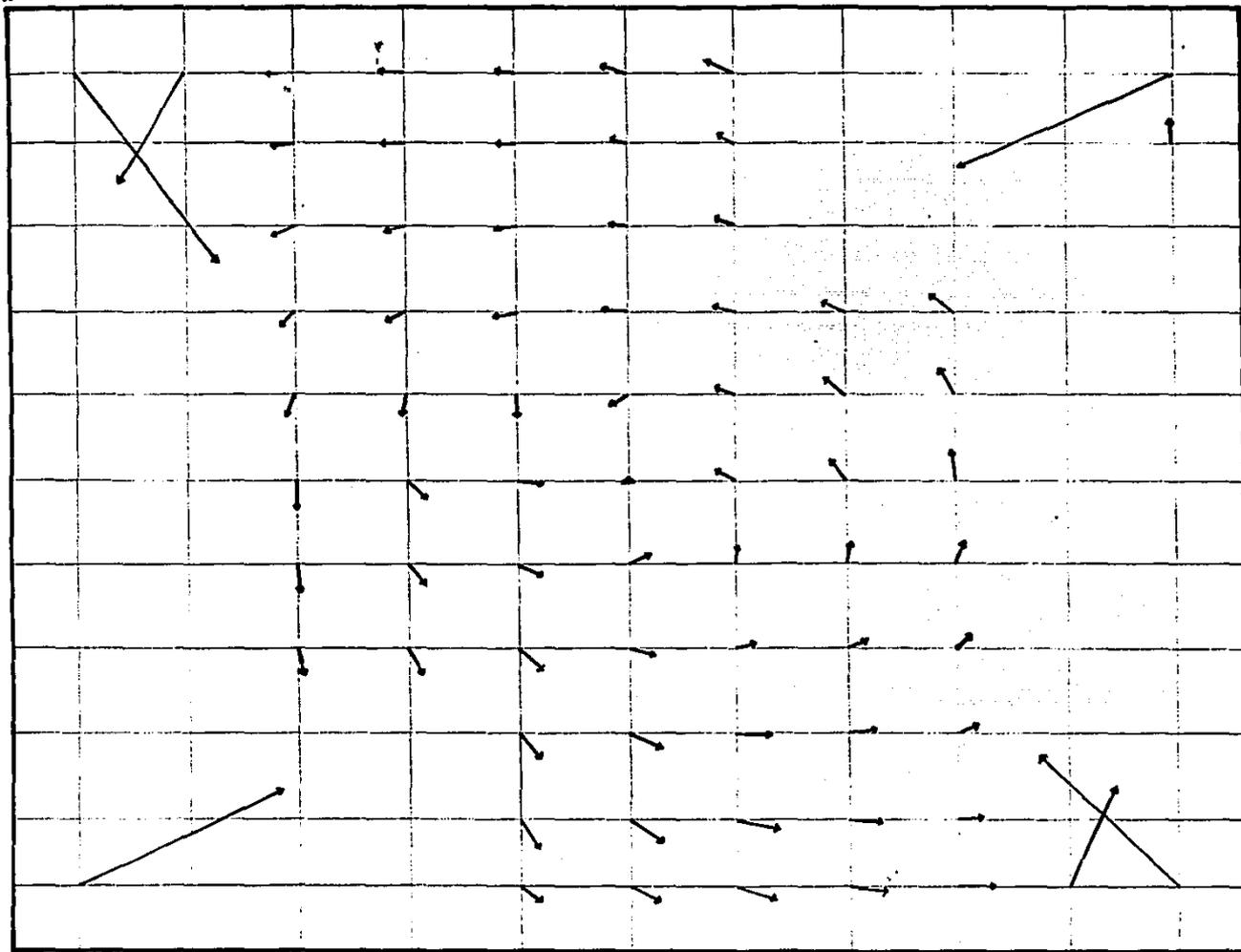


FIGURA 70 PLANO 3 INCLINACION DE QUEMADOR + 30° 1º NIVEL DE QUEMADOR

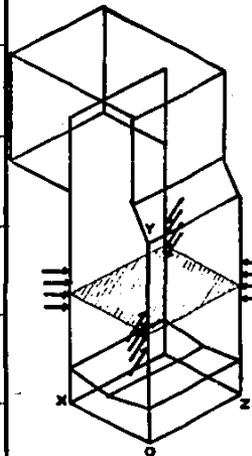
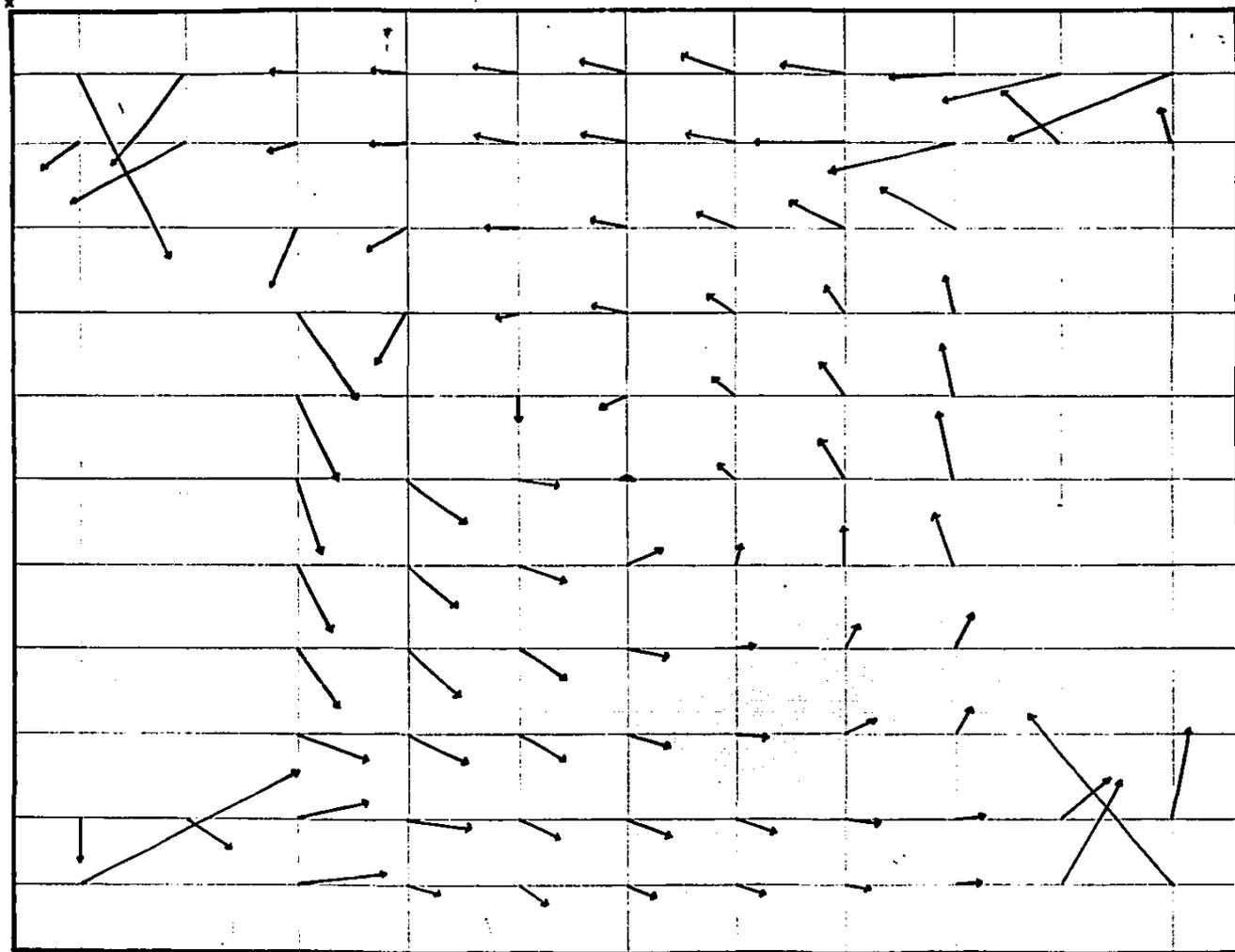


FIGURA 71 PLANO 4 INCLINACION DE QUEMADORES +30°G 2º NIVEL DE QUEMADOR

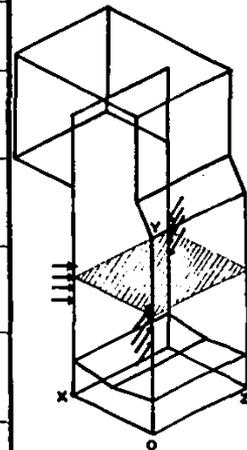
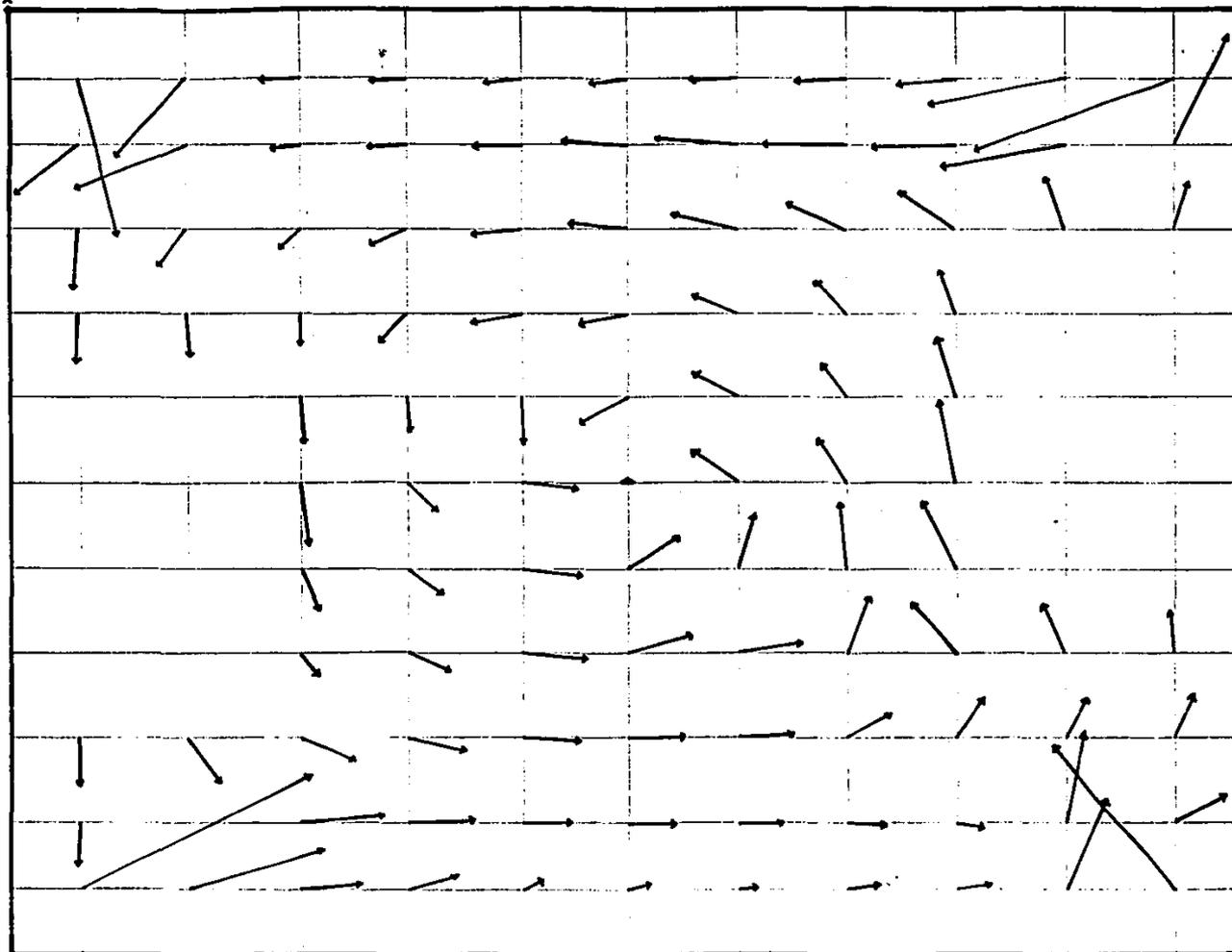


FIGURA 72 PLANO 5 INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G 3º NIVEL DE QUEMADOR

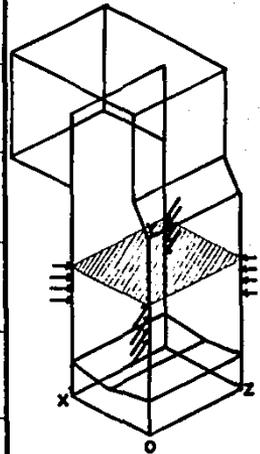
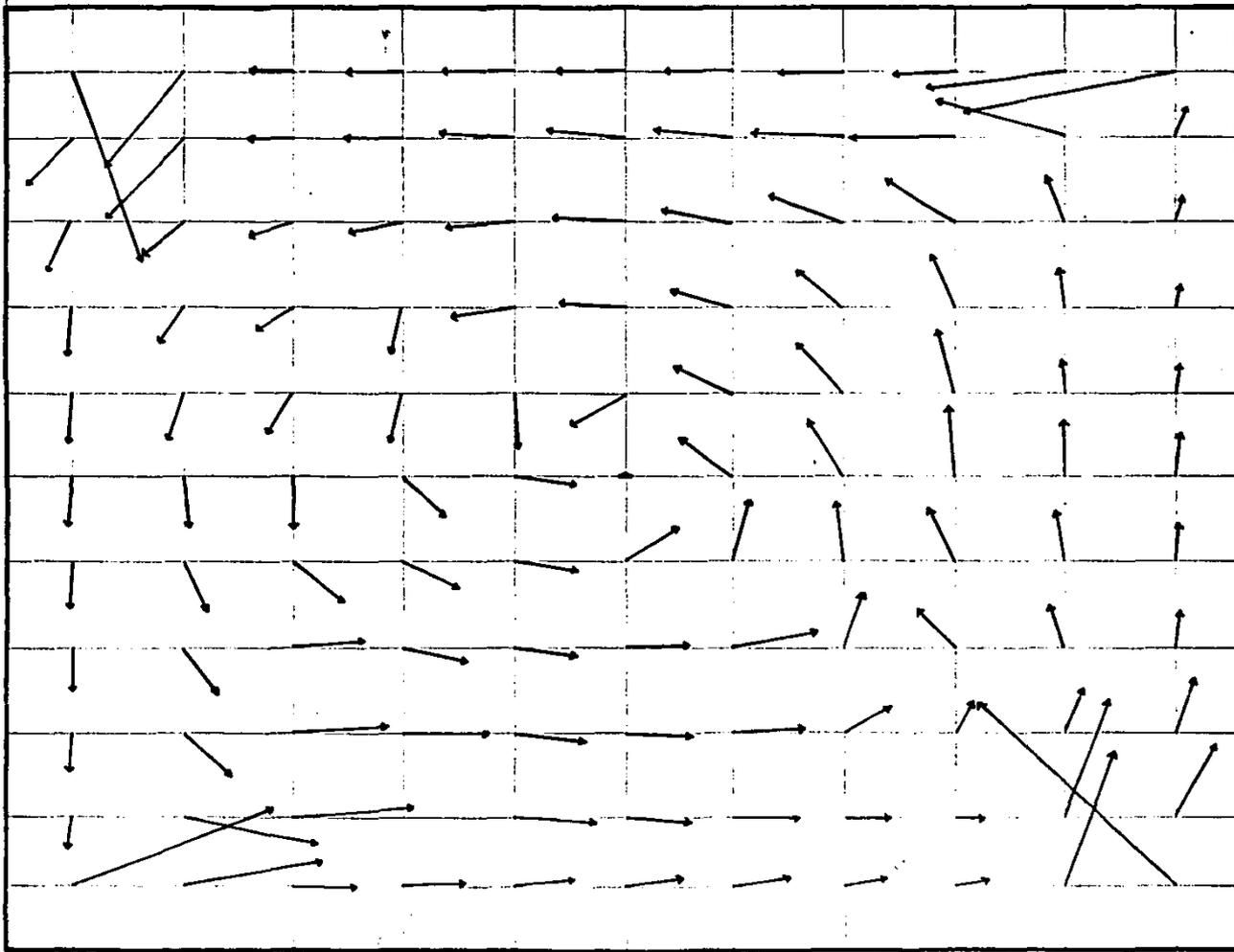


FIGURA 73 PLANO 6 INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G 4º NIVEL DE QUEMADOR

patrón sigue sin recargarse hacia las paredes como sucedió en los planos de NOx para las otras inclinaciones (0° y -30°). Su forma, a pesar de ser muy parecida a la del plano 6 ya no es tan circular como en éste. En la figura 75 plano 8, se observa que en este nivel, el ciclón empieza a abrirse hacia las paredes del hogar y su forma deja de ser circular para hacerse elíptica.

En el plano 9 figura 76, el cual se localiza cerca de la nariz del generador, el patrón de flujo no presenta ninguna modificación en su forma, es decir, aparentemente el centro del ciclón no se desplaza en sentido opuesto a la nariz del generador, conservando una forma muy parecida a la del plano anterior.

Las figuras 77 y 78 planos 10 y 11, muestran un ciclón bien balanceado, de forma elíptica, en el que sólo se desplazan los vectores centrales.

6.4.2 Análisis del patrón de flujo de los planos verticales (inclinación 30°).

Los patrones de flujo de la componente radial del vector de velocidad se muestran en las figuras 79 a 84, de las cuales se observa:

En la figura 79 , plano $V1+30^\circ$, el cual se localiza a 3.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Se observan dos zonas de recirculación, una cerca de la esquina 3, entre los planos 5 y 6, y otra cerca de la esquina 2 entre los planos 6 y 7. También se forman zonas de recirculación a lo largo de toda la pared formada entre las esquinas 2 y 3. Una vez que se rebasa el nivel de NOx los

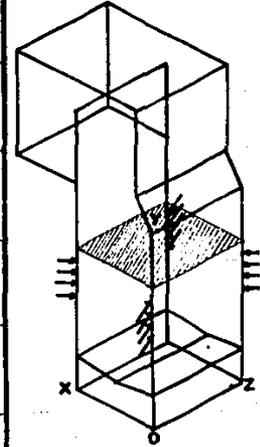
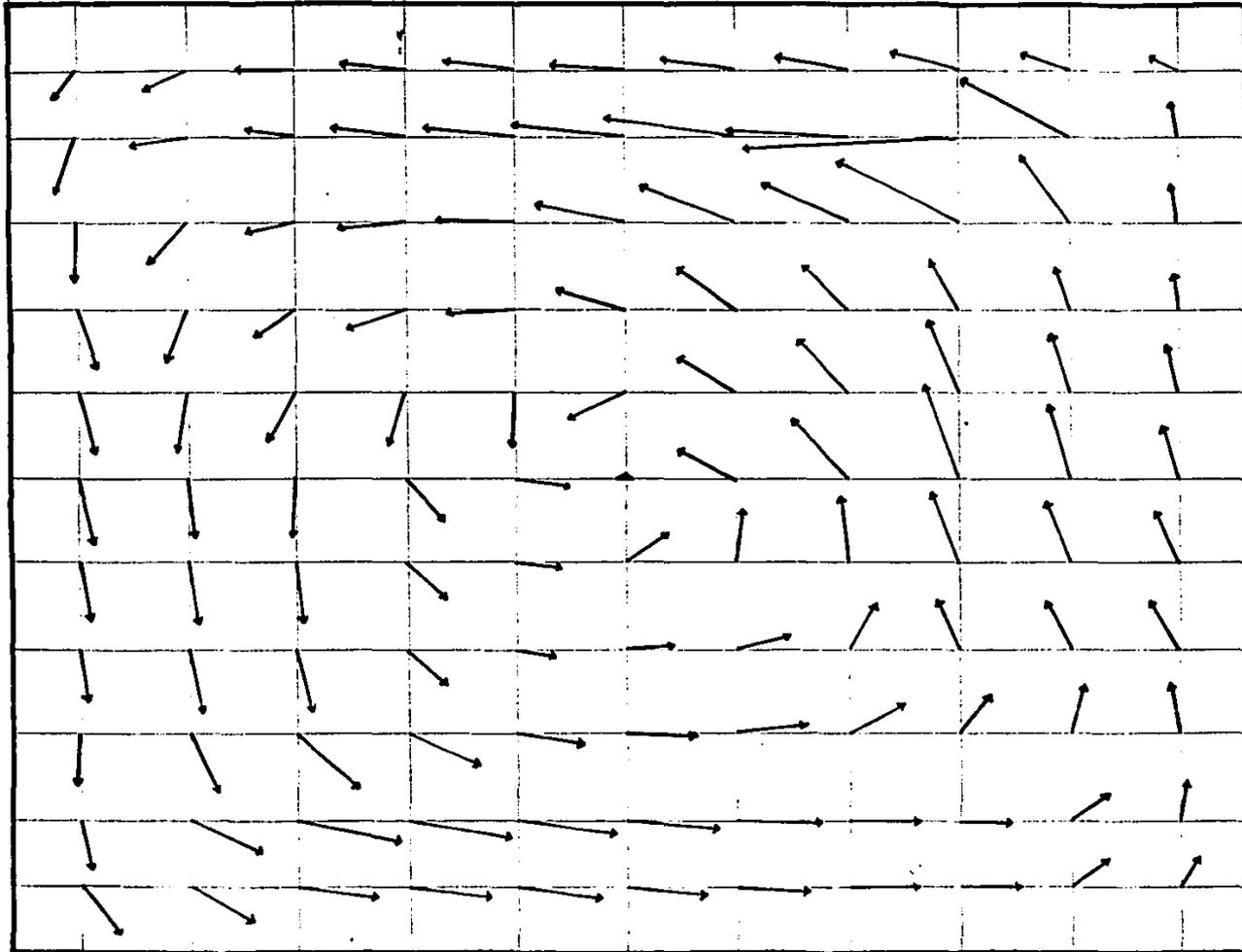


FIGURA 74 PLANO 7 INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G NIVEL NOx

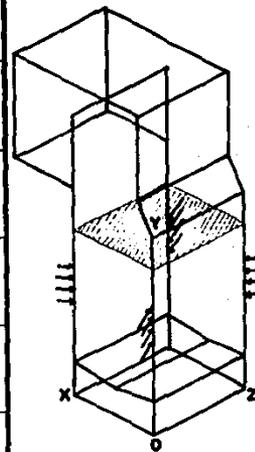
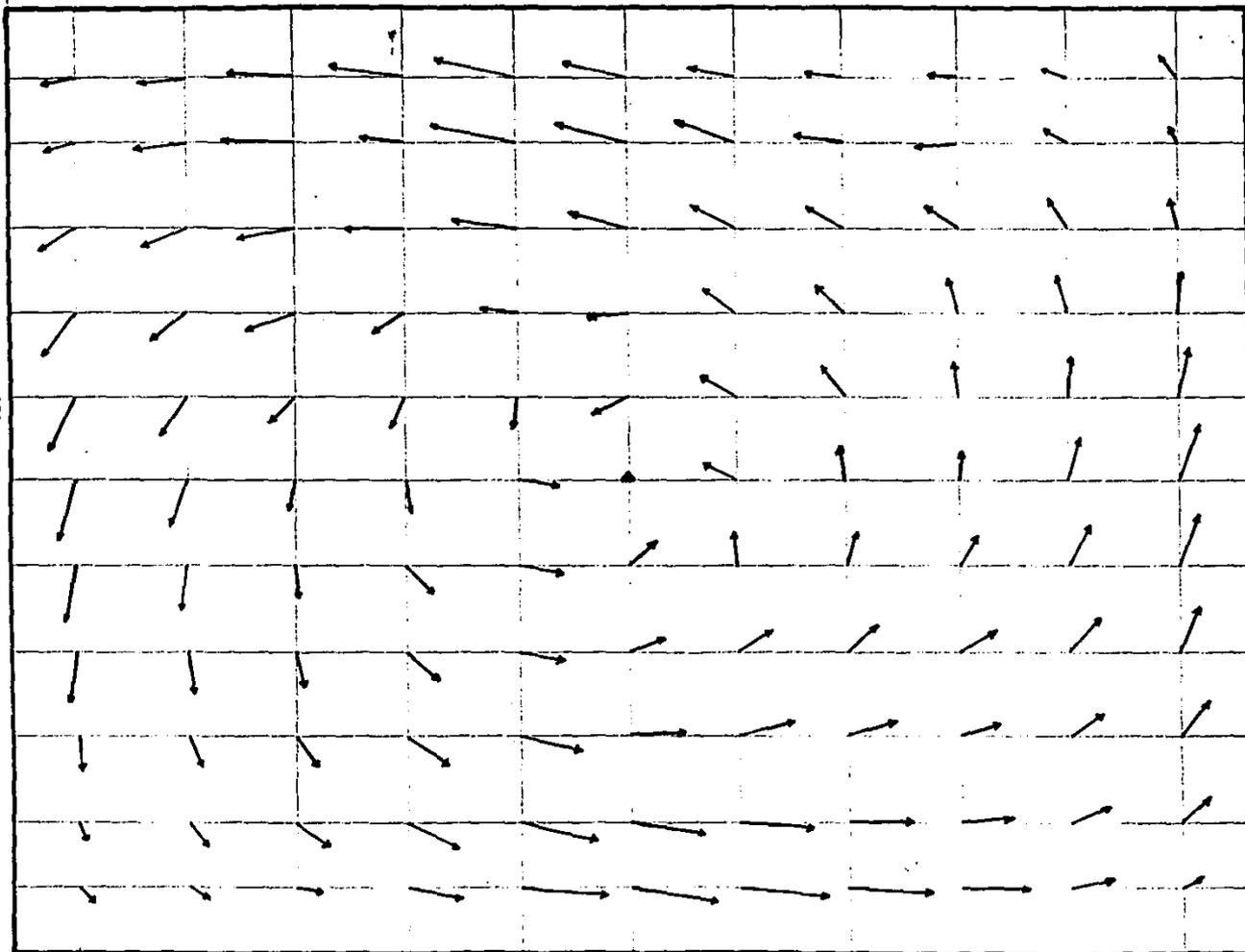


FIGURA 75 PLANO 8 INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G

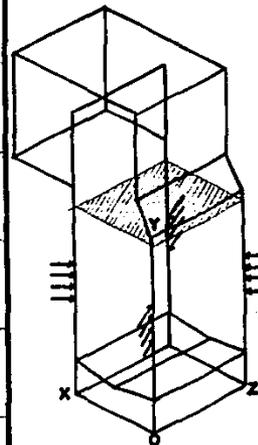
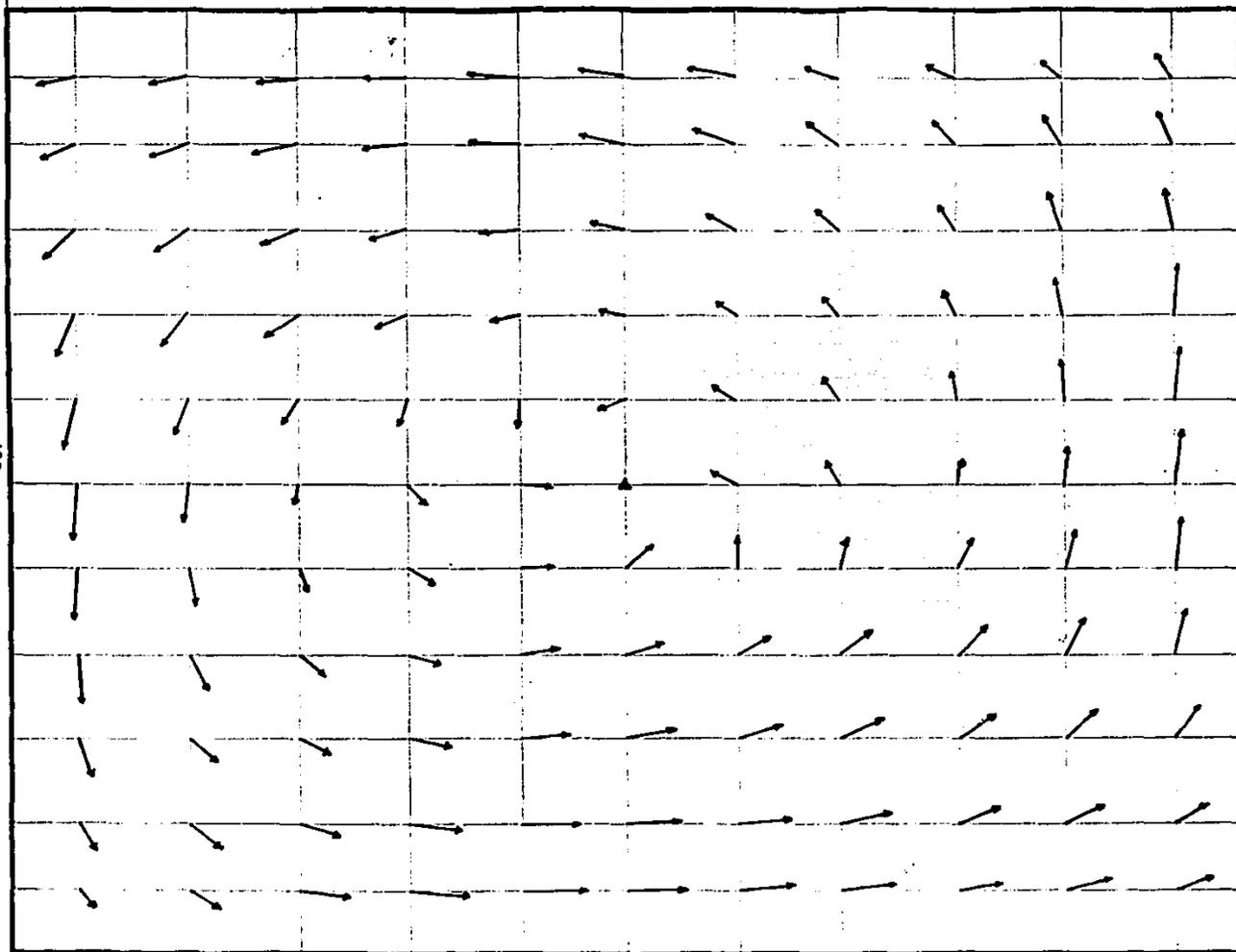


FIGURA 76 PLANO 9 INCLINACION DE QUEMADORES + 30° G

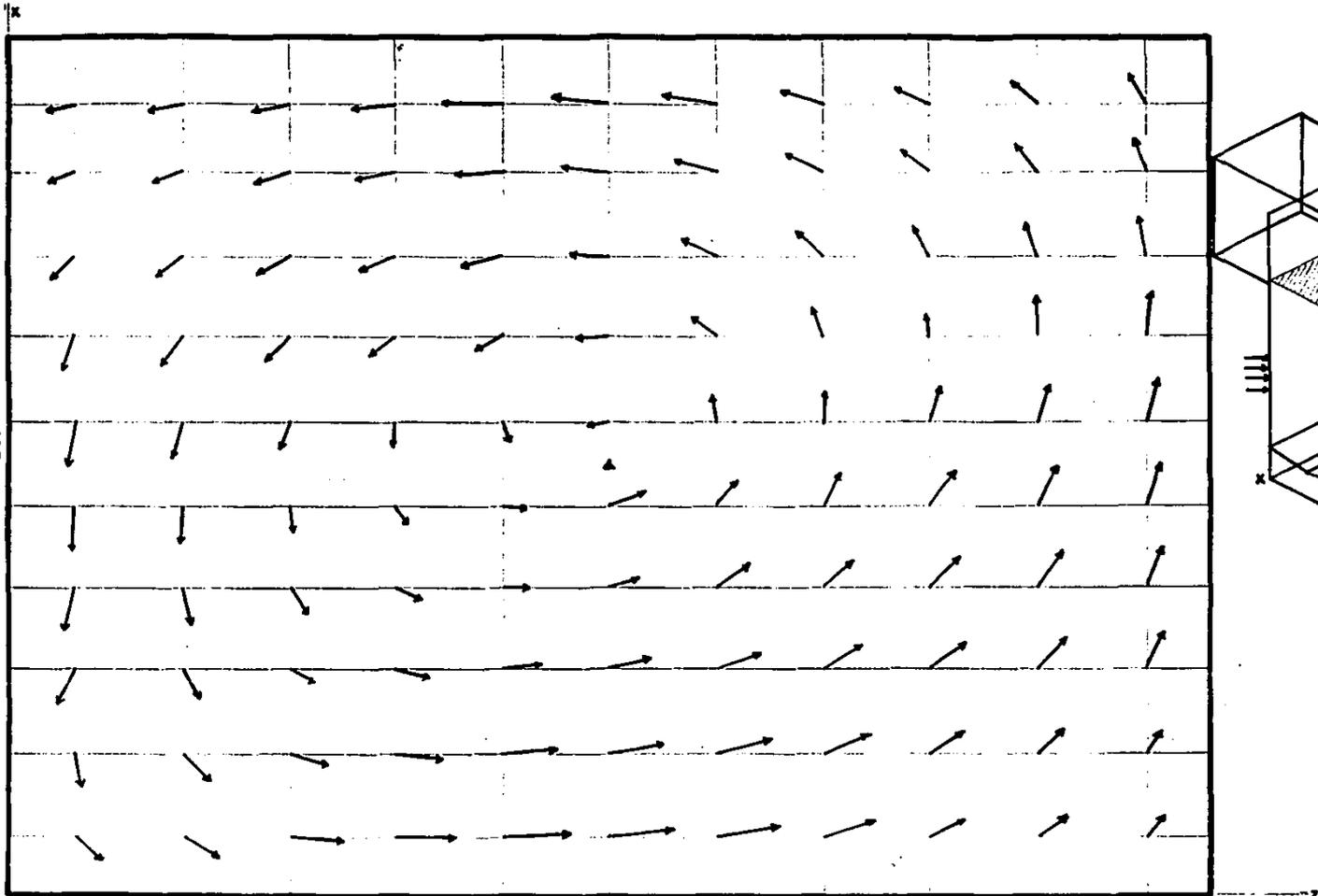


FIGURA 77. PLANO 10 INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G

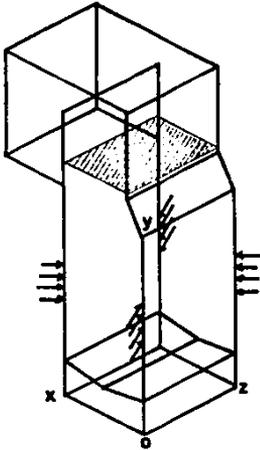
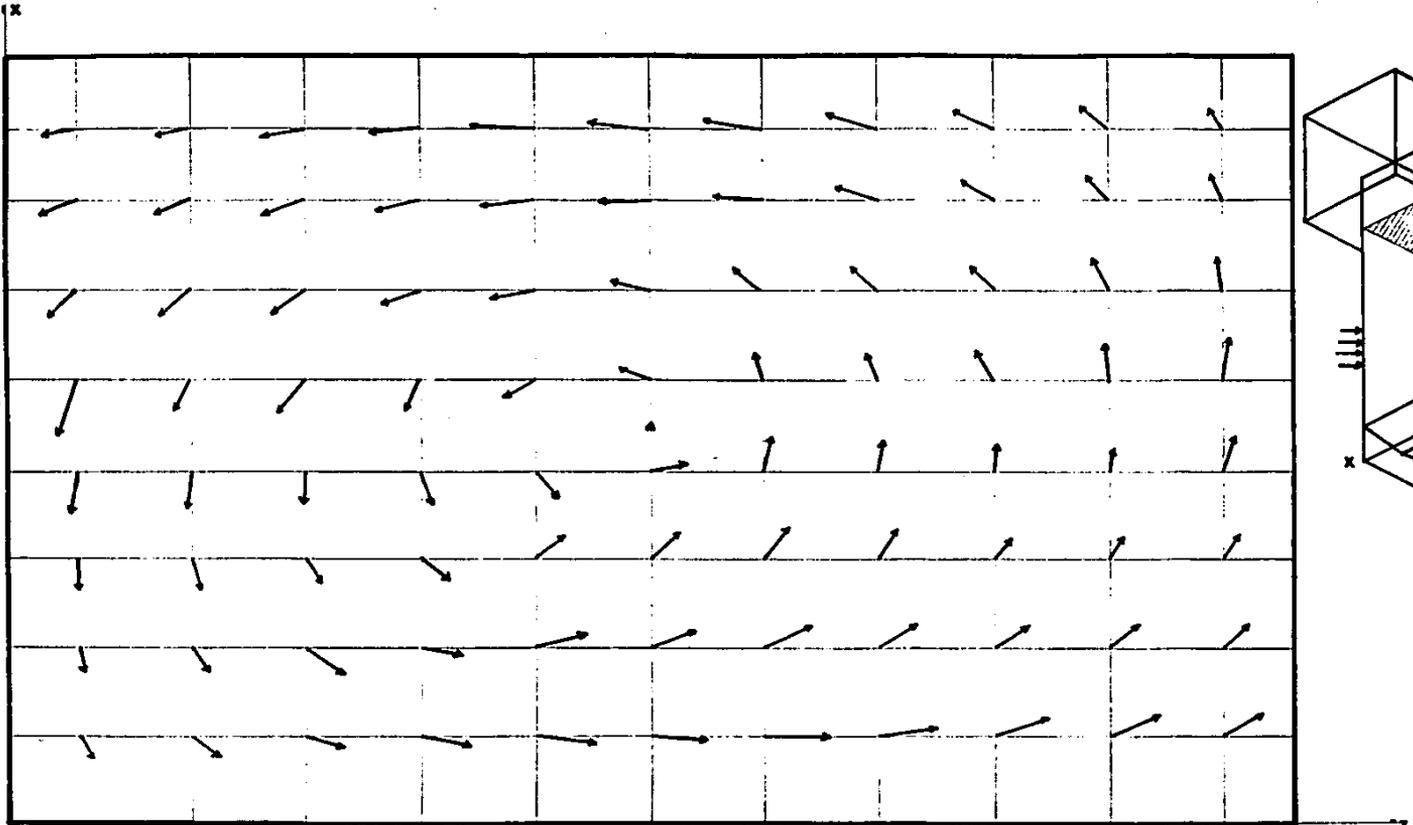


FIGURA 78 PLANO II INCLINACION DE QUEMADORES + 30° G

vectores son ascendentes, por lo cual el flujo de aire pegado a esta pared sale sin ninguna modificación.

Es importante hacer notar que el primer patrón de flujo ascendente completo se localiza en el plano 6 (último nivel de quemadores).

En la figura 80 plano $V2+30^\circ$ se observan pequeñas zonas de recirculación cerca de la esquina 3 entre los planos 4 y 5. Los vectores de velocidad que se obtienen en los planos 3, 4 y 5 son en su mayoría, descendentes pero de magnitud muy pequeña, lo cual hace suponer que existe un pequeño flujo de aire en los niveles de quemadores, sin llegar como ya se vió a formar un patrón completo. Los vectores de velocidad en el plano 6 y 7 de esta figura y de la anterior, muestran magnitud y sentido diferentes, por lo cual nuevamente el ciclón tiene dos movimientos de giro para esta inclinación. En los niveles superiores no se presentan zonas de recirculación ni separación de flujo, por lo cual cabe esperar que el flujo de aire salga sin alteración.

En la figura 81 plano $V3+30^\circ$ se localiza a 23.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. Analizando la primera sección (del centro hacia la esquinas 3 y 4) se observa que el flujo de aire cerca del centro del ciclón, en los niveles de quemadores, es ascendente y cerca de la pared es descendente, cambiando su sentido a medida que se consideran planos superiores. En la otra sección se observa que en los planos 3 y 4, los vectores de velocidad cerca del ciclón son descendentes pero los que se encuentran cerca de la pared son ascendentes, es decir, tiene el sentido contrario a los vectores de la otra sección. Sin embargo, a partir del plano 6 su configuración

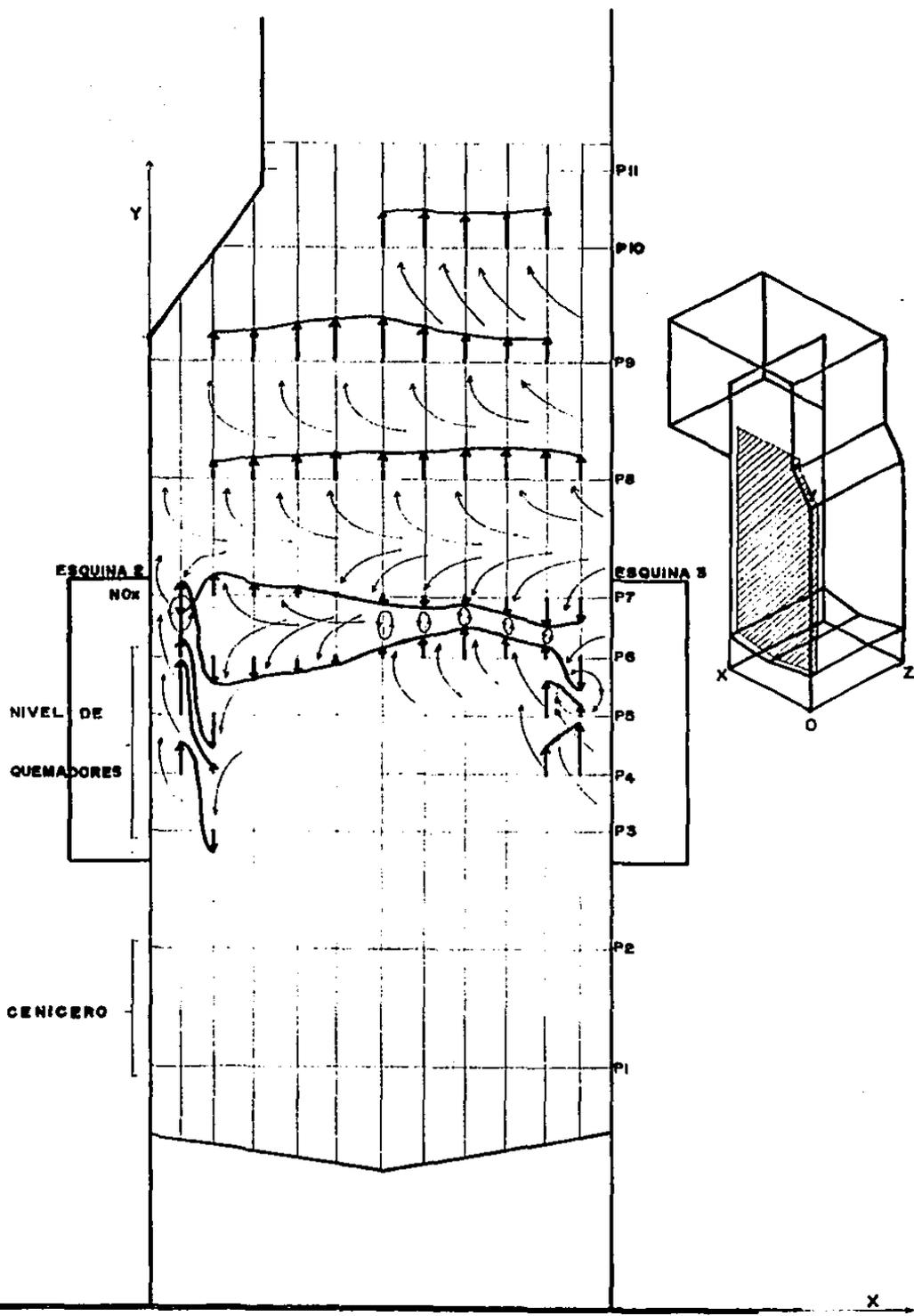


FIGURA 79. PLANO VI + 30° A 3.05 DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES + 30°G

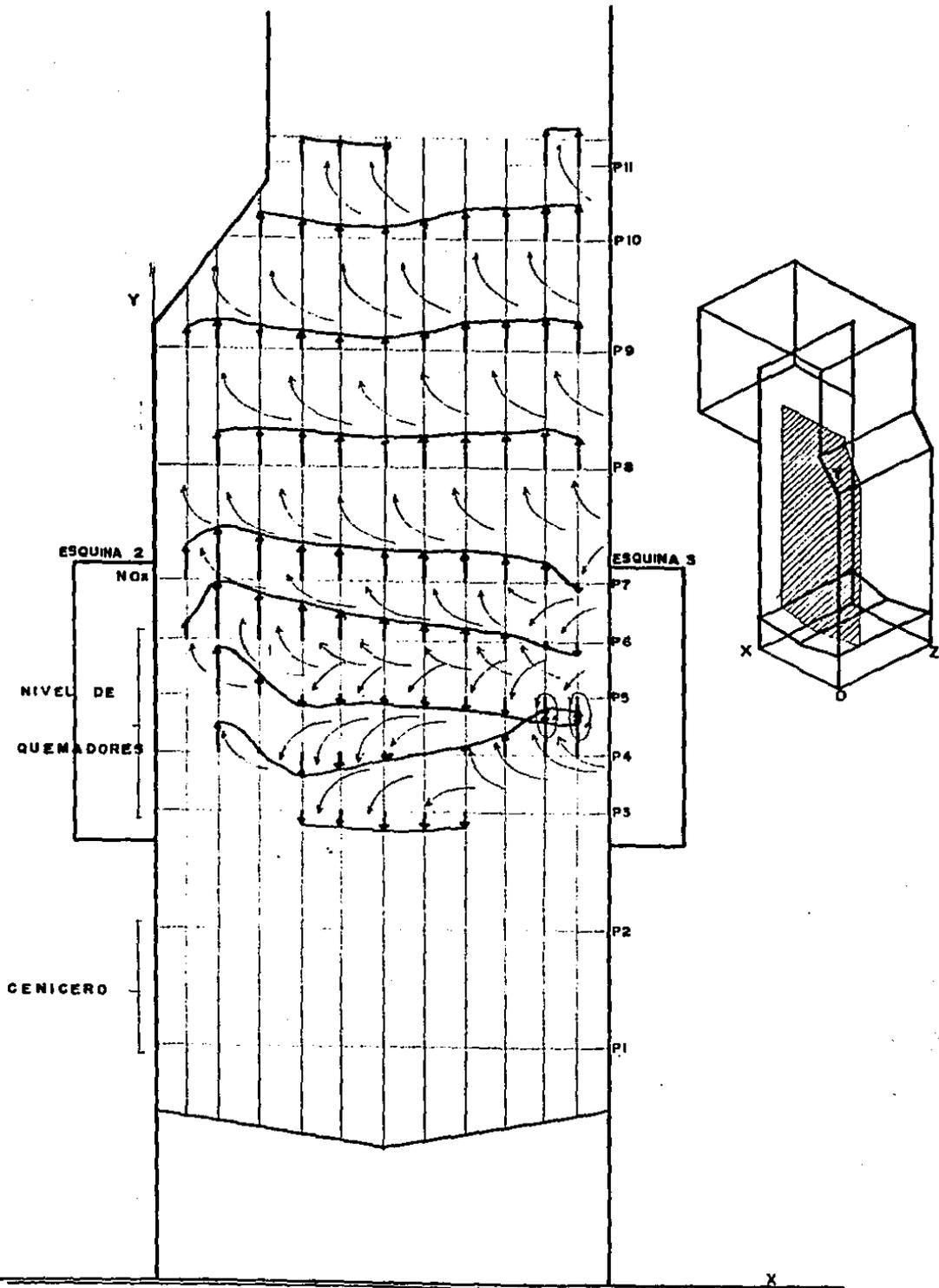


FIGURA 80. PLANO V2+30° A 13.05 cm. DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES + 30°. 167

es muy similar en ambas secciones. En el plano 8 de esta figura disminuyen los vectores de velocidad que se localizan sobre este plano, lo que hace suponer que en este nivel el centro del ciclón sufre un ensanchamiento, lo cual se repite en igual forma que en el patrón obtenido para -30° de inclinación, normalizándose una vez que se rebasa este nivel.

La figura 82 muestra el plano $V4+30^\circ$ el cual se localiza a 33.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY. De ésta, se puede observar que no existen cambios importantes en la forma del patrón, con respecto a la del patrón de la figura anterior, tan sólo existe una pequeña diferencia en el plano 5, en el que se observa que la magnitud de algunos vectores se ha incrementado en el lado derecho, en sentido ascendente y en el lado izquierdo en sentido descendente. De estas dos figuras se aprecia que el flujo de aire baja de la esquina 2 hacia la 1 y sube de la esquina 4 hacia la 3. Una vez que se alcanza el nivel 6, el patrón de flujo no sufre ninguna modificación.

En la figura 83 correspondiente al plano $V5+30^\circ$, el cual se localiza a 43.05 cm del origen sobre el eje Z, plano XY, se puede observar que los vectores de velocidad van disminuyendo al aproximarse a la pared que se encuentra entre las esquinas 1 y 4. La componente radial de los vectores de velocidad en el plano 4, de esta figura, son en su mayoría descendentes, siendo los próximos a la esquina 4 ascendentes. Del plano 5 en adelante el flujo de aire es ascendente, existiendo, cerca de la esquina 4, una pequeña zona de recirculación entre los planos 6 y 7.

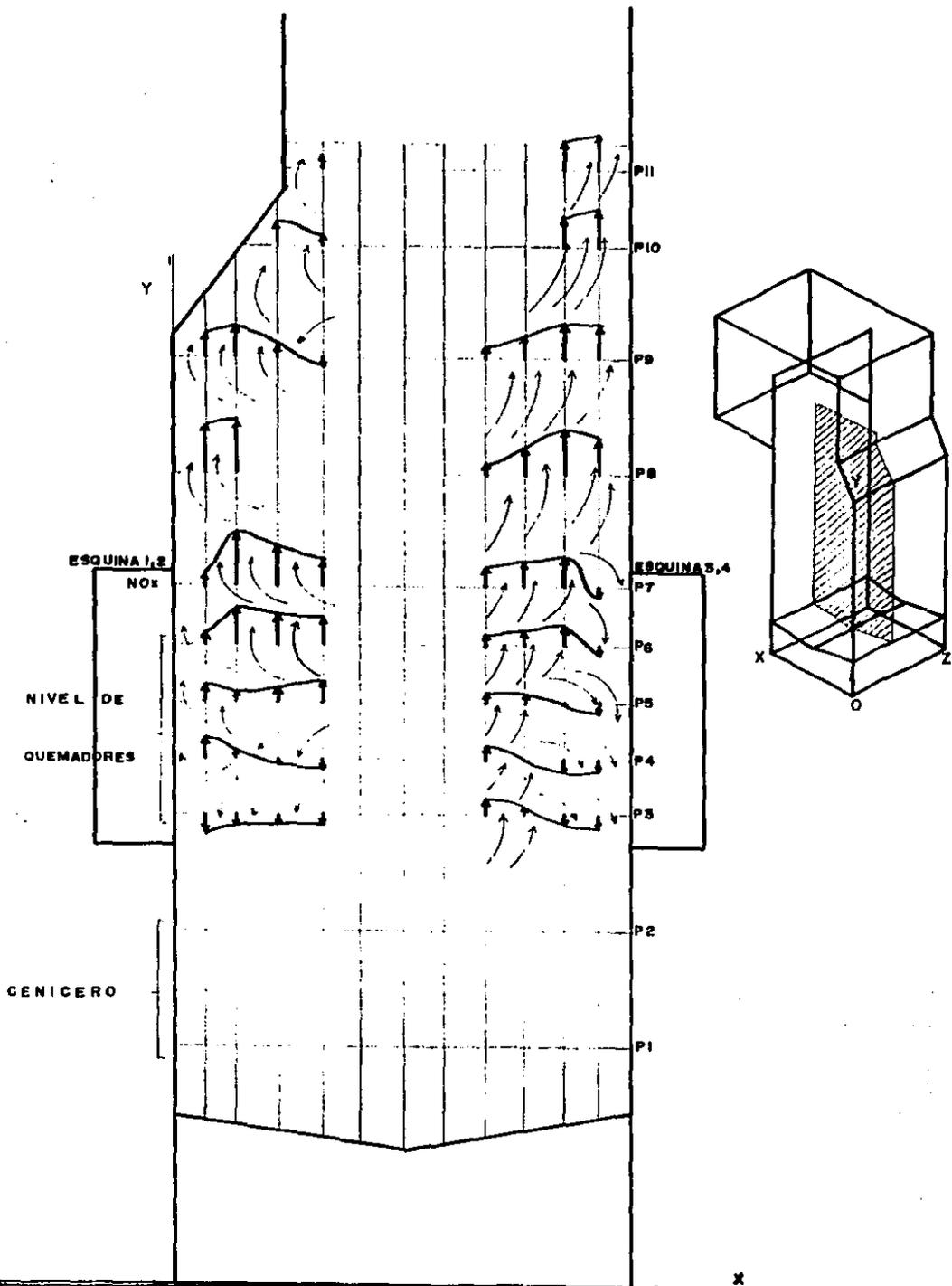


FIGURA 81 . PLANO V3+30° A 23.05 cm. DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACIÓN DE QUEMADORES +30°. 169

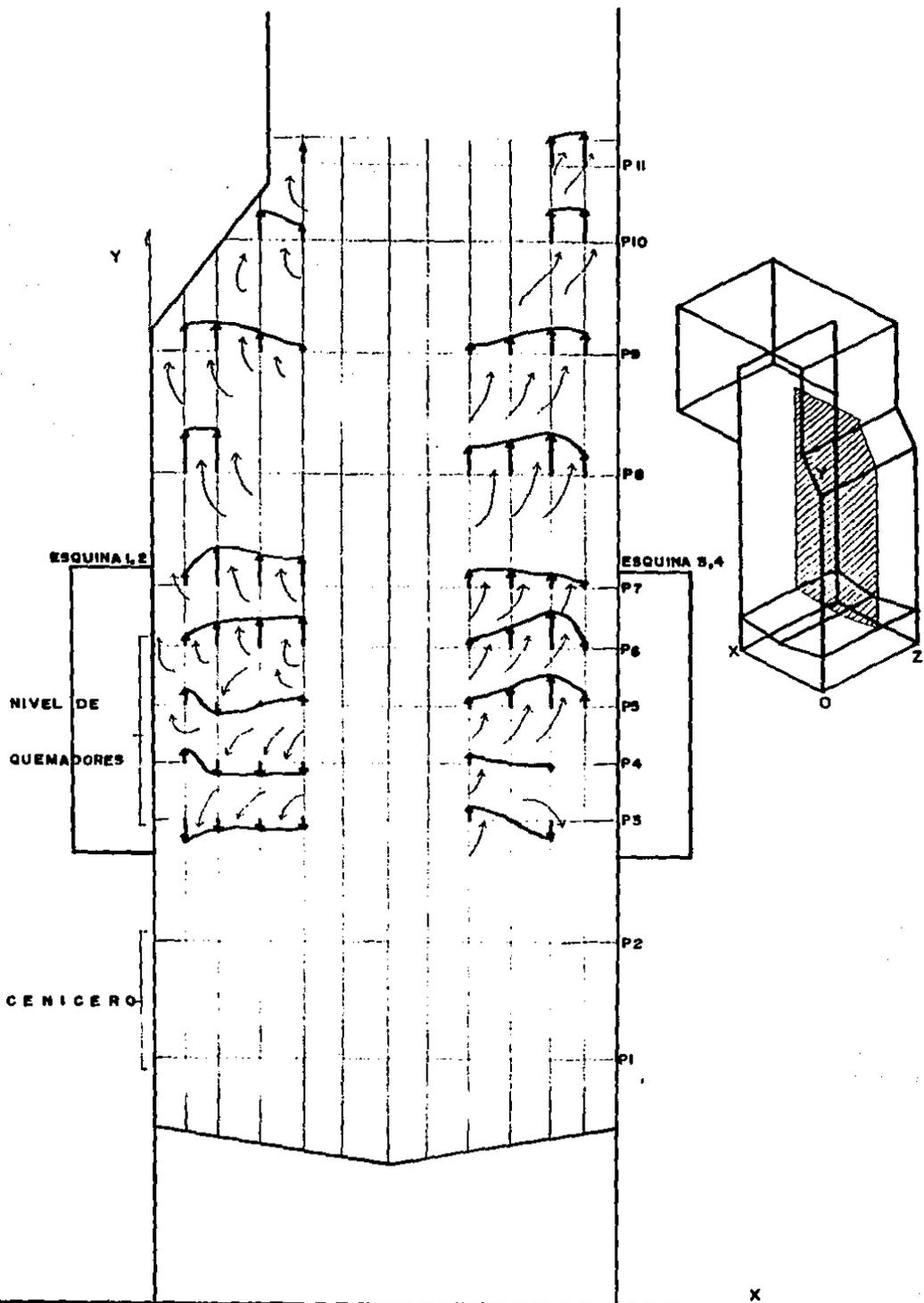


FIGURA 82. PLANO V4+30° A 33.05 cm. DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES + 30°. 170

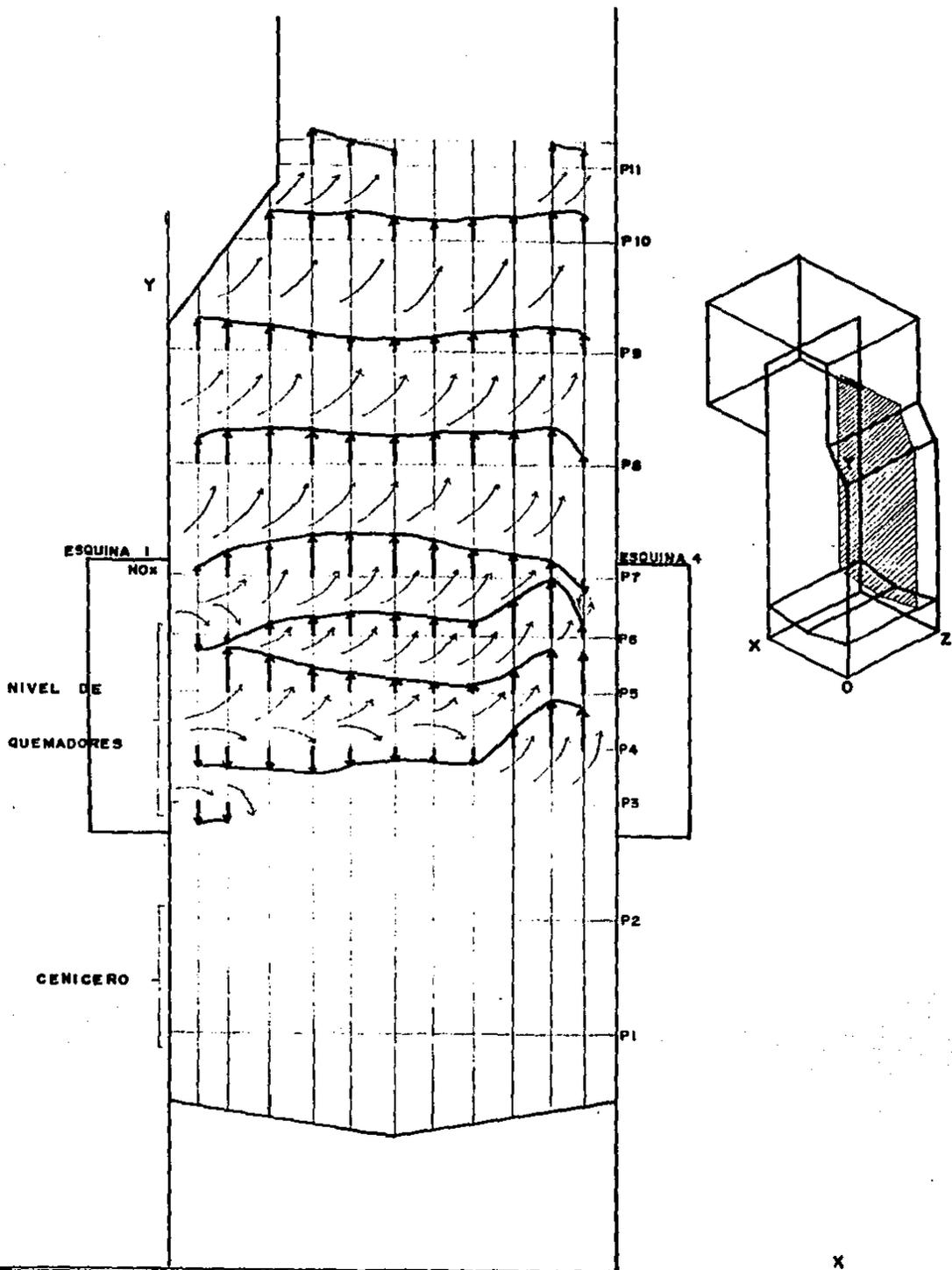


FIGURA 83 .PLANO V5+30° A 43.05 cm. DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES +30°.

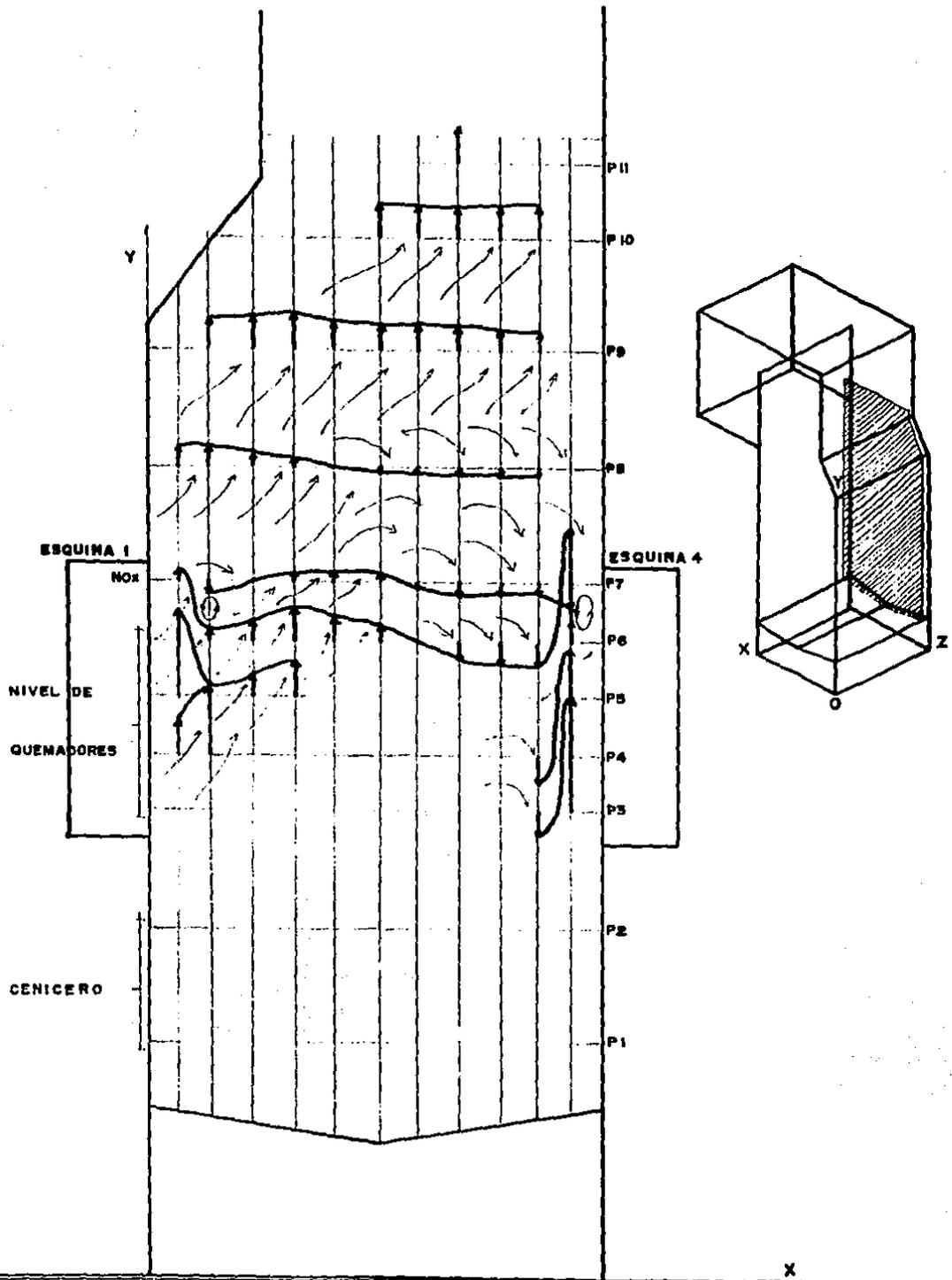


FIGURA 84 . PLANO V6 +30° A 53.05 cm. DEL ORIGEN, PLANO XY INCLINACION DE QUEMADORES +30°.

En la figura 84 plano $V6+30^\circ$, se observa que entre los planos 6 y 7 se presentan zonas de recirculación cerca de las esquinas. La dirección de los vectores radiales indican que el flujo asciende y desciende continuamente cerca de la pared formada entre las esquinas 1 y 4. Si se relacionan estos vectores con los de la figura anterior, se observa que el ciclón formado a partir del plano 6 hasta el plano 8, además de girar, continua rotando sobre su eje radial.

6.5 Resultados de los patrones de mezclado.

De las mediciones del gas trazador efectuadas en la serie II, las cuales se realizaron para lograr el segundo objetivo de este trabajo, se obtuvieron los resultados que se presentan de la tabla 1 a la 7 (ver Apéndice III), las cuales graficadas se presentan a continuación.

6.5.1 Análisis de los resultados del patrón de mezclado cuando se inyecta el gas trazador en todos los quemadores de la esquina 1.

La serie II-1 figuras 85, 86 y 87 muestran las zonas de mayor concentración cuando se inyecta el gas trazador en el quemador 1.A (donde el 1 corresponde a la esquina y A el primer nivel). De esta serie podemos observar que la mayor concentración de gas para una inclinación de -30° (figura 85) se localiza en las secciones 2B y 1B, siendo los valores máximos de concentración registrada de 12 y 11.65 respectivamente y el valor mínimo de 9.7. Sin embargo, los promedios de las concentraciones de ambos lados (N norte y S sur) tienen apenas una diferencia de 0.25.

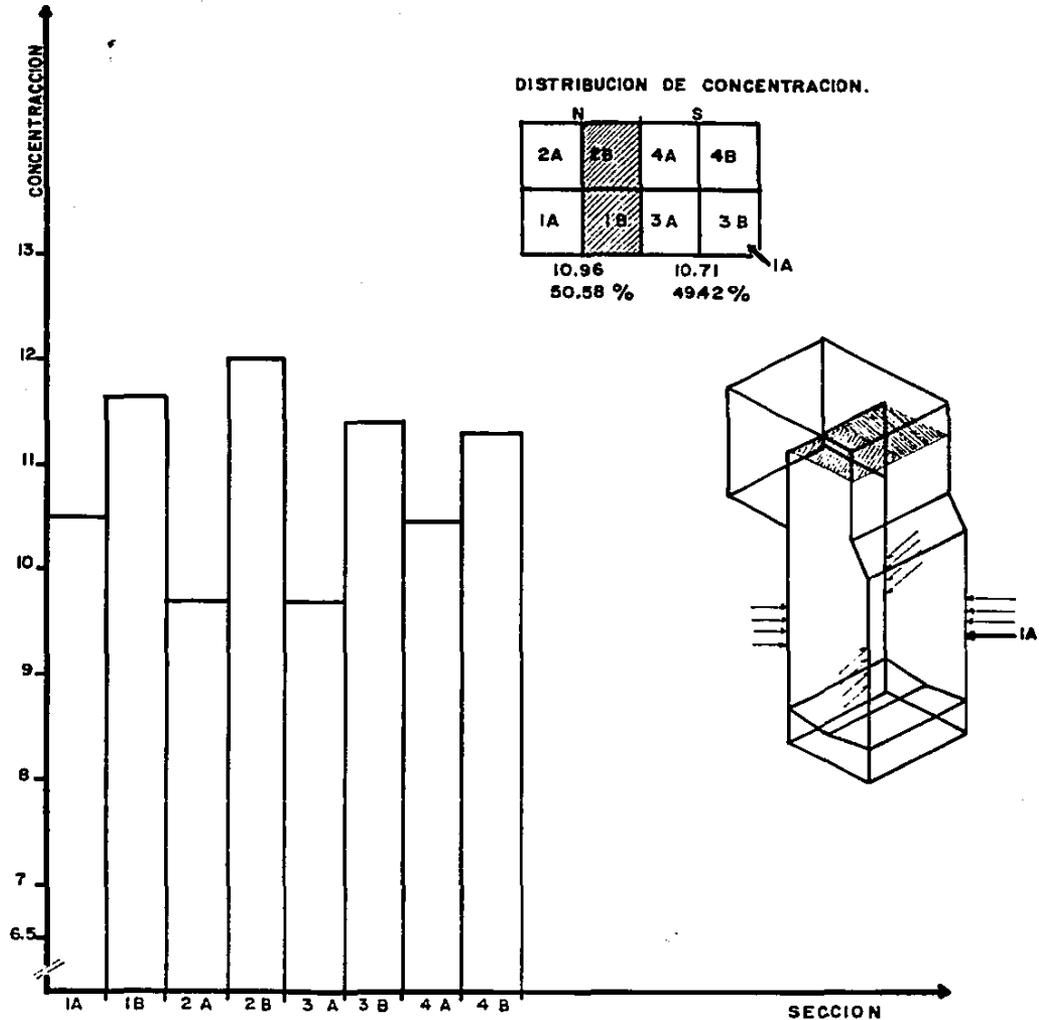


FIGURA 65 .PATRON DE MEZCLADO PARA EL QUEMADOR IA, INCLINACION DE QUEMADORES -30°.

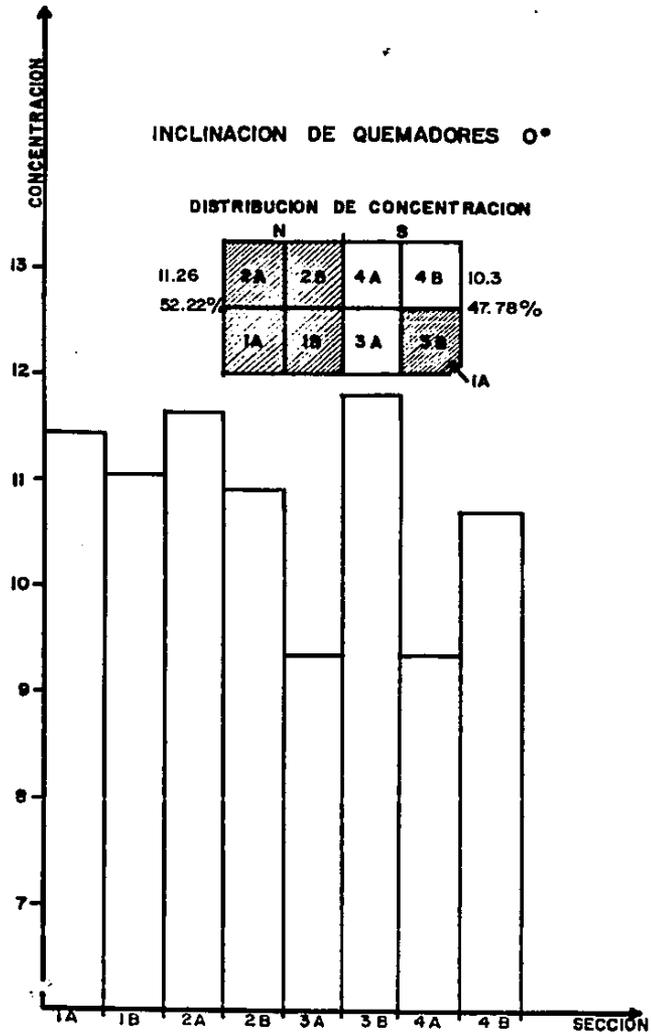


FIGURA 86 . PATRON DE MEZCLADO QUEMADOR IA .

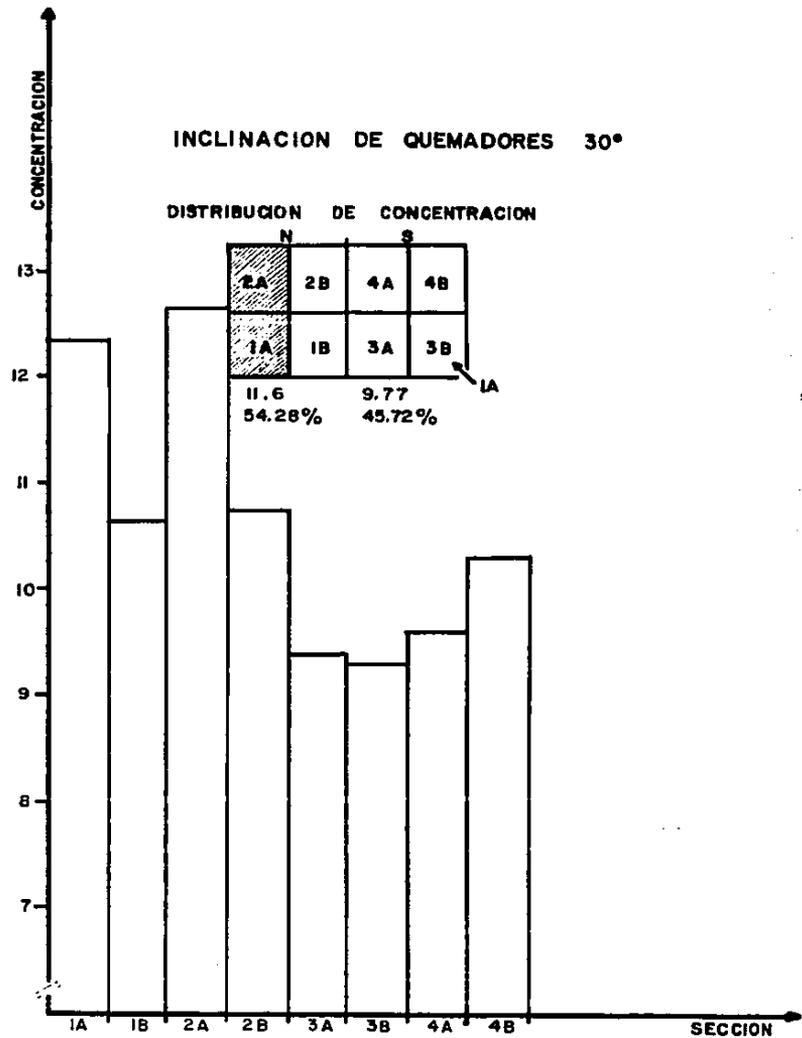


FIGURA 87 . PATRON DE MEZCLADO QUEMADOR IA .

Para una inclinación de 0° de las toberas de aire (figura 86) la distribución de concentraciones se registra con valores muy parecidos en todas las secciones del lado Norte, sin embargo, el máximo registrado se localiza en la sección 3B, la cual corresponde al lado Sur. De los promedios de concentración se observa que ésta es mayor en el lado Norte en un 0.96 que el lado Sur.

En la figura 87 se observa el patrón de mezclado obtenido para una inclinación de $+30^\circ$, en esta figura se aprecia que las secciones de mayor concentración vuelven a ser la 2A y 1A, siendo los valores máximos de concentración de 12.65 y 12.35 respectivamente. La diferencia de concentración de gas trazador vuelve a ser mayor en el lado Norte, ahora en un 1.83.

La serie II-2 se presenta en las figuras 88, 89 y 90, las cuales muestran el patrón de mezclado que se obtiene al inyectar el gas trazador en el quemador I.B. En la figura 88 se muestra el patrón de mezclado para una inclinación de -30° , en la cual se observa que aunque la mayor concentración de gas se registra en las secciones 2B y 1B, la concentración en las secciones 4B y 3B tienen valores muy próximos a éstas. Pese a lo anterior, los promedios de concentración entre ambos lados es también mayor en el lado Norte en un 0.65.

Para una inclinación de 0° el patrón de mezclado se muestra en la figura 89, en la cual se observa que las secciones de mayor concentración vuelven a ser 2B y 1B; sin embargo, las concentraciones en las secciones 3B y 4B disminuyen considerablemente por lo cual la diferencia de los promedios entre

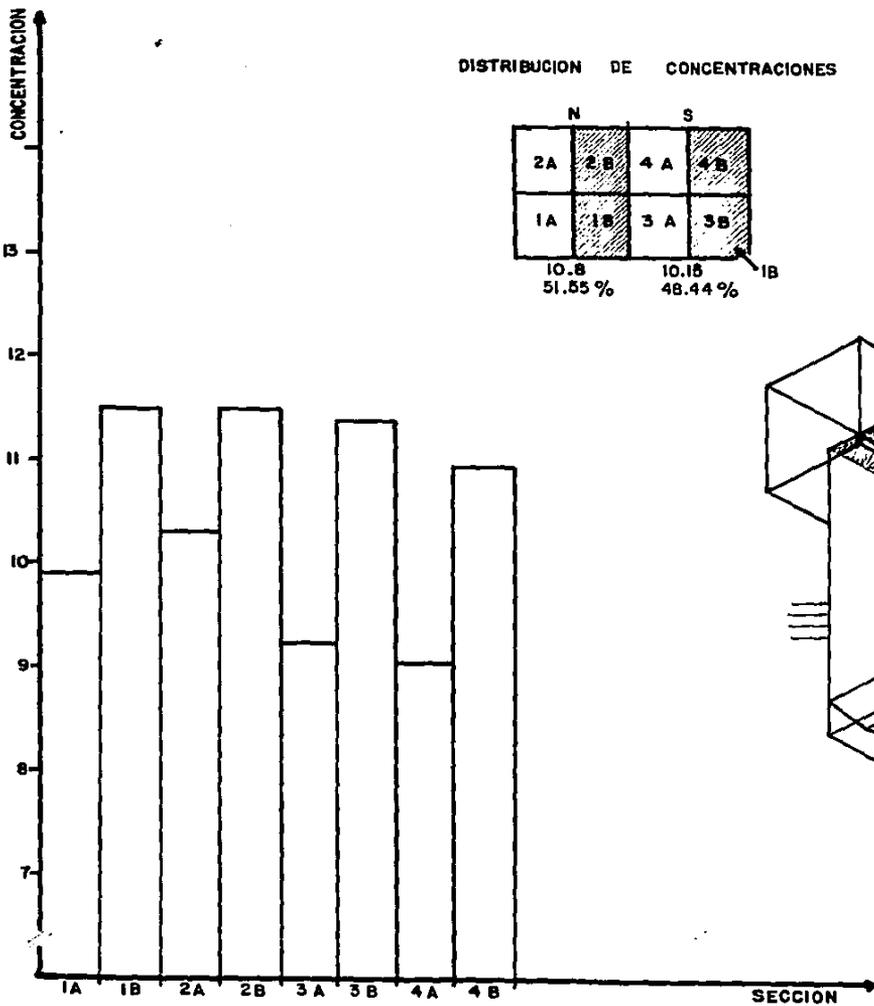


FIGURA 88 . PATRON DE MEZCLADO, QUEMADOR SIMULADO IB, INCLINACION DE QUEMADORES -30°.

INCLINACION DE QUEMADORES 0°
QUEMADOR SIMULADO IB

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
10.0	8.78		
53.23%	46.76%		

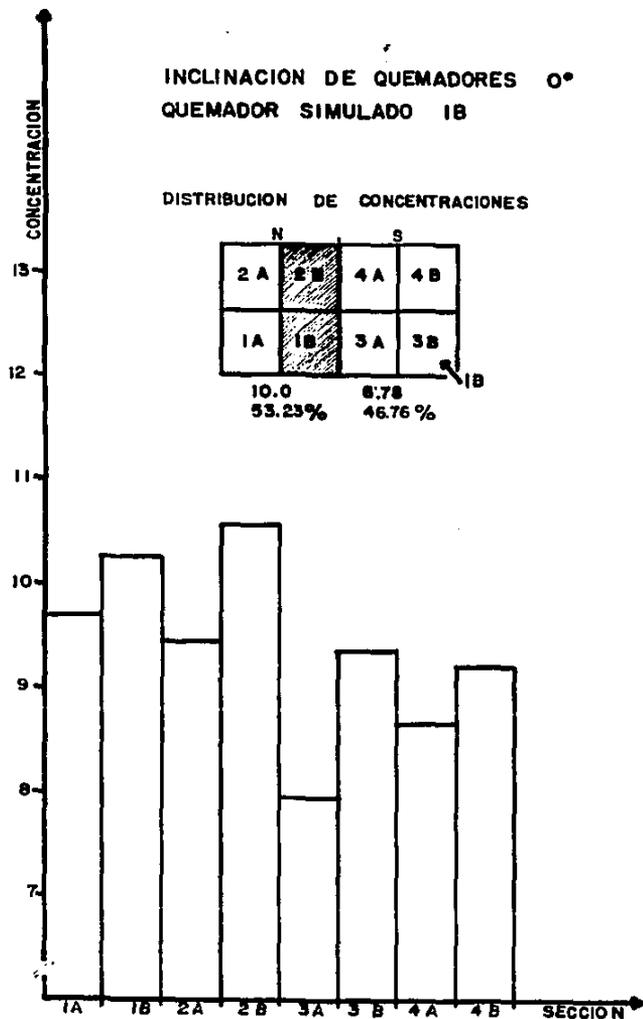


FIGURA 89

INCLINACION DE QUEMADORES 30°
QUEMADOR SIMULADO IB

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
11.14	9.18		
54.81%	45.19%		

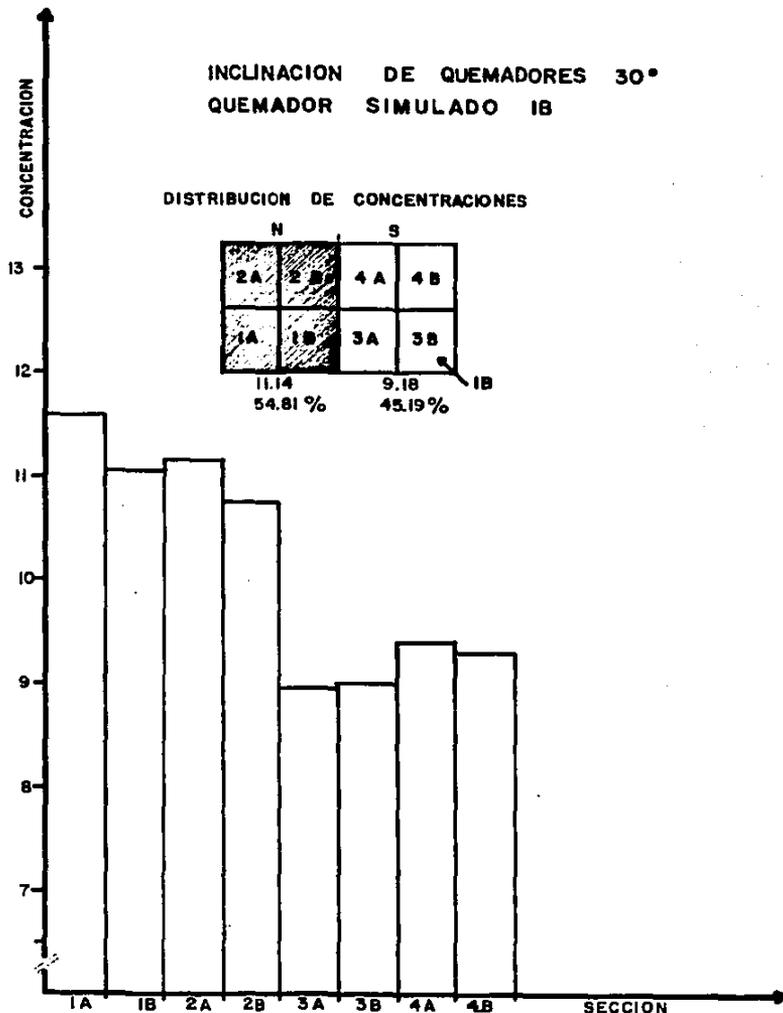


FIGURA 90

ambos lados se incrementa en 1.22 mayor en el lado Norte.

El patrón de mezclado para una inclinación de $+30^\circ$ se presenta en la figura 90, en donde se puede observar que la concentración de gas trazador es similar en todas las secciones del lado Norte y en todas las del lado Sur. Sin embargo la diferencia de los promedios es elevada (1.96).

La serie II-3 muestra los patrones de mezclado cuando la inyección del gas trazador se efectúa en el quemador 1.C, los resultados se presentan en las figuras 91, 92 y 93 las que corresponden a -30° , 0° y $+30^\circ$ de inclinación. En estas tres figuras se observa que la mayor concentración se localiza nuevamente en el lado Norte para los tres casos, siendo las diferencias de sus promedios de concentración de 0.88 para -30° , de 1.16 para 0° y de 1.92 para $+30^\circ$. Las secciones de mayor concentración para los tres casos son la 1A, 1B, y 2B.

La serie II-4 se realizó para obtener el patrón de mezclado del nivel más alto de quemadores de la esquina 1 (quemador 1.D), los resultados siguientes servirán también para el análisis que se hace de la serie III, es decir cuando se analiza el nivel más alto de quemadores de las otras esquinas.

La figura 94 muestra el patrón de mezclado para una inclinación de -30° , en la cual se observa que la mayor concentración del gas trazador se localiza en el centro del ducto de salida de gases. Los valores registrados no presentan una diferencia muy grande entre ellos, de tal forma que la diferencia de los promedios de

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
10.2		9.32	
52.25%		47.75%	

101

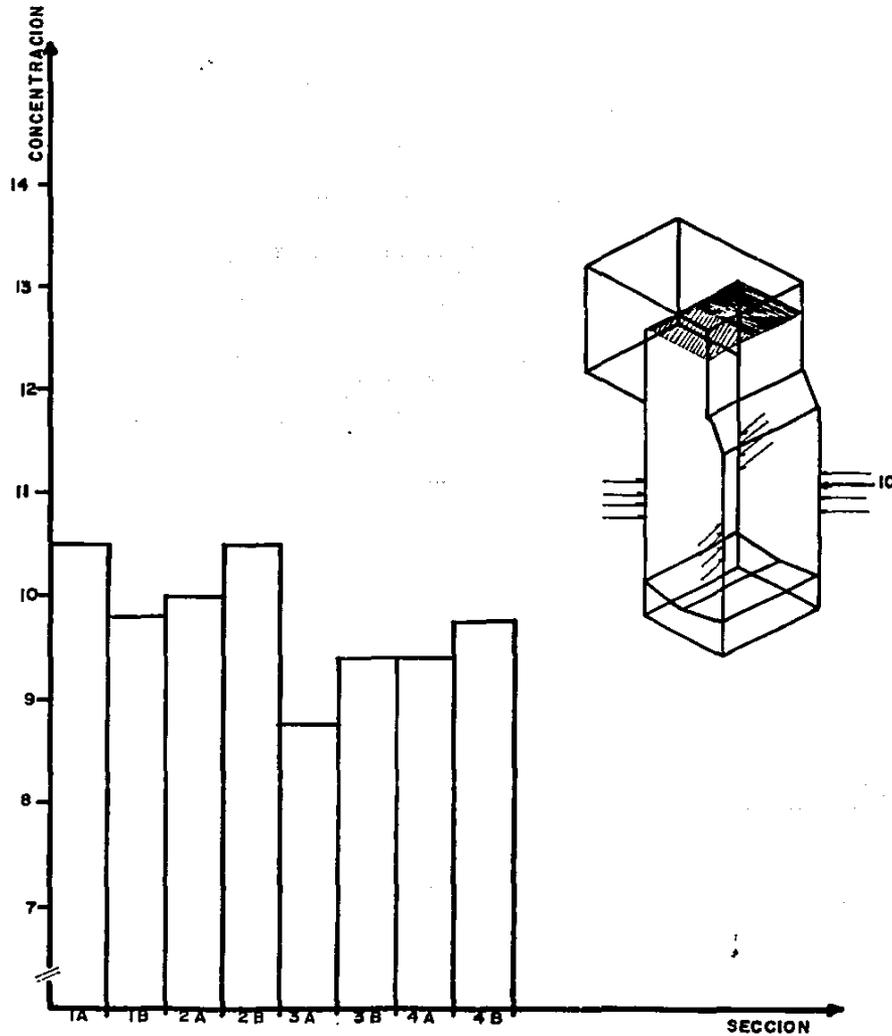


FIGURA 91 PATRON DE MEZCLADO QUEMADOR SIMULADO IC INCLINACION DE QUEMADORES 309

QUEMADOR SIMULADO IC
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

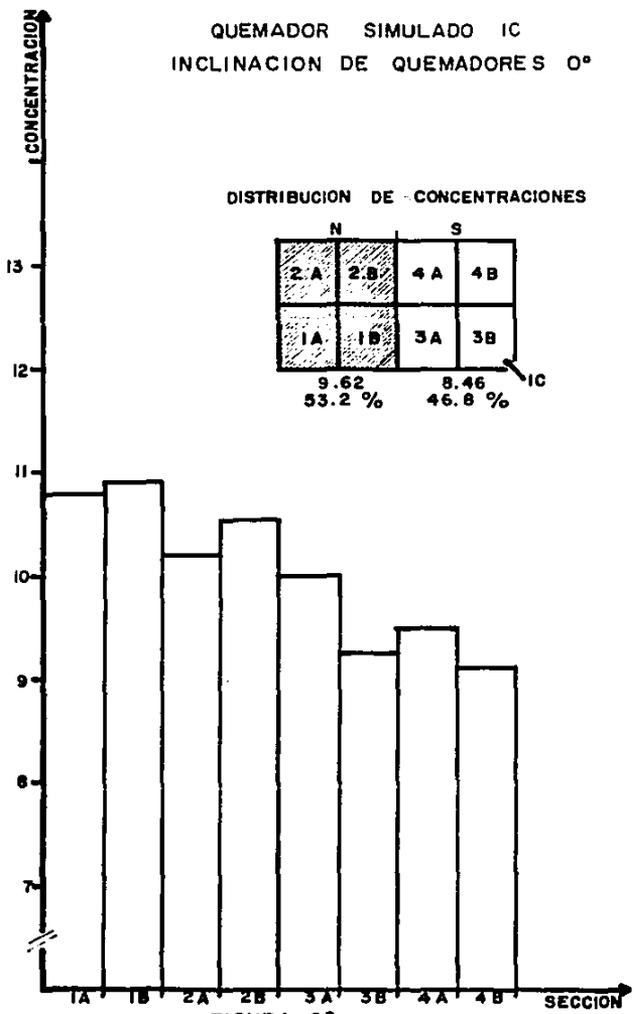


FIGURA 92

QUEMADOR SIMULADO IC
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

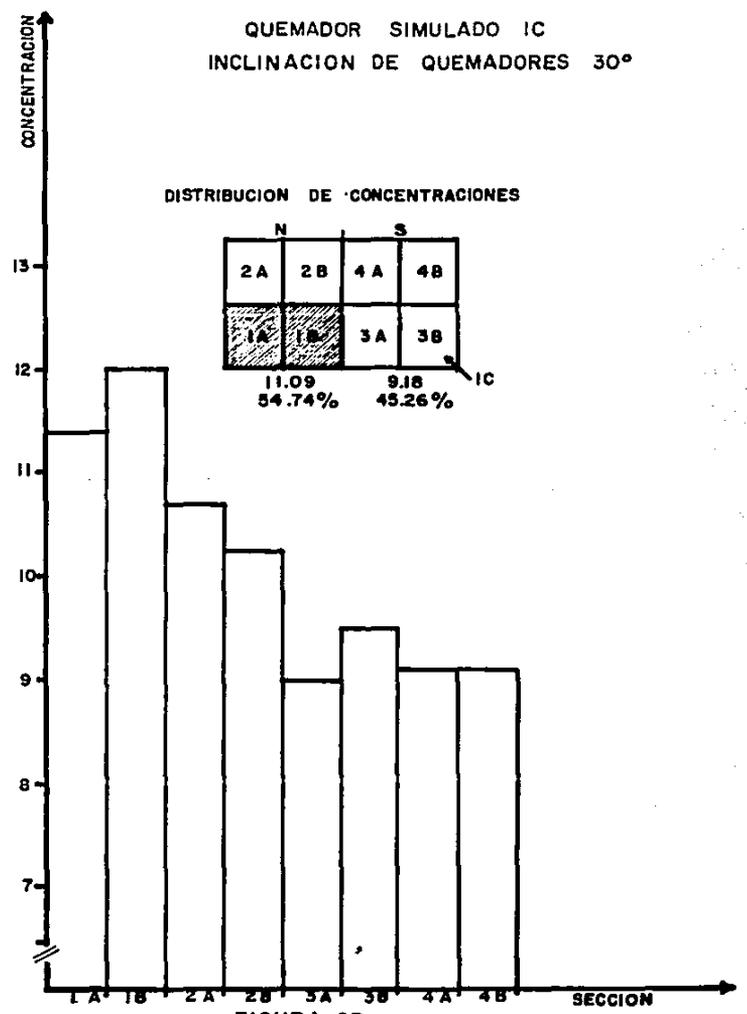


FIGURA 93

concentración de gas en ambos lados es prácticamente cero.

El patrón de mezclado para una inclinación de 0° se muestra en la figura 95, en ésta se observa una pequeña diferencia en los valores de concentración del gas trazador entre ambos lados, volviendo a ser mayor en el lado Norte, principalmente en la sección 1B, siendo el mínimo en la sección 3B. La diferencia entre los promedios de ambos lados es de 0.58.

Para cuando las toberas se inclinan $+30^\circ$ el patrón de mezclado se modifica (figura 96), incrementándose la diferencia de los promedios de concentración, siendo 1.66 mayor en el lado Norte que en el lado Sur. Presentándose en las secciones 1A, 1B y 2A la mayor concentración.

En la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la serie II. De estos resultados se pueden elaborar dos gráficas que muestran la influencia del nivel de quemadores y la inclinación de las toberas en el patrón de mezclado.

En la figura 97 se presenta la influencia del nivel de quemadores en el patrón de mezclado. En esta gráfica se representa el nivel de quemadores contra la diferencia de los promedios de concentración de gas trazador, tanto para el lado Norte como para el Sur y para las tres inclinaciones adoptadas. Como se observa, el nivel "C" es el que presenta mayor diferencia de promedios de concentración de gas trazador entre el lado Norte y Sur, esto ocurre cuando las toberas se inclinan -30° , por el contrario el lado "D" no presenta diferencias. Cuando las toberas de aire se inclinan 0° y $+30^\circ$

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	3A	4B
1A	1B	3A	3B
11.07 50.0 %		11.07 50.0 %	

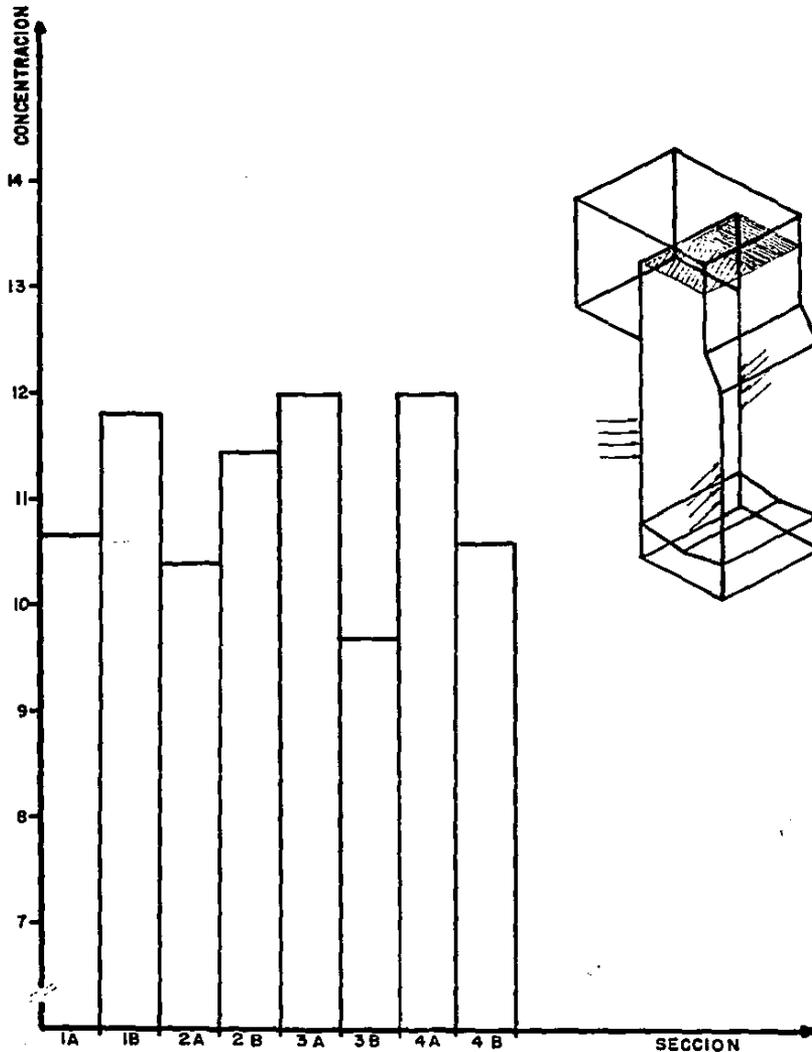


FIGURA 94. PATRON DE MEZCLADO, QUEMADOR SIMULADO ID, INCLINACION DE QUEMADORES -30°.

QUEMADOR SIMULADO ID
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
8.75		8.17	
51.7 %		48.3 %	

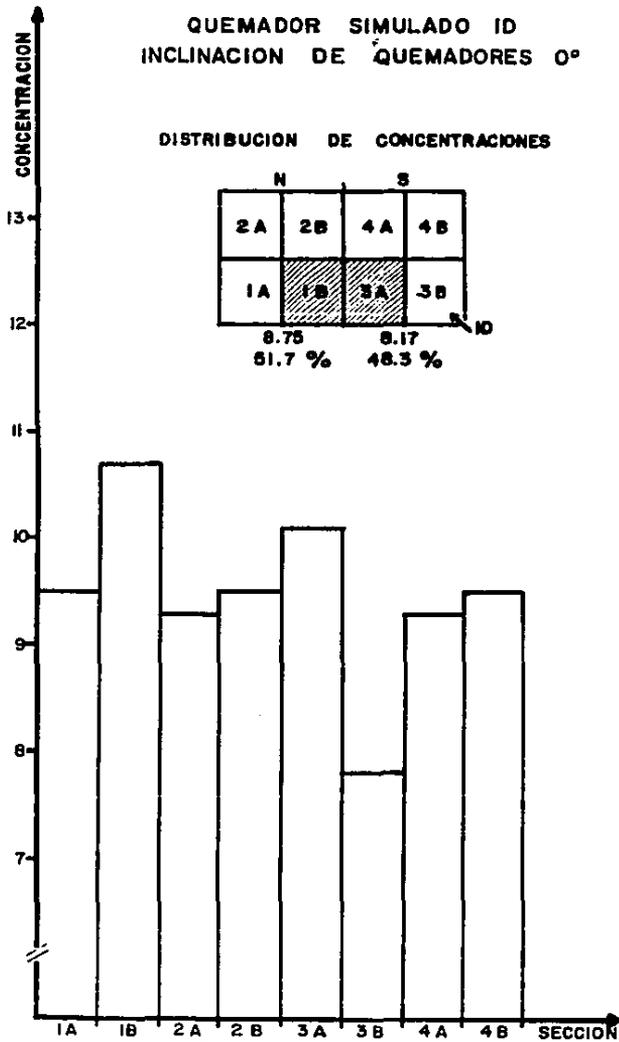


FIGURA 95

QUEMADOR SIMULADO ID
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
9.5		7.9	
54.6 %		45.4 %	

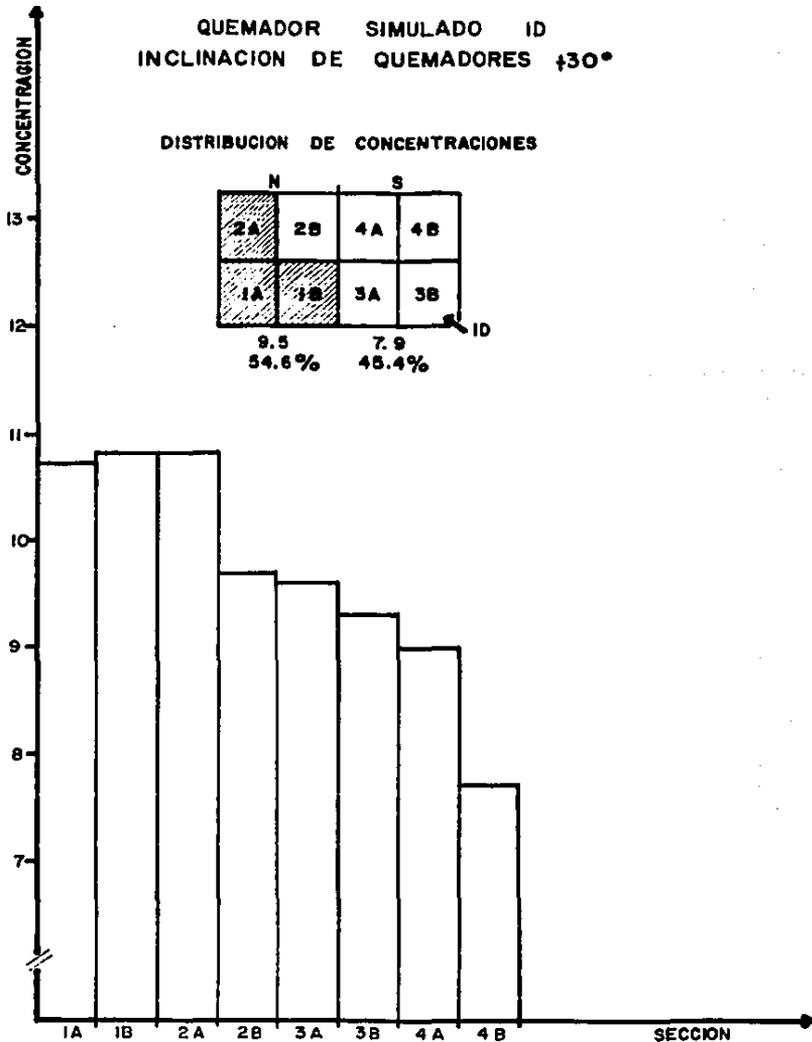


FIGURA 96

INFLUENCIA DEL NIVEL DE QUEMADORES EN EL PATRON DE MEZCLADO.

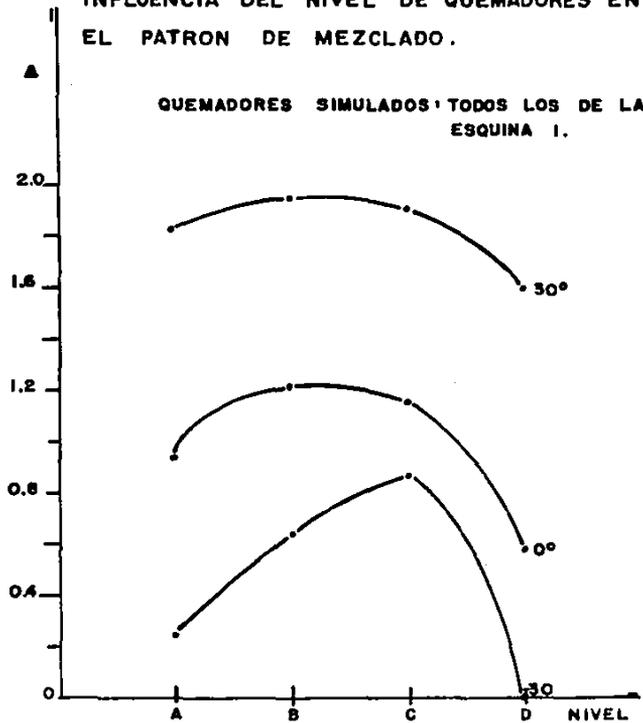


FIGURA 97

INFLUENCIA DE LA INCLINACION DE QUEMADORES EN EL PATRON DE MEZCLADO.

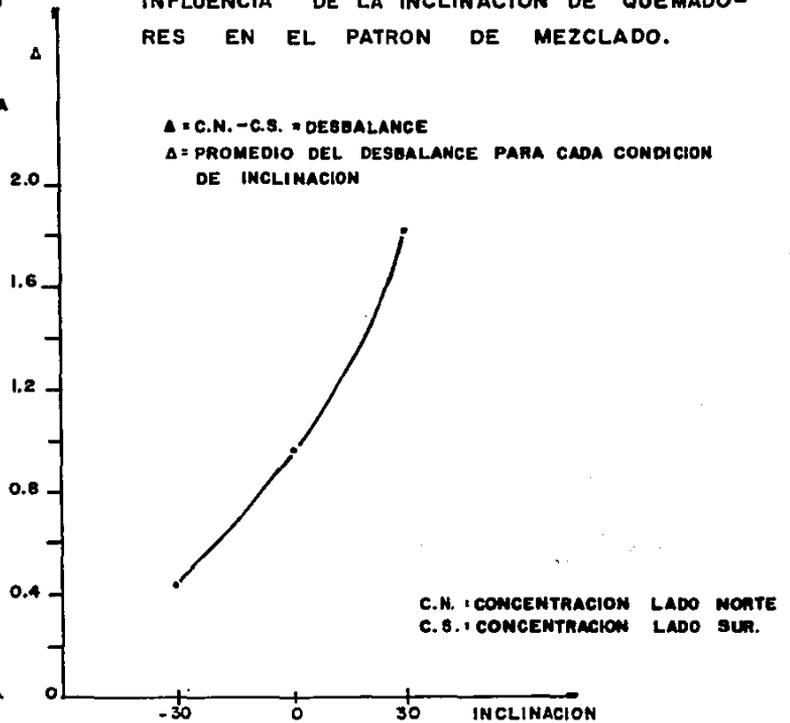


FIGURA 98

el nivel que mayor diferencia de concentración presenta es el nivel 'B'.

La figura 98 muestra la influencia de la inclinación de las toberas de aire en el patrón de mezclado, esta gráfica se obtiene de la relación entre el promedio de las concentraciones de gas de todos los niveles para cada una de las inclinaciones. De ésta se observa que la mayor diferencia de concentración de gas trazador entre ambos lados del ducto de aire se registra cuando las toberas se inclinan $+30^\circ$ hacia arriba y la menor diferencia cuando éstas se inclinan -30° .

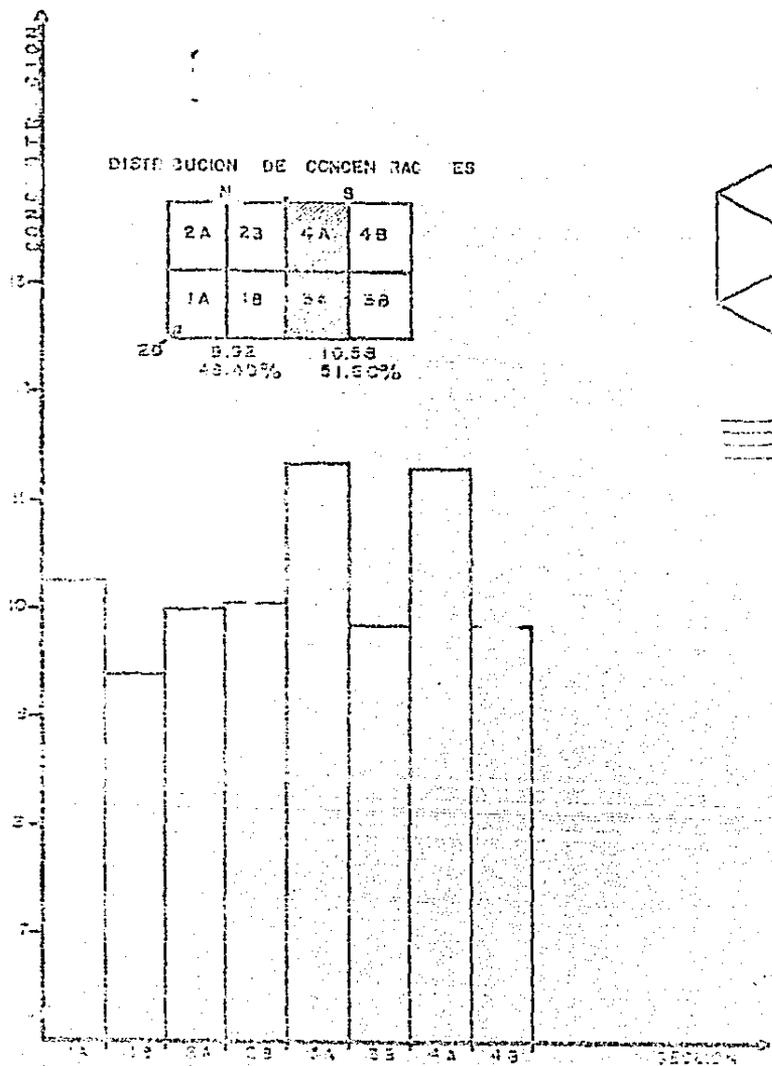
6.5.2 Análisis de los resultados del patrón de mezclado cuando se inyecta el gas trazador en todos los quemadores del nivel más alto de quemadores.

De la serie III, la cual se obtuvo inyectando gas trazador únicamente de los niveles superiores de las esquinas 2, 3 y 4, se obtuvieron los siguientes resultados.

La serie III-1, que corresponde a la determinación del patrón de mezclado para el quemador 2.D (esquina 2, nivel superior de quemadores) se presenta en las figuras 99, 100 y 101.

En la figura 99 se observa que las secciones de mayor concentración de gas trazador registradas para una inclinación de -30° son la 4A y 3A, obteniéndose al mismo tiempo una diferencia de concentraciones promedio de 0.66, mayor en el lado Sur que en el lado Norte.

La figura 100 presenta el patrón de mezclado para una inclinación de



DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
8.92 48.40%		10.53 51.60%	

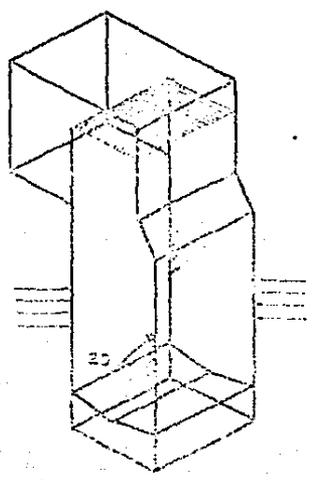


FIGURA 99. PATRON DE MEZCLADO, QUEMADOR SIMULADO 2D, INCLINACION DE QUEMADORES 30°.

187

QUEMADOR SIMULADO 20
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
1A	1B	3A	3B
9.40	10.12		
42.15%	51.64%		

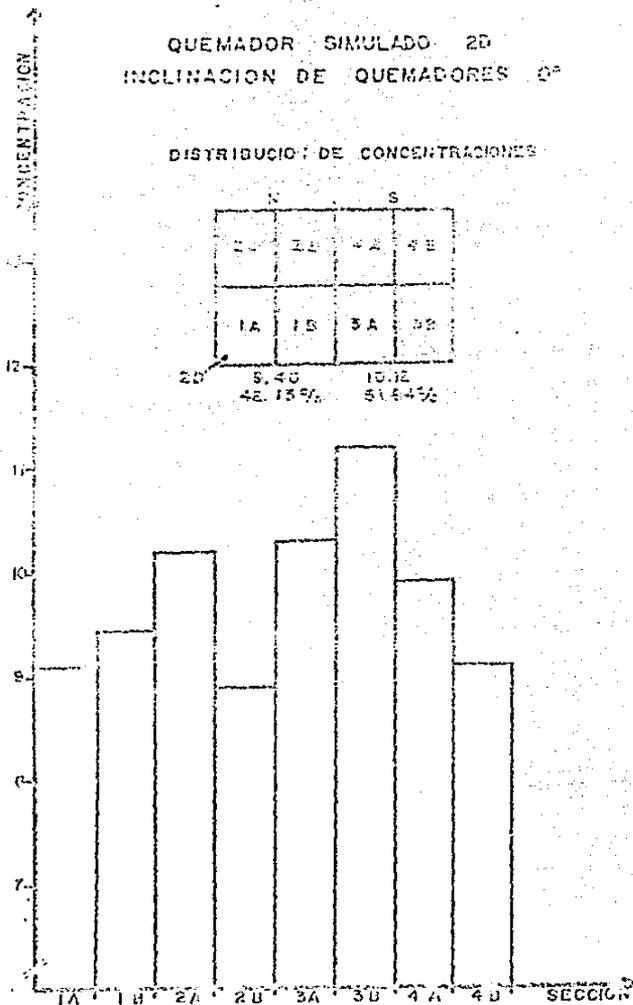


FIGURA 100

QUEMADOR SIMULADO 20
INCLINACION DE QUEMADORES 430°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
8.27	11.3		
43.88%	56.02%		

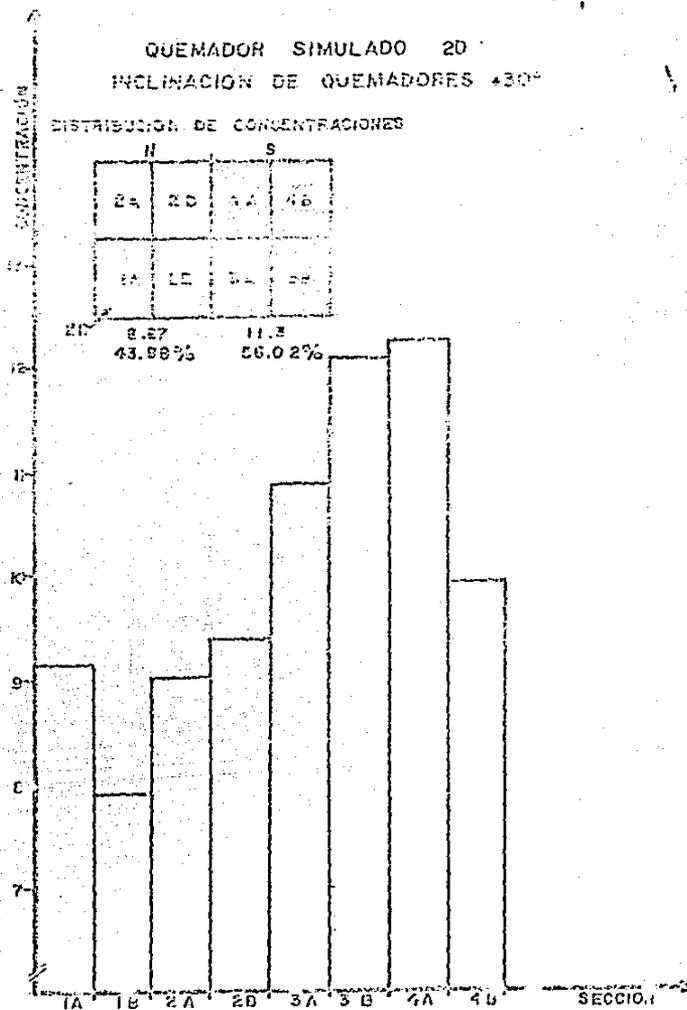


FIGURA 101

0°. De ésta se observa que la sección de mayor concentración de gas trazador es la 3B con 11.2 de promedio. También se aprecia que el lado Sur es el de mayor concentración, superior en 0.72 al lado Norte.

Por último, la figura 101 presenta el patrón de flujo para una inclinación de las toberas de +30°. En ésta, las secciones que reciben mayor influencia son la 3B y la 4A siendo menor la concentración de gas trazador en la sección 3A. La diferencia de concentración de gas trazador en ambos lados es mayor en 2.43 del lado Sur que del lado Norte.

De esta serie se observa que el quemador 2.D influye notablemente en el lado Sur del ducto de salida de gases, Por otro lado, la influencia de la inclinación de los quemadores es similar a la que se observó en la esquina 1, es decir, la mayor diferencia se presenta para una inclinación de +30° y la menor diferencia para una inclinación de -30°.

La serie III-2 se presenta en las figuras 102, 103 y 104. Las cuales muestran la influencia del quemador 3.D en el patrón de mezclado.

La figura 102 se obtiene al inyectar gas trazador en el quemador 3.D a -30° de inclinación. En esta figura se observa que la sección de mayor concentración se localiza en la sección 3A, siendo el máximo promedio de concentración de gas de 10.5. Sin embargo, la diferencia de concentración no es muy grande con relación a las otras secciones, por lo cual la diferencia entre ambos lados del

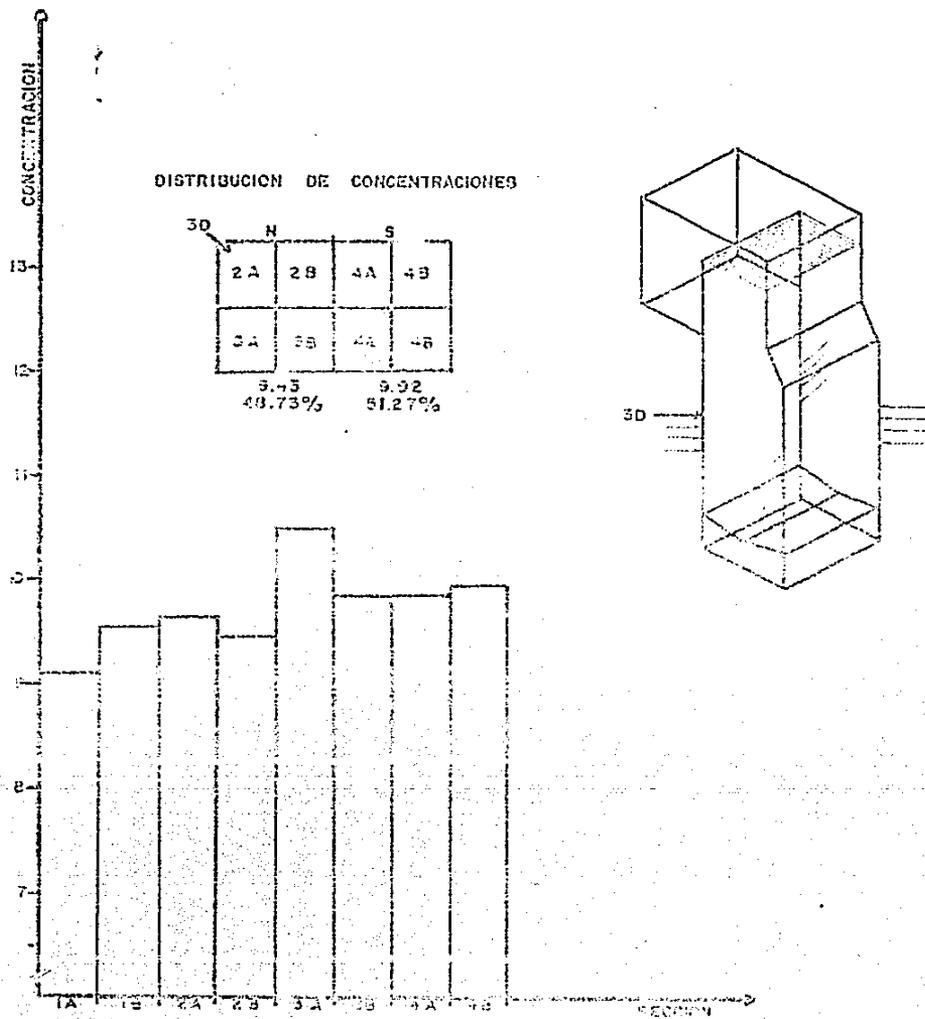


FIGURA 102. PATRON DE MEZCLADO, QUEMADOR SIMULADO 30, INCLINACION DE QUEMADORES -30° .

QUEMADOR SIMULADO 3D
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
8.97 46.72%		10.23 53.23%	

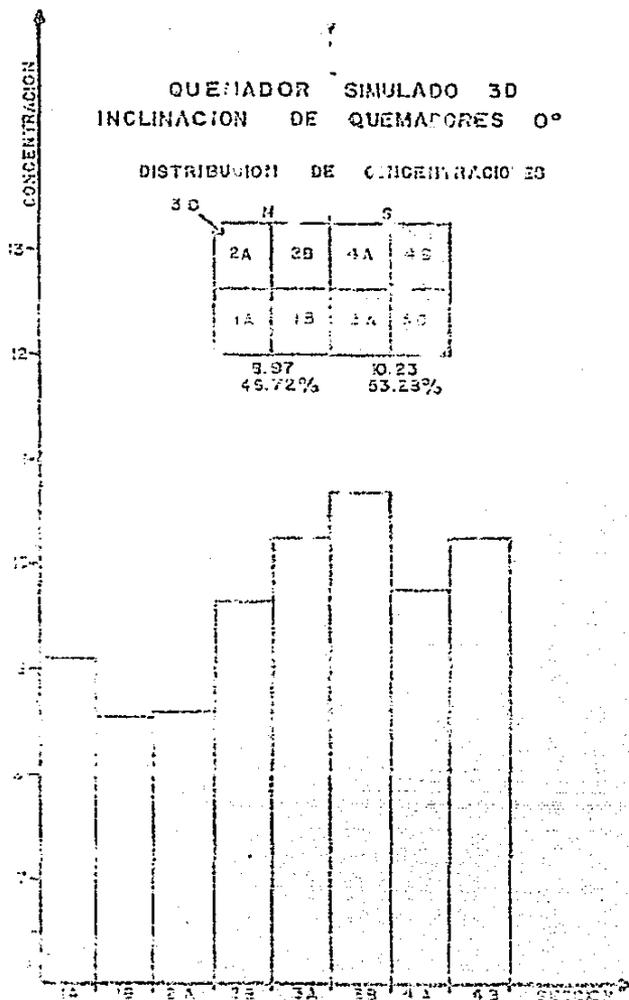


FIGURA 103

QUEMADOR SIMULADO 3D
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
3.51 46.06%		9.91 53.94%	

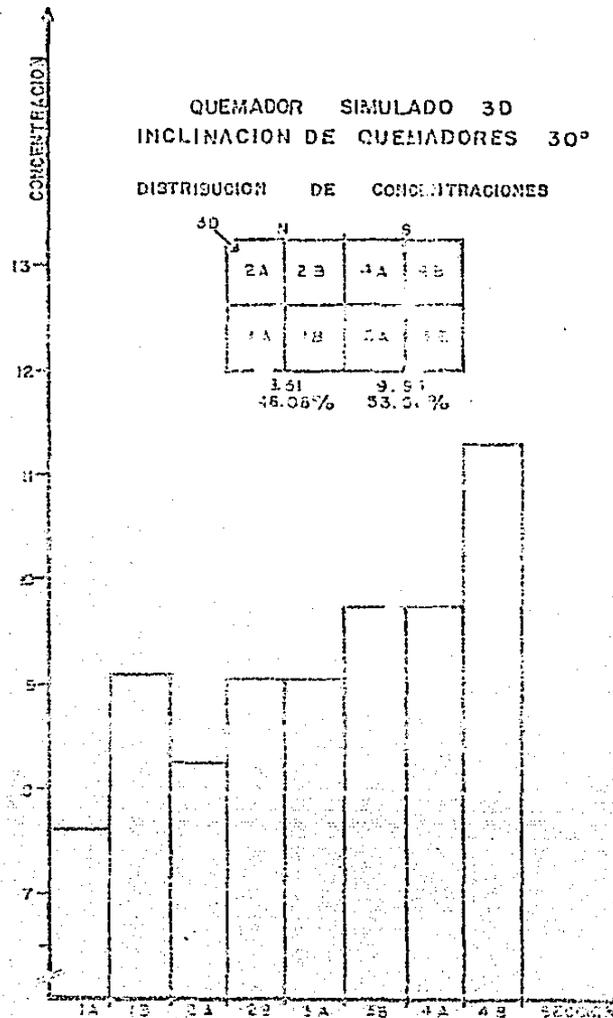


FIGURA 104

ducto de salida de gases es aproximadamente 0.45. De todos modos, del lado Sur se refleja la influencia de este quemador.

las figuras 103 y 104 presentan la influencia del quemador 3d para una inclinación de 0° y $+30^\circ$. De estas dos figuras se observa que la influencia de este quemador se localiza en las secciones 3A, 3B y 4B las cuales se encuentran en el lado Sur del ducto de gases. Las diferencias de concentración entre lado Sur y Norte son de 1.26 y 1.45 para 0° y $+30^\circ$ respectivamente.

Como se puede apreciar la influencia de cualquier quemador es siempre mayor cuando la inclinación es de $+30^\circ$.

La serie III-3 se obtiene al simular el quemador 4.D, en las tres diferentes condiciones de inclinación, los resultados de esta serie se presenta en las figura 105, 106 y 107.

La figura 105 muestra los resultados obtenidos para una inclinación de -30° , en esta se observa que existe muy poca diferencia de concentración de gas trazador en los dos lados del ducto de salida, siendo esta diferencia tan sólo de 0.16, mayor en el lado Norte que en el Sur. A medida que la inclinación de las toberas de aire aumenta, la diferencia entre ambos lados del ducto de salida también aumenta, de tal forma que para una inclinación de 0° se tiene una concentración de gas trazador en el lado Norte de 0.46 mayor que la del Sur, mientras que para una inclinación de las toberas a $+30^\circ$ se tiene una diferencia de concentración de 0.56.

Como resultado final de esta serie se presentan las figuras 108 y 109, en las cuales se puede observar nuevamente que la diferencia de

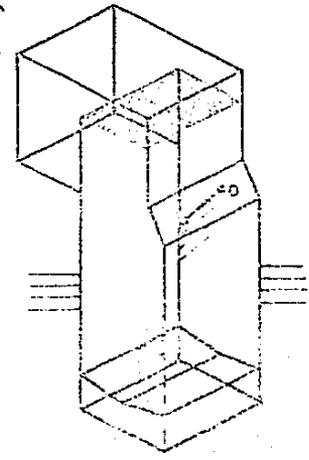
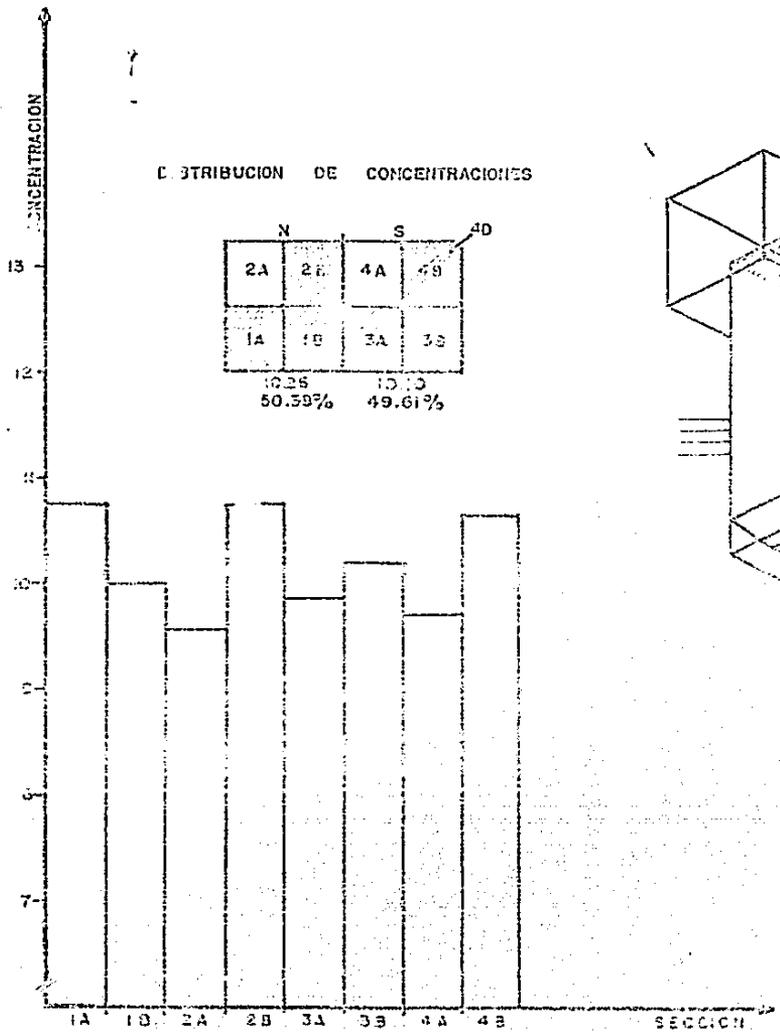


FIGURA 15. PATRON DE MEZCLADO, QUEMADOR SIMULADO 40, INCLINACION DE QUEMADORES -30°.

QUEMADOR SIMULADO 4D
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
10.08		9.68	
51.02%		48.98%	

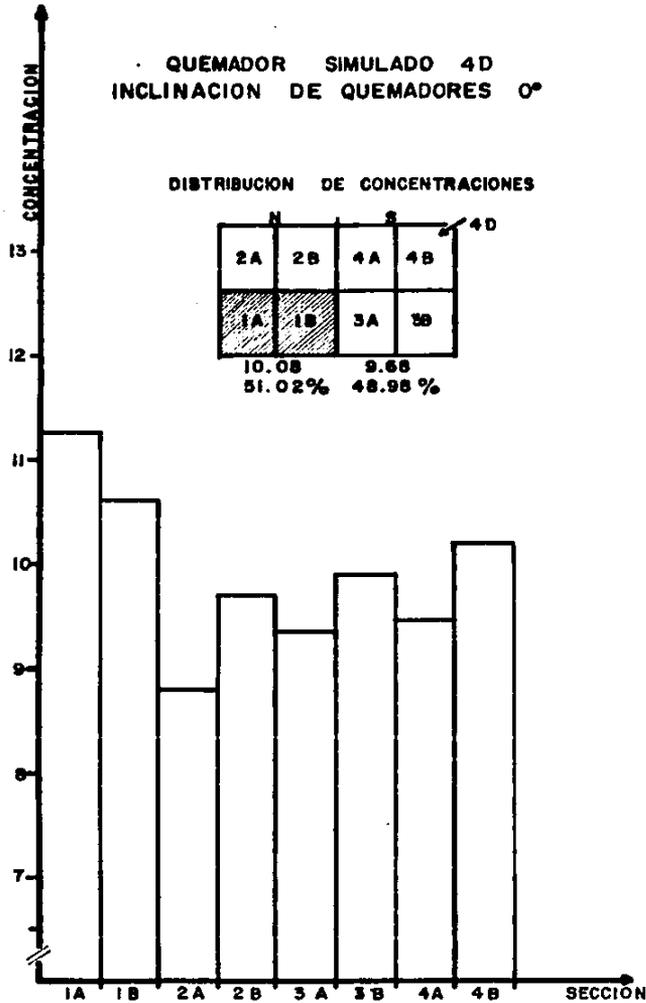


FIGURA 106

QUEMADOR SIMULADO 4D
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES

N		S	
2A	2B	4A	4B
1A	1B	3A	3B
9.99		9.43	
51.43%		48.56%	

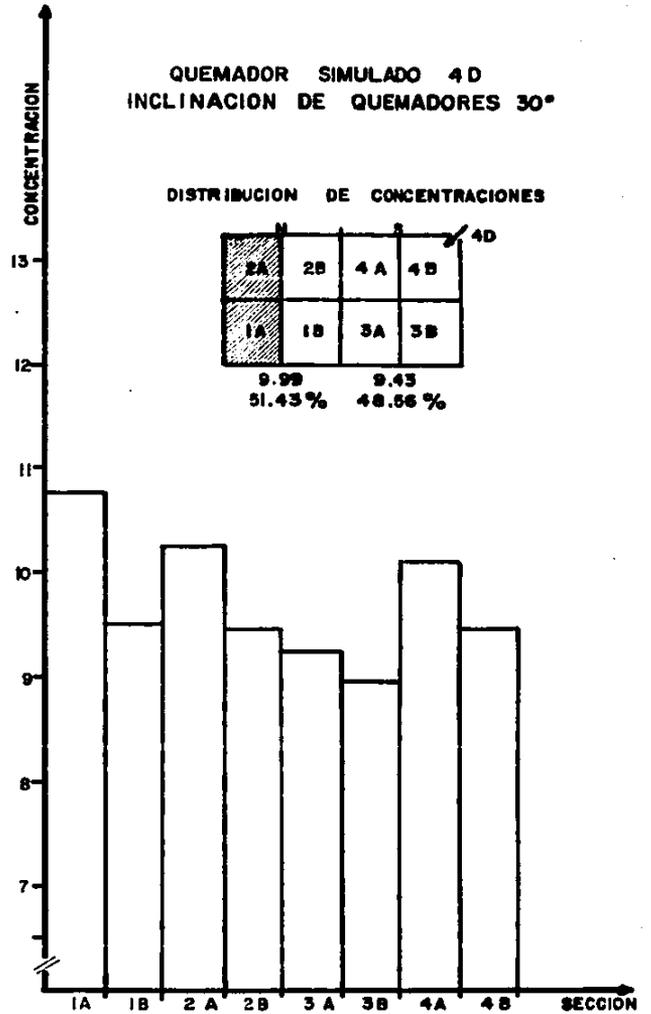


FIGURA 107

GRAFICAS DE DIFERENCIAS DE CONCENTRACION ENTRE AMBOS LADOS DEL PLANO DE MEDICION PARA CUANDO SE SIMULAN NIVELES SUPERIORES DE QUEMADORES.

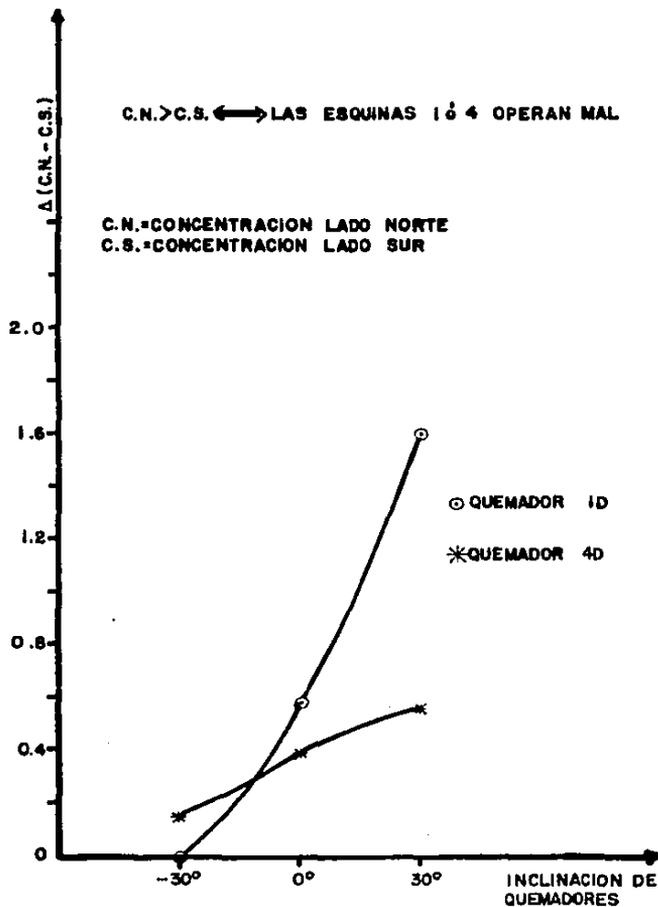


FIGURA 108

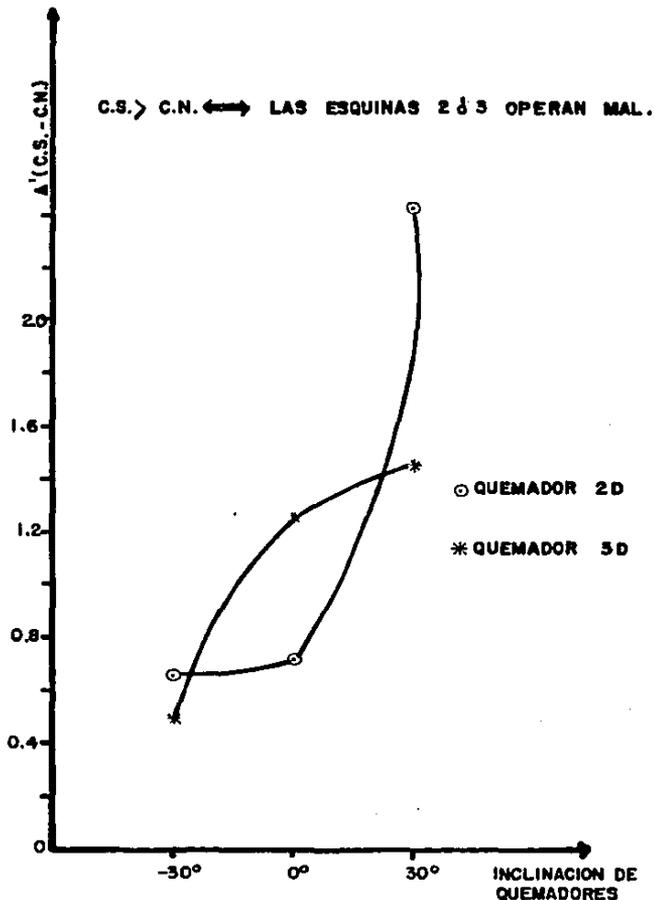


FIGURA 109

concentraciones del gas trazador en el ducto de salida aumenta conforme la inclinación de los quemadores también aumenta. Por otra parte, los quemadores que influyen en el precalentador de aire Norte son los quemadores que se localizan en las esquinas 1 y 4, siendo los quemadores de las esquinas 2 y 3 los que influyen en el precalentador de aire Sur. En la figura 110 se presenta una gráfica la cual resulta de promediar los valores obtenidos de cada una de las gráficas anteriores. En esta gráfica se observa que las esquinas 2 y 3 que afectan el lado Sur del precalentador tienen una mayor influencia en el desbalance de la concentración de gas trazador en el ducto de salida. Un efecto similar se observó en planta, el cual se analizará en detalle en el capítulo VII.

6.6 Análisis de las impresiones fotográficas de la simulación del ciclón, utilizando esferas de unicel.

A continuación se presentan las impresiones fotográficas obtenidas utilizando esferas de unicel como elemento trazador del ciclón, las cuales permiten tener una idea más clara (cualitativamente) de la forma del patrón de flujo que se produce en este tipo de generadores.

Las fotografías 13 y 14 muestran el patrón de flujo que se obtiene al inclinar las toberas -30° , en ellas se observa que en el centro del ciclón las esferas experimenta un pequeño desplazamiento hacia afuera de éste. También se aprecia que en las esquinas del hogar existe una gran concentración de esferas las que se encuentran prácticamente estáticas, lo cual comprueba la existencia de las zonas de recirculación ya descritas. Por último, la forma elíptica

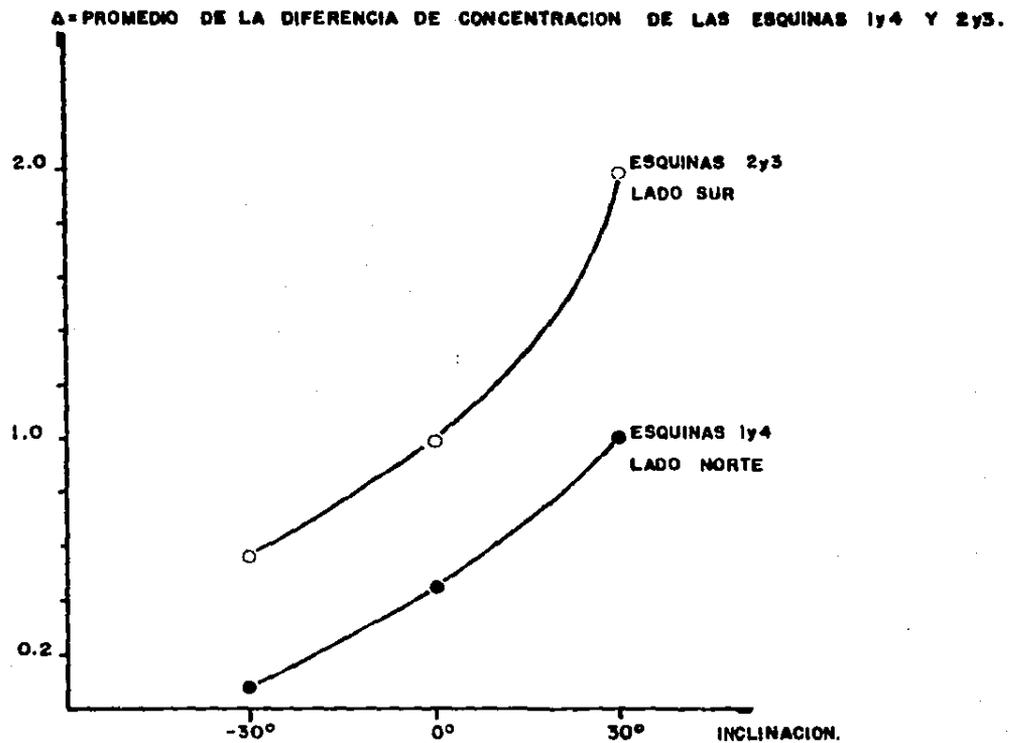


FIGURA 119 . INFLUENCIA DE LAS ESQUINAS Y SU INCLINACION EN EL PLANO DE MEDICION.



FOTOGRAFIA 13.
Visualización del ciclón
en el modelo.

FOTOGRAFIA 14.
Visualización del ciclón,
su centro y zonas de
recirculación.



del ciclón está definida con mucha claridad.

A fin de observar el desplazamiento del centro del ciclón y por tanto de todo el patrón de flujo, se tomaron las siguientes impresiones:

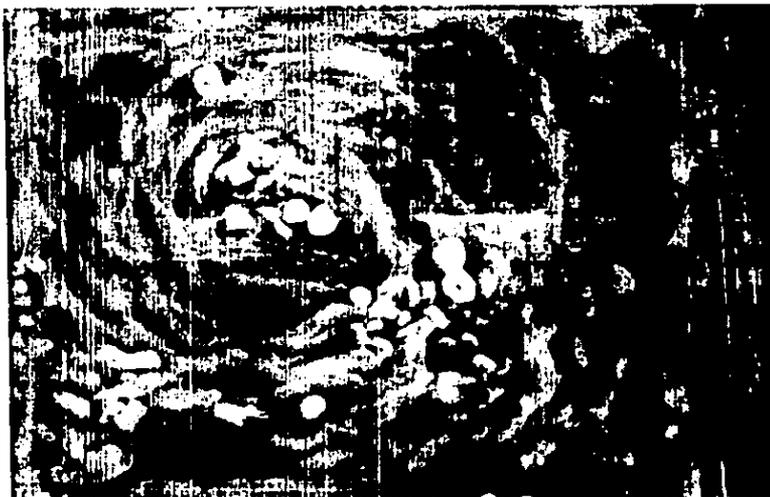
La fotografía 15 muestra el desbalance del ciclón cuando las toberas de aire de la esquina 1 tienen una diferencia de inclinación de 15° con respecto a las demás esquinas, como resultado de esto el centro del ciclón se desplaza hacia el lado Norte sobre la esquina 3.

Las fotografías 16, 17 y 18 muestran los desbalances del ciclón cuando las esquinas 2, 3 y 4 operan también con 15° de diferencia en la inclinación de sus toberas de aire con respecto a las demás esquinas, el análisis de estas fotografías se resume en el siguiente cuadro.

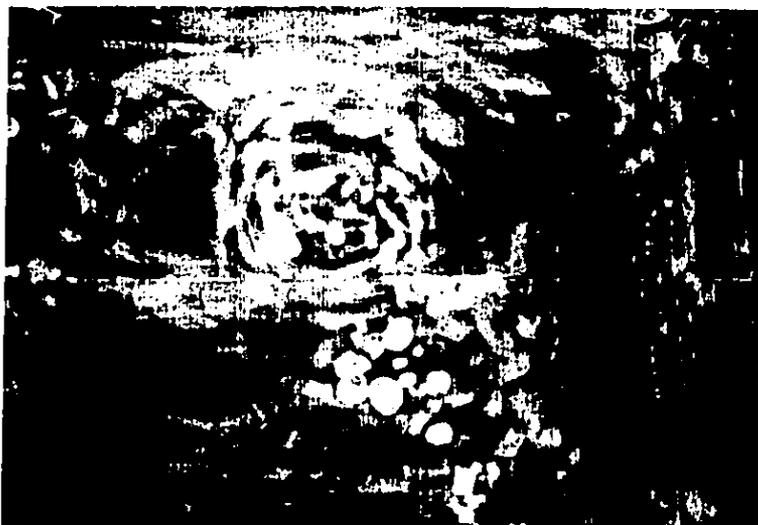
ESQUINA	ANGULO DE INCLINACION DE SUS TOBERAS	ANGULO DE INCLINACION DE LAS DEMAS
1	-15°	-30°
2	-15°	-30°
3	-15°	-30°
4	-15°	-30°

En las fotografías 19 y 20 se observa el carácter ascensional del

ciclón, que se pone en evidencia por el desplazamiento de las esferas de unical hacia los bancos de tubos.



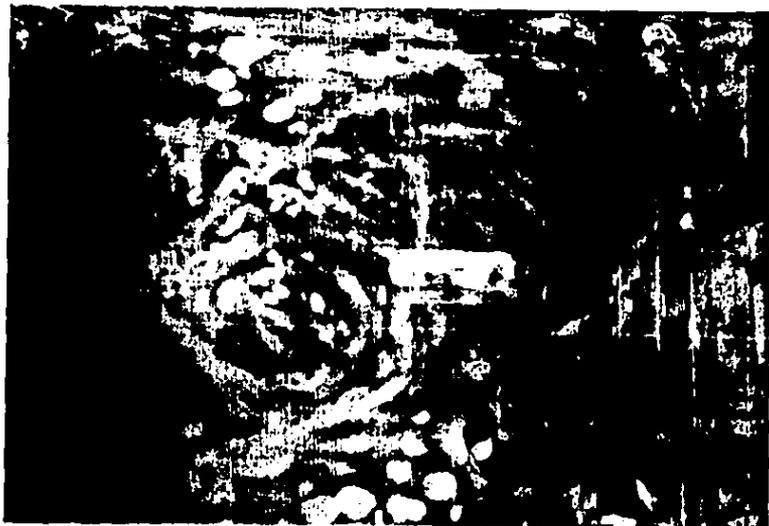
FOTOGRAFIA 15
Visualización del ciclón
Esquina 1 desbalanceada.



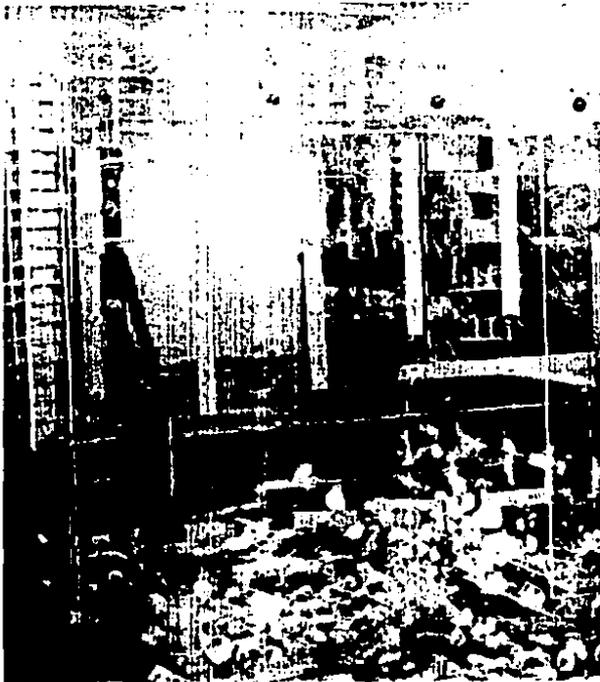
FOTOGRAFIA 16.
Patrón de flujo cuando
la esquina 2 opera con
 15° de diferencia con
respecto a las demás.



FOTOGRAFIA 17.
Visualización del ciclón
esquina 3 desbalanceada.



FOTOGRAFIA 18.
Patrón de flujo cuando
la esquina 4 opera con
15° de diferencia.



FOTOGRAFIA 19.
Visualización de los patrones
ascensionales.



FOTOGRAFIA 20.
Otra vista de los patrones
ascensionales.

CAPITULO VII

COMPARACION CON RESULTADOS EN PLANTA

Debido a limitaciones en los recursos materiales disponibles para llevar a cabo el presente trabajo, no se programó inicialmente la realización de experiencias en planta para validar los resultados obtenidos en el modelo experimental, tarea que deberá realizarse en futuros trabajos.

Sin embargo, entre los resultados de los diagnósticos de combustión realizados entre 1984 y 1987 pueden encontrarse algunas pruebas que muestran notables similitudes con el comportamiento del modelo.

Entre éstas se comentarán particularmente las pruebas de comportamiento de quemadores, realizadas en la unidad 4 de la central termoeléctrica de Manzanillo, Col., en junio de 1985 (referencia 14), y en la unidad 3 de la central termoeléctrica de Salamanca, Gto., en septiembre de 1985 (referencia 15).

Las características del generador en el que se realizó la primera prueba son:

MARCA: MITSUBISHI
CAPACIDAD: 300 MW
SISTEMA DE COMBUSTION: QUEMADORES TIPO TANGENCIALES
BASCULANTES CON RECIRCULACION
DE GASES.

ATOMIZACION: CON VAPOR
COMBUSTIBLE: COMBUSTOLEO (S=3.8%, ASF.=12%)

La prueba consistió en sacar uno a uno los quemadores del último nivel y trabajar la unidad con la compuerta de aire al quemador fuera de servicio, primero abierta y luego cerrada.

La prueba se llevó a cabo el día 3 de Junio de 1985 con la unidad generando 300 MW. El exceso de aire modificó exclusivamente por las operaciones realizadas durante la prueba.

Los resultados (variaciones de O_2 y CO) se graficaron en la figura 111 y se encontró que al poner fuera de servicio un quemador y dejar su compuerta de aire abierta se producía una disminución de la relación aire-combustible para el resto de los quemadores, lo que se traduce en un incremento en la concentración de CO (en el lado "B" para los quemadores 1 y 4, y en el lado "A" para los quemadores 2 y 3).

Resulta importante analizar esta prueba un poco más a fondo, ya que si se observa detenidamente, la diferencia de concentraciones de CO entre el lado "A" y "B" resultan mayores cuando se sacan los quemadores 2 y 3 que cuando salen de operación los quemadores 1 y 4.

Ahora bien, en la figura 112 (correspondiente al modelo) en la que se grafica la diferencia de concentración entre el lado Norte y Sur cuando se simula mala operación de los quemadores del último nivel, se puede ver que la diferencia de concentración entre ambos lados tiene la misma tendencia que los resultados obtenidos en planta, es

CO. (ppm)

800

600

400

200

0

FIGURA III .DIAGNOSTICO DE COMBUSTION
U-4, C.T. MANZANILLO, COL.
ANALISIS DE QUEMADORES
300 MW
JUNIO, '85.

LADO "A"
LADO "B"

O₂ (%)

1.0

0.8

0.6

0.4

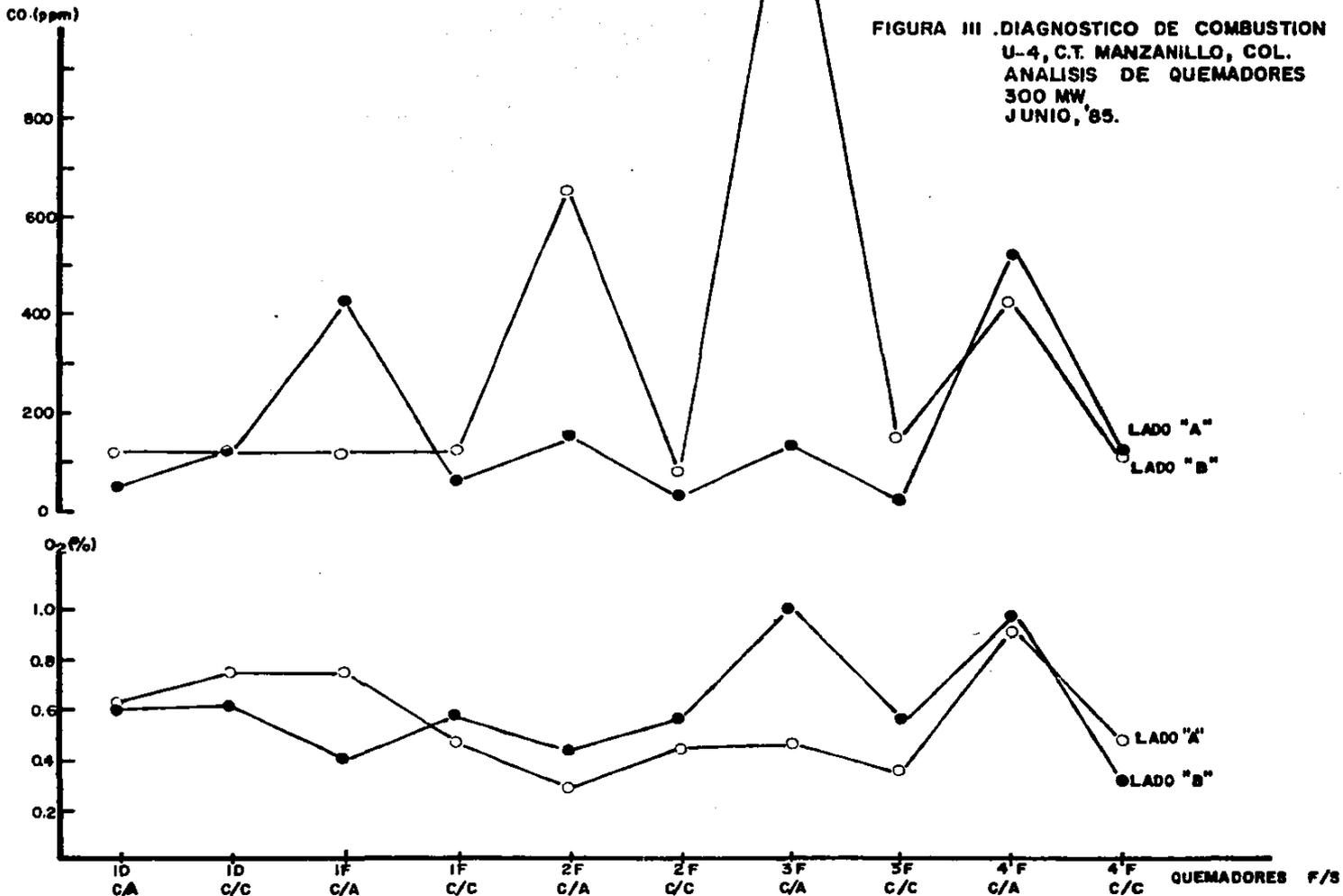
0.2

LADO "A"

LADO "B"

1D
C/A1D
C/C1F
C/A1F
C/C2F
C/A2F
C/C3F
C/A3F
C/C4F
C/A4F
C/C

QUEMADORES F/S



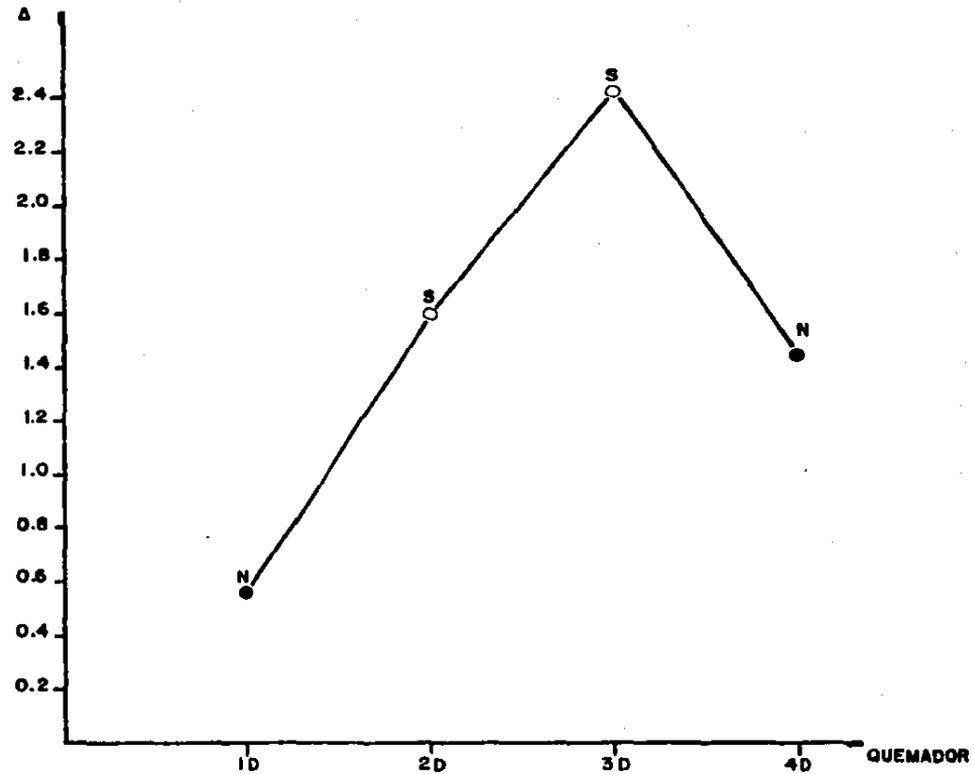


FIGURA 112. .GRAFICA DE LA DIFERENCIA DE CONCENTRACION DE GAS ENTRE AMBOS LADOS DEL PLANO DE MEDICION CUANDO SE SIMULAN NIVELES SUPERIORES DE QUEMADORES CON UNA INCLINACION DE 30°.

decir, la mayor diferencia de concentración se encontró para el quemador 3d en ambos casos (planta y modelo), manifestándose la misma similitud para los otros quemadores.

El segundo trabajo realizado en planta cuyos resultados pueden relacionarse con los resultados obtenidos en el modelo, se llevó a cabo en la unidad 3 de la C.T. de Salamanca, Gto. en el mes de Septiembre de 1985 (referencia 15). El generador de vapor de esta unidad tiene las siguientes características:

MARCA:	COMBUSTION ENGINEERING, CANADA.
CAPACIDAD:	300 MW
SISTEMA DE COMBUSTION:	QUEMADORES TANGENCIALES CON ESTABILIZADORES DE PLATO PERFORADO.
COMBUSTIBLE:	COMBUSTOLEO (S=3.4 ASF.=14.6
SISTEMA DE CONTROL DE VAPOR R.H.:	INCLINACION DE QUEMADORES
ATOMIZACION:	CON VAPOR.

Las toberas de aire y quemadores se encontraban operando a -28 grados de inclinación. Los primeros resultados obtenidos mostraron un desbalance a la salida del economizador, ya que mientras que en el lado 'A' había 1.05% de O_2 y 190 ppm de CO, en el lado B había 1.3% de O_2 y 210 ppm de CO. Aún después de aumentar el exceso de aire, los resultados indicaron que el desbalance continuaba.

Con el fin de tratar balancear la unidad se intentaron las siguientes acciones:

1. Se decidió aumentar la presión diferencial cajas de aire - Hogar de 85 a 105 mm de H_2O .
2. Se aumentó el amperaje de los V.T.F. a 225 A.

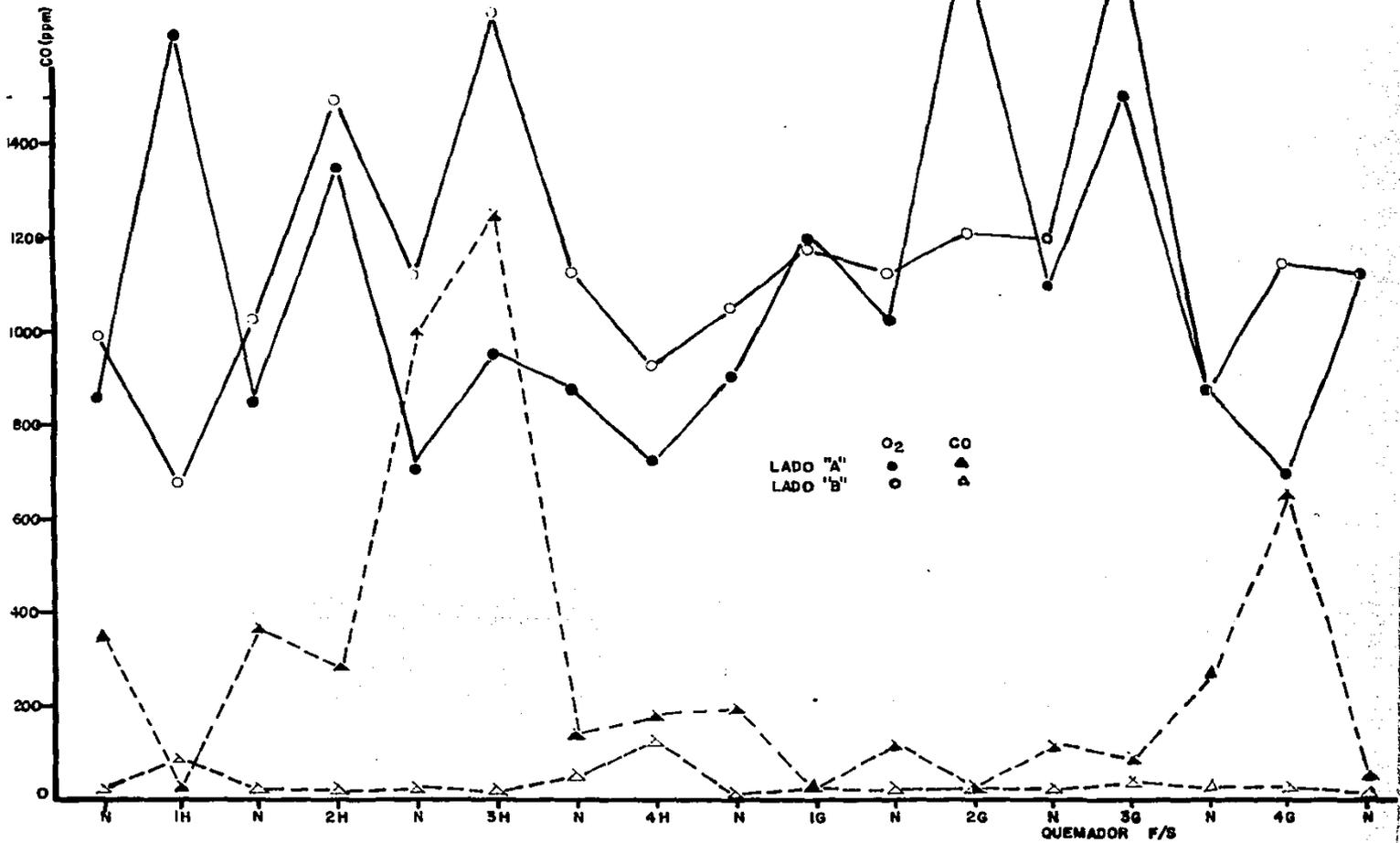
Sin embargo, el desbalance continuó. El siguiente paso fue el de realizar una prueba del comportamiento de quemadores, consistente en apagar uno a uno los quemadores y observar su efecto sobre la combustión.

Los resultados de esta prueba se grafican en la figura 113, en la cual es posible observar que al apagarse el quemador 1G, y al mismo tiempo cerrar sus compuertas de aire, las concentraciones de CO de ambos ductos se igualan, lo mismo que las de O_2 ; es decir, se lograba el balance de combustión. Cabe aclarar, como se indica en la misma figura, que las esquinas de esta unidad tenían una numeración distinta a la que se utilizó en el modelo.

El análisis de la grafica 113 permite afirmar que para esta unidad, las esquinas 1 y 4 afectaron al lado 'A' y las esquinas 2 y 3 al lado 'B'. Los resultados del análisis del patrón de mezclado en el modelo (serie III) conducen a idénticas conclusiones.

Ahora bien, volviendo a la figura 113, si se observa con cuidado se puede ver que cuando todos los quemadores estaban en operación, la mayor concentración de CO se presentaba siempre en el lado 'A', por

FIGURA 113 .DIAGNOSTICO DE COMBUSTION, U-3 C.T. SALAMANCA, GTO.
 COMPORTAMIENTO DE QUEMADORES.
 CARGA 300 MW.



lo cual si hubiese podido aplicar los resultados obtenidos en el patrón de mezclado, se hubiese concluido que los quemadores que estaban fallando eran los de la esquina 1 o 4. Si se observa ahora la figura 97 (del capítulo anterior) en la cual se grafica la influencia del nivel de quemadores en función de la diferencia de concentración de gas en ambos lados para cada condición de inclinación, se ve que para una inclinación -30° (la más cercana a -28° a la cual se encontraban los quemadores en operación) el nivel que más influencia presenta en un desbalance como el registrado es el nivel C (correspondiente al nivel G de la unidad de Salamanca).

Por lo que, de haber podido contar con los resultados del modelo, la prueba se hubiera reducido a checar los quemadores 1G y 4G como primera posibilidad. Como ya se mencionó, el quemador que se encontraba en mal estado era el quemador 1G.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten extraer las siguientes conclusiones:

1. El modelo físico desarrollado (generador de vapor tangencial para 300 MW a escala 1:20) constituye una herramienta valiosa para la comprensión e interpretación de los patrones de flujo en el interior del generador de vapor real.
2. El sistema que simula la inclinación de las toberas, pese a su simpleza, resulta eficaz en su función y permite variar dicha inclinación entre los mismos límites de la caldera real.
3. La colocación de las esferas de unicel en el modelo permite una visualización rápida, aunque sólo cualitativa, de la forma del ciclón en el hogar del generador de vapor, así como de los desbalances que se producen al modificar el flujo de aire de cualquier esquina, o bien los que se producen como consecuencia de cambiar la inclinación de algunos quemadores.
4. El método seleccionado para la simulación de los patrones de mezclado resultó adecuado para esta primera etapa de la investigación, si bien es necesario perfeccionarlo, por ejemplo utilizando un trazador inerte como el CO_2 , o bien usando aire caliente como trazador y monitoreando temperatura en vez de concentraciones.

5. De la descripción de los patrones de flujo obtenidos para cada condición, se concluye en forma general que:

5.1 Todos los patrones de flujo tienen la misma forma elipsoidal, la cual es consecuencia del ángulo de salida de las toberas y quemadores y del diseño rectangular del generador.

5.2 En las tres posiciones de inclinación de las toberas se presentan cambios de dirección de los vectores de velocidad cerca de las esquinas del hogar, las cuales en forma preferencial se localizan en el lado izquierdo de las toberas de aire. Estos cambios de dirección generan zonas de recirculación, las cuales en gran medida facilitan el depósito de partículas de combustión incompleta, además de gran cantidad de sólidos inorgánicos que contiene el combustible. Los mecanismos de corrosión, ataque y deterioro de estas toberas ya ha sido discutido en la referencia 6, por lo que únicamente se presentan las fotografías 21 y 22 para mostrar el estado último de éstas.

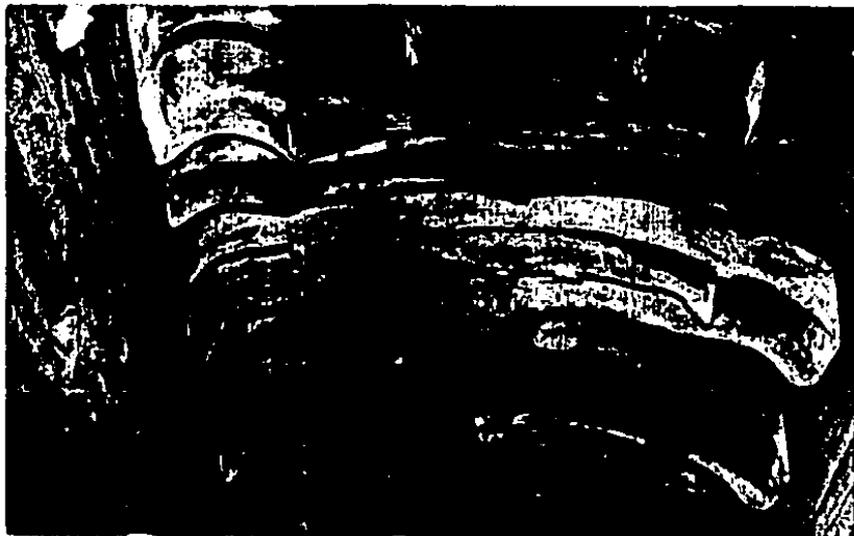
5.3 De lo observado en los patrones de flujo que se obtienen al centro de cada nivel de quemador con las tres inclinaciones de toberas de aire estudiadas, las zonas de recirculación que se localizan cerca de las esquinas del hogar resultan prácticamente imposibles de modificar ya que son resultado del diseño mismo.

5.4 Los patrones de flujo una vez que se alcanza el nivel de NO_x hacia los bancos de tubos presentan, en los tres casos, características de forma muy parecidas, en las que se aprecia la influencia de la nariz del generador y la reducción del área de



FOTOGRAFIA 21

Deterioro de las toberas ajustables de aire.



FOTOGRAFIA 22

Deterioro sufrido por las toberas en los niveles de quemadores de gas.

salida antes de los bancos de tubos. De lo anterior se puede concluir que el ciclón recupera con las tres inclinaciones de toberas su forma bien balanceada al centro del hogar.

6. De los patrones de flujo obtenidos para las tres inclinaciones de las toberas de aire (-30° , 0° , $+30^\circ$) se puede concluir:

6.1 Para una inclinación de -30° , el primer patrón de flujo del ciclón se forma en la parte baja del hogar (próximo al cenicero).

6.2 Para una inclinación de 0° , el primer patrón de flujo completo se forma en el compartimiento de quemadores más bajo (nivel A), presentándose en la parte baja del hogar una gran zona de recirculación.

6.3 Cuando el generador de vapor opera con una inclinación de quemadores de $+30^\circ$, la formación completa del ciclón se logra en el nivel más alto de quemadores (nivel D), presentándose en los niveles inferiores el desarrollo del patrón de flujo con pequeñas zonas de recirculación.

6.4 Como se sabe, el tiempo de residencia del combustible depende de la trayectoria que éste siga en su recorrido dentro del hogar, por lo que a medida que las toberas ajustables de aire y quemadores se inclinan hacia abajo, el tiempo de residencia aumentará ya que la formación del primer patrón de flujo depende exclusivamente de esto.

7. De los patrones de flujo de los vectores ascensionales que se presentan para las tres inclinaciones de quemadores estudiadas, se concluye:

7.1 El centro del ciclón influye en los vectores ascensionales en todos los casos, aumentando la magnitud del vector radial o disminuyéndola, dependiendo de la localización dentro del generador.

7.2 En todos los casos se observó que el ciclón además de girar sobre un eje vertical, también rota sobre un eje radial, lo cual se presenta principalmente cerca de las paredes del hogar.

7.3 La magnitud de los vectores radiales (ascensionales) para los tres casos prácticamente es la misma, por lo que el tiempo de residencia de los gases de combustión depende exclusivamente de la inclinación de los quemadores, es decir, del nivel donde se localice el primer patrón de flujo completo.

8. De los patrones de mezclado obtenidos en el modelo se puede concluir:

8.1 La inclinación de quemadores que menos favorece la combustión, es la que corresponde a una inclinación de 30° hacia arriba del plano horizontal (ya que en este caso el tiempo de residencia es el menor y por lo tanto el mezclado es más imperfecto).

8.2 La influencia de cada nivel de quemadores depende de la inclinación a la que las toberas ajustables de aire y quemadores se encuentre, es decir, es distinta para cada condición.

8.3 Por medio del registro de los productos de combustión a la salida del economizador, es posible determinar la mala operación de un quemador en particular. Para lograrlo, este registro se debe realizar en la misma forma en que se obtuvieron los patrones de

mezclado en el modelo, es decir, localizando la sección de mayor concentración, y comparando estos resultados con los obtenidos en el estudio del patrón de mezclado.

8.4 Los quemadores de las esquinas 1 y 4 concentran su influencia en el lado Norte del ducto de salida, y los quemadores de las esquinas 2 y 3 la concentran en el lado sur.

8.5 Los resultados obtenidos en planta (que se presentaron en el capítulo VII) muestran que los resultados del modelo experimental pueden, en principio, ser extrapolados al prototipo.

9. Otras consideraciones importantes.

9.1 Es importante volver hacer mención de que el flujo de aire una vez que alcanza el primer banco de tubos pierde su carácter rotacional, por lo cual la posibilidad de que los productos intermedios de combustión reaccionen entre los bancos de tubos disminuye considerablemente.

9.2 Las fotografías del ciclón tomadas en el modelo bajo diversas condiciones de inclinación de quemadores, confirman la influencia que esta tienen.

RECOMENDACIONES

A. Dada la capacidad de modelación que se puede obtener con el modelo físico, resulta importante continuar experimentando en él la influencia de las siguientes variables.

- Escala de turbulencia (valores r.m.s.)
- Efecto del recirculador de gases en el patrón de flujo.
- Efecto de diversas aperturas de los compartimientos de aire auxiliar y de NOx en el patrón de flujo.
- Angulos de inclinación de las toberas de aire desajustadas.

B. Desarrollar un programa de cómputo para describir los patrones de flujo y los de mezclado.

C. Al programa de cómputo se le podrán acoplar ecuaciones de liberación de calor, con lo cual se podrá simular los flujos térmicos en el interior del hogar.

D. Desarrollar un programa de trabajo para comprobar en planta los resultados tanto del modelo como los del programa de cómputo.

E. Dado que el patrón de flujo que se obtiene en los niveles de quemadores de este tipo de diseño, conserva sus características fundamentales, aún cuando se modifica la inclinación de los quemadores, no es posible evitar las zonas de recirculación cerca de las esquinas, por lo tanto se deben evitar las causas que generan la formación de gran cantidad de partículas inquemadas y mantener eficientemente la función del estabilizador de flama, para formar una zona de recirculación de gases de combustión lo suficientemente amplia, simétrica e intensa como para asegurar un buen mezclado aire-combustible, con el fin de disminuir el depósito de partículas e inquemados en las toberas de aire auxiliar y secundarias.

F. Una vez que se hayan validado los resultados del modelo, se

pueden ordenar los procedimientos correctivos, de modo tal que se obtenga una metodología que permita balancear el sistema de combustión de cualquier unidad que opere con quemadores tangenciales.

REFERENCIAS.

1. MILAN J. Y VARIOS AUTORES.

"DIAGNOSTICO PARA LA PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE COMBUSTION DE GENERADORES DE VAPOR DE CENTRALES TERMOELECTRICAS".
(INEORNES FINALES I - XV) I.I.F. 1981 - 1986.

2. SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL.

"PROGRAMA NACIONAL DE ENERGETICOS 1984 - 1988".
PRIMERA EDICION, AGOSTO 1984.

3. MANUAL DE OPERACION CENTRAL TERMOELECTRICA MANZANILLO 3, 4.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

4. ANSON D.

"DEVELOPPEMENT OF A STANDARD FUEL OIL BURNER"
COMBUSTION, MARCH 1968.

5. YAVERDAUM L.H.

"ENERGY SAVING BY INCRHASJNG BOILER EFFICIENCY"
NOYES DATE CORPORATION, 1979.

6. MARTINEZ M.A.

"MODELACION FLUIDODINAMICA DE QUEMADORES TANGENCIALES
CORRESPONDIENTES A UN GENERADOR DE VAPOR DE 973,950 Kg/hr
USADO PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA".
TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERIA. U.N.A.M.
1984.

7. MILLARES C.A.

"SIMULACION EN FRIO DE UN HORNO CON QUEMADORES TANGENCIALES".
TESIS DE LICENCIATURA. FACULTAD DE INGENIERIA, U.N.A.M.
1984.

8. BHEK J.M. AND CHIGIER N.A.

"COMBUSTION AERODYNAMICS".
WILEY, N.Y. 1972

9. CHIGIER N.A.

"APPLICATION OF MODEL RESULTS TO DESIGN OF INDUSTRIAL FLAMES".
INST. OF FUEL
SEP. 1983.

10. JHONSON R.E. AND THRING M.N.

"PILOTS PLANTS AND SCALE UP METHODS IN CHEMICAL ENGINEERING"
Mc. GRAW HILL N.Y. 1957.

11. SALVI G. Y OTROS AUTORES.

"LA COMBUSTION TEORIA Y APLICACIONES".
EDITORIAL DOSSAT, S.A.
MADRID ESPAÑA, 1979.

12. WITTMER W., GUDINO C., MILAN J.

"ASPECTOS TEORICOS SOBRE LA SONDA DIRECCIONAL DE 5 ORIFICIOS".
IIE/12/1768/I 03/P
FEBRERO, 1983.

13. BECKMAN INSTRUMENTS, INC.

MANUAL DE OPERACION.

'HIDROCARBON ANALYZER'.

FEBRUARY, 1971.

14. MILAN J., ESTRADA J., MARTINEZ M. A.

'DIAGNOSTICO PARA LA PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE COMBUSTION DEL
GENERADOR DE VAPOR DE LA UNIDAD 4 DE LA C.T. MANZANILLO, COL.'

IIE/12/1912/I 06/P

JUNIO, 1985.

15. MILAN J., ESTRADA J., MARTINEZ M. A.

'DIAGNOSTICO PARA LA PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE COMBUSTION DEL
GENERADOR DE VAPOR DE LA UNIDAD 3 DE LA C.T. SALAMANCA, GTO.'

IIE/12/1912/I 10/P

SEPTIEMBRE, 1985.

A N E X O I.

PROGRAMA DE COMPUTO MODSE, COEFICIENTES DE
CALIBRACION, SUBROUTINA TRAPEZ.

```

*****
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 ADEMAS 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.

```

```

*****
DIMENSION PO(50),P2(50),P4(50),ALPHA(50),ALPHAK(50),
1 BETA(50),Y(50),R(50),V(50),UAX(50),UTAN(50),UR(50),F(50),
2 EINS(50),LV(50),CBETA(6,12),CK02(6,12),CK04(6,12),
3 CALPHA(12),PST(50),CKPS(6,12),UX(50),UY(50),VZ(50),
4 RHOUAX(50),PDYN(50),PZ(50),PGES(50),RURUCK(50),UDAX(50),
5 UDR(50),URTAN(50),PBGES(50),PDST(50),PIZST(50),DLMS(50),
6 VD(50),PHI(50),RHO(50),VUXY(50),VUXZ(50),
7 VDELTA(50),VDELTA1(50)
INTEGER IBCDY(15)
DATA EINS/50*1./
CHARACTER*30 ENTRADA,SALIDA
PI=3.1416

```

```

*****
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.

```

```

*****
OPEN(UNIT=15,NAME='COEF.MOD',TYPE='OLD')
DO 20 L1=1,5
  READ(15,11) (CBETA(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,11) (CK02(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,11) (CK04(L1,L2), L2=1,12)
  READ(15,11) (CKPS(L1,L2), L2=1,12)
20 CONTINUE
  READ(15,11) CALPHA
11 FORMAT(6(1X,E12.6)/1X,6(1X,E12.6))
  RHO00=1.293*273.15/(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 NE= NUMEROS DE LOS PLANOS DE MEDICION
C IBCDY= TEXTO PARA SIGNIFICAR ESTE PLANO (MAX. 60 LETRAS)
*****
DO 900 I=1,NE
  READ (5,25) IBCDY
35 FORMAT (15A4)

```

```

*****
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 MAS
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=PU*1.33E2
P17=P17*9.81
WRITE(6,1) IBCDY
1   FORMAT(1H1,8X,67('*')/9X,'*',15A4,5X,'*')
WRITE(6,805)H
B05  FORMAT(9X,'*POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM=',F6.0,
2   20X,'*')
WRITE(6,2) PU,T
2   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)
B01  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-PO4 (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)
ALP=ALPHA(IO)
ALPHA(IO)=ALPHA(IO)-90.
IF (ALPHA(IO).GT.180.) ALPHA(IO)=ALPHA(IO)-360.
WRITE(6,800) S,PO(IO),PO2,PO4,ALP,ALPHA(IO)
B00  FORMAT(9X,6(F8.2,5X))
P2(IO)=PO(IO)-PO2
P4(IO)=PO(IO)-PO4
RHO(IO)=RHO0*PU
Y(IO)= S-SM
IF(Y(IO) .GT. 0.) NNEG=NNEG+1
R(IO)=ABS(Y(IO))
100  CONTINUE
Y(1)=+RA
R(1)=R0

```

55 CONTINUE

C POR EL PRIMER CALCULO DE LA VELOCIDAD SE USA LA CURVA
C DE CALIBRACION PARA LA VELOCIDAD MAS PEQUENA. (LV(I1)=1
C RESPECTIVO LVALT=1).

DO 101 I1=2,NS
LV(I1)=1

101 CONTINUE
DO 200 J=1,2

C EL PROGRAMA CALCULA LA VELOCIDAD DOS VECES. LA PRIMERA
C VEZ CHECA LA VELOCIDAD PARA ELIGIR LA CURVA DE
C CALIBRACION ADECUADA.

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 (((PO(I2)-P2(I2)) .LE. 0.) .AND. ((PO(I2)-P4(I2))
1 .LE. 0.)) GOTO 98

C ERROR EN LA MEDICION. EL FLUJO VIENE POR ATRAS. (SE ELI-
C MINARA ESTE RESULTADO DESPUES)

IF (P2(I2)-P4(I2)) 50,51,51

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).

50 P(I2)=(P2(I2)-P4(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 CALCULO DEL VALOR CV EN FUNCION DEL VALOR PV Y EL
C POLINOMIO CK02

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)
CP=P0(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*****
C VALOR DE LA MEDICION FUERA DEL RANGO PERMITIDO. SE
C ELIMINA ESTE VALOR Y SE RENUMERAN LOS OTROS.
C*****
4 FORMAT(IH0,5(X,F10.5),5X,'BETA GT.+60 0 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*****
C CALCULO DEL ANGULO BETA Y DEL VALOR CPS EN FUNCION DEL
C VALOR PV Y DE LOS POLINOMIOS CBETA Y CKPS.
C*****
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*****
C CORRECCION DEL ANGULO ALPHA EN FUNCION DEL POLINOMIO CALPHA
C Y DEL ANGULO BETA.
C*****
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*****
C CALCULO DE LA VELOCIDAD. DERIDO 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.*CP*9.81/(RHO(I2)*CV))
PST(I2)= -.125*RHO(I2)*V(I2)*V(I2)*CPS+0.25*(2.*APO(I2)+
1 P2(I2)+P4(I2))*9.81
RHO(I2)=RHO0*(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. 66.95) 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,'00')

```

```

802  FORMAT(1H0,8X,75(' ')/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',19X,'M/S',4X,'M/S',4X,
1     'M/S',4X,'M/S',4X,'M/S',8X,'A')

```

```

*****
C LA VELOCIDAD TOTAL SE DESCOMPONE EN SUS TRES COMPONENTES
C AXIAL, RADIAL Y TANGENCIAL. ADEMAS SE CALCULA LA
C DENSIDAD MASICA DEL FLUJO APARTIR DE LA DENSIDAD LOCAL.

```

```

*****
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.
PDYN(I10)=0.5*RH0(I10)*V(I10)*V(I10)
PGES(I10)= PST(I10)+PDYN(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)=RH0(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 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 MAS CERCANO A ESTE.
C LA PRESION DINAMICA ES CERO SEGUN EL HECHO QUE NO EXISTE
C NINGUNA VELOCIDAD, ENTONCES VALE PTOTAL=PESTATICA.

```

```

*****
UAX(1)=0.
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 ADELANTE Y FLUJO EN
C DIRECCION HACIA ATRAS (RECIRCULACION). PARA ESTO SE USA
C LA SUBROUTINA TRAPEZ QUE SE TIENE QUE COMPILAR POR
C SEPARADO.

```

```

*****
VOLPSI=TRAPEZ(UAX,EINS,EINS,R,NNEG)
VOLAX=VOLPSI*3.6*PI*10-3
AMAX=PI*3.6*TRAPEZ(RHOUAX,EINS,EINS,R,NNEG)*(1.E-3)*2.
AMSOLL=VSOLL*1.222
FEHLM=(AMAX-AMSOLL)/AMSOLL*100.
AMRUCK=PI*3.6*TRAPEZ(RURUCK,EINS,EINS,R,NNEG)*(1.E-3)*2.
PRUCK= AMRUCK/AMAX*100.
AIAX=PI*TRAPEZ(UAX,RHOUAX,EINS,R,NNEG)*1.E-06*2.
DTAN=PI*TRAPEZ(RHOUAX,UTAN,R,R,NNEG)*(1.E-9)*2.
SDRUCK=PI*TRAPEZ(PST,EINS,EINS,R,NNEG)*(1.E-6)*2.
SSCHUB=AIAX+SDRUCK
EAX=PI*TRAPEZ(UAX,UAX,RHOUAX,R,NNEG)*(0.5E-6)*2.
EDRUCK=PI*TRAPEZ(PST,UAX,EINS,R,NNEG)*(1.E-06)*2.
ETAN=PI*TRAPEZ(RHOUAX,UTAN,UTAN,EINS,NNEG)*(0.5E-6)*2.

```

```
EGES=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 TRANCURSO 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)**2./R(I10)+
```

```
1 RHO(I10)*UTAN(I10+1)**2./R(I10+1))*R(I10)-R(I10+1))
```

```
PSI=PSI+0.5*(UAX(I10)*R(I10)+UAX(I10-1)*R(I10-1))*
```

```
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
```

```
PZ(I12)=0.
```

```
PHI(I12)=0.
```

```
47 CONTINUE
```

```
*****
```

```
C IMPRESION DE LOS RESULTADOS!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
*****
```

```
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)
```

```
5 FORMAT(3X,'*',F6.1,9(X,F6.1),1X,'*')
```

```
46 CONTINUE
```

```
CONTINUE
```

```
WRITE(6,803)
```

```
803 FORMAT(9X,75(' '))
```

```
ZDRUCK=PI*TRAPEZ(PZ,EINS,EINS,R,NNEG)*1.E-6)*2.
```

```
ZEDRUK=PI*TRAPEZ(PZ,UAX,EINS,R,NNEG)*1.E-6)*2.
```

```
ZSCHUB=AIAX+ZDRUCK
```

```
*****
```

```
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)
```

```
*****
```

```
SDRALL=DTAN/(RB*(AIAX+ZDRUCK))*1.E03
```

```
ZDRALL=DTAN/(RB*(AIAX+ZDRUCK))*1.E03
```

```
DRALL2=DTAN/(RB*AIAX)*1.E03
```

```
DRALL3=ETAN/EAX
```

```
WRITE(6,140) IBCDY
```

```

C 140  FORMAT(1H0,10A4,/' VALORES INTEGRALES - TODOS LAS '
C      1  ,'PRESIONES Y VALORES CALCULADOS A PARTIR DE PRESIONES '
C      2  ,'SON RELACIONADOS A P17')
C      WRITE(6,30) VOLAX,AMAX,AMSOLL,FEHLM
C      30  FORMAT(1H0,'FLUJO VOLUMETRICO AXIAL ',F8.2,' M3/H',
C      1  '   FLUJO MASICO AXIAL ',F8.2,' KG/H'/5X,
C      2  'FLUJO MASICO A LA ENTRADA ',F8.2,' KG/H',
C      3  '   DISCREPANCIA ',F6.1,'%')
C      WRITE(6,34) AMRUCK,PRUCK
C      34  EORMAT(1H0,'ELUJO MASICO RECIRCULANTE ',F7.1,
C      1  ' KG/H',3X,F5.1,'% DEL FLUJO MASICO TOTAL')
C      WRITE(6,31) AIAAX,SDRUCK,SSCHUB,DTAN
C      31  FORMAT(1H0,'IMPULSO AXIAL ',F10.5,' N   PROMEDIO DE ',
C      1  'LA FUERZA DE PRESION ',F10.5,' N/'   PROMEDIO DE LA ',
C      2  'FUERZA DE TENSION',F10.5,' N   IMPULSO DEL SWIRL ',
C      3  F10.5,' NM')
C      WRITE(6,32) EAX,ETAN,EDRUCK,EGES
C      32  EORMAT(1H0,'ENERGIA AXIAL ',F8.3,' WATT   ENERGIA ',
C      1  'DEL SWIRL',F8.3,' WATT'/'   ENERGIA DE LA PRESION ',
C      2  F8.3,' WATT   ENERGIA TOTAL ',F8.3,' WATT')
C      WRITE(6,33)SDRALL,DRALL2,DRALL3
C      33  EORMAT(1H0,'NUMERO DE SWIRL (PROMEDIO) ',F10.5,5X,
C      1  'SWIRL2 (DRALL2) ',F10.5,5X,'SWIRL3 (DRALL3) ',F10.5)
C      WRITE(6,16) ZDRUCK,ZSCHUB,ZEDRUCK,ZDALL
C      16  EORMAT(///1X,'VALORES CALCULADOS CON LA PRESION ',
C      1  'ESTATICA DETERMINADA CON EL METODO INTEGRAL'/
C      2  2X,'FUERZA DE PRESION',F8.4,' N   FUERZA DE TENSION ',
C      3  F8.4,' N   ENERGIA DE PRESION ',F9.3,' WATT   SWIRL',
C      4  F8.4)
900  CONTINUE
      STOP
      END

```

C*****
C FUNCTION ZUR NUMERISCHEN INTEGRATION MIT HILFE DER TRAPEZ-REGEL
C*****

```
FUNCTION TRAPEZ(A,B,C,D,NT)  
DIMENSION A(50),B(50),C(50),D(50)  
TRAPEZ=0.  
DO 950 K=2,NT  
TRAPEZ=TRAPEZ+0.5*(A(K)+B(K)+C(K)+D(K)+A(K-1)+B(K-1)+  
1 C(K-1)+D(K-1))*ABS(D(K)-D(K-1))  
950 CONTINUE  
RETURN  
END
```

0.146486E+01 0.924249E+01 -.195560E+01 0.772546E+01 0.339284E+01 -.204151E+01
-.207118E+01 0.168609E+01 0.454562E+00 -.787127E+00 -.209615E-01 0.114537E+00
0.452230E+00 -.256314E+00 -.261468E+00 -.774233E+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 0.318838E+01 -.719951E+00
0.310273E+01 -.216940E+00 -.952307E-01 0.980138E+00 -.250412E+00 -.164580E+01
0.804842E-01 0.117017E+01 -.103882E+00 -.379017E+00 0.265940E-01 0.465590E-01
0.187989E+01 0.104114E+02 -.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 -.214528E-01 -.617699E+00 0.360892E+00 0.124835E+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 0.508154E+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 0.552368E+01 0.756340E-01 -.527793E+00
0.470747E+00 -.277794E+00 -.904894E-01 0.109742E-01 0.105707E-01 -.632381E+00
-.315506E-01 0.850150E+00 0.265979E+00 -.339633E+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 0.547202E+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 0.242515E+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 0.638210E-01 0.961688E+00
0.138431E-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 0.467832E-01 -.158903E+00 -.318822E+00 -.823552E-01 0.387679E+00
-.745433E-01 -.129539E+00 -.519080E-01 -.151974E-01 0.199254E-01 0.978278E-03
0.305101E+00 0.566311E-01 0.266229E-02 0.808085E-04 -.193001E-04 -.578299E-06
0.388047E-07 0.103376E-08 -.310434E-10 -.742057E-12 0.854512E-14 0.191040E-15

A N E X O I I .
RESULTADOS SONDA DIRECCIONAL DE
CINCO ORIFICIOS .

 * APLANO 2 A 3.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.G 6-X-87 *
 * POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 75. *
 * PRESION ATMOSFERICA 87115.MM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
15.50	19.00	4.10	15.00	230.00	140.00
24.30	20.00	4.40	20.00	252.00	162.00
33.10	20.00	3.90	15.00	232.00	142.00

* RESULTADOS *										
Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta	*
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
15.5	20.7	10.5	139.0	-15.4	-3.8	-13.4	15.8	20.4	13.8	*
24.3	22.8	12.4	160.9	-21.1	-4.9	-7.3	21.6	22.3	13.1	*
33.1	20.6	10.8	140.9	-15.7	-3.9	-12.8	16.2	20.3	13.8	*

 * APLANO 2 A 13.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.G 6-X-87 *
 * POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 75. *
 * 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	ALPHAR
15.50	15.50	3.90	11.00	230.00	140.00
24.30	18.00	3.60	15.00	265.00	175.00
33.10	16.00	1.10	11.00	332.00	-118.00

* RESULTADOS

* Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	*
* MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 15.5	18.3	9.0	139.0	-13.6	-2.8	-11.8	13.9	18.0	11.8	*
* 24.3	20.5	11.2	173.9	-20.0	-4.0	-2.1	20.4	20.1	11.3	*
* 33.1	16.7	14.5	-119.1	-7.9	-4.2	14.2	8.9	16.2	27.9	*

 *PLANO 2 A 23.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.-30.G 6-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 75. *
 *PRESION 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	ALPHAR
6.80	20.00	4.20	15.00	90.00	0.00
15.50	15.00	2.30	10.00	57.50	-32.50
33.10	16.00	3.20	11.00	275.00	-175.00
41.90	20.00	4.20	15.00	259.00	169.00
45.30	20.00	2.80	15.00	260.00	170.00

* RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	*
6.8	20.8	10.4	-1.0	20.4	-3.7	0.4	20.8	20.4	-10.4 *
15.5	16.7	11.4	-33.6	13.6	-3.3	9.0	14.0	16.3	-13.6 *
33.1	17.8	10.2	-176.0	-17.5	-3.1	1.2	17.8	17.6	10.2 *
41.9	20.8	10.4	168.0	-20.0	-3.7	-4.3	20.3	20.4	10.6 *
45.3	20.1	12.4	168.9	-19.3	-4.3	-3.8	19.8	19.6	12.6 *

 *PLANO 2 A 33.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.-30.8 6-X-B7 *
 *POSICION DE LA Sonda EN EL EJE Z EN MM= 75. *
 *PRESION 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	ALPHAR
6.80	20.00	2.60	15.00	84.00	-6.00
15.50	14.50	0.20	11.00	55.00	-35.00
33.10	16.00	0.70	11.00	55.00	-35.00
41.90	20.50	4.00	14.00	252.00	162.00
45.30	20.00	1.50	14.00	253.00	163.00

* RESULTADOS

Y	U	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
6.8	20.0	12.7	-7.1	19.4	-4.4	2.4	19.9	19.5	-12.8
15.5	16.3	16.7	-36.1	12.6	-4.7	9.2	13.5	15.6	-20.4
33.1	16.5	15.4	-36.1	12.9	-4.4	9.4	13.6	15.9	-18.9
41.9	20.1	10.3	161.0	-18.7	-3.6	-6.4	19.0	19.8	10.8
45.3	18.9	14.3	161.9	-17.4	-4.7	-5.7	18.0	18.3	15.0

 *PLANO 2 A 43.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.6 6-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDÁ EN EL EJE Z EN MM= 75. *
 *PRESION 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	ALPHAR
6.80	22.00	1.40	16.00	84.00	-6.00
15.50	16.00	4.10	14.00	37.00	-53.00
24.30	18.00	3.20	12.00	142.00	52.00
33.10	17.00	1.70	11.00	32.00	-58.00
41.90	18.00	-0.50	11.50	231.00	141.00
45.30	19.00	0.00	15.50	252.00	162.00

* RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
6.8	20.1	14.8	-7.1	19.3	-5.1	2.4	20.0	19.4	-14.9
15.5	20.2	10.1	-54.0	11.7	-3.5	16.1	12.2	19.8	-16.9
24.3	18.5	10.6	51.0	11.4	-3.4	-14.1	11.9	18.2	-16.6
33.1	17.0	13.1	-59.1	8.5	-3.9	14.2	9.4	16.6	-24.4
41.9	16.4	18.5	140.0	-11.9	-5.2	-10.0	13.0	15.5	23.6
45.3	19.3	17.2	160.9	-17.4	-5.7	-6.0	18.3	18.4	18.1

 *PLANO 4 A 3.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.G 8-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	30.00	-15.00	26.00	160.00	70.00
6.80	21.00	0.90	-0.10	273.50	-176.50
15.50	22.00	1.50	1.10	269.00	179.00
24.30	22.00	1.70	2.80	273.00	-177.00
33.10	20.00	0.20	3.50	273.00	-177.00
41.90	18.00	0.50	1.20	295.00	-155.00
45.30	33.00	0.00	21.00	250.00	160.00

* RESULTADOS

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
3.4	22.3	34.6	67.5	7.0	-12.7	-17.0	14.5	18.4	-61.0
6.8	4.7	-17.9	-175.8	-4.4	1.4	0.3	4.7	4.5	-18.0
15.5	7.4	-1.3	178.8	-7.4	0.2	-0.2	7.4	7.4	-1.3
24.3	10.1	5.3	-177.7	-10.0	-0.9	0.4	10.1	10.1	5.3
33.1	9.3	15.6	-178.1	-9.0	-2.5	0.3	9.3	9.0	15.6
41.9	6.2	7.9	-155.9	-5.6	-0.9	2.5	5.6	6.1	8.7
45.3	21.9	17.9	159.0	-19.4	-6.7	-7.5	20.5	20.8	19.1

 *PLANO 4 A 13.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.6 8-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHARI
3.40	20.00	1.60	1.30	176.00	86.00
6.80	25.00	0.00	7.60	192.00	92.00
15.50	17.00	2.00	-0.90	240.00	150.00
24.30	16.00	1.60	-0.90	274.00	-176.00
33.10	17.50	2.00	-0.70	317.00	-133.00
41.90	21.00	1.90	0.70	341.50	-108.50
45.30	21.50	1.60	0.65	350.50	-99.50

* RESULTADOS *									
Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
3.4	7.7	-1.1	85.8	0.6	0.1	-7.7	0.6	7.7	14.2
6.8	13.5	17.2	90.9	-0.2	-4.0	-12.9	4.0	12.9	87.0
15.5	6.5	-30.0	151.2	-4.9	3.3	-2.7	5.9	5.6	-33.4
24.3	5.7	-34.0	-174.3	-4.7	3.2	0.5	5.7	4.7	-34.1
33.1	6.7	-26.3	-132.0	-4.0	3.0	4.5	5.0	6.0	-36.4
41.9	7.3	-6.5	-108.5	-2.3	0.8	6.9	2.5	7.3	-19.8
45.3	6.8	-5.9	-99.5	-1.1	0.7	6.7	1.3	6.8	-31.9

 *PLANO 4 A 23.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.-30.6 S-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	20.00	2.40	1.60	179.00	89.00
6.80	21.50	2.40	3.40	185.00	95.00
15.50	15.50	1.35	-0.60	190.50	100.50
24.30	13.50	-0.25	0.00	187.00	97.00
33.10	14.50	0.70	-0.20	354.00	-96.00
41.90	20.00	2.60	2.00	1.00	-89.00
45.30	21.00	1.90	3.00	3.00	-87.00

24.30000 -1.56250 13.50000 13.75000 13.50000 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	
3.4	9.2	-2.1	88.8	0.2	0.3	-9.2	0.4	9.2	60.0
6.8	11.5	4.2	94.4	-0.9	-0.8	-11.4	1.2	11.4	43.9
15.5	5.4	-29.8	101.7	-0.9	2.7	-4.0	2.8	4.7	-70.5
33.1	4.0	-23.9	-95.0	-0.3	1.6	3.7	1.7	3.7	-78.8
41.9	9.9	-0.9	-89.3	0.1	0.1	9.9	0.2	9.9	49.1
45.3	10.5	5.0	-87.7	0.4	-0.9	10.5	1.0	10.5	-65.0

 APLANO 4 A 33.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.-30.6 8-X-87 *
 APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 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	ALPHAR
3.40	20.00	2.50	1.00	180.00	90.00
6.80	21.00	2.50	2.00	181.00	91.00
15.50	16.00	1.00	-0.20	158.00	68.00
24.30	13.50	0.00	0.00	23.00	-67.00
33.10	15.50	1.40	-0.50	36.00	-54.00
41.90	20.50	2.00	3.80	12.50	-77.50
45.30	21.00	0.60	4.00	9.00	-81.00
34.30000	-1.28571	13.50000	13.50000	13.50000	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	
3.4	8.5	-6.0	90.0	0.0	0.9	-3.5	0.9	8.5	89.8
6.8	9.8	-0.5	90.7	-0.1	0.1	-9.8	0.2	9.8	-35.6
15.5	4.9	-20.9	68.9	1.6	1.7	-4.3	2.4	4.6	46.6
33.1	5.6	-26.5	-53.0	3.0	2.5	4.0	3.9	5.0	39.7
41.9	11.4	6.3	-78.3	2.3	-1.3	11.1	2.6	11.4	-28.6
45.3	10.3	13.2	-82.1	1.4	-2.3	9.9	2.7	10.0	-59.8

 *PLANO 4 A 43.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.G B-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	21.00	1.50	0.00	178.00	88.00
6.80	21.00	1.30	0.50	170.00	80.00
15.50	19.50	1.30	0.40	124.00	34.00
24.30	18.50	1.80	0.90	87.00	-3.00
33.10	20.00	2.00	0.80	67.00	-23.00
41.90	23.00	-2.80	7.10	357.00	-93.00
45.30	20.00	-0.70	4.10	11.00	-79.00

* RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
3.4	6.1	-14.7	88.5	0.2	1.5	-5.9	1.5	5.9	84.3
6.8	6.1	-6.2	80.0	1.1	0.7	-6.0	1.2	6.1	32.2
15.5	5.9	-7.6	34.1	4.9	0.8	-3.3	4.9	5.9	9.2
24.3	7.5	-4.4	-3.1	7.5	0.6	0.4	7.5	7.5	4.4
33.1	7.6	-6.0	-23.0	7.0	0.8	3.0	7.0	7.6	6.5
41.9	12.0	30.3	-94.3	-0.8	-6.0	10.3	6.1	10.3	82.7
45.3	9.5	22.5	-79.9	1.5	-3.6	8.6	3.9	8.7	-67.1

 *PLANO 4 A 53.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.-30.6 S-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	37.00	8.00	13.00	47.00	-43.00
6.80	23.00	3.70	2.60	89.00	-1.00
15.50	22.00	2.10	1.80	94.00	4.00
24.30	22.00	2.80	1.00	89.00	-1.00
33.10	21.00	1.95	0.00	82.50	-7.50
41.90	20.00	0.70	-0.30	91.00	1.00
45.30	32.00	-4.80	16.00	330.00	-120.00

* RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
3.4	21.0	6.0	-43.7	15.1	-2.2	14.4	15.2	20.9	-8.3
6.8	11.6	-1.6	-1.2	11.6	0.3	0.2	11.6	11.6	1.6
15.5	9.1	0.1	3.7	9.1	0.0	-0.6	9.1	9.1	-0.1
24.3	8.9	-6.7	-1.0	8.8	1.0	0.2	8.9	8.8	6.7
33.1	6.9	-14.7	-7.0	6.7	1.8	0.8	6.9	6.7	14.8
41.9	3.9	-29.2	2.1	3.4	1.9	-0.1	3.9	3.4	29.2
45.3	18.2	27.0	-121.1	-8.4	-8.3	13.9	11.8	16.2	44.6

 *PLANO 4 A 13.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM. O.G 9-IX-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 30.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	20.00	2.80	1.20	173.00	83.00
6.80	26.00	3.60	6.20	171.00	81.00
15.57	20.00	0.00	1.80	237.00	147.00
24.30	18.00	0.40	2.00	259.00	169.00
33.10	18.00	0.40	0.20	301.50	-148.50
41.90	20.00	0.00	1.00	353.00	-97.00
45.30	20.00	0.40	1.20	360.00	-90.00

* RESULTADOS *										
Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UIAN	Vxy	Vxz	delta	*
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
3.4	9.2	-5.5	83.0	1.1	0.9	-9.1	1.4	9.1	38.2	*
6.8	15.0	5.6	80.3	2.5	-1.5	-14.7	2.9	14.9	-30.4	*
15.6	6.6	17.2	145.9	-5.2	-2.0	-3.5	5.6	6.3	20.5	*
24.3	7.4	12.1	167.9	-7.1	-1.6	-1.5	7.3	7.3	12.3	*
33.1	3.6	-4.4	-148.6	-3.0	0.3	1.8	3.0	3.6	-5.1	*
41.9	4.9	17.2	-98.1	-0.7	-1.5	4.7	1.6	4.7	65.6	*
45.3	6.0	9.4	-91.0	-0.1	-1.0	5.9	1.0	5.9	84.1	*

 *PLANO 4 A 23.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM. 0.G 9-IX-87 *
 *POSICION DE LA Sonda EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 30.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	20.00	1.00	2.80	184.00	94.00
6.80	21.50	0.40	4.40	189.00	99.00
15.50	16.00	0.00	4.40	207.00	117.00
24.30	14.00	-0.40	-0.20	214.00	124.00
33.10	16.00	1.10	-0.70	346.00	-104.00
41.90	20.00	1.00	1.60	2.00	-88.00
45.30	20.00	1.80	0.40	4.00	-86.00
24.30000	0.80000	14.00000	14.40000	14.20000	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	*
3.4	9.3	8.9	93.1	-0.5	-1.4	-9.2	1.5	9.2	71.3 *
6.8	10.6	14.7	97.9	-1.4	-2.7	-10.2	3.0	10.3	62.5 *
15.5	10.3	17.2	115.9	-4.3	-3.1	-8.9	5.3	9.9	35.3 *
33.1	4.7	-36.3	-101.8	-0.8	2.8	3.7	2.9	3.8	-74.5 *
41.9	7.7	5.1	-88.7	0.2	-0.7	7.7	0.7	7.7	-75.4 *
45.3	6.9	-9.3	-85.9	0.5	1.1	6.8	1.2	6.8	66.3 *

 *PLANO 4 A 33.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM. 0.G 9-IX-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 30.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	18.00	1.00	0.80	186.00	96.00
6.80	20.00	1.00	2.40	197.00	97.00
15.50	15.00	0.00	-0.20	153.00	63.00
24.40	14.00	-0.50	-1.20	90.00	0.00
33.10	15.00	0.60	-1.60	36.00	-54.00
41.90	20.00	0.50	2.00	17.50	-72.50
45.30	18.00	0.80	0.60	19.00	-71.00
15.50000	1.00000	15.00000	15.00000	15.20000	B1
24.40000	1.00000	14.00000	14.50000	15.20000	B1
33.10000	-3.66667	15.00000	14.40000	16.60000	B1

* RESULTADOS

* Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Vxy	Vxz	delta	*
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S		*
* 3.4	6.2	-0.5	95.7	-0.6	0.1	-6.2	0.6	6.2	-5.2	*
* 6.8	8.8	7.9	96.1	-0.9	-1.2	-8.7	1.5	8.7	52.6	*
* 41.9	7.6	11.0	-73.6	2.1	-1.4	7.1	2.5	7.4	-34.5	*
* 45.3	5.5	-1.1	-71.2	1.8	0.1	5.2	1.8	5.5	3.3	*

 * APLANO 4 A 43.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM. 0.6 9-IX-87 *
 * APOSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 * APRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 30.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	18.00	-0.40	-0.40	187.00	97.00
6.80	19.00	-0.50	0.20	180.00	90.00
15.50	16.00	-0.40	0.30	106.00	16.00
24.30	18.50	1.00	1.20	80.00	-10.00
33.10	18.50	0.40	0.30	76.00	-14.00
41.90	25.50	4.50	3.80	354.00	-96.00
45.30	20.00	6.00	-1.00	10.00	-80.00
3.40000	-0.20000	18.00000	18.40000	18.40000	B
6.80000	3.49999	19.00000	19.50000	18.80000	B
15.50000	2.33333	16.00000	16.40000	15.70000	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	*
24.3	7.1	3.0	-10.5	6.9	-0.4	1.3	6.9	7.0	-3.0 *
33.1	3.9	-1.1	-14.2	3.8	0.1	1.0	3.8	3.9	1.1 *
41.9	13.4	0.0	-96.3	-1.5	0.0	13.3	1.5	13.4	-0.4 *
45.3	12.1	-19.7	-79.2	2.1	4.1	11.2	4.6	11.4	62.3 *

 *PLANO 4 A 53.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM. O.G 9-IX-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.NM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 30.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	48.00	16.00	12.00	48.50	-41.50
6.80	31.00	12.00	1.00	68.50	-21.50
15.50	14.00	2.00	-3.00	99.00	9.00
24.30	16.00	1.10	-2.00	108.00	18.00
33.10	18.00	0.50	-1.20	106.00	16.00
41.90	17.50	0.40	-0.70	310.00	-140.00
45.30	34.00	10.00	1.60	332.00	-118.00
15.50000	-2.50000	14.00000	12.00000	17.00000	B
24.30000	-2.81818	16.00000	14.90000	18.00000	B
33.10000	-3.40000	18.00000	17.50000	19.20000	B
41.90000	-2.75000	17.50000	17.10000	18.20000	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	
3.4	24.6	-0.9	-41.8	18.3	0.4	16.4	18.3	24.6	1.2
6.8	17.5	-12.5	-21.1	15.9	3.8	6.2	16.4	17.1	13.4
45.3	16.1	-10.7	-117.8	-7.4	3.0	14.0	7.9	15.8	-32.0

 *PLANO 4 A 3.05 DEL ORIGEN INCLIN. GUEM.+30.6 20-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	28.00	26.00	-5.30	151.50	61.50
6.80	15.00	-0.30	0.55	270.50	-179.50
15.50	15.00	-0.20	0.00	268.00	178.00
24.30	15.00	0.00	-0.20	273.50	-176.50
33.10	14.50	0.00	-0.40	275.00	-175.00
41.90	13.00	1.10	-2.10	330.00	-120.00
45.30	32.00	28.00	-0.80	239.00	149.00

15.50000	0.00000	15.00000	15.20000	15.00000	B
24.30000	0.00000	15.00000	15.00000	15.20000	B
33.10000	0.00000	14.50000	14.50000	14.90000	B
41.90000	-2.90909	13.00000	11.90000	15.10000	B

 * RESULTADOS *
 * Y U BETA ALPHA UAX UR UTAN Uxy Uxz delta *
 * MM H/S M/S M/S M/S M/S M/S M/S *
 * 3.4 23.1 -21.7 62.4 9.9 8.5 -19.0 13.1 21.5 40.7 *
 * 6.8 3.2 35.6 179.4 -2.6 -1.9 0.0 3.2 2.6 35.6 *
 * 45.3 24.8 -16.1 149.6 -20.5 6.9 -12.0 21.7 23.8 -18.5 *

 *PLANO 4 A 13.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.+30.G 20-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	15.00	-0.15	-0.20	173.50	83.50
6.80	14.50	-0.10	-0.25	164.50	74.50
15.50	15.00	0.00	0.40	265.00	175.00
24.30	15.00	-0.20	0.65	271.00	-179.00
33.10	15.00	-0.20	0.30	317.00	-133.00
41.90	15.50	-0.45	0.50	355.50	-94.50
45.30	15.50	-0.45	0.55	3.00	-88.00
3.40000	-1.20385	15.00000	15.15000	15.20000	B
6.80000	-1.20385	14.50000	14.60000	14.75000	B
41.90000	1.90000	15.50000	15.95000	15.00000	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		*
15.5	3.1	17.2	173.9	-2.9	-0.9	-0.3	3.1	3.0	17.3	*
24.3	3.7	27.2	179.9	-3.3	-1.7	0.0	3.7	3.3	27.2	*
33.1	2.5	37.2	-136.0	-1.4	-1.5	1.4	2.0	2.0	46.5	*
45.3	3.4	41.5	-91.7	-0.1	-2.3	2.6	2.3	2.6	88.1	*

 *PLANO 4 A 23.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.+30.G 20-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION ATMOSFERICA 87115.MM-2 TEMPERATURA DEL AIRE 25.C *

DATOS DE MEDICION

Y	P(0)-P(AMB)	P(0)-P(2)	P(0)-P(4)	ALPHAMED	ALPHAR
3.40	15.50	-0.10	0.45	219.50	129.50
6.80	15.50	0.10	0.60	240.00	150.00
15.50	14.50	0.10	0.35	224.50	134.50
24.30	13.50	-0.10	-0.10	120.00	30.00
33.10	14.50	0.30	-0.20	347.00	-103.00
41.90	15.00	0.00	0.10	1.00	-89.00
45.30	15.50	-0.10	0.20	12.00	-78.00

24.30000 -1.81818 13.50000 13.60000 13.60000 B

* RESULTADOS *

Y	V	BETA	ALPHA	UAX	UR	UTAN	Uxy	Uyz	delta
MM	M/S			M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	
3.4	3.1	24.3	128.6	-1.8	-1.3	-2.2	2.2	2.8	35.9
6.8	4.0	12.8	143.9	-3.2	-0.9	-2.0	3.4	3.9	14.9
15.5	3.2	10.3	133.5	-2.1	-0.6	-2.3	2.2	3.1	14.8
33.1	2.5	-37.2	-100.6	-0.4	1.5	1.9	1.5	2.0	-76.4
41.9	1.5	17.2	-90.1	0.0	-0.5	1.5	0.5	1.5	89.8
45.3	2.0	34.0	-79.2	0.3	-1.1	1.6	1.1	1.6	-74.5

 *PLANO 4 A 33.05 DEL ORIGEN INCLIN. DE QUEM.+30.G 20-X-87 *
 *POSICION DE LA Sonda EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	15.50	-0.20	0.80	202.00	112.00
6.80	15.50	0.20	0.55	195.00	105.00
15.50	14.00	0.10	-0.25	165.00	75.00
24.30	14.50	0.20	-0.25	38.00	-62.00
33.10	15.00	0.35	-0.20	14.00	-76.00
41.90	15.00	-0.10	0.20	38.00	-52.00
45.30	15.00	0.00	0.00	30.00	-60.00
15.50000	-3.49999	14.00000	13.90000	14.25000	B
24.30000	-2.25000	14.50000	14.30000	14.75000	B
45.30000	1.00000	15.00000	15.00000	15.00000	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	*
3.4	4.1	25.2	111.0	-1.3	-1.8	-3.5	2.2	3.7	52.7 *
6.8	4.1	8.8	104.1	-1.0	-0.6	-3.9	1.2	4.0	32.6 *
33.1	2.7	-34.3	-74.2	0.6	1.5	2.1	1.6	2.2	68.2 *
41.9	2.0	34.0	-53.2	1.0	-1.1	1.3	1.5	1.6	-48.4 *

 *PLANO 4 A 43.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.+30.G 20-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	15.50	-0.30	0.80	180.00	90.00
6.80	15.50	-0.20	0.40	177.00	87.00
15.50	15.00	0.00	0.00	133.00	43.00
24.30	14.50	0.00	-0.10	87.00	-3.00
33.10	15.00	0.00	-0.10	42.50	-47.50
41.90	14.00	0.00	-0.10	341.00	-109.00
45.30	15.00	0.00	-0.20	354.00	-96.00
15.50000	-1.57143	15.00000	15.00000	15.00000	B
24.30000	-1.57143	14.50000	14.50000	14.60000	B
33.10000	-1.57143	15.00000	15.00000	15.10000	B
41.90000	-1.57143	14.00000	14.00000	14.10000	B
45.30000	-1.57143	15.00000	15.00000	15.20000	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	
3.4	4.0	29.6	88.8	0.1	-2.0	-3.5	2.0	3.5	-87.8
6.8	2.8	34.0	85.8	0.2	-1.6	-2.3	1.6	2.3	-83.8

 *PLANO 4 A 53.05 DEL ORIGEN INCLIN. QUEM.+30.6 20-X-87 *
 *POSICION DE LA SONDA EN EL EJE Z EN MM= 100. *
 *PRESION 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	ALPHAR
3.40	29.00	26.00	-14.00	45.00	-45.00
6.80	13.50	0.00	-0.20	68.50	-21.50
15.50	14.50	0.00	-0.30	64.00	-26.00
24.30	15.50	0.10	-0.20	63.50	-26.50
33.10	15.50	-0.10	0.00	79.00	-11.00
41.90	15.50	-0.45	0.65	89.00	-1.00
45.30	30.00	31.00	-11.00	332.00	-118.00
6.80000	1.50000	13.50000	13.50000	13.70000	B
15.50000	1.50000	14.50000	14.50000	14.80000	B
24.30000	-2.99999	15.50000	15.40000	15.70000	B
33.10000	-2.99999	15.50000	15.60000	15.50000	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	
3.4	22.3	-33.3	-43.4	13.6	12.3	12.8	18.3	18.7	42.1
41.9	3.6	37.9	-4.2	2.9	-2.2	0.2	3.6	2.9	-38.0
45.3	24.7	-27.0	-117.0	-10.0	11.2	19.6	15.0	22.0	-48.3

A N E X O I I I ,
RESULTADOS ANALIZADOR DE HIDROCARBUROS.

QUEMADOR SIMULADO 1.A
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

1A		1B		3A		3B	
20	11.7	40	10.8	60	9.4	80	12.1
22	11.5	42	11.1	62	8.8	82	12.1
24	11.1	44	11.3	64	9.8	84	11.3
PROM. 11.45		PROM. 11.05		PROM. 9.35		PROM. 11.8	
2A		2B		4A		4B	
26	10.7	46	11.1	66	9.5	86	11.1
28	12.2	48	10.9	68	8.9	88	10.7
2.10	12.0	4.10	10.7	6.10	9.6	8.10	10.3
PROM. 11.65		PROM. 10.9		PROM. 9.35		PROM. 10.7	

QUEMADOR SIMULADO 1.A
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

1A		1B		3A		3B	
20	12.7	40	10.3	60	9.7	80	9.0
22	11.8	42	10.8	62	8.8	82	9.6
24	12.5	44	10.9	64	9.65	84	10.8
PROM. 12.35		PROM. 10.65		PROM. 9.4		PROM. 9.8	
2A		2B		4A		4B	
26	12.4	46	10.6	66	9.5	86	10.25
28	13.0	48	10.9	68	10.15	88	10.3
2.10	12.8	4.10	10.8	6.10	9.2	8.10	10.35
PROM. 12.65		PROM. 10.75		PROM. 9.6		PROM. 10.3	

QUEMADOR SIMULADO 1.A
INCLINACION DE QUEMADORES -30°

1A		1B		3A		3B	
20	11.35	40	10.5	60	10.45	80	10.8
22	10.15	42	12.2	62	9.0	82	11.7
24	10.10	44	12.2	64	9.6	84	11.7
PROM. 10.5		PROM. 11.65		PROM. 9.7		PROM. 11.4	
2A		2B		4A		4B	
26	9.2	46	12.3	66	10.1	86	11.6
28	9.45	48	12.1	68	10.4	88	11.8
2.10	10.40	4.10	11.8	6.10	10.9	8.10	10.5
PROM. 9.7		PROM. 12.0		PROM. 10.45		PROM. 11.3	

QUEMADOR SIMULADO 1.B
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

1A		1B		3A		3B	
20	9.8	40	9.7	60	8.1	80	9.0
22	9.65	42	10.5	62	7.7	82	8.7
24	9.6	44	10.6	64	8.1	84	10.4
PROM.	9.7	PROM.	10.25	PROM.	7.95	PROM.	9.36
2A		2B		4A		4B	
26	9.5	46	10.6	66	8.9	86	9.9
28	9.6	48	10.4	68	8.6	88	9.25
2.10	9.3	4.10	10.6	6.10	8.4	8.10	8.5
PROM.	9.45	PROM.	10.55	PROM.	8.63	PROM.	9.2

QUEMADOR SIMULADO 1.B
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

1A		1B		3A		3B	
20	10.2	40	10.35	60	7.75	80	8.9
22	9.9	42	10.2	62	9.0	82	9.2
24	9.85	44	10.2	64	10.1	84	9.0
PROM.	10.0	PROM.	10.25	PROM.	8.95	PROM.	9.0
2A		2B		4A		4B	
26	9.9	46	10.35	66	10.4	86	9.2
28	10.0	48	10.5	68	9.75	88	9.2
2.10	10.2	4.10	10.2	6.10	8.2	8.10	9.6
PROM.	10.05	PROM.	10.35	PROM.	9.45	PROM.	9.3

QUEMADOR SIMULADO 1.B
INCLINACION DE QUEMADORES -30°

1A		1B		3A		3B	
20	9.5	40	11.2	60	8.6	80	11.8
22	9.9	42	11.6	62	9.6	82	11.7
24	10.35	44	11.8	64	9.5	84	10.8
PROM.	9.9	PROM.	11.5	PROM.	9.23	PROM.	11.4
2A		2B		4A		4B	
26	10.4	46	11.6	66	9.1	86	10.5
28	9.45	48	12.1	68	10.4	88	11.8
2.10	10.25	4.10	11.2	6.10	8.35	8.10	11.4
PROM.	10.3	PROM.	11.5	PROM.	9.05	PROM.	10.95

QUEMADOR SIMULADO 1.C
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

1A		1B		3A		3B	
20	10.2	40	9.6	60	9.3	80	8.6
22	9.5	42	10.0	62	9.0	82	8.2
24	9.7	44	10.2	64	8.8	84	7.95
PROM.	9.8	PROM.	9.9	PROM.	9.0	PROM.	8.25
2A		2B		4A		4B	
26	9.4	46	9.6	66	8.6	86	8.0
28	9.8	48	10.0	68	9.2	88	8.2
2.10	8.6	4.10	9.1	6.10	7.6	8.10	8.1
PROM.	9.26	PROM.	9.55	PROM.	8.5	PROM.	8.1

QUEMADOR SIMULADO 1.C
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

1A		1B		3A		3B	
20	10.95	40	9.9	60	8.2	80	9.2
22	10.8	42	9.7	62	9.0	82	9.75
24	9.7	44	9.7	64	9.7	84	9.5
PROM.	10.5	PROM.	9.75	PROM.	9.0	PROM.	9.5
2A		2B		4A		4B	
26	9.0	46	9.9	66	10.3	86	9.9
28	9.35	48	9.7	68	8.9	88	9.4
2.10	9.2	4.10	8.5	6.10	8.05	8.10	8.0
PROM.	9.2	PROM.	9.35	PROM.	9.1	PROM.	9.1

QUEMADOR SIMULADO 1.C
INCLINACION DE QUEMADORES -30°

1A		1B		3A		3B	
20	11.3	40	9.15	60	8.5	80	8.7
22	10.3	42	9.6	62	9.4	82	9.6
24	9.9	44	10.7	64	8.4	84	10.0
PROM.	10.5	PROM.	9.8	PROM.	8.75	PROM.	9.4
2A		2B		4A		4B	
26	10.35	46	10.4	66	9.5	86	10.2
28	10.2	48	10.4	68	9.1	88	9.4
2.10	9.5	4.10	10.65	6.10	9.6	8.10	9.65
PROM.	10.0	PROM.	10.5	PROM.	9.4	PROM.	9.75

QUEMADOR SIMULADO 1.D
INCLINACION DE QUEMADORES 0°

1A		1B		3A		3B	
20	9.2	40	9.5	60	9.4	80	6.35
22	8.7	42	9.8	62	9.0	82	7.25
24	7.5	44	9.9	64	9.0	84	6.75
PROM.	8.5	PROM.	9.7	PROM.	9.1	PROM.	6.8
2A		2B		4A		4B	
26	8.5	46	9.2	66	9.8	86	8.6
28	8.3	48	8.3	68	8.5	88	8.5
2.10	8.2	4.10	7.9	6.10	6.7	8.10	8.4
PROM.	8.3	PROM.	8.5	PROM.	8.3	PROM.	8.5

QUEMADOR SIMULADO 1.D
INCLINACION DE QUEMADORES 30°

1A		1B		3A		3B	
20	9.2	40	8.8	60	8.3	80	9.5
22	10.3	42	11.0	62	9.0	82	8.0
24	9.7	44	9.7	64	8.5	84	7.5
PROM.	9.7	PROM.	9.8	PROM.	8.6	PROM.	8.3
2A		2B		4A		4B	
26	10.0	46	9.3	66	8.5	86	7.2
28	9.6	48	9.0	68	7.9	88	7.0
2.10	9.7	4.10	7.8	6.10	7.6	8.10	6.0
PROM.	9.8	PROM.	8.7	PROM.	8.0	PROM.	6.7

QUEMADOR SIMULADO 1.D
INCLINACION DE QUEMADORES -30°

1A		1B		3A		3B	
20	10.7	40	11.5	60	11.7	80	9.3
22	10.6	42	12.0	62	12.2	82	9.9
24	10.65	44	11.8	64	12.2	84	9.9
PROM.	10.65	PROM.	11.8	PROM.	12.0	PROM.	9.7
2A		2B		4A		4B	
26	10.4	46	11.85	66	12.3	86	10.25
28	10.3	48	11.3	68	12.1	88	10.7
2.10	10.5	4.10	11.2	6.10	11.8	8.10	10.8
PROM.	10.4	PROM.	11.45	PROM.	12.0	PROM.	10.6

PROMEDIOS DE CONCENTRACION PARA AMBOS LADOS DEL
 PLANO DE MEDICION PARA LOS 4 QUEMADORES DE LA
 ESQUINA 1

NORTE		30° SUR		DIFERENCIA	
1.D	9.50	1.D	7.90	N-S	1.60
1.C	11.10	1.C	9.17	N-S	1.92
1.B	11.14	1.B	9.18	N-S	1.96
1.A	11.60	1.A	9.77	N-S	1.83

NORTE		0° SUR		DIFERENCIA	
1.D	8.75	1.D	8.17	N-S	0.58
1.C	9.62	1.C	8.46	N-S	1.16
1.B	10.00	1.B	8.78	N-S	1.22
1.A	11.26	1.A	10.30	N-S	0.96

NORTE		-30° SUR		DIFERENCIA	
1.D	11.07	1.D	11.07	N-S	0.00
1.C	10.20	1.C	9.22	N-S	0.98
1.B	10.80	1.B	10.15	N-S	0.65
1.A	10.96	1.A	10.71	N-S	0.25

DIFERENCIA DE CONCENTRACION ENTRE LADO NORTE Y SUR
 PARA LAS TRES CONDICIONES DE INCLINACION
 EN LOS CUATRO NIVELES DE QUEMADORES DE LA ESQUINA 1

	0°		30°		-30°
! 1.A	0.94	! 1.A	1.83	! 1.A	0.25
! 1.B	1.22	! 1.B	1.96	! 1.B	0.65
! 1.C	1.16	! 1.C	1.92	! 1.C	0.88
! 1.D	0.58	! 1.D	1.60	! 1.D	0.00
! PROM.	0.97	! PROM.	1.83	! PROM.	0.44

DIFERENCIA DE CONCENTRACION ENTRE AMBOS LADOS PARA
 LAS TRES CONDICIONES DE INCLINACION DE LOS NIVELES
 SUPERIORES DE LAS CUATRO ESQUINAS.

	-30°		0°		30°
! 1.D	0.00	! N-S	0.58	! 1.D	1.60
! 2.D	0.66	! S-N	0.72	! 2.D	2.43
! 3.D	0.49	! S-N	1.26	! 3.D	1.45
! 4.D	0.16	! N-S	0.40	! 4.D	0.56