



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

82
Zej

Facultad de Ingeniería

ESTUDIO TEORICO DE LAS DIMENSIONES
GEOMETRICAS DE LOS SEPARADORES DE
VAPOR TIPO WEBRE PARA PLANTAS
GEOTERMICAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
MANUEL MUÑOZ ORTEGA URRIZA

México, D. F.

1987



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.

I.1 Introducción.....	1
II.2 Objetivos.....	3

CAPITULO II

ANTECEDENTES.

II.1 Generalidades.....	4
II.2 Flujo total.....	5
II.3 Ciclo Binario.....	6
II.4 Separación de vapor.....	8

CAPITULO III

TEORIA DE LOS SEPARADORES.

III.1 Generalidades.....	10
III.2 Análisis cualitativo de los separadores tipo Webre y tipo impacto.....	13
III.2.1 Separadores tipo Impacto.....	13
III.2.2 Separador tipo Webre.....	14
III.3 Fuerza centrífuga.....	16
III.4 Eficiencia de separación.....	18
III.4.1 Eficiencia mecánica.....	19
III.4.2 Eficiencia de arrastre.....	21
III.5 Diametro de partícula.....	23
III.6 Geometría del equipo.....	26

CAPITULO IV

EQUIPO EXPERIMENTAL.

IV.1 Modelo experimental del separador.....	30
IV.2 Descripción del sistema en estudio.....	33

CAPITULO V

INSTRUMENTOS DE MEDICION, CONTROL Y PROCEDIMIENTO

DE OPERACION DEL EQUIPO.

V.1	Medición del gasto de aire.....	38
V.2	Medición del gasto de agua.....	39
V.2.1	Medición del gasto de agua atomizada.....	39
V.2.2	Medición del gasto de agua separada.....	41
V.2.3	Medición del gasto de agua en la purga.....	41
V.3	Medición de la caída de presión en el equipo.....	42
V.4	Medición de la humedad relativa.....	43
V.5	Medición de la calidad del aire a la salida del equipo.....	43
V.5.1	Medición de la calidad por medio de un balance místico.....	43
V.5.2	Medición de la calidad midiendo la cantidad de agua arrastrada.....	44
V.6	Control del agua atomizada.....	45
V.7	Control del gasto de aire.....	46
V.8	Procedimiento de operación del equipo.....	46
V.8.1	Arranque del equipo.....	46
V.8.2	Toma de lecturas.....	48

CAPITULO VI

PROGRAMA DE PRUEBAS.

VI.1	Diseño de experimento.....	50
VI.2	Tiempo de duración de las pruebas.....	62

CAPITULO VII

PROGRAMA DE COMPUTO.

VII.1	Generalidades.....	63
VII.2	Diagrama de bloques del programa.....	64
VII.3	Lista de variables utilizadas en el programa.....	65
VII.4	Listado del programa.....	67
VII.5	Listado de los resultados de programa.....	70
VII.6	Análisis de resultados.....	73

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES.....	84
-------------------	----

APENDICE A

ASPECTOS GENERALES DE LA GEOTERMIA

A.1 Generalidades.....	86
A.2 Ciclo geotérmico.....	88
A.3 Situación mundial de la geotermia.....	90
A.4 Situación de la geotermia en Mexico.....	92

APENDICE B

ANALISIS DE LAS FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UNA

PARTICULA DENTRO DE UN SEPARADOR.....	95
---------------------------------------	----

APENDICE C

EFICIENCIA MECANICA DE UN SEPARADOR.....	101
BIBLIOGRAFIA.....	105

CAPITULO I

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

I.1 INTRODUCCION.

La separación de las fases en flujos bifásicos es un proceso muy utilizado en la actualidad, como por ejemplo; en los procesos de destilación, en los sistemas para el control de la contaminación ambiental, en las calderas, en las centrales nucleo-eléctricas, etc.

Estos flujos bifásicos pueden ser; gas-sólido, líquido-sólido, gas-líquido, etc. Para realizar la separación de estas fases existen en la actualidad una serie de procesos, (equipos), los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

-MECANICOS; Procesos en los cuales no cambia la composición de los elementos separados, por ejemplo; sedimentación, filtrado, centrifugado.

-QUIMICOS; Procesos en los cuales cambia la composición de los elementos separados, por ejemplo; intercambio iónico, adsorción, etc.

Dependiendo de las condiciones de operación y de las características que se requieran en los elementos separados se puede seleccionar cualquiera de los dos tipos de procesos.

En las plantas geotérmicas (apéndice A), se trabaja con un flujo bifásico vapor-agua, (vapor-salmuera). La finalidad de utilizar separadores en estas plantas es poder separar el vapor, y éste, utilizarlo como fluido de trabajo en una turbina para accionar a un generador eléctrico. Debido a las características del fluido geotérmico y a las condiciones de operación, se ha comprobado a través de la experiencia en la operación de estas plantas, que el equipo de separación, más adecuado para éste trabajo son los separadores del tipo mecánico, (separadores tipo Webre).

En la actualidad todos los separadores tipo Webre que se construyen para plantas geotérmicas se basan en las recomendaciones hechas por P. Bangman (Ref.5) en su trabajo publicado en 1959. Se ha comprobado a través de la operación de éstos equipos que se pueden optimizar sus dimensiones para mejorar su funcionamiento, por lo que esta tesis es enfocada a éste tema.

I.2 OBJETIVOS

A) Diseñar un modelo experimental de un separador tipo Webre.

B) Determinar el equipo experimental necesario y las pruebas que permitan observar el comportamiento de los separadores al modificar sus dimensiones y las condiciones de operación.

C) Realizar un análisis teórico del comportamiento del separador, empleando las relaciones disponibles.

D) Predecir a través de los modelos teóricos disponibles el comportamiento de los separadores al variar sus dimensiones y las condiciones de operación.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

II.1 GENERALIDADES

Para poder explotar los pozos geotérmicos (reservorios) de líquido dominante, (reservorios en los cuales se tiene un flujo bifásico compuesto de salmuera líquida y vapor), se han desarrollado diferentes técnicas o sistemas que se pueden aplicar para la generación de energía eléctrica. A continuación se describen brevemente estos sistemas.

II.2 FLUJO TOTAL

Basados en los principios fundamentales de la termodinámica, una expansión del flujo geotérmico, directamente desde el pozo es la forma de obtener la mayor fracción de energía disponible. En este caso (fig.1), el flujo bifásico que sale del pozo acciona directamente a la turbina, esta turbina debe ser capaz de trabajar con un flujo en dos fases.

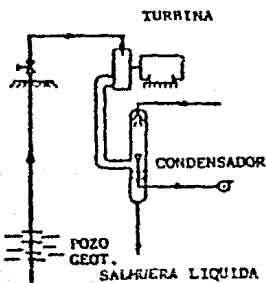


Figura 1: Diagrama de un sistema geotérmico con flujo total.

Aunque teóricamente el concepto de flujo total es el que permite el mejor aprovechamiento de la energía disponible en un fluido geotérmico, en la actualidad no existe ninguna planta comercial que trabaje con este sistema. Como se sabe, la salmuera geotérmica contiene una gran cantidad de elementos en solución y en suspensión, por

lo que el primer problema que se encuentra en este sistema es la erosión de las partes móviles, esto se puede solucionar utilizando materiales mas resistentes a la erosión, con lo que se incrementa el costo del equipo. Otro problema y quizá el más importante es el manejo de sólidos en suspensión, ya que estos originan una gran incrustación en el equipo y no existe ninguna forma de evitar este problema, (Ref.2,17).

II.3 CICLO BINARIO

Este sistema (fig.2), se basa en el ciclo Rankine orgánico. En los últimos años se ha puesto una gran atención en estos sistemas, ya que con este ciclo se pueden explotar fuentes de bajo grado de energía, por ejemplo; la energía solar, energía geotérmica, etc.

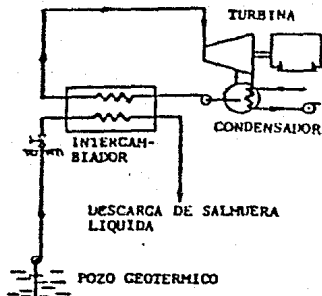


Figura 2: Diagrama de un sistema geotérmico con ciclo binario.

Normalmente se habla de ciclo binario en aquellos casos, en los cuales, se extrae trabajo de dos diferentes flúidos en un mismo sistema, como el caso de las turbinas de gas en serie con generadores de vapor. El ciclo binario geotérmico (fig.2), solo extrae trabajo de un sólo tipo de flúido, el flúido orgánico se calienta por medio de la temperatura de la salmuera geotérmica, y este flúido orgánico es el que sirve como flúido de trabajo en la turbina.

La transferencia de calor al flúido orgánico puede ser; directamente del flujo geotérmico bifásico (Brine/Binary cycle) o se puede evaporar antes de realizar la transferencia de calor (Flash/Binary cycle).

Al utilizar al flúido geotérmico en forma bifásica para calentar al flúido orgánico, existe un problema muy grande que es la incrustación en el intercambiador de calor, por lo que en los países que utilizan éste sistema (E.U., Japón) se utiliza el Flash/Binary cycle.

En Italia también se utiliza este sistema, sólo que se cuenta con un flujo monofásico de vapor en estos campos.

Hasta el momento éste sistema sólo se ha utilizado comercialmente en Japón. Una de las causas de no utilizar este sistema es la falta de desarrollo técnico. Actualmente en México se están iniciando estudios sobre este sistema.

II.4 SEPARACION DE VAPOR

Este sistema se basa en la separación de las fases del fluido geotérmico, con lo que el vapor separado se utiliza como fluido de trabajo en una turbina (fig.3).

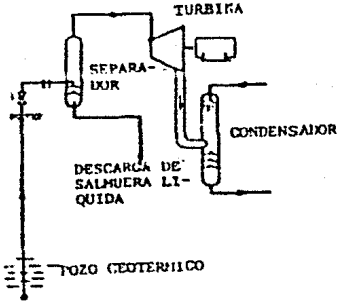


Figura 3: Diagrama de un sistema geotérmico con separación de vapor.

Las plantas geotérmicas que utilizan este sistema tienen algunos años de operar comercialmente. La primera planta que utilizó este sistema fue la de Wairakei en Nueva Zelanda en el año de 1959, (Ref.2,5,17,29), desde entonces se han desarrollado plantas similares en países como: Japón, Islandia, El Salvador, México, etc.

El procedimiento de operación de estas plantas es el siguiente:

El fluido geotérmico bifásico que sale del pozo se manda a un separador, en el cual se realiza la separación de las fases. El vapor separado se utilizó como fluido de trabajo para accionar una turbina. La salmuera separada en fase líquida se puede descargar a la atmósfera o se puede utilizar una etapa de expansión para crear nuevamente un flujo bifásico y realizar una segunda separación. Dependiendo de la temperatura del fluido geotérmico, con una doble etapa de separación se puede obtener de un 20% a un 30% más de energía que con una sola etapa, (Ref.17). La mayoría de las plantas de éste tipo utilizan turbinas con condensador ya que con esta configuración se puede obtener casi el doble de energía que sin condensador. El vapor condensado se puede reinyectar (recomendable para evitar contaminación), o se puede tirar a la atmósfera.

La parte principal de éste sistema es el separador, ya que además de realizar la separación del agua y el vapor, sirve como filtro para poder suministrar un vapor limpio a la turbina que es fundamental para que la turbina pueda trabajar eficientemente.

CAPITULO III

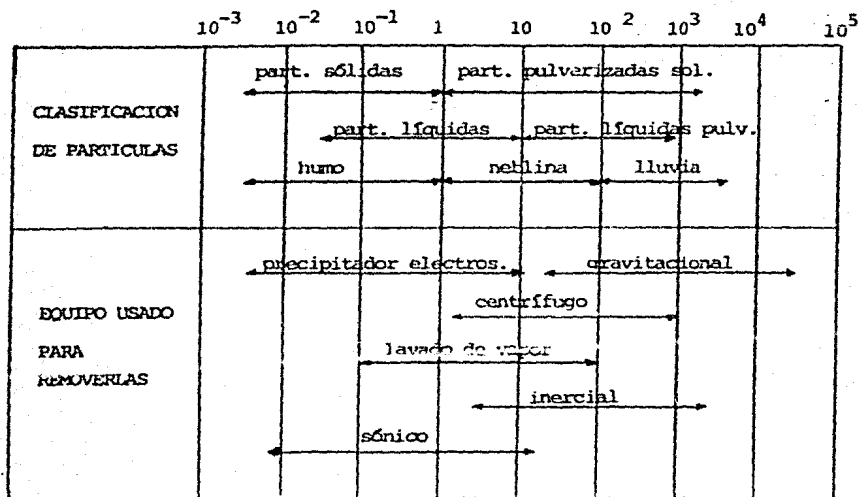
TEORIA DE LOS SEPARADORES

III.1 GENERALIDADES

Debido a las características del fluido geotérmico, así como las condiciones de operación a las que está sometido un separador en una planta geotérmica, estos equipos deben satisfacer las siguientes características:

- La calidad del vapor separada sea mayor al 99.5 %.
- Tener alta eficiencia de separación.
- Que la caída de presión a través del equipo sea mínima.
- Que sea fácil de operar y que requiera poco mantenimiento.
- Bajo costo.
- Evitar partes móviles que se puedan erosionar.
- Tener larga vida útil.
- Que sea capaz de remover partículas hasta de 10 micrones.
- Ocupe poco espacio.

A continuación se muestra una gráfica en la cual se pueden observar el rango de operación de diferentes equipos de separación, en base al diámetro de gota, (Ref.23):



Gráfica 1: Rango de operación de algunos tipos de separadores.

Como se puede observar en la gráfica 1, la selección de un equipo para separar humedad depende de las características de las partículas a eliminar. En esta misma gráfica aparecen los separadores tipo sónico y los precipitadores electrostáticos, sin embargo sus aplicaciones son muy limitadas debido a su alto costo de operación y mantenimiento, por lo que no se consideran aplicables a plantas geotérmicas.

Debido al rango de operación de los separadores gravitacionales (Separación de gotas mayores a 50μ), y a su eficiencia (entre el 50% y 90%), estos tampoco se utilizan en las plantas geotérmicas.

Los separadores que cumplen con las características requeridas son los siguientes:

Centrifugos.

Impacto o Inerciales.

Lavado de vapor.

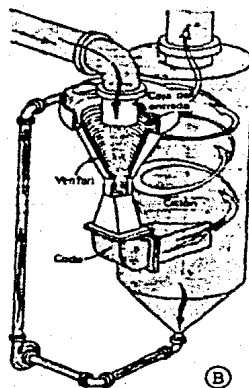
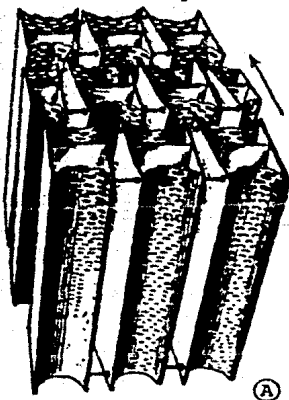


Figura 4: Separadores tipo : a) impacto, b) lavado de vapor,

De estos tres el equipos de lavado de vapor se puede eliminar, ya que éste se utiliza cuando se requiere eliminar elementos volátiles o partículas líquidas o sólidas con diámetros menores a 10μ y que por ningún medio mecánico pueden eliminarse, (Ref.23). Lo anterior es poco probable en las plantas geotérmicas.

III.2 ANALISIS CUALITATIVO DE LOS SEPARADORES

TIPO WEBRE Y TIPO IMPACTO

II.2.1 Separadores tipo impacto

VENTAJAS:

El equipo es muy útil cuando se manejan bajos contenidos de salinidad en la salmuera, (2000 ppm de sólidos totales disueltos).

Sirve como protección para los casos de inestabilidad del flujo, (cambios de presión o de gasto), así como cuando existe espuma provocada por la salmuera geotérmica.

El equipo presenta una eficiencia hasta del 99% para separar partículas líquidas o sólidas hasta de 5μ de diámetro.

Por los trabajos que se han realizado, (Ref.12), así como la experiencia de los fabricantes de éstos equipos, se determinó que la caída de presión que producen éstos equipos es entre 0.1 y 3 psi.

DESVENTAJAS:

El parámetro más importante para una buena eficiencia del equipo es la velocidad del vapor en el equipo, ya que se recomienda entre 0.3 y 3 m/seg. El manejo de éstas velocidades repercute en el diseño del mismo, ya que entre más bajas sean las velocidades, los equipos tienden a geometrías más grandes, por lo que el costo se incrementa.

En el caso de que se maneje un alto grado de salinidad, (10,000 ppm), se recomienda que exista un mecanismo de lavado de las mallas o placas para evitar que se tape el paso del vapor, originando paros de la unidad turbogeneradora por lo que el mantenimiento del equipo podría ser muy alto.

III.2.2 Separador centrifugo tipo Webre

VENTAJAS:

Maneja un rango muy amplio de separación de diámetros de partículas, (10-200 μ).

Por las velocidades que se manejan dentro del equipo (2.5-4.5 m/seg), sus dimensiones no son muy grandes.

No cuenta con elementos internos que puedan ser dañados fácilmente.

Su alta eficiencia de separación, (aproximadamente el 99.9%), hace que este equipo sea comparable con los equipos comerciales mas sofisticados.

Es fácil de construir y por lo tanto tiene un bajo costo inicial y de operación, además tiene una larga vida útil.

DESVENTAJAS:

Puede existir rearrastre de partículas líquidas o sólidas cuando el equipo esta operando aproximadamente un 20% fuera de las condiciones de diseño, especialmente cuando existe un incremento en la velocidad de ascenso.

No es muy eficiente para separar partículas con diámetros menores a 10μ .

CONCLUSIONES

Por la simplicidad del equipo, así como, por la experiencia adquirida en pruebas y la operación normal, (Ref.2,5,15,28,31), de los separadores tipo Webre, se ha demostrado que son los más indicados para las aplicaciones geotérmicas. Por lo que apartir de este momento éste

trabajo se enfocará solamente a éstos equipos.

III.3 FUERZA CENTRIFUGA

El principio de operación de los separadores centrifugos tipo Webre, consiste en ejercer una fuerza centrifuga sobre las particulas que las obligue a moverse radialmente hacia la pared del separador para que al llegar a la pared desciendan por la accion de la gravedad. Para poder describir esta trayectoria la fuerza centrifuga sobre las particulas debe ser mayor a la fuerza de arrastre en la dirección radial. Al hacer un análisis de las fuerzas que actúan sobre una particula dentro del separador, se pretende poder determinar una ecuación que sea capaz de describir la trayectoria de las particulas (fig.5), así como poder determinar el tiempo de residencia necesario para que las particulas puedan ser removidas.

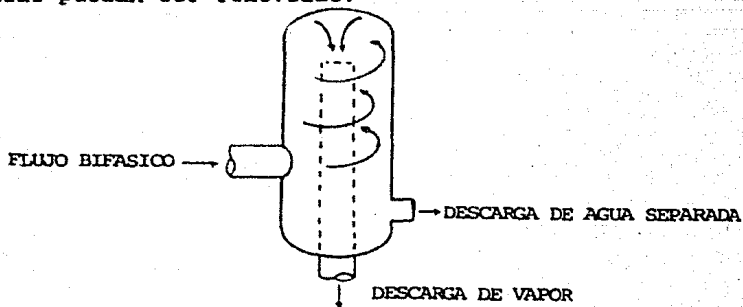


Figura 5: Representación del flujo de vapor dentro de un separador.

Haciendo este análisis, (apéndice B), se puede determinar que:

$$t = \left[\frac{9 \times \mu g}{\rho_1 \times (n+1)} \right] \left[\frac{R2}{U_{t2} \times dp} \right]^2 \left[1 + \left[\frac{R1}{R2} \right]^{2n+2} \right] \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

t Tiempo mínimo para eliminar partículas de diámetro dp (seg).

dp Diámetro de partícula (m).

μ_g Viscosidad del gas o vapor (poises).

ρ_1 Densidad del líquido (Gr/cm³).

U_{t2} Velocidad del gas a la entrada del equipo (m/seg).

R1 Radio del tubo central (m).

R2 Radio del separador (m).

n Índice de vórtice.

Como podemos observar en la ecuación 3.1 al mantener todos los parámetros constantes y sólo variar el diámetro de la gota, se puede ver que al disminuir éste, el tiempo para eliminarla aumenta y al aumentar el diámetro de gota el tiempo disminuye. Por lo que uno de los parámetros más importantes en el funcionamiento de los separadores es el diámetro de gota.

III.4 EFICIENCIA DE SEPARACION

La experiencia adquirida en la operación de los separadores tipo Webre en los diferentes campos geotérmicos donde se utilizan estos equipos, muestran que el vapor separado presenta el siguiente comportamiento, (Ref.19):

La calidad del vapor separada es baja cuando la velocidad del vapor a la entrada del equipo es baja, al ir aumentando ésta velocidad la calidad del vapor va mejorando hasta llegar a un punto donde la calidad nuevamente disminuye, es decir que se presenta un rango de velocidad donde la calidad es muy buena y dos rangos donde la calidad no es tan satisfactoria (figura 6).

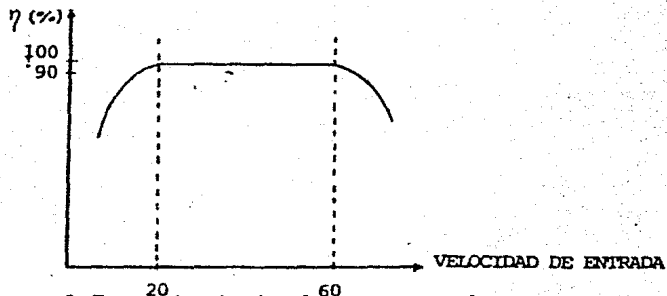


Figura 6; Comportamiento de un separador.

Esto lleva a la conclusión de que existen dos fenómenos que pueden ser encontrados independientemente y que influyen en la eficiencia de separación (η_{ef}) y consecuentemente en la calidad, por lo tanto:

$$\eta_{ef} = f[\eta_{mec} \times \eta_{ar}] \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde:

η_{mec} Eficiencia mecánica.

η_{ar} Eficiencia de arrastre.

III.4.1 Eficiencia mecánica

El método de la obtención de la eficiencia mecánica, esta basado en un balance de fuerzas que actúan sobre una gota de líquido, (apéndice C).

$$\eta_{mec} = 1 - \exp \left\{ -2(C \psi)^{2n+2} \right\} \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde:

$$\psi = \frac{dp^2 \times (U_{t2}) \times (n+1)}{18 \mu_g \times \phi_{sep} \times v_1} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$C = \frac{B \times (Kc)}{(Ka) \times (Kb)} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$Ka = \frac{A}{\phi_{ent}} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$Kb = \frac{B}{\phi_{ent}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$Kc = \frac{mv \times tieres}{\phi_{sep}} \dots\dots\dots(3.8)$$

donde:

ϕ_{ent} Diámetro del tubo de entrada (m).

\varnothing_{sep}	Díámetro del separador (m).
A	Base de la sección de entrada (m).
B	Altura de la sección de entrada (m).
v_1	Volumen específico del líquido (Kg/m ³).
wv	Gasto másico de vapor (Kg/seg).
t_{res}	Tiempo de residencia del vapor en el separador (seg).

III.4.2 Eficiencia de arrastre

El modelo matemático antes expuesto, predice que la eficiencia de separación mecánica aumenta al aumentar la velocidad de entrada, y por lo tanto la calidad del vapor separado aumenta. La experiencia indica que ésto es cierto hasta un punto en donde al seguir aumentando la velocidad la calidad del vapor separado empieza a disminuir. Esto se debe a un incremento en la fuerza de arrastre que obliga a que el líquido separado retorne al flujo. La complejidad de éste fenómeno para su modelado, y la falta de datos experimentales confiables, han dado por resultado que se introduzca un término correctivo empírico, al cual se le llama eficiencia de arrastre. Se ha comprobado a través de

datos obtenidos en los campos de Cerro Prieto que esta aproximación es adecuada (Ref. 19).

$$\eta_{ar} = 10^j \dots\dots\dots(3.9)$$

$$j = CA \times CB \dots\dots\dots(3.10)$$

$$CA = -3.383996 \times 10^{-14} \dots\dots(3.11)$$

$$CB = \text{Velasc } 13.9241 \dots\dots(3.12)$$

Velasc Velocidad de ascenso del vapor dentro del separador (m/seg).

El parámetro que más interesa para seleccionar un separador es la calidad del vapor separado, el cual se puede determinar como:

Si definimos a la calidad como:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Gasto de agua}}{\text{Gasto de aire} + \text{Gasto de agua}} \dots\dots(3.13)$$

Considerando a la eficiencia del separador como:

$$\eta_{ef} = \frac{\text{Gasto de agua separada}}{\text{Gasto de agua que entra}} \dots\dots\dots (3.14)$$

Por lo que la calidad a la salida se puede escribir como:

$$\text{Cal} = \frac{\text{Gasto de aire}}{\text{Gasto de aire} + \text{Gasto de agua} \times (1 - \eta_{ef})} \dots\dots (3.15)$$

Para el caso de las plantas geotérmicas se requiere de una calidad del 99.9% al 100% ya que con esto se evita el arrastre de elementos que puedan dañar a la turbina.

III.5 DIAMETRO DE PARTICULA

Como ya se ha mencionado uno de los parámetros en la operación de un separador que trabaje con una mezcla gas-liquido, es la masa de las gotas; si se considera que la densidad de las gotas es uniforme en ellas, entonces la masa de las gotas es proporcional a su diámetro, por lo tanto, se

puede decir que el diámetro de las gotas tiene una relación muy estrecha con la facilidad de realizar la separación.

La ecuación 3.3 muestra que al disminuir el tamaño de gota la separación se torna menos eficiente. Afortunadamente para la explotación de los campos geotérmicos, el diámetro de gota que se presenta en las condiciones comunes de operación es lo suficientemente grande para poder utilizar separadores con una buena eficiencia, sin embargo en la actualidad no existe una ecuación que permita conocer el tamaño de gota dentro de un separador.

Para tratar de predecir el diámetro de gota promedio en un flujo bifásico existen un gran número de relaciones empíricas (Ref.20) por lo que para este estudio se considerará la que se determinó en el IIE con ayuda de algunos datos de campo (Ref. 19) y basados en la ecuación de Nukijama-Tanasawa (Ref.11):

$$d_p = \frac{66.289}{U_t^{0.806}} \times \sqrt{\frac{\Gamma_1}{\rho_1}} + B \times \left[\frac{W_1^2}{\Gamma_1 \rho_1} \right]^{0.225} \left[\frac{Q_1}{Q_v} \right]^{0.55} \times V \dots\dots\dots (3.16)$$

$$B = 191161.14 \times (x)^{0.5747} \dots\dots\dots (3.17)$$

$$V = U_t^{-0.2188} \dots\dots\dots (3.18)$$

Donde:

- Γ_1 Tensión superficial, (dinas/cm).
- ρ_1 Densidad del líquido, (gr/cm³).
- μ_1 Viscosidad del líquido, (cp).
- Q_1 Gasto volumétrico de líquido (m³/seg).
- Q_v Gasto volumétrico del gas o vapor (m³/seg).
- x Calidad de la mezcla a la entrada (%).
- U_t Velocidad del gas (m/seg).

Dependiendo del patrón de flujo, las constantes pueden variar, pero para el caso de este estudio se trabajará siempre con un patrón de flujo disperso, (Ref.6,34), ya que es en el cual se pueden tener los diámetros de gota más pequeños.

Otro parámetro muy importante en el diseño de los separadores es el diámetro mínimo de partícula que pueden separar, por lo que basados en el tiempo de residencia del flujo dentro del separador y el tiempo necesario para eliminar partículas de determinado diámetro se encontró que

el diámetro mínimo separable en un separador tipo Webre es:

$$dp = \frac{R_2}{U_t} \left[\frac{9 \times \mu_v \times \left[1 - \frac{R_1}{R_2} \right]^{2n+2}}{\rho_1 \times (n+1)} \right] \dots\dots\dots(3.19)$$

III.6 GEOMETRIA DEL EQUIPO

El funcionamiento de los separadores es gobernado principalmente por variables de dos categorías, (Ref.28):

a) Variables de operación; las cuales relacionan las propiedades, razones y estados del flujo. Generalmente estas condiciones son fijadas por las condiciones requeridas en la turbina. La mezcla dentro del separador puede considerarse en equilibrio, por lo que todas las propiedades, (temperatura, densidad, viscosidad, etc.), se fijan por medio de la presión y la entalpía de la mezcla a la entrada del equipo.

b) Variables de diseño; son las que relacionan las dimensiones, tipo y arreglo del separador. Estas variables dependen de las condiciones de operación, y en base a estas se puede modificar el funcionamiento del equipo.

En la actualidad se cuenta con pocos trabajos publicados, que traten la separación líquido-vapor utilizando separadores tipo Webre, por lo que el criterio de diseño que se utiliza actualmente es el recomendado por P. Bangma (Ref.5) en su trabajo publicado en 1959. Bangma recomienda las siguientes relaciones geométricas y condiciones de operación para un separador tipo Webre:

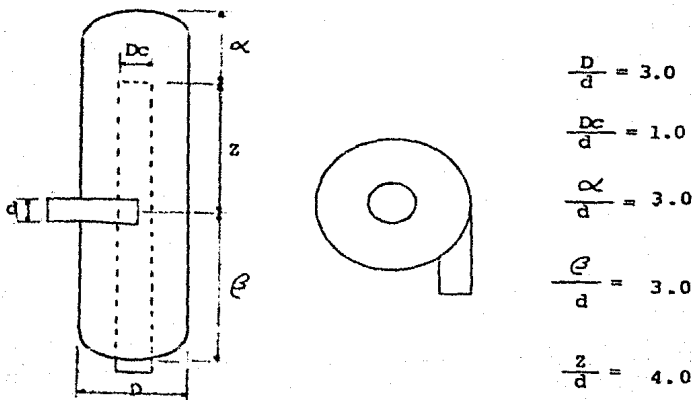


Figura 7: Recomendaciones de P. Bangma.

CONDICIONES DE OPERACION:

La velocidad de entrada del vapor al equipo no sea mayor de 45 m/seg, se recomienda entre 25 y 40 m/seg.

La velocidad de ascenso del vapor dentro del equipo no debe exceder de 4.5 m/seg, se recomienda entre 2.5 y 4.0 m/seg.

Con la finalidad de optimizar el funcionamiento de los separadores tipo Webre, en el IIE se han probado algunos pequeños cambios en las dimensiones de los equipos, a continuación se muestra la lista de éstos cambios:

La entrada al separador se recomienda que tenga sección rectangular con las siguientes medidas:

Que la entrada al equipo tenga una inclinación de cuatro grados con respecto a la horizontal.

En la tabla 1 se muestran datos obtenidos de la operación de los separadores tipo Webre en diversas plantas del mundo. En los últimos cuatro casos se refiere a separadores construidos con los criterios recomendados por el IIE:

PAIS	GASTO A LA ENT. (KG/S)	PRESION EN EL SEPARADOR (KPa)	DIAMETRO DEL SEPARADOR (MTS)	VELOCIDAD DE ENTRADA (MTS/SEG)	CALIDAD A LA SALIDA (%)
WAIRAKEI	87	1550	0.76	77.0	99.50
OTAKE (JAPON)	22	----	----	55.0	99.925
CERRO PRIETO					
M-50	72	853	1.37	37.0	99.991
U-5	367	255	2.14	24.0	99.997
U-5	377	441	2.14	16.0	99.999
U-5	146	245	2.14	8.0	99.986

Como se puede observar en la tabla anterior, al cambiar las dimensiones o las condiciones de operación del separador se puede modificar la eficiencia del equipo.

CAPITULO IV

EQUIPO EXPERIMENTAL

IV.1 MODELO EXPERIMENTAL DEL SEPARADOR

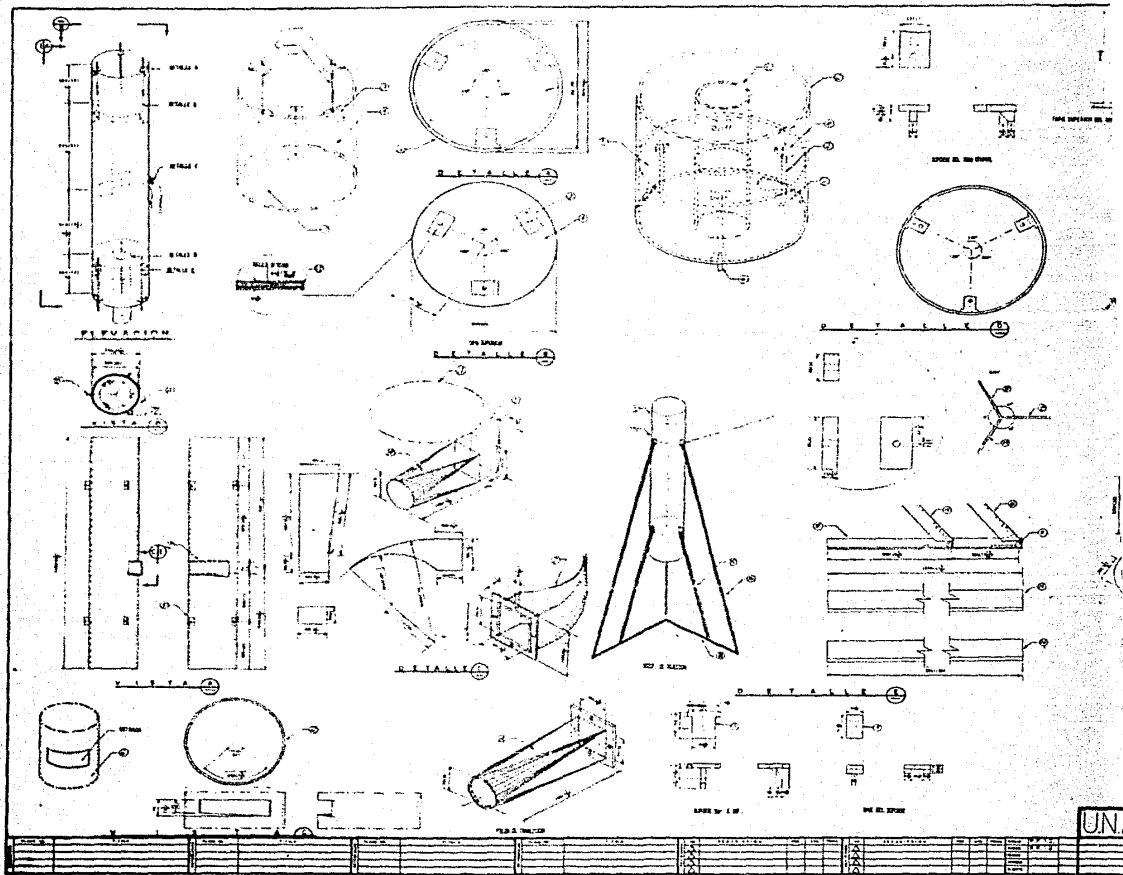
Para el diseño del equipo experimental se trataron de cubrir tres objetivos principales:

- 1) Modificar las dimensiones geométricas del separador.
- 2) Variar las condiciones de operación a las que está sometido el equipo.
- 3) Observar los fenómenos (patrón de flujo, mecanismos del arrastre de gotas, etc.), que ocurren dentro del separador.

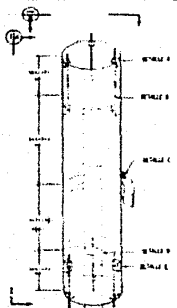
Para poder cumplir con estos objetivos se decidió utilizar acrílico como el material de construcción, ya que con este material se pueden realizar las modificaciones necesarias, así como, observar el comportamiento del fluido dentro del equipo. El fluido de trabajo que se utilizará será una mezcla de aire-agua, ya que la temperatura máxima de trabajo del acrílico es de 60°C.

Para diseñar el modelo experimental se tomó como criterio inicial el recomendado por P. Bangma. En base a las dimensiones obtenidas por este criterio ,a los incrementos que se desean dar a las dimensiones y a las dimensiones comerciales existentes de los tubos de acrilico se determinaron las dimensiones del equipo experimental que se muestran en el plano # 1.

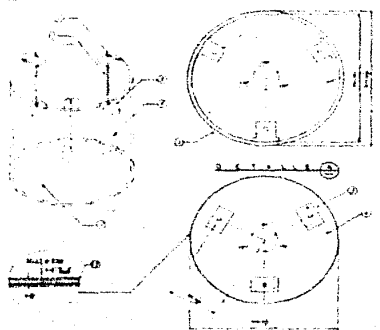
Para poder determinar los rangos de variacion en las dimensiones se utilizó un programa para verificar que rangos son interesantes de estudiar (Capitulo VII).



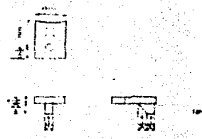
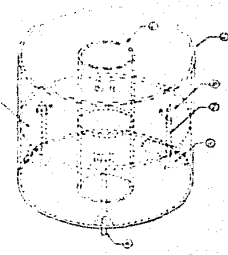
UN/



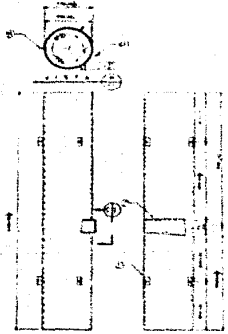
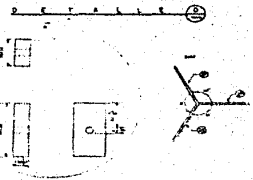
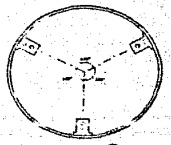
ELEVACION



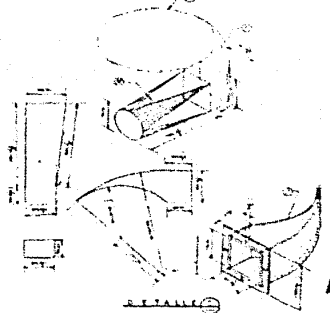
UNA VISTA



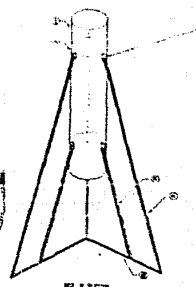
UNA VISTA



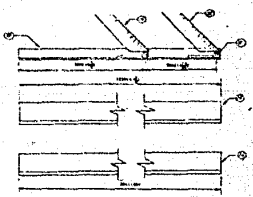
UNA VISTA



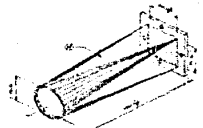
UNA VISTA



UNA VISTA



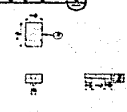
UNA VISTA



UNA VISTA

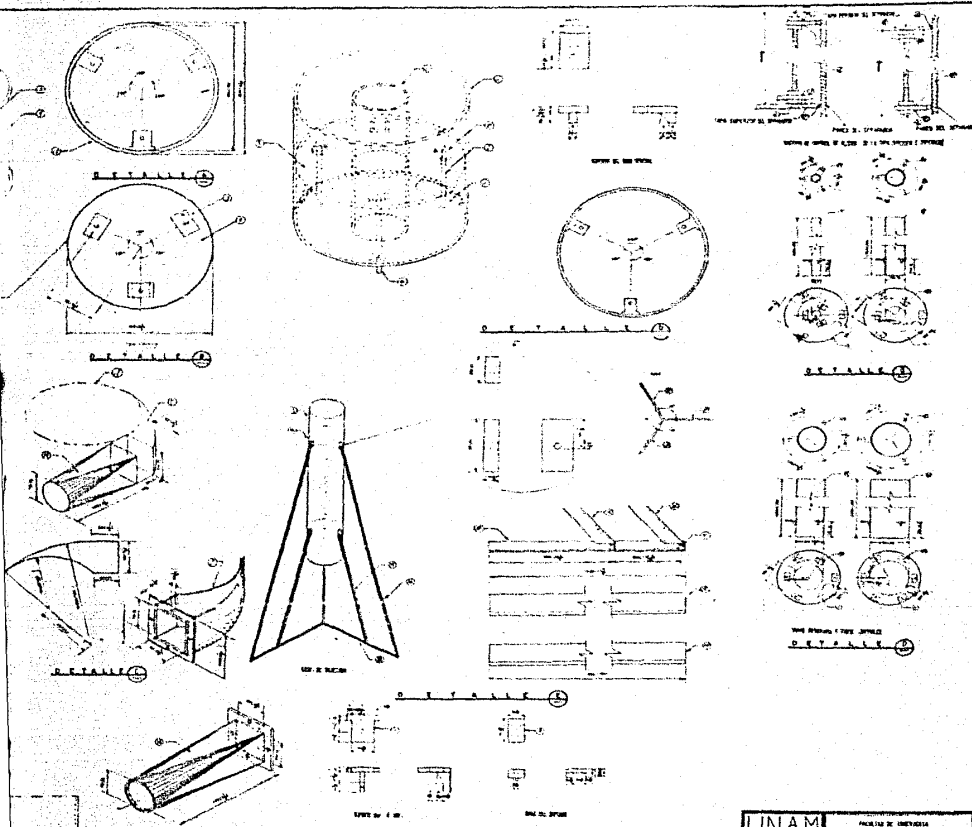


UNA VISTA



UNA VISTA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



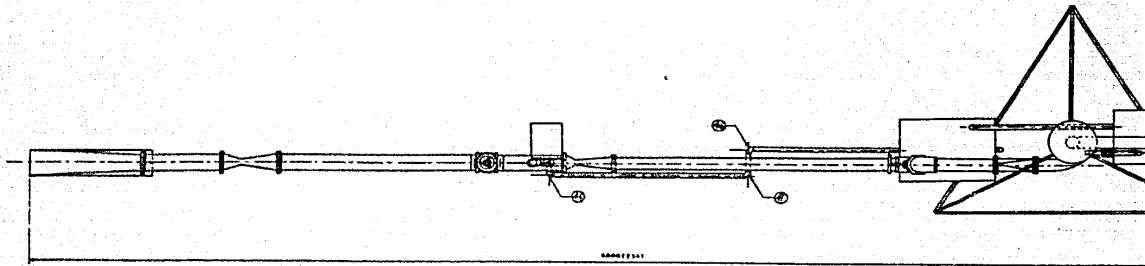
UNAM
 FACULTAD DE QUIMICA
 MEXICO, D.F. 06700

IV.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA EN ESTUDIO.

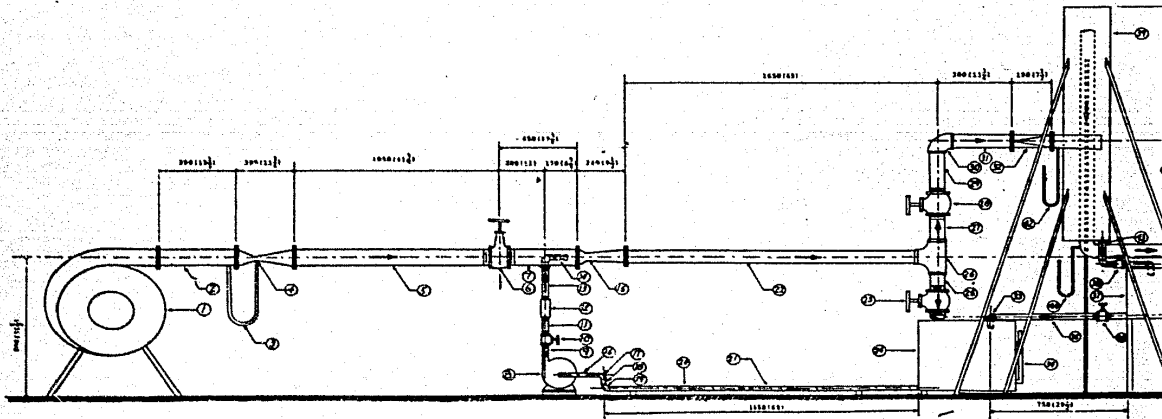
Como ya se mencionó en este experimento se trabajará con una mezcla aire-agua, (plano # 2). Para poder trabajar con esta mezcla se utilizarán dos equipos, que a continuación se describen:

Para obtener el flujo de aire se utilizará un turbosoplador, el cual permite obtener diferentes gastos máxicos de aire a diferentes condiciones.

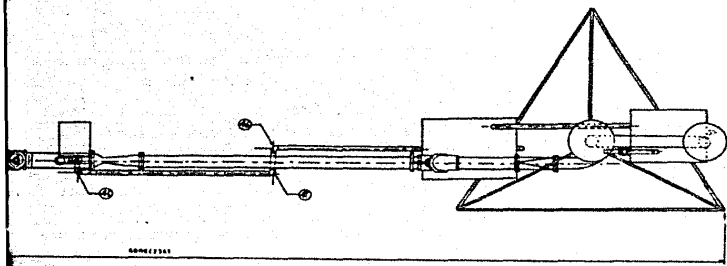
Para la atomización del agua se diseñó un equipo de atomización, el cual esta constituido por (Figura 8):



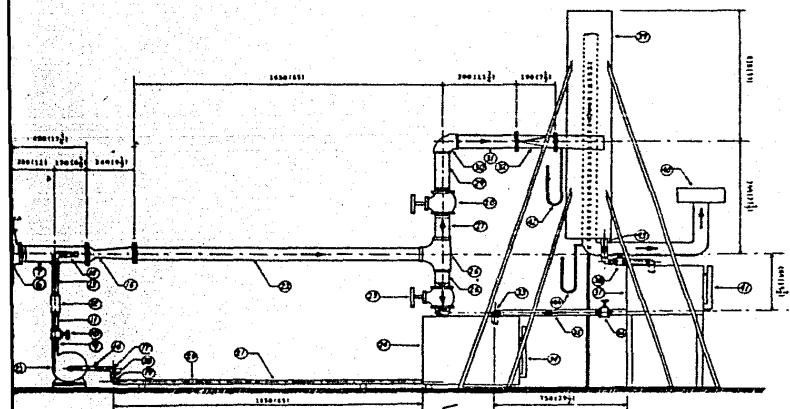
PLANTA



ELEVACION



PLANTA



ELEVACION

LISTA DE MATERIALES		
POS. N.	DESCRIPCION	MATERIAL
1	TUBERIAS DE LAMINADO	ACERNO
2	TUBO DE TRANSMISION	ACERNO
3	MANOMETRO DIFERENCIAL	VITREO
4	VERTICAL PARA MEDIR GASTO DE AGUA	ACERNO
5	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
6	VALVULA DE COMPRESION DE 2 1/2"	BRONCE
7	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
8	BRONCE TIPO VORTEX DE 2"	ACERNO
9	PISTON DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
10	VALVULA DE GASTO DE 2 1/2"	BRONCE
11	PISTON DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
12	CONECTOR TIPO "T" DE 2 1/2"	ACRILICO
13	PISTON DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
14	BOQUILLA VORTEXIADA	BRONCE
15	VERTICAL	ACRILICO
16	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
17	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	ACERNO
18	PISTON DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
19	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	ACERNO
20	COUPLE PARA VORTEX DE 2 1/2"	ACERNO
21	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875" (ID x O.D.)	ACERNO
22	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
23	VALVULA DE AGUA DE 2 1/2"	BRONCE
24	REPOSICION DE AGUA	LANTERNA
25	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
26	CONECTOR TIPO "T" DE 2 1/2"	P.V.C.
27	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
28	VALVULA DE AGUA DE 2 1/2"	BRONCE
29	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
30	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	ACRILICO
31	TUBO DE 2 1/2" x 0.1875"	ACRILICO
32	PISTON DE TRANSMISION	ACRILICO
33	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	P.V.C.
34	REPOSICION DE AGUA	VITREO
35	TUBO DE 2 1/2"	P.V.C.
36	VALVULA DE GASTO DE 2 1/2"	BRONCE
37	REPOSICION DE AGUA	LANTERNA
38	VALVULA DE GASTO DE 2 1/2"	BRONCE
39	BOQUILLA DEL SEPARADOR VORTEX	BRONCE
40	FILTRO	ACRILICO
41	REPOSICION DE AGUA	LANTERNA
42	MANOMETRO DIFERENCIAL	VITREO
43	MANOMETRO DE 1"	PLASTICO
44	MANOMETRO DIFERENCIAL	VITREO
45	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	P.V.C.
46	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	P.V.C.
47	COUDO DE 90° DE 2 1/2"	P.V.C.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DEL CENTRO EXPERIMENTAL
 DISEÑO-MODEL MUNDI OTECA HERRERA
 ESCALA 1:10 T-24 (N. 00.00)

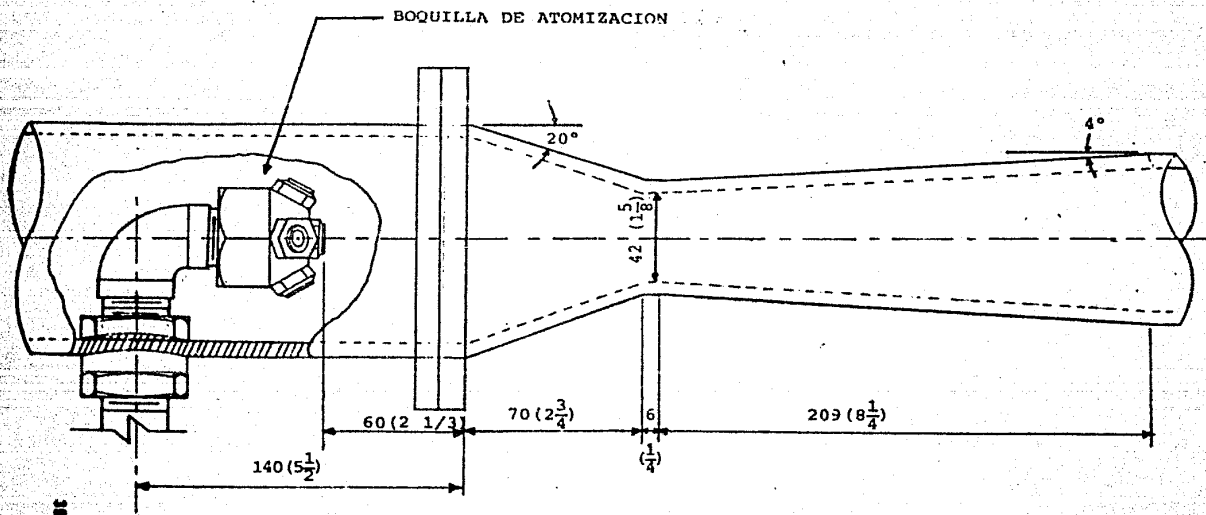


FIGURA 8: EQUIPO PARA LA ATOMIZACION DEL AGUA, COTAS EN MM (PLG)

Una bomba hidráulica tipo turbinamarca Zero con un diámetro de tubería de 1plg. con una capacidad de 35 litros por minuto (9.2 GPM) con una carga de 5.6 bars a la descarga (60 m.c.agua).

Una boquilla de atomización , marca Spraying System Co. tipo 3/4-7G5 en bronce con una capacidad de 0 a 35 litros por minuto con una presión de 0 a 5.6 bars.

El procedimiento para realizar la atomización, consiste en atomizar el agua en el flujo de aire, con lo que se obtendrá un patrón de flujo del tipo disperso, (Ref.22y23), como el que se muestra en la figura 9:

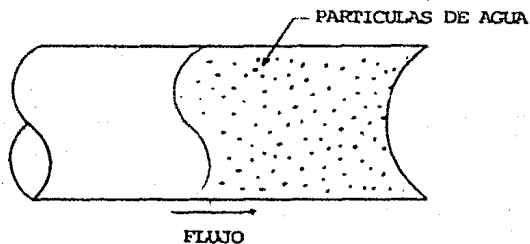


Figura 9: Patrón de flujo disperso para una mezcla aire- agua.

La finalidad de tener éste patrón de flujo es para poder probar al separador en las condiciones extremas, ya que como se ha mencionado, mientras más pequeño sea el diámetro de gota mas se complica el proceso de separación.

Con éste patrón de flujo entrará la mezcla aire-agua al separador, donde se realizará la separación. El aire separado se hará pasar por un filtro para eliminar la posible humedad remanente y se descargará a la atmósfera en donde se medirá el cambio de humedad relativa del aire, (se medirá la humedad relativa del aire a la entrada al equipo y a la salida del equipo). El agua separada se drenará continuamente a un depósito, en el cual con ayuda de un medidor de nivel se podrá medir el gasto de agua separada. Al realizar estas mediciones y conociendo la cantidad de agua que entra al equipo se podrá determinar la eficiencia del separador para unas dimensiones y unas condiciones de operación determinadas, con lo que, al variar algún parámetro se podrá obtener la variación de la eficiencia del equipo con respecto a unas condiciones iniciales, y así determinar la influencia de las dimensiones y las condiciones de operación en el funcionamiento de los separadores tipo Webre.

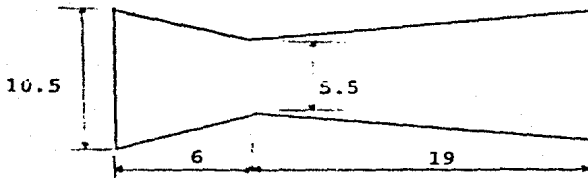
Para asegurar que el patrón de flujo a la entrada del separador sea disperso, se instalará una purga para poder drenar el agua que se acumule en la superficie de los tubos. De tal forma que el agua que entre al separador será el agua atomizada menos el agua en la purga.

CAPITULO V

**INSTRUMENTOS DE MEDICION,
CONTROL Y PROCEDIMIENTO DE
OPERACION DEL EQUIPO**

V.1 MEDICION DEL GASTO DE AIRE

La evaluación del gasto de aire que entra al equipo se efectuará por medio de la caída de presión (Δh) a través del Venturi FE, (fig.10), que tiene las siguientes dimensiones:



Para medir Δh se utilizará un manómetro diferencial tipo "U" hechizo que utiliza agua como fluido de trabajo y una escala de 70 cms. de longitud. para medir esta velocidad se utilizará la siguiente ecuación:

$$Ma = C_v \times A_2 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times R' \times \left[\frac{S_0}{S_1} - 1 \right]}{1 - \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^4}} \times \rho_a \dots\dots(5.1)$$

Donde:

- Ma Gasto de aire (Kg/seg).
- Cv Constante del Venturi. (0.97)
- g Aceleración de la gravedad (m/seg^2).
- R' Diferencia de alturas en el manómetro (m).
- So Peso específico del líquido manométrico (Kgf/m^3).
- Si Peso específico del aire (Kgf/m^3).
- D1 Diámetro a la entrada del Venturi (m).
- D2 Diámetro en la garganta del Venturi (m).
- ρ_a Densidad del aire (Kg/m^3).

V.2 MEDICION DEL GASTO DE AGUA

En este experimento se mediran tres gastos de agua:

V.2.1 Medición del gasto másico de agua atomizada.
Para poder determinar la cantidad de agua que se atomiza en el flujo de aire se utilizaran dos equipos:

A) Se utilizará un rotámetro F(2), (fig.10) marca Drayer de acrílico para tubería de 1 plg. con un rango de medición de 0 a 38 litros por minuto con una exactitud del 3%.

B) Haciendo un balance de masa en el tanque de alimentación de la bomba. Para determinar el volumen de agua que tiene el tanque se utilizará un medidor de nivel L(1), (fig.10), de 35 cms. de longitud. Además se utilizará un cronómetro para medir el tiempo. Para determinar este gasto se utilizará la siguiente ecuación:

$$M_{1a} = \frac{A \times (\Delta h)}{t} \times \rho_1 \dots\dots\dots(5.2)$$

Donde:

- M_{1a} Gasto másico del líquido atomizado (Kg/seg).
- A Area del depósito de alimentación (m^2).
- Δh Diferencia de altura en el indicador de nivel (m).
- ρ_1 Densidad del líquido (Kg/m^3).
- t Tiempo (seg).

V.2.2 Medición del gasto de agua separada. Para medir la cantidad de agua separada en el separador, se obtendrá por medio de la diferencia de volumen de agua que contenga el depósito de drenado del separador. Para medir este volumen se utilizará un indicador de nivel L(2), (fig.10). Se utilizará un cronómetro para determinar el tiempo, se utilizará la siguiente ecuación para determinar este gasto:

$$M_{1s} = \frac{A \times \Delta h}{t} \times \rho_1 \dots\dots\dots (5.3)$$

Donde:

- M_{1s} Gasto másico de agua separada (Kg/seg)
- Δh Diferencia de alturas en el indicador de nivel (m).
- ρ₁ Densidad del agua (Kg/m³).
- t Tiempo (seg).

V.2.3 Medición del gasto en la purga. Se espera que éste gasto sea muy pequeño, por lo que la forma de medirlo será por medio de un recipiente en el cual se deposite el agua purgada, con lo que se podrá pesar esta cantidad de agua y midiendo el tiempo que tarda en recolectarse esta

agua se determinará el gasto en la purga.

$$M_{lp} = \frac{\text{Masa}}{\text{tiempo}} \dots\dots\dots (5.4)$$

V.3 MEDICION DE LA CAIDA DE PRESION EN EL EQUIPO

La caída de presión a través del modelo de el separador (Δp) se medirá con la ayuda de un manómetro diferencial tipo "U" marca Dwyer, P(1)-P(2), (fig.10). Este manómetro utiliza mercurio como fluido de trabajo y tiene una longitud de 30 cms en su escala, para determinar la caída de presión se considerará la siguiente expresión:

$$\Delta p = \Delta h \times \gamma_{hg} \dots\dots\dots (5.5)$$

Donde:

- Δp Caída de presión (Kgf/m²).
- Δh Diferencia de alturas en el manómetro (m).
- γ_{hg} Peso específico del mercurio (Kgf/m³).

V.4 MEDICION DE LA HUMEDAD RELATIVA

Se medirá la humedad relativa (ϕ) del aire a la entrada del turbasoplador y a la salida del filtro. Para realizar esta medición se utilizará un psicrómetro de carátula.

V.5 MEDICION DE LA CALIDAD DEL AIRE A LA

SALIDA DEL EQUIPO

Este parámetro es uno de los más importantes en el desarrollo de este experimento, por lo que se utilizan dos métodos para determinarla.

V.5.1 Medición de la calidad por medio de un balance másico. Para determinar la calidad del aire a la salida del equipo, se debe conocer la cantidad de agua que se arrastra en el aire que sale del equipo, por lo que haciendo un balance del agua que entra al separador y la que se separa se puede determinar la calidad del aire a la salida del equipo como:

$$Cal = \frac{M_a}{M_a + (M_{1a} - M_{1p})} \dots\dots\dots (5.6)$$

Donde:

- Cal Calidad del aire a la salida del equipo (%).
- Ma Gasto másico de aire (Kg/seg).
- Mla Gasto de agua atomizado (Kg/seg).
- Mlp Gasto de agua purgado (Kg/seg).
- Mls Gasto de agua separado (Kg/seg).

V.5.2 Medición de la calidad midiendo la cantidad de agua arrastrada. Para determinar la cantidad de agua que es arrastrada por el flujo de aire, se utilizará un filtro SA (fig.10) para secar el aire que sale del separador. Para determinar este gasto de agua se utilizará la siguiente ecuación:

$$Mlar = \frac{Pf - Pi}{\text{tiempo}} \dots\dots\dots(5.7)$$

Donde:

- Mlar Gasto másico de agua arrastrada
- Pf Peso final del filtro
- Pi Peso inicial del filtro

Además con la ayuda de la humedad relativa se determinará si la humedad absoluta del aire aumenta al pasar por el equipo, por lo que:

$$M_{law} = (w_e - w_s) \left[\frac{M_a}{1 + w_e} \right] \dots\dots\dots(5.8)$$

Donde:

w_e Humedad absoluta del aire a la entrada del turbosoplador.

w_s Humedad absoluta del aire a la salida del equipo.

La calidad por éste segundo método estará dada por la siguiente ecuación:

$$Cal = \frac{M_a}{M_a + M_{lar} + M_{law}} \dots\dots\dots(5.9)$$

V.6 CONTROL DEL AGUA ATOMIZADA

De la cantidad de agua que se atomice y la forma en que se haga dependerá el tamaño de gota en la mezcla aire-agua, como la finalidad de este experimento es probar al separador con los mínimos diámetros de gota posible, se diseñó el sistema que se muestra en la figura 9 para cumplir con éste objetivo. Para controlar la cantidad de agua que se atomice se utilizará una válvula de globo VG1 (fig.10) marca Urrea

de 1 plg de diámetro, ya que el gasto que se tenga en la boquilla esta en función de la presión a la entrada.

V.7 CONTROL DE GASTO DE AIRE

Para poder controlar el gasto de aire, se utilizará una válvula de compuerta VC (fig.10) marca Urrea de 4 plg de diámetro nominal.

V.8 PROCEDIMIENTO DE OPERACION DEL EQUIPO

V.8.1 Arranque del equipo:

1.- Cerrar la válvula de bola que permite el paso de la mezcla al separador, VB2 (fig.10). Abrir la válvula de la purga, VB1 (fig.10).

2.- Checar que la banda del turbosoplador este lo suficientemente tensa.

3.- Checar que la válvula de compuerta con la que se controla el gasto de aire VC y la válvula de globo VG1 (fig.10) con la que se controla la cantidad de agua atomizada esten abiertas.

4.- Encender el turbosoplador por medio de el interruptor que se encuentra en la pared del laboratorio.

5.- Regular el gasto de aire con ayuda de la válvula VC ,midiendo el gasto en el Venturi FE (fig.10).

6.- Encender la bomba de agua.

7.- Regular el gasto de agua en la boquilla de atomización con ayuda de la válvula VG1 y checar el gasto con ayuda del rotámetro F(1), (fig.10).

8.- Abrir la válvula que permite la entrada de la mezcla al separador VB2, y cerrar la válvula de la purga VB1 (fig.10) para mantener un nivel constante en la purga.

9.- Cerrar la válvula para drenar el agua del separador VG3 (fig.10) y esperar a que el nivel del agua dentro del separador sea de aproximadamente 10 cm.

10.- Abrir la válvula para drenar el agua del separador lo suficiente para que el nivel de agua dentro del separador sea constante.

11.- Esperar a que se estabilice el sistema, se considerará que el sistema se ha estabilizado cuando las lecturas en los instrumentos no varien durante un minuto aproximadamente.

V.8.2 Toma de lecturas

1.- Marcar un nivel inicial y un nivel final en el indicador de nivel L(1) y en el L(2), que la distancia entre estas dos marcas sean de aproximadamente 10 cm.

2.- En el momento en que el agua llegue a la marca inicial de la niveles encender los cronómetros y colocar el filtro.

3.- Medir el gasto en la purga VB1.

4.- Parar los cronómetros cuando el agua llegue a las marcas superiores en los indicadores de nivel y quitar el filtro.

5.- Abrir la válvula para nivelar la cantidad de agua en el depósito de agua separada.

6.- Si se desea realizar otra medición cerrar la válvula VB2 y abrir la VB1 y repetir el procedimiento del arranque apartir del paso 5.

8.- Si se desea para el equipo, parar la bomba y el turbo soplador.

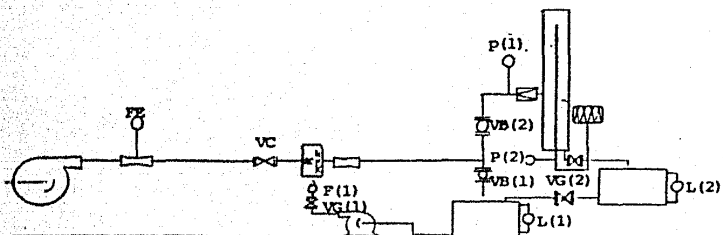


Figura 8: Diagrama de la instalación.

Para la toma de lecturas se recomienda el siguiente formato.

FECHA _____ HOJA # _____ RESPONSABLE: _____

DIAMETRO DEL SEPARADOR:		(m)		DIAMETRO DE ENTRADA:				(m)		DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL:					
ALTURA DE LA TAPA SUPERIOR:				(m)				ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO:				(m)			
NUMERO DE CORRIDA	HORA	GASTO DE AIRE Δh (cm)	GASTO DE AGUA (GAL/MIN)	AGUA EN PURGA		AGUA SEPARADA		AGUA EN AIRE		VARIACION DE LA HUMEDAD ESPECIFICA					
				MASA (Gr)	TIEMPO (s)	Δh (cm)	TIEMPO (s)	PESO AL INICIO	PESO AL FINAL	HUMEDAD REL. A LA ENTRADA	HUMEDAD REL. A LA SALIDA				

CAPITULO VI

PROGRAMA DE PRUEBAS

PROGRAMA DE PUEBAS

VI.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Los experimentos que se aplicarán al modelo del separador son esencialmente de dos tipos:

Los experimentos en los que se cambiarán las condiciones de operación del equipo y los experimentos en los cuales se modificarán las dimensiones del equipo. La selección de estas pruebas se hizo en base de la experiencia obtenida en las plantas geotérmicas mexicanas y en las recomendaciones de P Bangman.

Los experimentos en los que se modificarán las condiciones de operación del equipo son de dos tipos:

Serie de experimentos en los que se variara la calidad de la mezcla que entra al equipo, para lo cual se realizarán experimentos con calidades a la entrada de 25, 50 y 75%.

Serie de experimentos en los que se modificará la velocidad de entrada al equipo, para lo cual se realizarán pruebas para velocidades de 30, 40 y 50 mts./seg. Con su respectivo incremento de gasto de agua.

En cuanto a los experimentos en los que se modificarán las dimensiones del equipo son de tres tipos:

Se modificará el diámetro del equipo, para lo cual se utilizarán tres modelos del separador; el primero con un diámetro del separador de 7 plg., el segundo con un diámetro de 10 plg., y el tercero tendrá un diámetro de 14 plg.

Se modificara el diámetro del tubo central, para lo cual se tendrán tubos de 2,3,4,6 y 10 plg. Se debe aclarar que para cada modelo experimental sólo se utilizarán tres diámetros distintos, dependiendo del diámetro del separador.

La distancia de la entrada al fondo del separador también se cambiará, para lo cual se realizarán pruebas con una distancia de 150, 343 y 640 mm de la entrada al fondo del separador

La altura de la tapa superior y del tubo central se modificarán, para lo cual se realizarán pruebas con las siguientes alturas del tubo central; 128, 428 y 728 mm, medidas a partir de la entrada, se debe hacer notar que la distancia entre la tapa superior y el extremo superior del tubo central debe ser constante (105 mm).

Con todas estas pruebas se realizará la experimentación del modelo del separador. Para poder entender el comportamiento del equipo al modificar las condiciones anteriores, se deben hacer experimentos en los cuales sólo

se varíe una condición a la vez, por lo que para cada separador se realizarán las siguientes pruebas

Primero; con un diámetro del tubo central constante se modificará la calidad de la mezcla a la entrada para tres velocidades diferentes.

Segundo; con una velocidad constante se modificará la calidad de la mezcla y la distancia de la entrada al fondo del separador.

Tercero; con una velocidad constante se modificará la calidad de la mezcla y la altura de la tapa superior y del tubo central.

Cuando se hayan concluido estas pruebas se procederá a modificar el diámetro del tubo central y se realizarán nuevamente estas pruebas.

Para el mejor entendimiento de esta serie de pruebas se muestran a continuación las tablas en las que se pueden observar todas estas modificaciones.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FUMUO (MTS)	GASTO MASICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MASICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
7	2	0.420	0.343	396	1180	75.0
7	2	0.420	0.343	396	396	50.0
7	2	0.420	0.343	396	132	25.0
7	2	0.420	0.343	530	1590	75.0
7	2	0.420	0.343	530	530	50.0
7	2	0.420	0.343	530	176	25.0
7	2	0.420	0.343	662	1980	75.0
7	2	0.420	0.343	662	662	50.0
7	2	0.420	0.343	662	221	25.0
7	2	0.720	0.343	530	1106	75.0
7	2	0.720	0.343	530	530	50.0
7	2	0.720	0.343	530	176	25.0
7	2	0.120	0.343	530	1106	75.0
7	2	0.120	0.343	530	530	50.0
7	2	0.120	0.343	530	176	25.0
7	2	0.420	0.640	530	1106	75.0
7	2	0.420	0.640	530	530	50.0
7	2	0.420	0.640	530	176	25.0
7	2	0.420	0.150	530	1106	75.0
7	2	0.420	0.150	530	530	50.0
7	2	0.420	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 7 plg.
con diámetro del tubo central de 2plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALYURA DE TUBO CENTRAL (MYS)	ALYURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MYS)	GASTO MAGICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MAGICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
7	3	0.428	0.343	396	1108	75.0
7	3	0.428	0.343	396	396	50.0
7	3	0.428	0.343	396	132	25.0
7	3	0.428	0.343	530	1590	75.0
7	3	0.428	0.343	530	530	50.0
7	3	0.428	0.343	530	176	25.0
7	3	0.428	0.343	662	1936	75.0
7	3	0.428	0.343	662	662	50.0
7	3	0.428	0.343	662	221	25.0
7	3	0.728	0.343	530	1186	75.0
7	3	0.728	0.343	530	530	50.0
7	3	0.728	0.343	530	176	25.0
7	3	0.128	0.343	530	1186	75.0
7	3	0.128	0.343	530	530	50.0
7	3	0.128	0.343	530	176	25.0
7	3	0.428	0.640	530	1186	75.0
7	3	0.428	0.640	530	530	50.0
7	3	0.428	0.640	530	176	25.0
7	3	0.428	0.150	530	1186	75.0
7	3	0.428	0.150	530	530	50.0
7	3	0.428	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 7 plg.
con diámetro del tubo central de 3 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MASICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MASICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
7	4	0.440	0.343	396	1188	75.0
7	4	0.420	0.343	396	396	50.0
7	4	0.420	0.343	396	132	25.0
7	4	0.420	0.343	530	1590	75.0
7	4	0.420	0.343	530	530	50.0
7	4	0.420	0.343	530	176	25.0
7	4	0.428	0.343	662	1986	75.0
7	4	0.428	0.343	662	662	50.0
7	4	0.428	0.343	662	221	25.0
7	4	0.728	0.343	530	1186	75.0
7	4	0.728	0.343	530	530	50.0
7	4	0.728	0.343	530	176	25.0
7	4	0.128	0.343	530	1186	75.0
7	4	0.128	0.343	530	530	50.0
7	4	0.128	0.343	530	176	25.0
7	4	0.420	0.640	530	1186	75.0
7	4	0.428	0.640	530	530	50.0
7	4	0.428	0.640	530	176	25.0
7	4	0.428	0.150	530	1186	75.0
7	4	0.428	0.150	530	530	50.0
7	4	0.428	0.150	530	176	25.0

programa de pruebas para el separador de 7 plg.
con diámetro del tubo central de 4 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MÁSICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MÁSICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
10	2	0.420	0.343	396	1198	75.0
10	2	0.420	0.343	396	396	50.0
10	2	0.420	0.343	396	132	25.0
10	2	0.420	0.343	530	1590	75.0
10	2	0.420	0.343	530	530	50.0
10	2	0.420	0.343	530	176	25.0
10	2	0.420	0.343	662	1936	75.0
10	2	0.420	0.343	662	662	50.0
10	2	0.420	0.343	662	221	25.0
10	2	0.720	0.343	530	1106	75.0
10	2	0.720	0.343	530	530	50.0
10	2	0.720	0.343	530	176	25.0
10	2	0.120	0.343	530	1106	75.0
10	2	0.120	0.343	530	530	50.0
10	2	0.120	0.343	530	176	25.0
10	2	0.420	0.640	530	1186	75.0
10	2	0.420	0.640	530	530	50.0
10	2	0.420	0.640	530	176	25.0
10	2	0.420	0.150	530	1186	75.0
10	2	0.420	0.150	530	530	50.0
10	2	0.420	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 10 plg.
con diámetro del tubo central de 2 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MASICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MASICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
10	3	0.428	0.343	396	1138	75.0
10	3	0.428	0.343	396	396	50.0
10	3	0.428	0.343	396	132	25.0
10	3	0.428	0.343	530	1590	75.0
10	3	0.428	0.343	530	530	50.0
10	3	0.428	0.343	530	176	25.0
10	3	0.428	0.343	662	1936	75.0
10	3	0.428	0.343	662	662	50.0
10	3	0.428	0.343	662	221	25.0
10	3	0.720	0.343	530	1186	75.0
10	3	0.720	0.343	530	530	50.0
10	3	0.720	0.343	530	176	25.0
10	3	0.128	0.343	530	1136	75.0
10	3	0.128	0.343	530	530	50.0
10	3	0.128	0.343	530	176	25.0
10	3	0.428	0.640	530	1186	75.0
10	3	0.428	0.640	530	530	50.0
10	3	0.428	0.640	530	176	25.0
10	3	0.428	0.150	530	1186	75.0
10	3	0.428	0.150	530	530	50.0
10	3	0.428	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 10 plg.
con diámetro del tubo central de 3 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALYURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALYURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MAGICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MAGICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTADA (%)
10	6	0.428	0.343	396	1188	75.0
10	6	0.428	0.343	396	396	50.0
10	6	0.428	0.343	396	132	25.0
10	6	0.428	0.343	530	1590	75.0
10	6	0.428	0.343	530	530	50.0
10	6	0.428	0.343	530	176	25.0
10	6	0.428	0.343	662	1986	75.0
10	6	0.428	0.343	662	662	50.0
10	6	0.428	0.343	662	221	25.0
10	6	0.728	0.343	530	1186	75.0
10	6	0.728	0.343	530	530	50.0
10	6	0.728	0.343	530	176	25.0
10	6	0.128	0.343	530	1186	75.0
10	6	0.128	0.343	530	530	50.0
10	6	0.128	0.343	530	176	25.0
10	6	0.428	0.640	530	1186	75.0
10	6	0.428	0.640	530	530	50.0
10	6	0.428	0.640	530	176	25.0
10	6	0.428	0.150	530	1186	75.0
10	6	0.428	0.150	530	530	50.0
10	6	0.428	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 10 plg.
con diámetro del tubo central de 6 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MASICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MASICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MECCLA A LA ENTRADA (Z)
14	4	0.428	0.343	396	1188	75.0
14	4	0.428	0.343	396	396	50.0
14	4	0.428	0.343	396	132	25.0
14	4	0.428	0.343	530	1590	75.0
14	4	0.428	0.343	530	530	50.0
14	4	0.428	0.343	530	176	25.0
14	4	0.428	0.343	662	1936	75.0
14	4	0.428	0.343	662	662	50.0
14	4	0.428	0.343	662	231	25.0
14	4	0.728	0.343	530	1106	75.0
14	4	0.728	0.343	530	530	50.0
14	4	0.728	0.343	530	176	25.0
14	4	0.128	0.343	530	1106	75.0
14	4	0.128	0.343	530	530	50.0
14	4	0.128	0.343	530	176	25.0
14	4	0.428	0.640	530	1106	75.0
14	4	0.428	0.640	530	530	50.0
14	4	0.428	0.640	530	176	25.0
14	4	0.428	0.150	530	1186	75.0
14	4	0.428	0.150	530	530	50.0
14	4	0.428	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 14 plg.
con diámetro del tubo central de 4 plg

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	GASTO MASICO DE AIRE (KG/Hr)	GASTO MASICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
14	6	0.420	0.343	396	1138	75.0
14	6	0.420	0.343	396	396	50.0
14	6	0.420	0.343	396	132	25.0
14	6	0.420	0.343	530	1590	75.0
14	6	0.420	0.343	530	530	50.0
14	6	0.420	0.343	530	176	25.0
14	6	0.420	0.343	662	1936	75.0
14	6	0.420	0.343	662	662	50.0
14	6	0.420	0.343	662	221	25.0
14	6	0.720	0.343	530	1186	75.0
14	6	0.720	0.343	530	530	50.0
14	6	0.720	0.343	530	176	25.0
14	6	0.120	0.343	530	1186	75.0
14	6	0.120	0.343	530	530	50.0
14	6	0.120	0.343	530	176	25.0
14	6	0.420	0.640	530	1186	75.0
14	6	0.420	0.640	530	530	50.0
14	6	0.420	0.640	530	176	25.0
14	6	0.420	0.150	530	1186	75.0
14	6	0.420	0.150	530	530	50.0
14	6	0.420	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 14 plg.
con diámetro del tubo central de 6 plg.

DIAMETRO DEL SEPARADOR (PLG)	DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (PLG)	ALTURA DE TUBO CENTRAL (MTS)	ALTURA DE LA ENTRADA AL FONDO (MTS)	CASO MAGICO DE AIKE (KG/Hr)	CASO MAGICO DE AGUA (KG/Hr)	CALIDAD DE LA MEZCLA A LA ENTRADA (%)
14	10	0.428	0.343	396	1188	75.0
14	10	0.420	0.343	396	396	50.0
14	10	0.428	0.343	396	132	25.0
14	10	0.428	0.343	530	1590	75.0
14	10	0.420	0.343	530	530	50.0
14	10	0.428	0.343	530	176	25.0
14	10	0.428	0.343	662	1986	75.0
14	10	0.428	0.343	662	662	50.0
14	10	0.420	0.343	662	221	25.0
14	10	0.720	0.343	530	1186	75.0
14	10	0.720	0.343	530	530	50.0
14	10	0.720	0.343	530	176	25.0
14	10	0.120	0.343	530	1186	75.0
14	10	0.120	0.343	530	530	50.0
14	10	0.120	0.343	530	176	25.0
14	10	0.420	0.640	530	1186	75.0
14	10	0.428	0.640	530	530	50.0
14	10	0.420	0.640	530	176	25.0
14	10	0.420	0.150	530	1186	75.0
14	10	0.420	0.150	530	530	50.0
14	10	0.420	0.150	530	176	25.0

Programa de pruebas para el separador de 14 plg.
con diámetro del tubo central de 10 plg.

VI.2 TIEMPO DE DURACION DE LAS PRUEBAS

Considerando que en tomar cada lectura se tarde un tiempo de 20 minutos promedio, se tiene el siguiente tiempo de duración de las pruebas:

se tomaran tres lecturas por cada prueba

Se realizarán 189 pruebas por lo tanto se efectuaran 567 lecturas.

Por lo que se requerirá de 11,340 minutos ó 189 horas de trabajo.

Si se considera que el día de trabajo consta de 8 horas, se utilizarán 23 días hábiles, por lo tanto serán 4.75 semanas.

Si se concidera que entre para acondicionar el equipo se requieren 30 minutos por lo tanto se realizarán 181 acondicionamientos del equipo por lo que se utilizarán 2.36 semanas.

Por lo anterior se estima que el tiempo de duración de las pruebas sea de 7.11 semanas por lo que dando una tolerancia se estima que se tardaran 2 meses las pruebas.

CAPITULO VII

PROGRAMA DE COMPUTO

VII.1 GENERALIDADES

Basados en la teoría de los separadores que se ha expuesto hasta este momento se ha creado el siguiente programa para computadora. Los objetivos de hacer éste programa son:

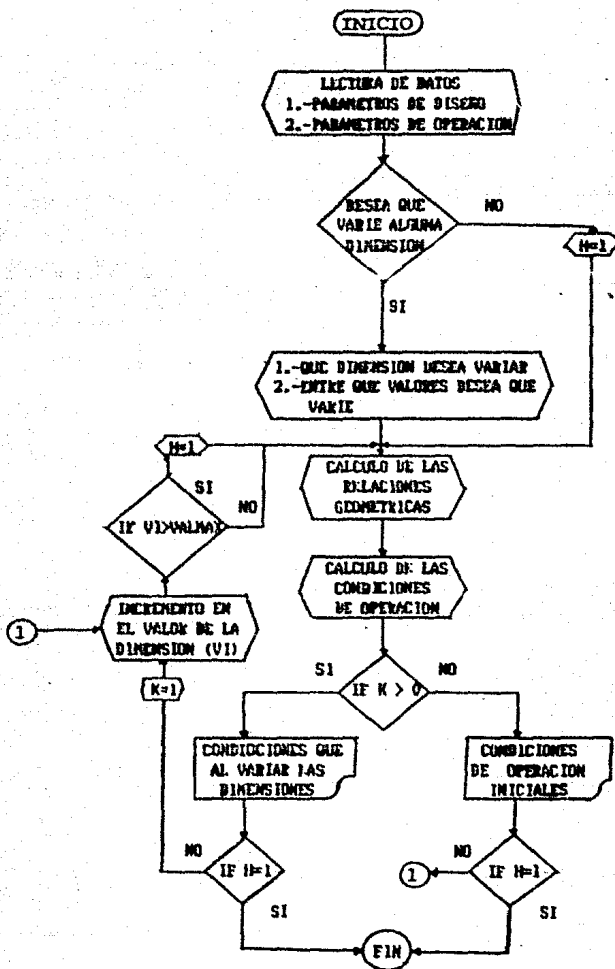
- Simular el funcionamiento de un separador.

- Calcular las condiciones de operación de un separador como son : la calidad de la mezcla a la salida, eficiencia, caída de presión, etc.

- Poder realizar iteraciones con unas condiciones iniciales constantes e incrementar en cada iteración el valor de una dimensión del equipo para poder obtener la variación en el funcionamiento del equipo.

Este programa esta diseñado en lenguaje BASIC. A continuación se muestra el diagrama de flujo del programa.

VII.2 DIAGRAMA DE BLOQUE DEL PROGRAMA



VII.3 LISTA DE VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA

VARIABLE EN EL PROGRAMA	VARIABLE FISICA
BETA	Distancia de la entrada a la tapa inferior del separador.
CAIPRE	Caida de presión através del equipo
CAL	Calidad en el flujo que sale del separador.
DENAG	Densidad del agua.
DENAIR	Densidad del aire.
DIACENT	Diámetro exterior del tubo central.
DIAENT	Diámetro interior de el tubo de entrada al separador.
DIASEP	Diámetro interior del separador.
DP	Diámetro de gota promedio en el flujo de entrada al separador.
DFM	Diámetro minimo de gota que puede separar el separador.
EFICA	Eficiencia de arrastre del separador.
EFICM	Eficiencia mecánica del separador.
GAMA	Distancia de la entrada a la tapa superior.
GASAG	Gasto másico de agua que entra al separador.
GASAIR	Gasto másico de aire que entra al

separador.

- N Índice de vórtice en el separador.
- R(1) Relación del diámetro del separador
entre en diámetro de entrada.
- R(2) Relación del diámetro del tubo
central entre el diámetro de entrada.
- R(3) Relación de la altura del tubo
central entre el diámetro de entrada.
- R(4) Relación de la distancia de la
entrada a la tapa inferior entre el
diámetro de entrada.
- R(5) Relación de la separación que hay
entre la tapa superior y el tubo
entre el diámetro de entrada.
- R(6) Relación de la distancia de la
entrada a la tapa superior entre el
diámetro de entrada.
- TENSUP Tensión superficial del agua.
- TIERES Tiempo de residencia del aire dentro
del separador.
- VALMAX Valor máximo al que debe llegar la
dimensión que se este variando.
- VALMIN Valor inicial del que debe partir
la variación de la dimensión.
- VEL Velocidad superficial de entrada del
aire.

VELASCVelocidad de ascenso del aire dentro
del separador.

XCalidad de la mezcla a la entrada.

ZAltura del tubo central con
respecto a la entrada.

VII.4 LISTADO DEL PROGRAMA

```
5 DIM R(6)
7 P=3.1416
10 INPUT "DIAMETRO DEL TUBO DE ENTRADA (MTS)";DIAENT
20 INPUT "DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL (MTS)";DIACENT
30 INPUT "DIAMETRO DEL SEPARADOR (MTS)";DIASEP
40 INPUT "ALTURA DEL TUBO CENTRAL (MTS)";Z
50 INPUT "DISTANCIA DE LA ENTRADA AL FONDO DEL SEPARADOR
(MTS)";BETA
60 INPUT "ALTURA DE LA TAPA SUPERIOR (MTS)";GAMA
70 INPUT "GASTO DE AIRE (KG/SEG)";GASAIR
80 INPUT "GASTO DE AGUA (KG/SEG)";GASAG
85 INPUT "QUE ESPACIO ENTRE TAPA Y TUBO CENTRAL SEA CONST
(SI/NO)";Cg
90 INPUT "DENSIDAD DEL AIRE (KG/M3)";DENAIR
100 INPUT "DENSIDAD DEL AGUA (KG/M3)";DENAG
110 INPUT "VISCOSIDAD DEL AIRE (POISSES)";VISAIR
120 INPUT "VISCOSIDAD DEL AGUA (POISSES)";VISAG
130 INPUT "TENSION SUPERFICIAL DEL AGUA (DINAS/CM)";TENSUP
140 INPUT "DESEA VARIAR ALGUN PARAMETRO (SI/NO)";A$
150 IF A$="NO" THEN H=1
155 IF A$="NO" THEN 280
160 PRINT "NUMERO          PARAMETRO A VARIAR "
165 PRINT
170 PRINT "    1          DIAMETRO DE ENTRADA"
175 PRINT
180 PRINT "    2          DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL"
185 PRINT
190 PRINT "    3          DIAMETRO DEL SEPARADOR"
195 PRINT
200 PRINT "    4          , ALTURA DEL TUBO CENTRAL"
205 PRINT
210 PRINT "    5          DISTANCIA DE LA ENTRADA AL FONDO"
```

```

215 PRINT
220 PRINT " 6          ALTURA DE LA TAPA DEL SEPARADOR"
225 PRINT
230 INPUT "QUE NUMERO DE ALTERNATIVA DESEA ";B
240 INPUT "VALOR MINIMO QUE DESEA";VALMIN
250 INPUT "VALOR MAXIMO QUE DESEA";VALMAX
255 REM INICIO DE CALCULOS
260 ON (B) GOSUB 1000,2000,3000,4000,5000,6000
280 R(1)=DIASEP/DIAENT
290 R(2)=DIACENT/DIAENT
300 R(3)=Z/DIAENT
310 R(4)=BETA/DIAENT
320 R(5)=(GAMA-Z)/DIAENT
330 R(6)=GAMA/DIAENT
340 X=GASAIR/(GASAIR+GASAG)
350 N=0.6689*(DIASEP)**0.14
360 VEL=4*GASAIR/(DENAIR*P*(DIAENT)**2)
370 F=(66.289/(VEL**0.8069))*(1000*TENSUP/DENAG)**0.5
380 D=(140.8345*(X)**0.5747)*((VISAG)**2*1000/(TENSUP*
DENAG))**0.225*1357.346
390 E=(DENAIR*GASAG/(DENAG*GASAIR))**0.5507*(VEL)**
(-0.2188)
400 DP=F+(D*E)
410 VOL=P*((DIASEP)**2-(DIACENT)**2)*(GAMA)/4
420 TIERES=VOL*DENAIR/GASAIR
430 KC=(GASAIR*TIERES)/((DIASEP)**3*DENAIR)
440 FI=(DP*1E-6)**2*VEL*(N+1)*DENAG/(18*VISAIR*DIASEP)
450 KA=1/R(1)
460 KB=P*DIAENT/(4*DIASEP)
470 C=B*KC/(KA*KB)
480 EFICM=1-EXP(-2*((C*FI)**(1/(2*(N+1)))))
490 VELASC=4*GASAIR/(P*DENAIR*((DIASEP)**2-(DIACENT)**2))
500 G=(VELASC)**13.9241*(-3.3839E-14)
510 EFICA=(10)**G
520 CAL=GASAIR/(GASAIR+GASAG*(1-EFICM*EFICA))
530 CAIPRE=DENAIR*((VEL)**2)*B
540 DGM=(9*VISAIR*(1-(DIACENT/DIASEP)**(2*N+2)))
550 DGD=TIERES*DENAG*(N+1)
560 DPM=(DIASEP/(2*VEL))*(DGM/DGD)**0.5
570 IF K>0 THEN GO TO 890
580 PRINT "LOS PARAMETROS INICIALES SON:"
585 PRINT
590 PRINT "DIAMETRO DEL TUBO DE ENTRADA..... ";DIAENT;
" (MTS)"
600 PRINT "DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL..... ";DIACENT;"
(MTS)"
610 PRINT "DIAMETRO DEL SEPARADOR..... ";DIASEP;"
(MTS)"
620 PRINT "ALTURA DEL TUBO CENTRAL..... ";Z;" (MTS)"
630 PRINT "ALTURA DE LA TAPA ALA ENTRADA.... ";BETA;" (MTS)"
640 PRINT "ALTURA DE LA TAPA SUPERIOR..... ";GAMA;" (MTS)"
650 PRINT "R(1)..... ";R(1)

```

```

660 PRINT "R(2).....";R(2)
670 PRINT "R(3).....";R(3)
680 PRINT "R(4).....";R(4)
690 PRINT "R(5).....";R(5)
700 PRINT "R(6).....";R(6)
704 PRINT "GASTO DE AIRE.....";GASAIR;
" (KG/SEG)"
706 PRINT "GASTO DE AGUA.....";GASAG;
" (KG/SEG)"
710 PRINT "CALIDAD A LA SALIDA.....";CAL*1E2;
" (%)"
715 PRINT "CALIDAD A LA ENTRADA.....";X*1E2;
" (%)"
720 PRINT "CAIDA DE PRESION.....";CAIPRE;
" (PASCAL)"
730 PRINT "DIAMETRO MINIMO DE GOTA .....";DPM*1E6;
" (MICRONES)"
735 PRINT "VEL. DE ENTRADA DEL AIRE.....";VEL;"(M/SEG)"
740 IF H=1 THEN 7000
743 PRINT
745 PRINT "-----"
750 PRINT "DIAENT DIACEN DIASEP Z BETA GAMA
CAL DGM CAIPRE"
760 PRINT "(MTS) (MTS) (MTS) (MTS) (MTS) (MTS)
I (MICR) (PASC)"
765 PRINT "-----"
770 K=1
780 GO TO 255
890 REM
900 PRINT USING" .#### .### .####
.##### .##### .###.## ###.##
#####.";DIAENT,DIACENT,
DIASEP,Z,BETA,GAMA,CAL*1E2,DPM*1E6,CAIPRE
910 IF H=1 THEN GO TO 7000
930 GO TO 255
935 STOP
1000 REM SUBRRUTINA PARA VARIAR DIAMETRO DE ENTRADA
1010 DIAENT=DIAENT+0.00746
1020 IF K=0 THEN DIAENT=VALMIN
1030 IF DIAENT>VALMAX THEN H=1
1040 RETURN
2000 REM SUBRRUTINA PARA VARIAR DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL
2010 DIACENT=DIACENT+0.01
2030 IF K=0 THEN DIACENT=VALMIN
2040 IF DIACENT>VALMAX THEN H=1
2050 RETURN
3000 REM SUBRRUTINA PARA VARIAR DIAMETRO DEL SEPARADOR
3010 DIASEP=DIASEP+0.01
3020 IF K=0 THEN DIASEP=VALMIN

```

```

3030 IF DIASEP>VALMAX THEN H=1
3040 RETURN
4000 REM SUBROUTINA PARA VARIAR ALTURA DEL TUBO CENTRAL
4010 Z=Z+0.025
4020 IF K=0 THEN Z=VALMIN
4030 IF Z>VALMAX THEN H=1
4040 IF C$="SI" THEN GAMA=GAMA+0.025
4050 RETURN
5000 REM SUBROUTINA PARA VARIAR ALTURA DEL FONDO
5010 BETA=BETA+0.05
5020 IF K=0 THEN BETA=VALMIN
5030 IF BETA>VALMAX THEN H=1
5040 RETURN
6000 REM SUBROUTINA PARA VARIAR LA ALTURADE LA TAPA
6010 GAMA=GAMA+0.0254
6020 IF K=0 THEN GAMA=VALMIN
6030 IF GAMA>VALMAX THEN H=1
6040 IF C$="SI" THEN Z=Z+0.0254
6050 RETURN
7010 END

```

VII.5 LISTADO DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA

A continuación se muestra la forma en que obtienen los resultados al correr el programa, el primer caso es cuando se desea que con unas condiciones iniciales constantes, se repita el proceso de cálculo y que en cada iteración se incremente el valor de la dimensión escogida previamente. el segundo listado es cuando el programa sólo realiza una iteración.

LOS PARAMETROS INICIALES SON:

DIAMETRO DEL TUBO DE ENTRADA.....	.0500	(MIS)
DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL.....	.06985	(MIS)
DIAMETRO DEL SEPARADOR.....	.254	(MIS)
ALTURA DEL TUBO CENTRAL.....	.304	(MIS)
ALTURA DE LA TAPA A LA ENTRADA.....	.349	(MIS)
ALTURA DE LA TAPA SUPERIOR.....	.400	(MIS)
R(1).....	5	
R(2).....	1.375	
R(3).....	7.55906	
R(4).....	6.07008	
R(5).....	2.04724	
R(6).....	9.6063	
GASTO DE AIRE.....	.11	(KG/SEG)
GASTO DE AGUA.....	.11	(KG/SEG)
CALIDAD.....	99.9935	(%)
CALIDAD A LA ENTRADA.....	50	(%)
CAIDA DE PRESION.....	34515.3	(PASCAL)
DIAMETRO MINIMO DE GOYA.....	5.36707	(MICRONES)
VEL. DE ENTRADA DEL AIRE.....	56.5331	(M/SEG)

DIACENT (MIS)	DIACENT (MIS)	DIASEP (MIS)	Z (MIS)	BEYA (MIS)	GAKA (MIS)	CAL (%)	UGH (MICR)	CAIFRE (PASC)
.0503	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	100.00	7.06	14188.6
.0657	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.99	8.98	8762.6
.0732	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.98	11.14	5699.7
.0806	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.96	13.52	3865.6
.0881	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.94	16.14	2713.4
.0956	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.91	18.99	1960.3
.1030	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.87	22.07	1451.2
.1105	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.83	25.39	1097.2
.1179	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.78	28.93	844.8
.1254	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.72	32.70	661.0
.1329	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.66	36.71	524.6
.1403	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.60	40.95	421.6
.1478	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.53	45.42	342.7
.1552	.0698	.25400	.30400	.34900	.40000	99.45	50.12	281.5

LOS PARAMETROS INICIALES SON:

DIAMETRO DEL TUBO DE ENRIKADA.....	.06985 (MIS)
DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL.....	.1544 (MIS)
DIAMETRO DEL SEPARADOR.....	.254 (MIS)
ALTURA DEL TUBO CENTRAL.....	.334 (MIS)
ALTURA DE LA TAPA ALA ENRIKADA.....	.349 (MIS)
ALTURA DE LA TAPA SUPERIOR.....	.488 (MIS)
R(1).....	3.67636
R(2).....	2.21045
R(3).....	5.49749
R(4).....	4.99642
R(5).....	1.4889
R(6).....	6.9864
GASTO DE AIRE.....	.11 (KG/SEG)
GASTO DE AGUA.....	.11 (KG/SEG)
CALIDAD.....	99.954 (Z)
CALIDAD A LA ENTRADA.....	50 (Z)
CAIDA DE PRESION.....	6866.64 (PASCAL-ES)
DIAMETRO MINIMO DE GOTTA.....	10.3934 (MICRONES)
VFL. DE ENTRADA DEL AIRE.....	29.9018 (M/SEG)

VII.6 ANALISIS DE GRAFICAS

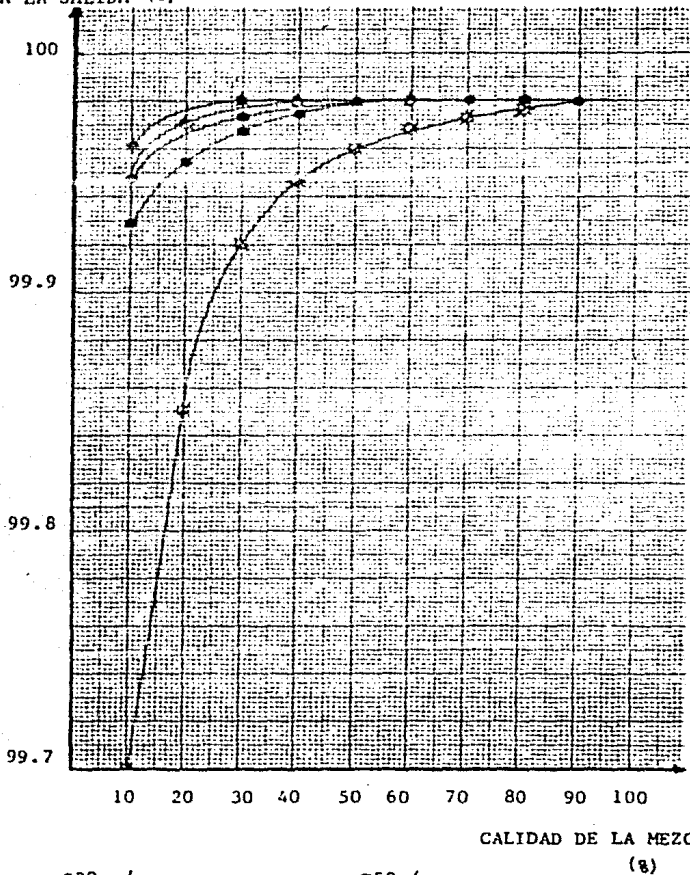
A continuación se presentan una serie de gráficas que se trazaron con la ayuda de los resultados que se obtuvieron al correr para diferentes condiciones de operación y dimensiones el programa de cómputo, así como el análisis de estas gráficas. En estas gráficas se puede observar el comportamiento de la calidad de salida del aire contra la variación de algún parámetro.

Sólo se presentan las gráficas con los resultados al variar las condiciones que se realizarán en la experimentación, aclarando que no se incluye las respectivas a la variación de la distancia de la entrada al fondo del separador ya que el programa no considera esta alternativa, debido a la teoría con la que se desarrollo el programa.

Gráfica # 2; En esta gráfica se muestran los resultados que se calcularon con el programa manteniendo las dimensiones del equipo constantes y modificando la velocidad de entrada y la calidad de la mezcla a la entrada. Como puede observar en esta gráfica al aumentar la velocidad de entrada al equipo, la calidad disminuye, esto se debe principalmente a que a mayores gastos máxicos la velocidad de ascenso se incrementa y por lo tanto el arrastre aumenta y el tiempo de residencia es menor, por lo que si se debe cuidar mucho la velocidad de la mezcla a la entrada ya que

si se puede tener una caída en la calidad de salida muy grande para velocidades mayores a 60 m/seg. Se puede observar también que al aumentar la calidad a la entrada, la calidad a la salida también se incrementa, esto puede parecer raro, ya que al aumentar la calidad a la entrada el diámetro de gota disminuye y por lo tanto la eficiencia del separador también lo hace, pero si se considera que la calidad de salida es inversamente proporcional al gasto de agua que se tiene en la mezcla en la entrada, al disminuir esta la calidad en la salida aumenta.

CALIDAD DE LA MEZCLA
A LA SALIDA (%)



- 20 m/seg
- ▲ 30 m/seg
- ◆ 40 m/seg
- 50 m/seg
- ⊠ 60 m/seg

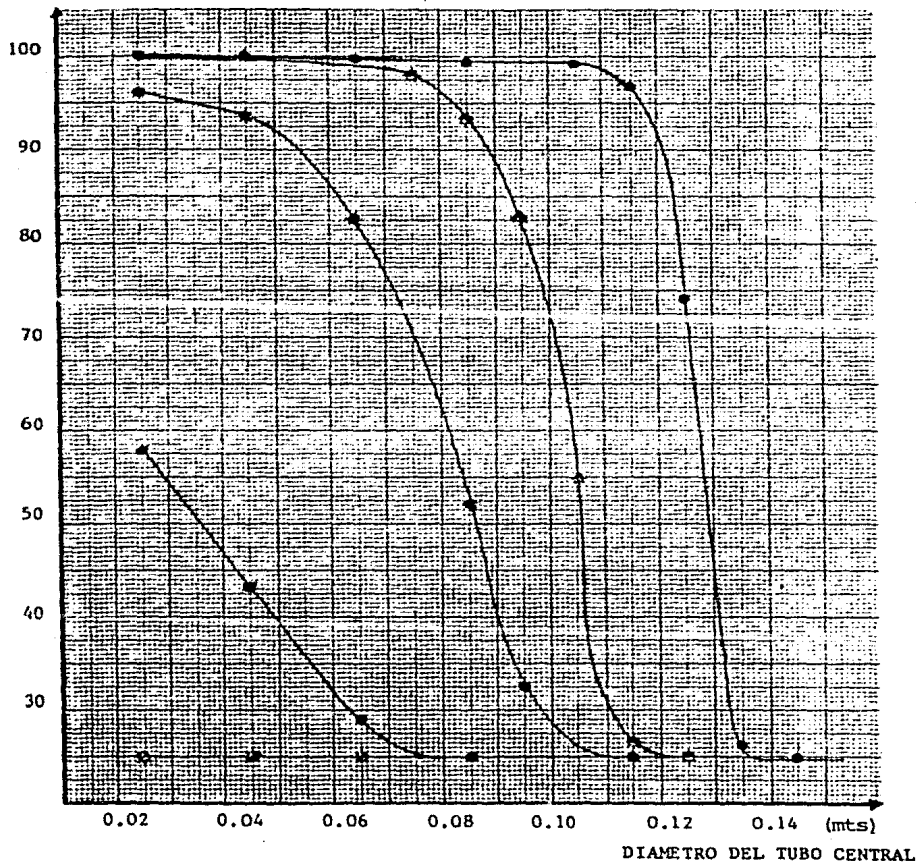
GRAFICA # 2: SEPARADOR DE 10 PLG

Gráfica #3, #4, #5; En las gráficas #3, 4 y 5 se puede observar el comportamiento de los separadores manteniendo las condiciones de operación constantes y modificando sólo el diámetro del tubo central. Como se puede observar es muy importante el valor de este diámetro ya que de él depende grandemente el comportamiento del separador sin tomar en cuenta la caída de presión. Es decir al aumentar el diámetro del tubo central el espacio anular disminuye y por lo tanto la velocidad de ascenso aumenta y con ello el arrastre, por otro lado el tiempo de residencia disminuye.

Como se puede observar este problema se agudiza al incrementar la velocidad de entrada ya que con esto se incrementa el gasto volumétrico y por lo tanto la velocidad de ascenso aumenta y el tiempo de residencia disminuye.

Es importante hacer notar que la relación entre el diámetro del tubo central y el diámetro de entrada no debe ser constante, ya que para diámetros grandes del sepador(14 plg.), la influencia del diámetro del tubo central es menor.

CALIDAD DE LA MEZCLA
A LA SALIDA (%)

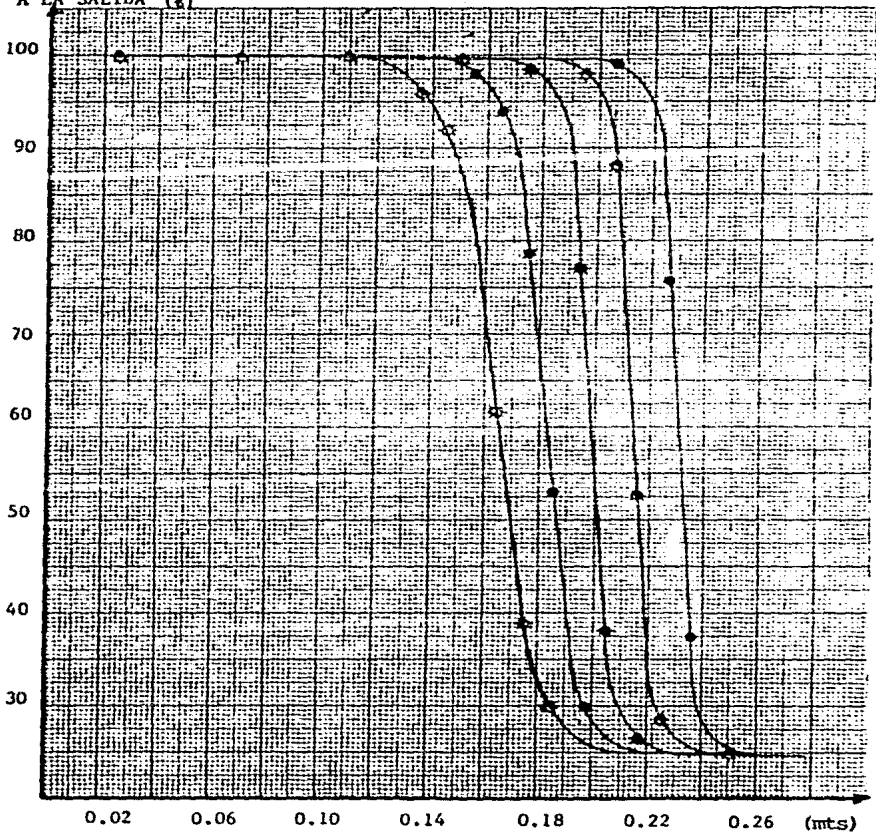


● 20 m/seg
 ◐ 30 m/seg
 ★ 40 m/seg

■ 50 m/seg
 ◑ 60 m/seg

GRAFICA #3: SEPARADOR DE 7 PLG DE DIAMETRO

CALIDAD DE LA MEZCLA
A LA SALIDA (g)



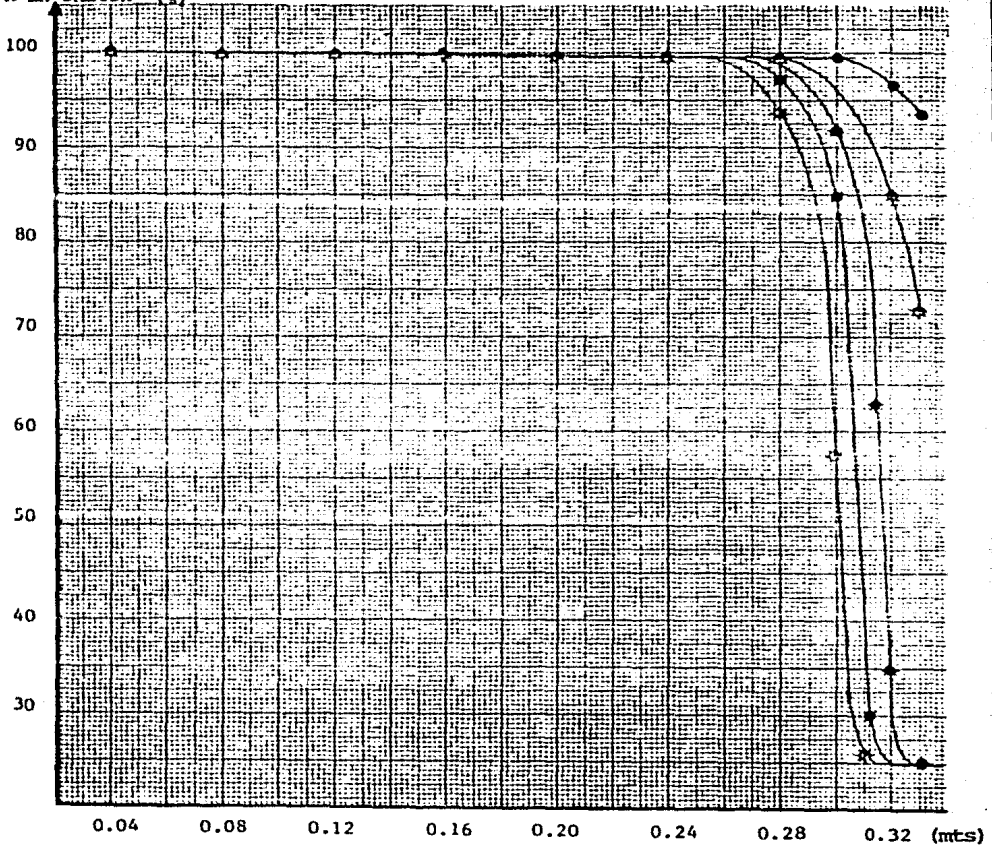
DIAMETRO DEL TUBO CENTRAL

● 20 m/seg
 ◆ 30 m/seg
 ▲ 40 m/seg

■ 50 m/seg
 ✕ 60 m/seg

GRAFICA # 4: SEPARADOR DE 10 PLG DE DIAMETRO

CALIDAD DE LA MEZCLA
A LA SALIDA (%)



● 20 m/seg

■ 50 m/seg

◆ 30 m/seg

⊙ 60 m/seg

▲ 40 m/seg

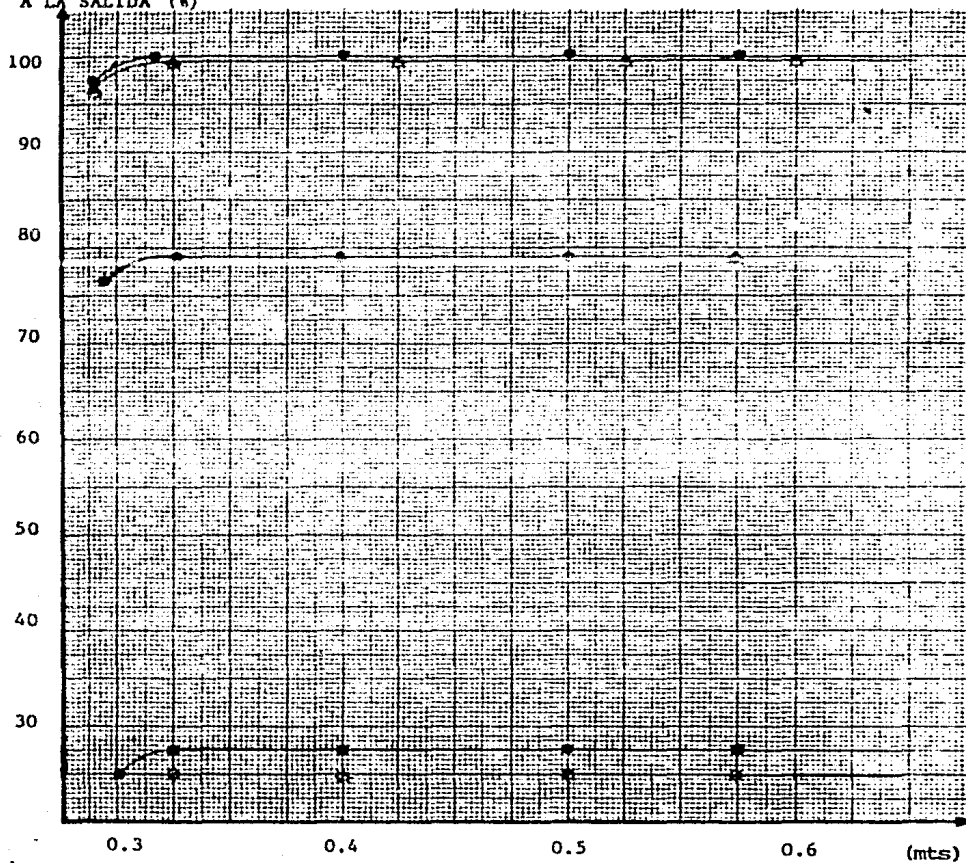
DIAMETRO DEL TUBO CENT.

GRAFICA #5: SEPARADOR DE 14 PLG DE DIAMETRO

Gráfica #6, #7, #8; En las gráficas #6, 7 y 8 se puede observar el comportamiento de la calidad a la salida al variar la altura de la tapa superior y la altura del tubo central, manteniendo la separación entre ambas constantes. Como se puede observar en la gráfica #6 al tener velocidades de entrada altas (arriva de 40 mts/seg.), no importa la altura de la tapa superior la calidad en la salida no varía y se mantiene constante en un valor inferior al 100 %. Para el caso de los separadores de 10 y 14 plg. se puede observar que al aumentar la altura del tubo central la calidad se incrementa hasta el 100 %. y después de un cierto valor se mantiene constante por lo que es importante recalcar que la altura del tubo central es una función del diámetro del separador y no de diámetro de entrada.

CALIDAD DE LA MEZCLA

A LA SALIDA (%)



ALTURA DEL TUBO CENTRAL

● 20 m/seg

■ 50 m/seg

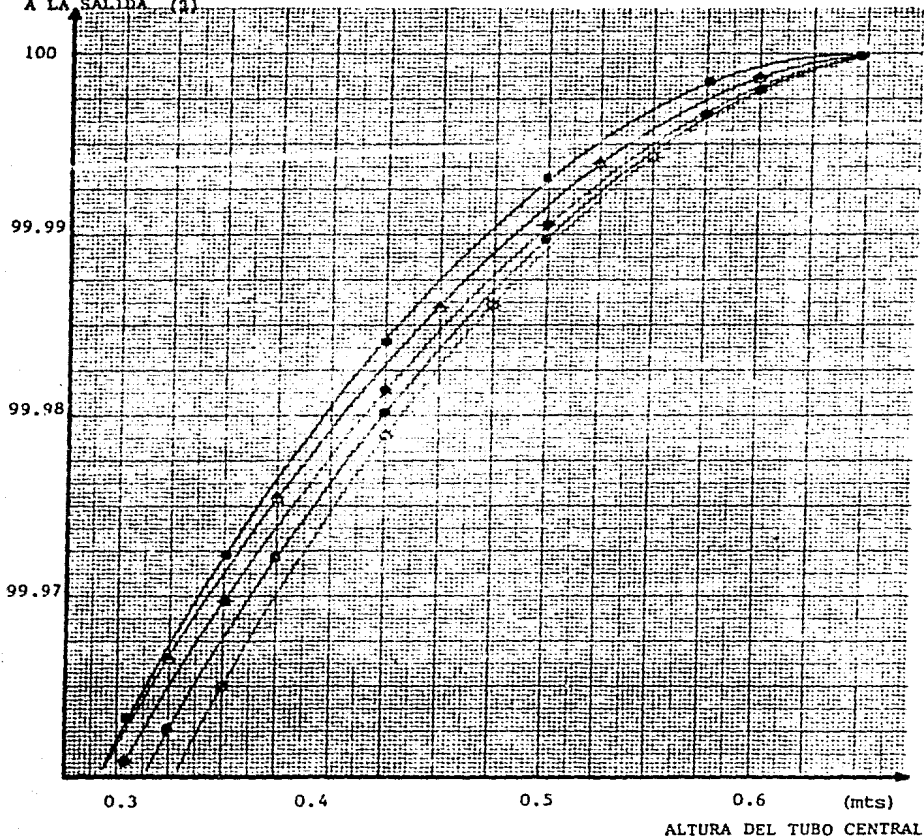
⊕ 30 m/seg

⊗ 60 m/seg

◆ 40 m/seg

GRAFICA# 6:SEPARADOR DE 7 PLG DE DIAMETRO

CALIDAD DE LA MEZCLA
A LA SALIDA. (2)



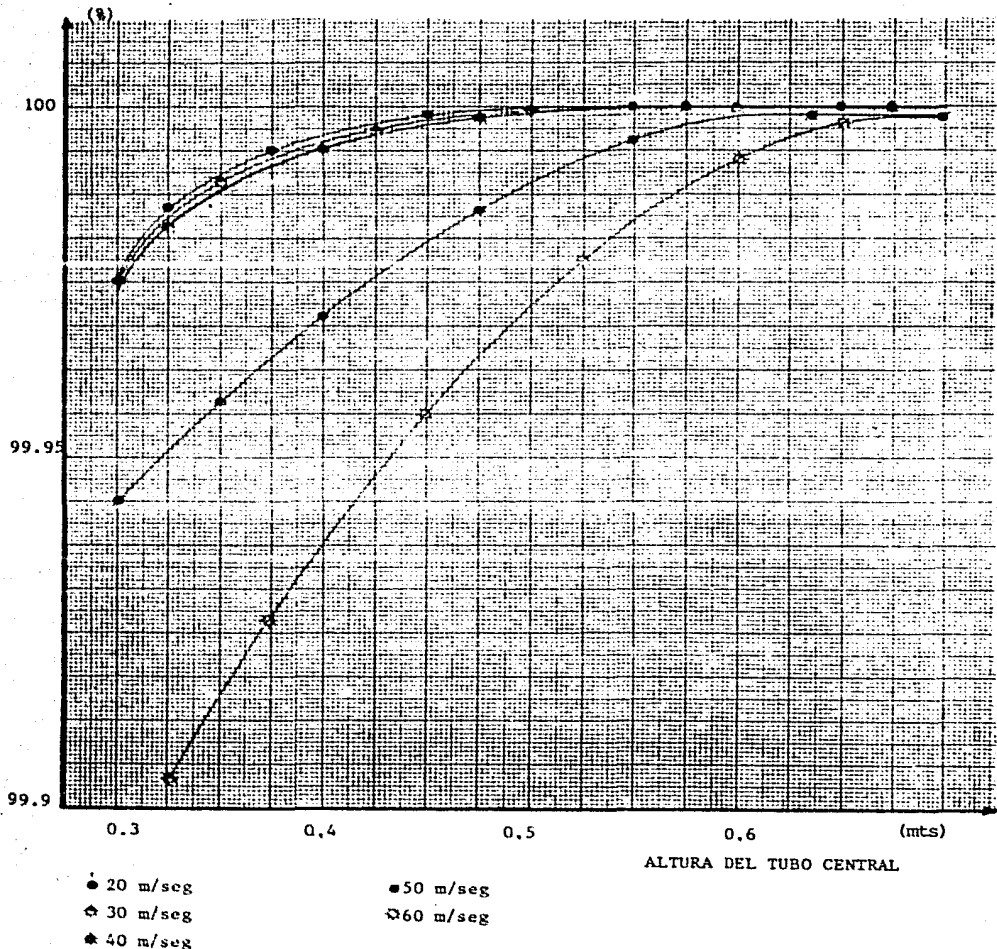
● 20 m/sec
▲ 30 m/sec
◆ 40 m/sec

■ 50 m/sec
◊ 60 m/sec

ALTURA DEL TUBO CENTRAL

GRAFICA #7: SEPARADOR DE 10 PLG DE DIAMETRO

CALIDAD DE LA MEZCLA A LA SALIDA



GRAFICA #8: SEPARADOR DE 14 PLG DE DIAMETRO

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

En la actualidad los criterios de diseño de los separadores tipo WEBRE, son bastante satisfactorios, prueba de ello, es el gran número de estos equipos que se encuentran en operación actualmente.

La teoría que se presenta en este trabajo se ha aplicado a equipos que se encuentran en operación, y ha dado resultados bastante aproximados a los reales.

La finalidad de proponer una experimentación es para poder comprobar la validez de esta teoría bajo diferentes condiciones de operación, de lo contrario, que permita conocer las modificaciones o consideraciones que se deban hacer para poder aplicar esta teoría.

En cuanto a las relaciones geométricas recomendadas por P. Bangma, si la teoría que se maneja en este trabajo es adecuada, es de esperar que estas mismas relaciones puedan ser mejoradas, como puede observarse en las gráficas que se analizaron en el capítulo VII.

En cuanto a los fenómenos que se presentan dentro del separador, como son: patrón de flujo, mecanismo de arrastre de partículas, etc. Existen varias teorías que tratan de explicarlos, sin tener ninguna de ellas una base fundamentada, por lo que se espera que al realizar la

experimentación se puedan explicar mejor éstos fenómenos.

APENDICE

APENDICE A

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA GEOTERMIA

A.1 GENERALIDADES

El desarrollo económico de las naciones depende en gran medida de las fuentes de energía que posee, y conforme pasa el tiempo esta dependencia es mayor. A tal grado que para los próximos seis años se requerirá mundialmente de un volumen de energéticos igual al que se ha consumido en los últimos cien años (Ref.29), por este motivo se ha incrementado el estudio de las fuentes alternas de energía como son; solar, mareomotriz, etc.

Por otra parte se ha incrementado el desarrollo de plantas que no utilizan petróleo para su funcionamiento, como son; plantas nucleares, carboníferas, hidráulicas, etc. Se ha podido comprobar a través del tiempo que estas fuentes no son capaces de solucionar totalmente el problema, aunque si lo pueden disminuir. Una de estas alternativas es la geotermia, que si bien no soluciona totalmente el problema, si ayuda a disminuir la dependencia del petróleo. Además esta es una fuente de energía ilimitada y limpia, que en la actualidad ya se explota comercialmente, por ejemplo en México: las plantas de Cerro Prieto, y los Azufres.

La primera aplicación comercial de la energía geotérmica fue en el año de 1905 en Italia, (Ref.29). Una pequeña industria utilizaba el vapor procedente de los manantiales termales para obtener diferentes productos químicos. Debido a la necesidad de contar con energía eléctrica para la planta, se instaló un motor de vapor de 35 HP acoplado a un generador eléctrico, el motor era accionado por medio del vapor geotérmico.

La mayoría de los pozos geotérmicos no son tan fáciles de explotar ya que de ellos no se obtiene solamente vapor sobrecalentado, como en el caso de Italia, sino una mezcla bifásica de vapor-salmuera, también conocido como líquido dominante¹.

La explotación de los reservorios de líquido dominante se inició en gran escala en Nueva Zelanda en 1959, (Ref.2), desde ese momento muchos otros países comenzaron a utilizar a los reservorios geotérmicos como medio de generación de energía eléctrica, como; Estados Unidos, México Unión Soviética, Japón, El Salvador, China, etc.

La energía geotérmica se puede definir como una energía térmica almacenada en reservorios subterráneos, estos pueden

¹ De acuerdo a la calidad que se tenga en el fluido geotérmico se habla de dos tipos de reservorios; si la calidad de la mezcla es menor al 100% se llama reservorio de líquido dominante, y si es del 100% se habla de vapor dominante.

ser: de vapor sobrecalentado, agua caliente o rocas calientes.

Aunque los reservorios de vapor sobrecalentado , como los de los Geysers en E.U. o los de Italia, son los más fáciles de explotar, son los mas escasos en el mundo, sólo el 20%, (Ref.17). Por otro lado existe una gran cantidad de energía almacenada en las rocas que se encuentran a gran profundidad pero es tecnológicamente imposible recuperar esta energía.

Por el gran número de reservorios de líquidos dominante se ha desarrollado una tecnología para poder explotarlos a un bajo costo. La temperatura de la salmuera de éstos pozos varía de 150-300°C, con un contenido de sólidos entre el 0.1%-25%, la profundidad de éstos pozos se estima entre 900-3000 mts., (Ref.2).

A.2 CICLO GEOTERMICO

A continuación se presenta una breve descripción del ciclo geotérmico:

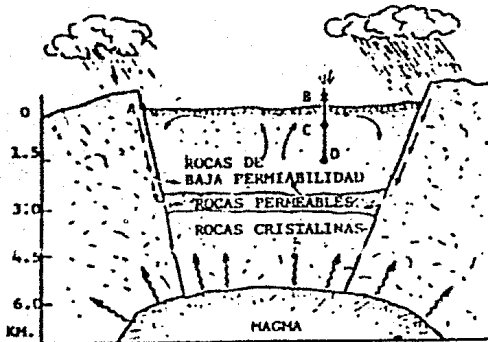


Figura 10: Ciclo geotérmico.

El agua fría desciende a través del punto A, en su recorrido es filtrada por las rocas por lo que adquiere una gran cantidad de elementos en suspensión y en solución como son:

Cloruro de Sodio (NaCl), Cloruro de Potasio (KCl), Cloruro de Calcio (CaCl), Sílice (SiO), etc. además de gases disueltos como; Dióxido de Carbono (CO_2), Nitrogeno (N_2), etc.

El agua desciende hasta que es calentada por la influencia de la temperatura del magma, el agua al calentarse tiende a subir y se forma una celda convectiva. En algunos casos existen manifestaciones en la superficie como son los Geysers en California.

El agua a la profundidad donde se calienta (punto D), se encuentra a una presión mayor a la respectiva presión de saturación correspondiente a la temperatura que se encuentra el agua, por lo que en este punto se encuentra en fase líquida.

Cuando se perfora un pozo hasta esta zona, el agua tiende a subir por la presión hidrostática y conforme asciende la presión disminuye, por esta razón en el punto C se cuenta con un flujo bifásico, el cual continúa hasta la superficie en el caso de líquido dominante.

A.3 SITUACION MUNDIAL DE LA GEOTERMIA

Existen varios tipos de sistemas para la conversión de la energía geotérmica, a continuación se presentan los más utilizados actualmente, así como el porcentaje de las plantas que trabajan con estos sistemas a nivel mundial, (Ref.10):

SISTEMA	PORCENTAJE
- VAPOR SECO O SOBRECALENTADO.....	35
- SEPARACION DE VAPOR (UNA SOLA ETAPA).....	22
- SEPARACION DE VAPOR (DOS ETAPAS).....	2
- SEPARACION DE VAPOR (MAS DE DOS ETAPAS).....	14
- CICLO BINARIO.....	5
- FLUJO TOTAL.....	*

*Este sistema no se encuentra en operación comercial, sólo en plantas piloto.

A continuación se muestra una tabla con las diferentes capacidades geotérmicas de los países en el mundo, (ref.10):

PAIS	CAPACIDAD OPERANDO (MW)	PLANTAS EN CONSTRUCCION (MW)	PLANTAS EN PLANEACION (MW)
Azores	3.0	---	---
China	14.321	0.55	---
El Salvador	95.0	55.0	30.0
Estados Unidos	2022.0	546.0	833.0
Filipinas	894.0	---	1302.0
Indonesia	32.25	110.0	855.0
Islandia	39.0	---	---
Italia	459.0	60.0	---
Japón	215.0	108.0	---
Kenya	45.0	---	55.0
México	425.0	285.0	580.0
Nicaragua	35.0	35.0	---
Nueva Zelanda	167.0	116.0	---
Rusia	11.0	80.0	150.0
Turkia	20.6	---	---
TOTAL	4476.0	1395.55	3805.0

A.4 SITUACION DE LA GEOTERMIA EN MEXICO

Los primeros estudios hechos para el uso de los flúidos geotérmicos en nuestro país se iniciaron a principios de la década de los cincuentas, y fue entonces cuando se comenzó a recabar información sobre las manifestaciones termales en México, la cual indicó la existencia de 60 áreas de alta temperatura, (Ref.29).

De esta forma en el estado de Hidalgo, se detectó una zona geotérmica conocida como Pathé y debido a la cercanía con la ciudad de México, principal centro de consumo de energía eléctrica, se efectuaron en ella cerca de 12 perforaciones obteniendo una producción pobre, lo cual limitó el desarrollo de este campo.

Fue entonces cuando se comenzaron estudios preliminares de explotación en algunas otras áreas, como; Los Negritos e Ixtlan de los Hervores, en Michoacán y Cerro Prieto, Baja California; en éstas últimas se concentraron los mayores esfuerzos debido a las perspectivas presentadas.

Las técnicas de perforación y terminación de pozos geotérmicos empleadas en Cerro Prieto han evolucionado gradualmente desde 1964, cuando se construyeron los primeros pozos exploratorios.

En 1974 se inició la construcción de la segunda etapa de la planta de Cerro Prieto I. En ésta se instalaron dos unidades, las cuales iniciaron su operación en 1979.

En agosto de 1981 comenzó la operación comercial de la unidad número 5 con una capacidad de 30 MW. El ahorro de combustible que se tiene con las cinco unidades es de 2.5 millones de barriles de petróleo aproximadamente.

La capacidad instalada en 1984 en la central geotérmica de Cerro Prieto es del orden de 400 MW.

Por lo que respecta al campo geotérmico de los Azufres en el estado de Michoacán en la actualidad tiene más de 40 pozos perforados de los cuales 24 son productores y 10 re-inyectores. Dadas las condiciones fisiográficas de este campo se divide en cuatro secciones; Tejamaniles, Agua Fria, El Chino y Maritaro. En Tejamaniles y el Chino se han instalado cinco unidades turbogeneradoras portátiles de descarga a la atmósfera que suman un total de 25 MW de capacidad.

Según los estudios efectuados, se concluye que las reservas geotérmicas de la República Mexicana son; 1,340 MW probados, 4,600 MW probables y 6000 MW posibles.

En la siguiente tabla se muestran las centrales termoeléctricas de nuestro país.

CENTRALES GEOTERMICAS EN MEXICO

PLANTAS	AÑO	TIPO	MW	ESTADO
PATHE	1959	1 ETAPA	3.5	OPERANDO
CERRO PRIETO I				
UNIDAD 1-2	1973	1 ETAPA	2X37.5	OPERANDO
UNIDAD 3-4	1979	1 ETAPA	2X37.5	OPERANDO
UNIDAD 5	1981	2 ETAPAS	30.0	OPERANDO
CERRO PRIETO II				
UNIDAD 1-2	1984	2 ETAPAS	2X110	OPERANDO
CERRO PRIETO III				
UNIDAD 1	1985	2 ETAPAS	110.0	CONST.
UNIDAD 2	1985	2 ETAPAS	110.0	CONST.
CERRO PRIETO IV				
UNIDAD 1-2	1992	2 ETAPAS	4X55	PLANEAC.
LOS AZUFRES				
W.H. UNIDAD 1-2	1982	VAPOR SECO	2X5.0	OPERANDO
W.H. UNIDAD 3-5	1982	1 ETAPA	3X5.0	OPERANDO
UNIDAD 1	1986	2 ETAPAS	50.0	CONST.
W.H. UNIDAD 6-12	1987	1 ETAPA	7X5.0	PLANEAC.
UNIDAD 2	1988	2 ETAPAS	55.0	PLANEAC.
UNIDAD 3	1989	2 ETAPAS	55.0	PLANEAC.
UNIDAD 4	1990	2 ETAPAS	55.0	PLANEAC.
W.H. UNIDAD	1993	1 ETAPA	10X5.0	PLANEAC.
LOS HUMEROS				
W.H. UNIDAD 3	1987	1 ETAPA	3X5.0	CONST.
UNIDAD 1	1990	2 ETAPAS	55.0	PLANEAC.
UNIDAD 2	1991	2 ETAPAS	55.0	PLANEAC.
TOTAL	400.0	OPERANDO		
	710.0	EN OPERACION O PLANEACION		
	1290.0	EN OPERACION, PLANEACION O CONST.		

APENDICE B

ANALISIS DE FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UNA PARTICULA DENTRO DE UN SEPARADOR

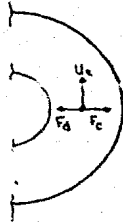
Es necesario tener una ecuación que proporcione la componente radial de la trayectoria de una partícula dentro del separador para poder entender su funcionamiento. Se puede establecer una ecuación diferencial tomando en cuenta las siguientes consideraciones, (Ref.22):

- I La partícula es de forma esférica.
- II El movimiento de la partícula no es alterado por la presencia de las demás partículas.
- III La fuerza de arrastre sobre las partículas se rige por la ley de Stoke.
- IV La velocidad radial del aire es cero.
- V La velocidad tangencial de las partículas es la misma que la del aire, es decir, no existe deslizamiento entre el aire y las partículas.
- VI La velocidad tangencial es una forma del Vórtice libre y se rige por la siguiente ecuación:

$$U_t \times R^n = \text{cte} \dots\dots\dots(B.1)$$

Diagrama de cuerpo libre.

En el siguiente diagrama, se muestran las distintas fuerzas que actúan sobre una partícula en el interior del separador:



Donde:

F_c Fuerza centrífuga.

F_d Fuerza de arrastre entre el movimiento radial de la partícula y el gas.

U_r Velocidad radial de la partícula.

U_t Velocidad tangencial de la partícula.

Haciendo un balance de fuerzas:

$$F_c + F_d = m_p \times \frac{d(U_r)}{dt} \dots\dots\dots(B.2)$$

Donde:

$$\frac{d(U_r)}{dt} \quad \text{Aceleración radial}$$

m_p masa de la partícula

Considerando uniforme la densidad de la partícula

ρ_p

$$m_p = \frac{d_p^3 \times \pi \times \rho_p}{6} \dots\dots\dots(B.3)$$

d_p Diámetro de partícula, (diámetro de gota)

$$F_c = m_p \times a_c$$

$$a_c = \omega^2 \times R$$

Donde:

$$w = \frac{U_t}{R}$$

$$F_c = m \times U_t^2 \dots\dots\dots(B.4)$$

Según la ley de Stoke, el arrastre sobre esferas es:

$$F_d = 3 \times \pi \times d_p \times \mu_v \times U_r \dots\dots(B.5)$$

μ_v Viscosidad del gas

sustituyendo las ec. 2,3 y 4 en la ec. 1 se obtiene:

$$\left[\frac{d_p^3 \times \pi \times \rho_p}{6} \right] \times \frac{U_t^2}{R} - 3 \times \pi \times d_p \times \mu_v \times U_r = \left[\frac{d_p^3 \times \pi \times \rho_p}{6} \right] \frac{d(U_r)}{dt} \dots\dots(B.6)$$

Por la consideración VI se tiene:

$$U_t \times R^n = U_{t2} \times R_2^n \quad \therefore \quad U_t = U_{t2} \left[\frac{R_2}{R} \right]^n$$

n índice de Vórtice, y según Ref. 22:

$$n = 0.6689 \times D^{0.14}$$

Si dividimos la ec. 5 entre la masa de las partículas
(mp):

$$\frac{U_t^2}{R} - \frac{18 \times \mu_v \times U_r}{d_p^2 \times \rho_p} = \frac{d(U_r)}{dt} \dots\dots\dots(B.7)$$

Sustituyendo U_t

$$\frac{U_t^2}{R} \left[\frac{R_2}{R} \right]^{2n} - \frac{18 \times \mu_v \times U_r}{d_p^2 \times \rho_p} = \frac{d(U_r)}{dt} \dots\dots\dots(B.8)$$

Donde:

$$U_r = \frac{d(R)}{dt}$$

$$\frac{U_t^2}{R} \left[\frac{R_2}{R} \right]^{2n} - \frac{18 \times \mu_v}{d_p^2 \times \rho_p} \times \left[\frac{dR}{dt} \right] = \frac{d^2 R}{dt^2} \dots\dots\dots(B.9)$$

Si se hace $\frac{d^2 R}{dt^2} = 0$

$$\frac{dR}{dt} = \left[\frac{U_{t2}^2 \times R^{2n}}{R^{2n+1}} \right] \left[\frac{dp^2 \times \rho p}{18 \mu_v} \right] \dots \dots \dots (B.10)$$

Invirtiendo integrando la ecuacion 6:

$$\int_{t=0}^{t=t} dt = \left[\frac{1}{U_{t2}^2 \times R^{2n}} \right] \left[\frac{18 \times \mu_v}{dp^2 \times \rho p} \right] \int_{R=R1}^{R=R2} R^{2n+1} dt \dots \dots \dots (B.11)$$

De donde:

$$t = \left[\frac{1}{U_{t2}^2 R_2^{2n}} \right] \left[\frac{18 \times \mu_v}{dp^2 \times \rho p} \right] \left[\frac{1}{(2n+1)} (R)^{2n+2} \right]_{R_1}^{R_2} \dots \dots \dots (B.12)$$

Evaluando y reduciendo términos se obtiene:

$$t = \left[\frac{9 \times \mu_v}{\rho p \times (n+1)} \right] \left[\frac{R_2}{U_{t2} \times dp} \right]^2 \left[1 - \left[\frac{R_1}{R_2} \right]^{2n+2} \right] \dots \dots \dots (B.13)$$

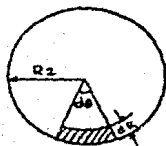
Donde t es el tiempo necesario para eliminar a las particula

APENDICE C

EFICIENCIA MECANICA DE LOS SEPARADORES

Colección y distribución de partículas. Actualmente no existen datos que permitan determinar la distribución de las partículas dentro de un separador.

Haciendo un análisis en un corte transversal de un separador se puede determinar el número de partículas que se pueden remover:



Corte transversal de un separador

Considerando que $d\theta$ tiende a cero:

$$dx = R_2 \times d\theta$$

Si dn' es el número de partículas que se pueden separar:

$$dn' = \frac{dx \times R_2}{2} \times C \times dl - \frac{dx \times dR}{2} \times (R_2 - dR) \times C \times dl \dots\dots\dots (C.1)$$

$$dn' = \frac{d\theta \times C \times dl}{2} \times (2 \times R_2 \times dR - dR^2) \dots\dots\dots (C.2)$$

Donde C es la concentración de partículas.

El número total de partículas en esta sección esta dado por:

$$n'_0 = \frac{d\theta}{2} \times R_2^2 \times C \times dl \dots\dots\dots (C.3)$$

La fracción de partículas removidas es:

$$\dots\dots\dots (C.4) \quad \frac{2 \times R_2 \times dR - dR^2}{R_2^2} \longrightarrow \frac{2 \times dR}{R_2} \dots\dots\dots (C.4)$$

Integrando

$$\ln \left[\frac{n}{n_0} \right] = - \frac{2R}{R_2}$$

$$\frac{n}{n_0} = \exp \left[- \frac{2R}{R_2} \right] \dots\dots\dots (C.5)$$

De la ecuación 6 del apéndice b:

$$\frac{dR}{dt} = \left[\frac{U_{t2}^2 \times R^{2n+1}}{R^{2n+1}} \right] \left[\frac{dp^2 \times \rho_p}{18 \times \mu_v} \right] \dots\dots\dots (C.6)$$

$$R^{2n+1} \times dR = \frac{U_{t2}^2 \times R^{2n} \times dp^2 \times \rho_p}{18 \times \mu_v} \times dt \dots\dots\dots (C.7)$$

Integrando

$$\int_0^R R^{2n+1} \times dR = \frac{U_{t2}^2 \times R^{2n} \times dp^2 \times \rho_p}{18 \times \mu_v} \int_0^{\text{tieres}} dt \dots\dots\dots (C.8)$$

$$\frac{R^{2n+2}}{2n+2} = \frac{U_{t2}^2 \times dp^2 \times \rho_p}{18 \times \mu_v} \times R^{2n} \times \text{tieres} \dots\dots\dots (C.9)$$

$$\frac{R}{R^2} = \left(\frac{U_{t2}^2 \times dp^2 \times \rho_p}{9 \times \mu_v} \times (n+1) \times \frac{\text{tieres}}{R^2} \right)^{\frac{1}{2n+2}} \dots\dots\dots (C.10)$$

$$\eta = 1 - \exp \left\{ -2 \frac{U_v^2 \times d_p^2 \times \rho_p}{9 \times \mu \times v} \times (n+1) \times \frac{\text{tieres}}{R^2} \right\}^{\frac{1}{2n+2}} \dots\dots\dots (C.11)$$

si $\text{tieres} = \frac{Kc \times D^3}{0}$ y $U = \frac{0}{a \times b}$

$C = \frac{B \times Kc}{Ka \times Kb}$ $Ka = \frac{A}{D}$ $Kb = \frac{B}{D}$

$$\psi = \frac{\rho_p \times d_p^2 \times U}{18 \times \mu_v \times D} \times (n+1)$$

Por lo que la eficiencia se puede escribir como:

$$\eta = 1 - \exp \left\{ -2 \times \psi \times C \right\}^{\frac{1}{2n+2}} \dots\dots\dots (C.12)$$

BIBLIOGRAFIA

1.- Anger, T.W., Performance of two phases Nozzles for total-flow Geothermal impulse turbines. California: University of California, 1975.

2.- Austin, A.L. y A.W. Lundberg. Electric power generation from geothermal hot water deposits. Livermore, California. Lawrence Livermore Laboratory, 1975.

3.- Averbakh, J.A., V.A. Bonesko, A.A. Itskouskis, Yu.P. Kosinov. Caracteristicas especiales del equipo utilizado en una estación geotérmica. Thermal Engineering, 27, 1985.

4.- Averbuch, Leon, Sherman May and Randall-Soo-Hoo. Geothermal steam separator evaluation. Bechtel group Inc., RP 1672-1. San Francisco, California.

5.- Bangma, P. The development and performance of a steam-water separator for use on geothermal bores. Mechanical Engineering, Ministry of Works. Wairakei, New Zeland, 1959.

6.- Baker, Ovid. Simultaneous flow of oil and gas. The oil and gas Jornal, 1954.

7.- Cyclone calculations and some design parameters affecting cyclone efficiency. International chemical engineering, april 1967.

8.- Ekman, Frank and Hit Johnstone. Colection of spray on Venturi Scrubbers. ind. Eng. Chemical, Vol.43 N.6, Junio 1951.

9.- Fitch, E.B. and E.C. Johnstone. Controlling separation in liquid-solid cyclones. Chemical Engineering, June 1952.

10.- Geothermal Resources Council Bolletín. Vol.14, N.9, octubre 1985.

11.- Green, H.L. and W.R. Lane. Influence of physical factor on drop size. Univ. Press. Belfast, 1964.

12.- Gutiérrez, Ranulfo y Eduardo Buendía. Criterios generales de diseño de los deshumificadores. IIE, División de estudios de Ing., Depto. Mecánico, 1985.

13.- Hiriart, Gerardo. Los Azufres México desarrollo geotérmico. Geothermal Resources Council Bolletín, Junio 1985.

14.- Hort, Ben and A.J. Hutchinson. Perfomace of steam scrubbers. San Diego Gas and Electrical Company, Abril 1977.

15.- Kawasaki, Heavy Industries LTD. Geothermal power plant thechnical data a study on ciclón separator. Prime Mover Division, Kobe Japon, Feb. 1978.

16.- Kalen, B. and F.A. Zens. Theoretical-empirical approach to saltation velocity in ciclón desing. Aiche symposium series, N.137, Vol.70.

17.- Kestin, Joseph, Ronald Dipippo, H. Ezzart Khalifa, D. John Ryley. Sourcebook on the production of electricity from geothermal energy. U.S. Dept of Energy, 1980.

18.- Koch, Wolfgang and William Licht. New desing approach boots cyclone efficiency. Chemical Engineering. November 1977.

19.- Lazalde Cabtree, Hugo. Diseño aproximado de separadores y secadores de vapor para aplicaciones geotermicas. IIE, División de Estudios de Ing., Depto. Mecánico. Geothermal Resources Council Bolletín, Vol.13 N.8 Sept. 1984

20.- Lazalde Cabtree, Hugo y Eduardo Buendía. Manual de diseño de equipo geotérmico de superficie. IIE, División de estudios de Ing., Depto Mecánico, Proyecto 3248-11-f-38. 1984.

21.- Lawrence, E.A. Pressure loss in centrifugal entrainment separators under vacuum. Colgate-Palmolive. Feet Company, Jersey City, New Jersey.

22.- Leith, David and William Licht. Air pollution and its control. Aiche Symposium Series, N.126, Vol.68.

23.- Ludwig, Ernest. Mechanical separation applied design for Chemical and Petrochemical plant, Vol.1.

24.- Lunde, K.E., and C.E. Lapleen. Dust and mist collection. Stanford Research Institute, Menlo Park, California. Chemical Engineering Progress August 1957, Vol.53 N.8.

25.- McDuffie, G. Norton. Vortex Free Dowflow in vertical Drains. The University of Calgar, Alberta Canada. Aiche Journal Vol.23 N.1 January 1977.

26.- Method of reducing Carry-over and reducing pressure drop through steam separator. Eprl Project 5122-1

27.- Perry, H. Robert, and Cecil H. Chiton. Manual del Ingeniero Quimico. Mc. Graw Hill.

28.- Pollark, Arthur and L.T. Work. The separation of liquid from vapor using Cyclons. New York, Abril 1941, ASME.

29.- Revista del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, (CONALEP). Año 5, N.29 Enero Febrero 1985.

30.- Shepherd, C.B. and C.E. Lapple. Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. E.I. Dupond De Nemours and Company, Inc. Wilmington.

31.- Smith, J.H. Producción y utilización del vapor geotérmico. N.Z. Engineering Octubre 1958.

32.- Treybal, E. Robert. Operación de transferencia de masa. Mc. Graw Hill, segunda edición, 1981.

33.- Van Dongen and A.J. Ten Linden. The application of gas/liquid cyclones in oil refining.

34.- Wallis, Graham. One dimensional two-phase flow. Associate Profesor of Engineering thayers school of Engieneering, Darmount College.

35.- Water pressure drop and nozzle dimensions. Babcock and Wilcox spray type attemperators, B.5.4.55.