

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



SELECCION DE UN SISTEMA DE SECADO CON
RECUPERACION DE SOLVENTE PARA EL 2,2,
METILEN BIS 3,4,6, TRICLOROFENOL.

TESIS PROFESIONAL

JOSE ALLENDE MALDONADO

Y

DAVID SAUCEDO FLORES

INGENIERO QUIMICO

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LAS TESIS 1978
DE M. 24 21
FECHA _____
PREC _____



Presidente: RUDI P. STIVALET CORRAL.

Vocal: ANTONIO FRIAS MENDOZA.

Jurado asignado originalmente
según el tema.

Secretario: ANTONIO VALIENTE BARDEBAS.

1er. Suplente: MARTHA HEREDIA DIVIZIA.

2do. Suplente: CARMEN DURAN DE VASUET.

Sitio donde se desarrollo el tema: ORGANO SINFESIS, S.A.

Sustentantes: JOSE ALLENDE MALDONADO.

DAVID SAUCEDO FLORES.

Asesor del tema: ANTONIO FRIAS MENDOZA.

Nuestro sincero reconocimiento a todas
aquellas personas que de alguna manera
intervinieron para lograr nuestra pre-
paración universitaria y la realiza- -
ción de ésta tesis.

Como un reconocimiento al impulso
desinteresado de nuestros respec-
tivos padres y familiares.

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.- CONSIDERACIONES GENERALES	2
CAPITULO 2.- CARACTERISTICAS DEL MATERIAL POR SECAR	5
2.1.- <u>Obtención</u>	5
2.2.- <u>Propiedades Físicas y Químicas</u>	5
2.3.- <u>Características de Secado del material</u>	6
2.4.- <u>Características del solvente por separar</u>	7
CAPITULO 3.- EXPERIMENTACION EN LABORATORIO	8
3.1.- <u>Mecanismo interno de circulación del líquido.</u>	9
3.2.- <u>Variables externas</u>	9
3.3.- <u>Los períodos de secado</u>	10
3.4.- <u>Equipo experimental</u>	12
3.5.- <u>Pruebas de secado y su estudio</u>	13
CAPITULO 4.- SELECCION PRELIMINAR	30
4.1.- <u>Equipos susceptibles de manejar el material</u>	30
4.2.- <u>Selección del tipo de secador adecuado</u>	30
4.2.1.- Secador de Paila	33
4.2.2.- Secador Rotatorio	35
CAPITULO 5.- SELECCION FINAL	41
CAPITULO 6.- DISEÑO DEL EQUIPO PILOTO	52
CAPITULO 7.- CORRIDO DE PRUEBAS	60
CAPITULO 8.- ESCALAMIENTO DEL SECADOR	65
CAPITULO 9.- SISTEMA DE RECUPERACION PROPUESTO	79
CAPITULO 10.- COSTOS	85
CAPITULO 11.- ANALISIS DE RESULTADOS	89
CAPITULO 12.- CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFIA	95
NOMENCLATURA	96

I N D I C E D E F I G U R A S

	Pag.
FIGURA 1 .- LOS PERIODOS DE SECADO	11
FIGURA 2.- EQUIPO EXPERIMENTAL	12
FIGURA 3 .- GRAFICA DE LA PRUEBA No. 1	15
FIGURA 4 .- GRAFICA DE LA PRUEBA No. 2	17
FIGURA 5 .- GRAFICA DE LA PRUEBA No. 3	20
FIGURA 6 .- GRAFICA DE LA PRUEBA No. 4	22
FIGURA 7.- CURVA DE SECADO	27
FIGURA 8 .- SECADOR DE PAILA	36
FIGURA 9.- SECADOR ROTATORIO	37
FIGURA 10.- SECADORES Y SUS DIMENSIONES	44
FIGURA 11.- UNIDAD DE PROCESO HORIZONTAL	48
FIGURA 12.- MEZCLADOR	50
FIGURA 13.- MODELO PRELIMINAR	51
FIGURA 14.- EQUIPO PILOTO	53
FIGURA 15.- LISTON MEZCLADOR	55
FIGURA 16.- SISTEMA EXPERIMENTAL PILOTO	59
FIGURA 17.- GRAFICA PARA EL ESCALAMIENTO	76
FIGURA 18.- PLANO DEL SECADOR	79
FIGURA 19.- SISTEMA DE SECADO COMPLETO	83
FIGURA 20.- CONDENSADORES	85
FIGURA 21.- NOMOGRAMA PRESION DE VAPOR VS TEMPERATURA	

INDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA I .- PRUEBA No. 1	14
TABLA II .-PRUEBA No. 2	16
TABLA III .-PRUEBA No. 3	19
TABLA IV .-PRUEBA No. 4	21
TABLA V .-RESOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES No. 7	24
TABLA VI .-RESOLUCION DE LA ECUACION No. 10	26
TABLA VII .-CLASIFICACION DE SECADORES	31
TABLA VIII.-CARACTERISITICAS DE LOS SECADORES	40
TABLA IX .-COMPARACION DE DIMENSIONES DE LAS UNIDADES HORIZONTAL Y VERTICAL DE PAILA	46
TABLA X .-CORRIDO DE PRUEBAS	64
TABLA XI .-COSTOS FIJOS	90
TABLA XII .-COSTOS DE OPERACION	90

INTRODUCCION

El objetivo principal del presente trabajo, será el de seleccionar y proponer un sistema de secado que permita secar el 2, 2' Metilén bis 3, 4, 6 Tricloro-fenol en un período razonable de tiempo y adicionalmente recuperar la máxima cantidad posible de solvente.

El secado actual se realiza, esparciendo el sólido húmedo en charolas soportadas sobre casilleros. Estos se colocan en una área lo más ventilada posible. El sólido húmedo es removido manualmente cada hora, efectuandose simultaneamente determinaciones de humedad, hasta su secado total.

Bajo las anteriores condiciones de secado se tienen tiempos comprendidos entre 40 y 50 hrs., pérdida total de solvente, excesiva mano de obra, pérdida de producto al ser removido éste etc.

Las condiciones de secado anteriormente expuestas dieron origen al presente trabajo, teniendo como objetivos principales los mencionados al principio de ésta introducción.

C A P I T U L O 1

CONSIDERACIONES GENERALES.

Los dos mecanismos principales involucrados en el secado son la — transferencia de calor y la transferencia de masa. El calor debe ser — suministrado al material húmedo para vaporizar el líquido y el vapor — resultante eliminado por algún medio, el cual puede ser una corriente de aire o vacío. Más aún, el calor debe ser transferido desde el gas de secado o superficie caliente al centro del material. La velocidad a la — cual ésta transferencia ocurre, varía inversamente con la distancia entre la fuente de calor y el material húmedo. También varía con el área — expuesta, el tipo de agitación y la turbulencia en el gas de calentamiento. Los principales factores que determinan la velocidad de secado son:

1.- Dispersión de la humedad.

Para un secado rápido se requiere la máxima exposición de la superficie húmeda. Por ejemplo un material en forma de torta tendrá características de secado desfavorables en — relación a partículas individuales suspendidas en corriente de aire.

2.- Diferencia de temperaturas.

La velocidad de secado es prácticamente proporcional a la diferencia entre la temperatura del medio de calentamiento y la temperatura del material que está siendo secado.

3.- Agitación.

Movimientos rápidos del material y del medio de calentamiento proporcionan un secado rápido.

4.- Tamaño de partícula.

El secado es efectuado por la evaporación de — la humedad desde la superficie de la partícula. Para eliminar la — humedad interna, es necesario que ésta alcance la superficie por —

difusión. Esta transferencia se efectuará más rápidamente en partículas pequeñas.

5.- Estructura de la partícula.

Puesto que la humedad debe alcanzar la superficie de la partícula para ser evaporada, los materiales cuyas partículas tienen capilares o intersticios secan rápidamente. Partículas sin vacíos y muy densas ocluyen la humedad siendo difíciles de secar.

Para simplificar la tarea de la selección de un secador adecuado, la experiencia previa del material que va a ser secado es muy importante. Hay muy pocos materiales que no han sido secados adecuadamente. Esta información puede ser obtenida buscando en la literatura o bien consultando con vendedores de equipo de secado.

Donde no existe un conocimiento previo, el procedimiento es efectuar una selección primaria y posteriormente la final. La selección preliminar de un secador requiere de dos pasos:

- a).- Enlistamiento de los secadores que pueden manejar el material que va a ser secado, descargando un producto adecuado para operaciones subsecuentes.
- b).- Estimación de los costos totales para cada secador enlistado (costos fijos más los costos de operación). Luego eliminar aquellos con altos costos totales.

La selección final de un secador de este procedimiento preliminar requerirá:

- A).- Pruebas en planta piloto. Para checar como manejan el material -- los secadores, tamaño de los mismos y la determinación de las condiciones de operación.
- B).- Efectuar la selección final sobre la base de los datos de opera--

ción proporcionados por las pruebas de la planta piloto y por las cotizaciones de los fabricantes.

Es recomendable eliminar tantos secadores como sea posible en la selección preliminar, con el objeto de ahorrar tiempo en la obtención de los datos específicos de operación que serán suministrados a los proveedores.

Para limitar el número de posibles selecciones, se deberá de decidir tan pronto como sea posible, que tipo de operación se usará, es decir intermitente o continua. En general un secador de tipo continuo y de cierta capacidad requerirá menos mano de obra, combustible y espacio y descargará el producto más uniformemente que el correspondiente secador intermitente.

En suma la mayoría de los procesos de manufactura química son continuos o serán continuos en lo futuro. Sin embargo el secador intermitente es bajo en costo inicial, barato en mantenimiento, fácil de operar y extremadamente versátil en sus posibles aplicaciones. Por lo tanto deberá ser seleccionado en ciertos casos. Por ejemplo será seleccionado cuando se utilice para varios materiales diferentes o para trabajo de laboratorio o bien cuando se requiera un control estricto durante el período de secado. La cantidad de material es una consideración muy importante para la selección entre un secador intermitente o continuo. Si solamente pequeñas cantidades van a ser secadas, los costos de mano de obra para una operación intermitente serán pequeños comparados con el costo de capital de una unidad continua que requiere auxiliares más caros.

Como una regla general, producciones menores de 4500 Kg/día, son manejados mejor en un secador intermitente y arriba de 45000 Kg/día, en un secador continuo.

La lista de secadores potenciales puede ser reducida aún más tomando en consideración las ventajas y desventajas de los varios métodos de transferencia de calor.

C A P I T U L O :- 2

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL POR SECAR.

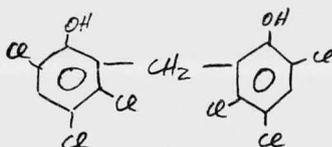
2.1.- OBTENCION.

El 2,2' Metilen Bis 3,4,6 Triclorofenol se obtiene del equipo de proceso (reactor) en forma de solución, la cual es bombeada a cristalizadores en donde se lleva a cabo la formación de los cristales - que posteriormente pasan al proceso de centrifugación, separándose las - aguas madres de los cristales (producto húmedo).

El producto húmedo sale de la centrifuga con una humedad de 16.6 % base húmeda aproximadamente. El paso siguiente es el proceso de secado, el - cual se realiza actualmente por medio de charolas soportadas sobre ana- queles y en un cuarto con una determinada ventilación, el producto es - esparcido en las charolas y removido periódicamente.

2.2.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

Formula:



Denominación:

2,2' Metilen Bis 3,4,6 Triclorofenol

Peso Molecular:

406.92

Punto de Fusión:

161 - 167 °C

Solubilidad:

Soluble en aceites vegetales y ácidos grasos con ayuda de calentamiento. Prácticamente insoluble en agua, aceites minera-

les, glicerina, petrolato y parafina.

Características Físicas del Material Húmedo:

Sólido granular
Aspecto amarillento
Cristales delgados
Densidad aparente = 0.467 g/cm^3

Características del Material Seco:

Polvo blanco y fino
Muy ligero
Densidad aparente = 0.525 g/cm^3

Corrosividad:

Ligera en acero al carbón
Nula en Estaño
Nula en acero inoxidable (todos los tipos)

Toxicidad:

No produce irritaciones ni sensibilizaciones cutáneas.

Inflamabilidad:

Nula

Tipo de Partícula:

Agujas

Abrasividad:

Ligera

2.3.- CARACTERÍSTICAS DE SECADO DEL MATERIAL.

Tipo de humedad:

Ligada

Contenido Inicial de Humedad:

16.6 % base húmeda (promedio)

Contenido Final de Humedad:

0.1 % base húmeda

Temperatura de Secado Admisible:

80 °C (máxima)

Tiempo Probable de Secado:

3 - 6 horas

2.4.- CARACTERISTICAS DEL SOLVENTE POR SEPARAR.

Es un líquido cristalino y resplandeciente, no inflamable, se encuentra entre los solventes clorados menos peligrosos. Ofrece muy poca probabilidad de efectos tóxicos a consecuencia de una exposición repetida.

Si se respiran concentraciones de vapores de solvente inusitadamente altas, los síntomas iniciales son una irritación a la nariz y garganta, intoxicación, dolor de cabeza y náusea; pero el malestar desaparece en poco tiempo con sólo salir a una zona bien ventilada.

Propiedades Físicas:

Densidad relativa a 25°C.	1.619
Kilogramos/litro a 25°C	1.617
Punto de ebullición a 760 mm	121°C
Punto de congelación	-22°C
Calor de vaporización	50.1 Kcal/Kg
Calor específico	0.21 cal/g.°C
Solubilidad en agua a 25°C	0.10 % peso
Nivel de percepción de olor	65-130 ppm
Velocidad de evaporación a 25°C y 1 atm.	12.7 Kg/M ² /24 hrs.
Densidad relativa (aire: 1.00)	5.8 (de los vapores)
Punto de inflamación (COG, TOC)	ninguno

C A P I T U L O 3

EXPERIMENTACION EN LABORATORIO.

Debido a la necesidad de conocer el comportamiento del material por secar, se decide hacer primero la experimentación a nivel laboratorio. Con esto se tratará de determinar que tipo de relación funcional existe entre la velocidad de secado con la humedad y de la humedad con el tiempo, también se tratará de determinar la humedad crítica y de visualizar los periodos de secado, lo cual nos dará una idea de la dificultad o facilidad del secado del material.

Cuando se seca un sólido, se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

1.- transmisión de calor para evaporar el líquido, y

2.- transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Los factores que rigen la intensidad de cada uno de estos procesos son los que determinan la rapidez del proceso de secado.

En las operaciones industriales de secado se utilizan la transmisión de calor por convección, conducción, radiación o una combinación de cualquiera de estos mecanismos. Los secadores industriales se distinguen fundamentalmente por los métodos que emplean para transmitir el calor, éste tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde ella al interior del sólido. La única excepción es el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor internamente y por consiguiente produce una temperatura más elevada dentro del sólido que en su superficie; esto conduce a la circulación del calor desde el interior hasta la superficie exterior.

La masa se transfiere en el secado como:

1.- Líquido o vapor o como ambos, dentro del sólido, y

2.- Como vapor desde las superficies húmedas.

El gradiente de concentración del líquido depende del mecanismo de circulación del líquido dentro del sólido.

El estudio de como se seca un sólido puede basarse en el mecanismo in--

terno de la circulación del líquido o en el efecto de las condiciones -- externas de temperatura, humedad, ventilación, estado de subdivisión, - etc.; sobre la velocidad de secado del sólido. El primer procedimiento - representa un estudio fundamental de las condiciones internas. El segundo procedimiento aunque menos fundamental, se emplea generalmente porque sus resultados son de aplicación más inmediata.

3.1.-MECANISMO INTERNO DE LA CIRCULACION DEL LIQUIDO.- La circulación interna del líquido se produce por diversos mecanismos, según la estructura - del sólido. Algunos de los mecanismos posibles son los siguientes:

- 1.- Difusión en sólidos homogéneos continuos.
- 2.- Circulación capilar en sólidos granulares y porosos.
- 3.- Circulación producida por los gradientes de contracción y presión.
- 4.- Circulación causada por la gravedad.
- 5.- Circulación originada por una sucesión de vaporizaciones y condensaciones.

En general, uno de dichos mecanismos predomina en un momento dado en el sólido durante su secado y no es raro encontrar diferentes mecanismos -- predominando en distintos momentos durante el ciclo de secado. El mecanismo particular que se produce durante el secado de un sólido dado se - determina estudiando los gradientes de humedad interna. La determinación de estos gradientes es un problema experimental difícil. El conocimiento del mecanismo interno de la circulación de un líquido durante el secado tiene un valor especial para analizar el funcionamiento de los secadores desde el punto de vista de mejorar los resultados y aumentar la capacidad. Es también importante para el desarrollo de nuevas técnicas de seca do.

3.2.-VARIABLES EXTERNAS.- El estudio del secado basado en los efectos de las variables externas es el método comúnmente empleado para investigar las características de secado de los sólidos. Esto se debe a que los resulta dos así obtenidos suelen ser directamente aplicables al proyecto y funcionamiento de los secadores. Las principales variables externas en cual quier estudio de secado son la humedad, la temperatura, la ventilación,

el estado de subdivisión del sólido, la agitación del mismo, el método para soportarlo y el contacto entre superficies calientes y el sólido húmedo. No todas estas variables se presentan necesariamente en un mismo problema.

3.3.-LOS PERIODOS DE SECADO.- Cuando se seca experimentalmente un sólido, suelen obtenerse datos que relacionan el contenido de humedad al tiempo. Estos datos se transportan después para la curva de contenido de humedad - (base seca) X , en función del tiempo θ , como se ve en la figura 1a. Esta curva representa el caso general de un sólido húmedo que pierde humedad primero por evaporación en alguna de sus superficies con humedad libre, a lo que sigue un período de evaporación desde una superficie con líquido libre de área gradualmente decreciente, y en que finalmente se evapora el agua del interior del sólido. Aunque la figura 1a indica que la intensidad del secado varía con el tiempo o el contenido de la humedad, esta variación se ilustra mejor diferenciando la curva y transportando gráficamente $dX/d\theta$ en función de X como se indica en la figura 1b ó $dX/d\theta$ en función de θ , como se ve en la figura 1c. Esas curvas de intensidad muestran que el secado no es un proceso continuo y uniforme en el cual domine un sólo mecanismo durante todo él. La curva de intensidad de la figura 1c tiene la ventaja de mostrar el tiempo durante el cual predomina cada período del secado. La sección BC de cada curva representa el período de intensidad constante. En la figura 1a es una recta de pendiente $dX/d\theta$, que se convierte en horizontal en las curvas de intensidad de las figuras 1b y 1c.

La porción curva CD de la figura 1a se llama el período de intensidad decreciente y como indican las figuras 1b y 1c se caracteriza por una intensidad que varía en forma continua durante el resto del ciclo de secado. El punto C en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad del secado, se llama contenido crítico de humedad. La porción designada por AB representa un período de calentamiento y puede no ser un factor importante.

LOS PERIODOS DE SECADO

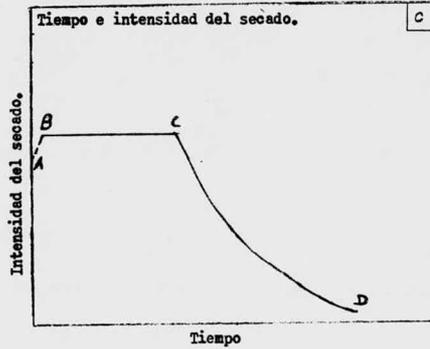
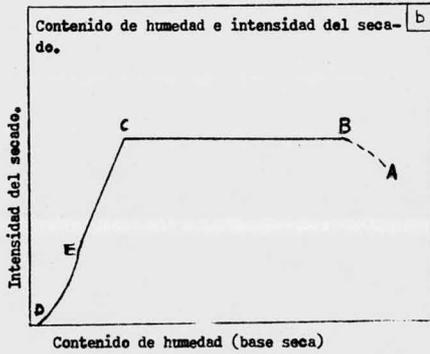
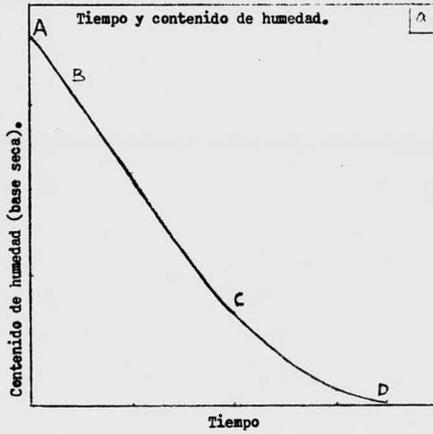


FIGURA No. 1

3.4.- EQUIPO EXPERIMENTAL.

El equipo con el cual fueron llevada a cabo - estas pruebas, aunque muy rudimentario es de utilidad, teniendo cuidado de no alterar en forma brusca las condiciones del medio circundante para poder tener una reproducibilidad de datos que nos proporcionen gráficas y resultados confiables.

El equipo con el que se realizaron dichas pruebas se ilustra en la figura 2, y fué el siguiente:

- 1.- Báscula
- 2.- Charola de aluminio de 0.225m por lado
- 3.- Lámpara con foco de 375 watts
- 4.- Termómetro
- 5.- Soportes y pinzas

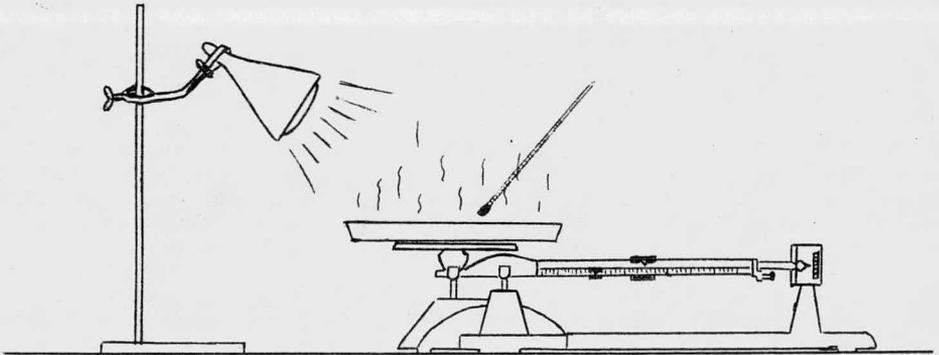


FIGURA No. 2

3.5.- PRUEBAS DE SECADO Y SU ESTUDIO.

A reserva de comentar por separado cada una de las pruebas, se dirá que en cada una de ellas con excepción del peso seco y la humedad inicial, las demás variables como son la temperatura del medio ambiente (distancia de la fuente calorífica), el área de secado, y el tamaño de partícula se mantuvieron constantes para cada prueba.

Las muestras se tomaron después de centrifugar y es importante mencionar que dependiendo del tiempo de centrifugación dichas muestras tendrán un mayor o menor contenido de humedad, es por esto que la humedad varía des de valores de 9.0 a 18.0 % (base húmeda), la variación en el peso seco - también sera consecuencia de la variación de la humedad.

a) Prueba N^o 1

La prueba número 1 se efectuó con una humedad inicial de 9.76 % (base seca). Los valores obtenidos se pueden observar en la tabla número I, y las curvas de secado en la figura 3.

De la gráfica de dispersión (figura 3b), N vs \bar{X} (velocidad vs humedad media), se puede apreciar que los valores de N caen dentro del período de velocidad decreciente, por lo que no es posible conocer la humedad crítica, ni la relación funcional N de X . Sin embargo la curva de dispersión se ajusta por medio de una recta de aproximación (recta de mínimos cuadrados), cuya justificación teórica se dará en la prueba número 4.

$$N = -8.57 \times 10^{-2} + 7.31 \bar{X} \quad (1)$$

b) Prueba N^o 2

Esta prueba se efectuó con un contenido inicial de humedad en la muestra de 10.17 % (base seca). Los valores obtenidos se pueden observar en la tabla número II y las curvas en la figura 4. Como se puede ver en la figura 4b, no se ajusta la curva de dispersión, por lo que tampoco se puede determinar la humedad crítica, ni la relación funcional N de X .

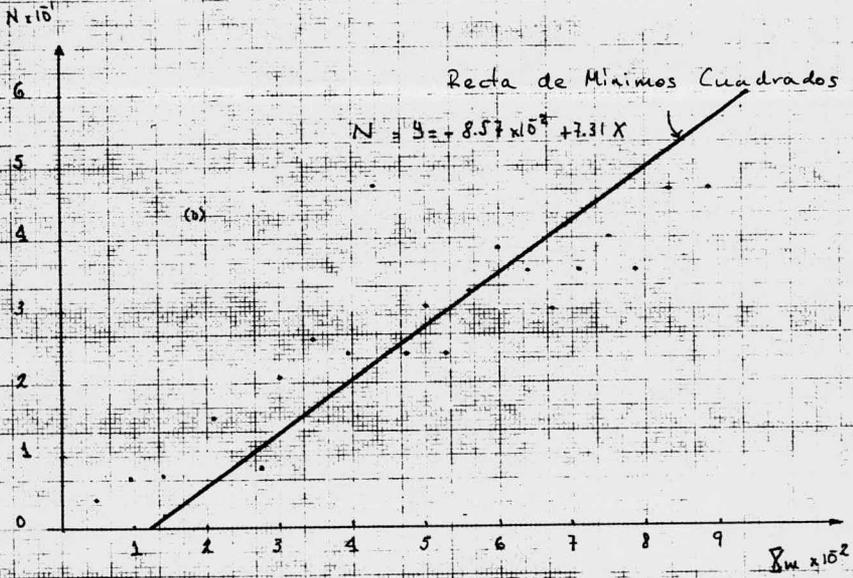
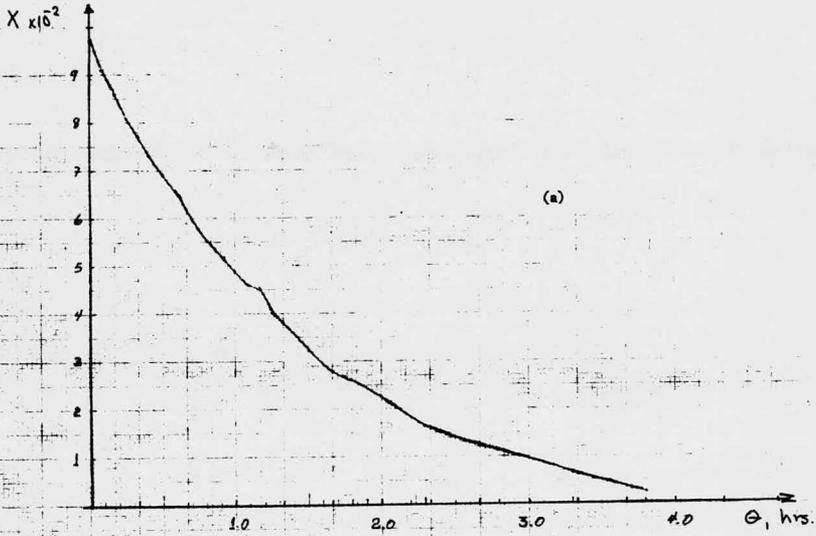
T A B L A I

P R U E B A No. 1.

TIEMPO		PESO TOTAL	HUMEDAD TOTAL	X	Xmed.	N
Min.	Hr.	Kg.	Kg.	Kg./Kg.	_____	Kg/hr.m ²
0	0	0.4327	0.0385	0.0976		0.591
5	0.083	0.4302	0.0360	0.0913	0.0944	0.478
10	0.166	0.4282	0.0340	0.0862	0.0887	0.478
15	0.250	0.4262	0.8320	0.0811	0.0836	0.356
20	0.333	0.4247	0.0305	0.0773	0.0792	0.403
25	0.416	0.4230	0.0288	0.0730	0.0751	0.356
30	0.500	0.4215	0.0273	0.0692	0.0711	0.309
35	0.583	0.4202	0.0260	0.0659	0.0675	0.356
40	0.666	0.4188	0.0245	0.0621	0.0640	0.384
45	0.750	0.4171	0.0229	0.0580	0.0600	0.328
50	0.833	0.4157	0.0215	0.0545	0.0562	0.234
55	0.916	0.4147	0.0205	0.0520	0.0532	0.309
60	1.000	0.4134	0.0192	0.0487	0.0503	0.243
65	1.083	0.4124	0.0182	0.0461	0.0474	0.046
70	1.166	0.4122	0.0180	0.0456	0.0458	0.478
75	1.250	0.4102	0.0160	0.0405	0.0430	0.234
80	1.333	0.4092	0.0150	0.0380	0.0392	0.262
90	1.500	0.4070	0.0128	0.0324	0.0352	0.211
100	1.666	0.4052	0.0110	0.0279	0.0301	0.087
107	1.783	0.4047	0.0105	0.0266	0.0272	0.158
137	2.283	0.4007	0.0065	0.0164	0.0215	0.077
167	2.783	0.3987	0.0045	0.0114	0.0139	0.071
197	3.283	0.3969	0.0027	0.0068	0.0091	0.063
227	3.783	0.3953	0.0011	0.0027	0.0047	_____
		0.3942	0.0000	0.0000	0.0013	

PESO DEL SOLIDO SECO = 0.3942 Kg.

HUMEDAD INICIAL = 9.76 % (Base seca).



T A B L A II

P R U E B A No. 2.

TIEMPO		PESO	HUMEDAD	X	Xmed.	N
Min.	Hr.	TOTAL	TOTAL			
		Kg.	Kg.	Kg./Kg.		Kg/Hr.m ²
0	0	0.5640	0.0521	0.1017	0.0987	0.7380
5	0.083	0.5609	0.0490	0.0957	0.0939	0.4285
10	0.166	0.5591	0.0472	0.0922	0.0888	0.8095
15	0.250	0.5557	0.0438	0.0855	0.0827	0.6666
20	0.333	0.5829	0.0410	0.0800	0.0771	0.7143
25	0.416	0.5499	0.0380	0.0742	0.0715	0.6428
30	0.500	0.5472	0.0353	0.0689	0.0661	0.6666
35	0.583	0.5444	0.0325	0.0634	0.0619	0.3571
40	0.666	0.5429	0.0310	0.0605	0.0585	0.4762
45	0.750	0.5409	0.0290	0.0566	0.0546	0.4762
50	0.833	0.5389	0.0270	0.0527	0.0511	0.3809
55	0.916	0.5373	0.0254	0.0496	0.0482	0.3333
60	1.000	0.5359	0.0240	0.0468	0.0453	0.3571
65	1.083	0.5344	0.0225	0.0439	0.0424	0.3571
70	1.166	0.5329	0.0210	0.0410	0.0395	0.3571
75	1.250	0.5314	0.0195	0.0380	0.0365	0.3571
80	1.333	0.5299	0.0180	0.0351	0.0341	0.2381
85	1.416	0.5289	0.0170	0.0332	0.0319	0.3095
90	1.500	0.5276	0.0157	0.0306	0.0294	0.2857
95	1.583	0.5264	0.0145	0.0283	0.0274	0.2142
100	1.666	0.5255	0.0136	0.0265	0.0254	0.2619
105	1.750	0.5244	0.0125	0.0244	0.0233	0.2619
110	1.833	0.5233	0.0114	0.0222	0.0209	0.3095
115	1.916	0.5220	0.0101	0.0197	0.0188	0.2142
120	2.000	0.5211	0.0092	0.0179	0.0159	0.2381
130	2.166	0.5191	0.0072	0.0140	0.0125	0.1785
140	2.333	0.5176	0.0057	0.0111	0.0096	0.1785
150	2.500	0.5161	0.0042	0.0082	0.0072	0.1190
160	2.666	0.5151	0.0032	0.0062	0.0055	0.0833
170	2.833	0.5144	0.0025	0.0048	0.0042	0.0714
180	3.000	0.5138	0.0019	0.0037	0.0031	0.0444
195	3.250	0.5132	0.0013	0.0025	0.0024	0.0238
200	3.333	0.5131	0.0012	0.0023	0.0021	0.0238
210	3.500	0.5129	0.0010	0.0019	0.0009	
		0.5119	0.0000	0.0000		

PESO DEL SOLIDO SECO = 0.5119

HUMEDAD INICIAL = 10.17 % (Base seca).

PRUEBA NO.2

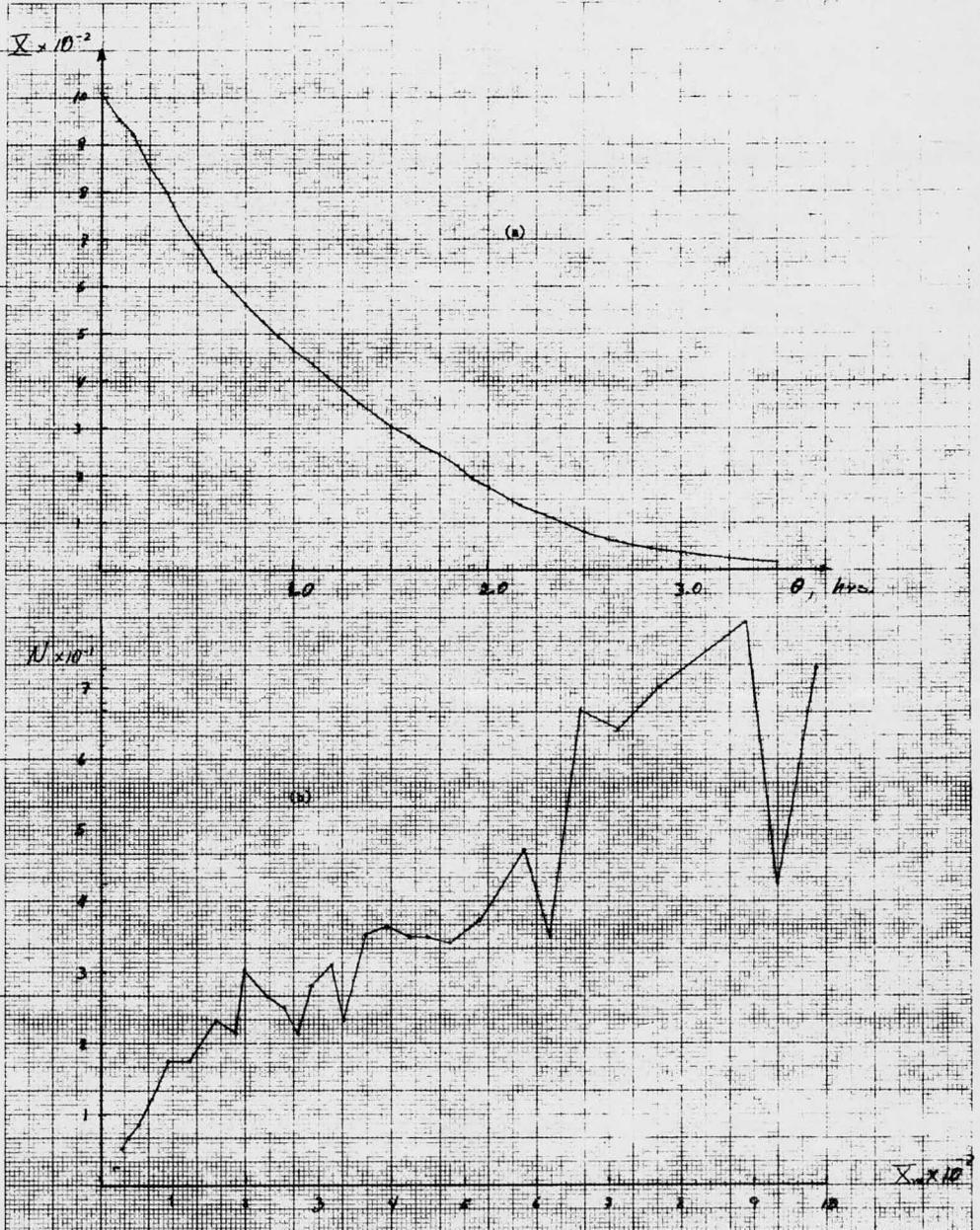


FIGURA No. 4

c) Prueba n.º 3.

Puesto que el modelo obtenido en la prueba número 1 es muy pobre, no es posible conocer ninguna relación funcional, ésta prueba se efectúa modificando la humedad inicial real hasta un valor de 44.86 % (base seca). Los valores obtenidos se pueden observar en la tabla número III y las curvas de secado en la figura 5.

En la figura 5b si bien se aprecian dos zonas, sólo una de ellas es evidente, la del probable período de velocidad decreciente. La otra zona supuestamente debe de pertenecer al período de velocidad constante, sin embargo son muy pocos puntos por lo que es necesario modificar aún más la humedad inicial con el objeto de poder apreciar mejor al período de velocidad constante. No se calcula la relación funcional.

d) Prueba N.º 4.

Esta prueba se efectúa con un contenido inicial de humedad en la muestra de 118.2 % (base seca). Los valores obtenidos se pueden observar en la tabla IV y las curvas de secado en la figura 6.

De la gráfica de dispersión (figura 6b), se observa que hay una gran densidad de puntos por lo que se obtendrá la relación funcional (modelo) $N(x)$ aplicando la teoría de los mínimos cuadrados.

Sea:

$$N = y = a + b x + c x^2 + \varepsilon \quad (2)$$

el modelo propuesto, donde:

- y = velocidad de secado
- x = humedad media (base seca)
- ε = término de error

Sea:

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b} x + \hat{c} x^2 \quad (3)$$

donde:

- \hat{y} = estimador de y
- \hat{a} , \hat{b} , \hat{c} = estimadores de los parámetros por obtener del modelo

En consecuencia:

$$\varepsilon = y - \hat{y} \quad (4)$$

T A B L A III

P R U E B A No. 3

TIEMPO		PESO TOTAL	HUMEDAD TOTAL	X	Xmed.	N
Min.	Hr.	Kg.	Kg.	Kg/Kg		Kg/h.m ²
0	0	0.6664	0.2064	0.4486	0.4424	0.6786
10	0.168	0.6607	0.2007	0.4363	0.4232	1 .4286
20	0.333	0.6487	0.1887	0.4102	0.3994	1.1786
30	0.500	0.6388	0.1788	0.3886	0.3750	1.4881
40	0.666	0.6263	0.1663	0.3615	0.3516	1.0833
50	0.833	0.6172	0.1572	0.3417	0.3303	1.2500
60	1.000	0.6067	0.1467	0.3189	0.3091	1.0714
70	1.166	0.5977	0.1377	0.2993	0.2906	0.9524
80	1.333	0.5897	0.1297	0.2819	0.2705	1.2500
90	1.500	0.5792	0.1192	0.2591	0.2498	1.0119
100	1.666	0.5707	0.1107	0.2406	0.2319	0.9524
110	1.833	0.5627	0.1027	0.2232	0.2156	0.8333
120	2.000	0.5557	0.0957	0.2080	0.2009	0.7738
130	2.166	0.5492	0.0892	0.1939	0.1868	0.7738
140	2.333	0.5427	0.0827	0.1797	0.1672	0.6825
160	2.666	0.5312	0.0712	0.1547	0.1495	0.5714
170	2.833	0.5264	0.0664	0.1443	0.1388	0.5952
180	3.000	0.5214	0.0614	0.1334	0.1288	0.5000
190	3.166	0.5172	0.0572	0.1243	0.1194	0.5357
200	3.333	0.5127	0.0527	0.1145	0.1101	0.4762
210	3.500	0.5087	0.0487	0.1058	0.1020	0.4166
220	3.666	0.5052	0.0452	0.0982	0.0938	0.4762
230	3.833	0.5012	0.0412	0.0895	0.0859	0.3928
240	4.000	0.4979	0.0379	0.0823		

AREA CHAROLA= 0.0506 m²

PESO DEL SOLIDO SECO = 0.4600 Kg.

HUMEDAD INICIAL = 44.86 % (Base Seca).

PRUEBA No. 3

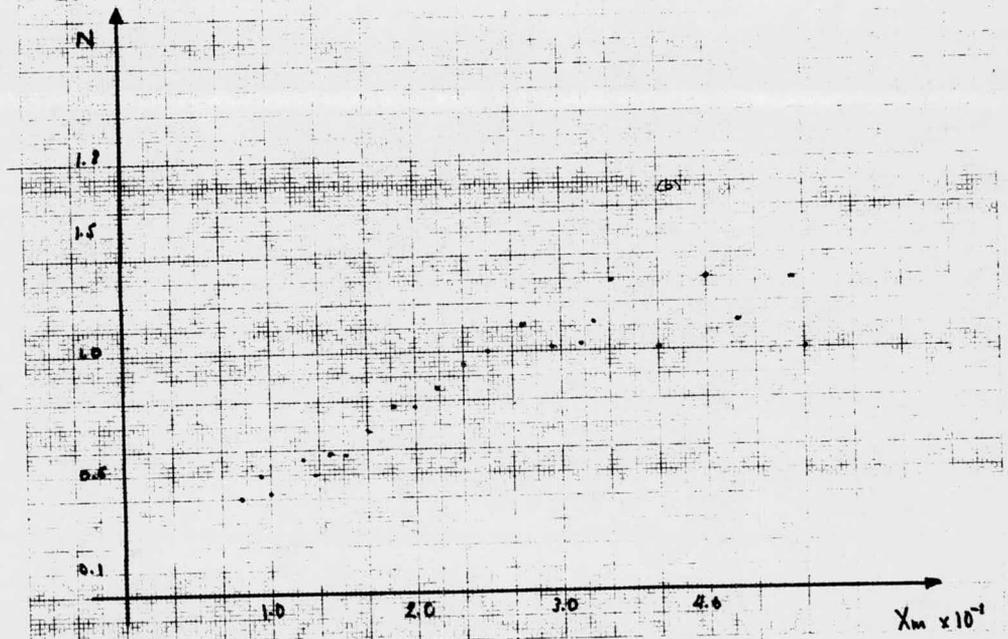
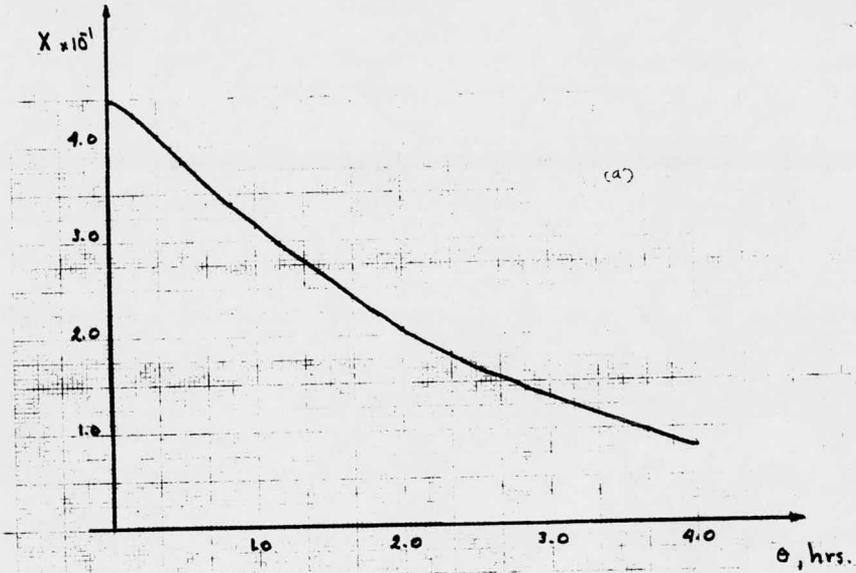


figura No. 5

TIEMPO		PESO	HUMEDAD	X	Xmed.	N
Min.	hr.	TOTAL	TOTAL			
		Kg.	Kg.	Kg/Kg		Kg/hr.m ²
0	0	0.7397	0.4007	1.1820		
10	0.166	0.7330	0.3940	1.1622	1.1721	0.7976
15	0.250	0.7303	0.3913	1.1542	1.1582	0.6428
20	0.333	0.7262	0.3872	1.1421	1.1481	0.9762
25	0.416	0.7232	0.3842	1.1333	1.1363	0.7143
30	0.500	0.7197	0.3807	1.1230	1.1281	0.8333
35	0.583	0.7142	0.3757	1.1082	1.1156	1.1905
40	0.666	0.7102	0.3712	1.0949	1.1015	1.0714
45	0.750	0.7062	0.3672	1.0831	1.0890	0.9524
50	0.833	0.7022	0.3632	1.0713	1.0772	0.9524
55	0.916	0.6982	0.3592	1.0595	1.0654	0.9534
60	1.000	0.6932	0.3542	1.0448	1.0521	1.1905
65	1.083	0.6892	0.3502	1.0330	1.0389	0.9524
70	1.166	0.6847	0.3457	1.0197	1.0263	1.0714
80	1.333	0.6747	0.3357	0.9902	1.0049	1.1905
90	1.500	0.6657	0.3267	0.9637	0.9769	1.0714
105	1.750	0.6502	0.3112	0.9179	0.9408	1.2252
110	1.833	0.6447	0.3057	0.9019	0.9098	1.3095
120	2.000	0.6342	0.2952	0.8707	0.8863	1.2500
135	2.250	0.6187	0.2797	0.8250	0.8478	1.2252
140	2.333	0.6123	0.2733	0.8061	0.8155	1.5238
150	2.500	0.6027	0.2637	0.7778	0.7919	1.1429
160	2.666	0.5932	0.2542	0.7498	0.7638	1.1310
170	2.833	0.5837	0.2447	0.7218	0.7358	1.1310
180	3.000	0.5722	0.2332	0.6879	0.7048	1.3691
195	3.250	0.5576	0.2186	0.6448	0.6663	1.1541
210	3.500	0.5422	0.2032	0.5994	0.6221	1.2173
230	3.833	0.5192	0.1802	0.5315	0.5654	1.365
245	4.083	0.5037	0.1647	0.4858	0.5086	1.2252
265	4.416	0.4847	0.1557	0.4297	0.4577	1.1265
275	4.583	0.4737	0.1347	0.3973	0.4135	1.3095
290	4.833	0.4582	0.1192	0.3516	0.3744	1.2252
320	5.333	0.4287	0.0897	0.2646	0.3081	1.1660
335	5.583	0.4152	0.0762	0.2247	0.2446	1.0671
350	5.833	0.3997	0.0607	0.1790	0.2018	1.2252
365	6.083	0.3922	0.0532	0.1569	0.1679	0.5928
380	6.333	0.3847	0.0457	0.1348	0.1458	0.5928
395	6.583	0.3772	0.0382	0.1126	0.1237	0.5928
410	6.833	0.3712	0.0322	0.0949	0.1037	0.4743
425	7.083	0.3652	0.0262	0.0772	0.0860	0.4743
440	7.333	0.3602	0.0212	0.0625	0.0698	0.3952
455	7.583	0.3559	0.0169	0.0498	0.0561	0.3399
470	7.833	0.3527	0.0137	0.0404	0.0451	0.2529
480	8.000	0.3507	0.0117	0.0345	0.0374	0.2381

PESO DEL SOLIDO SECO = 0.3390 Kg.

HUMEDAD INICIAL = 118.2 % (base seca).

PRUEBA No. 4

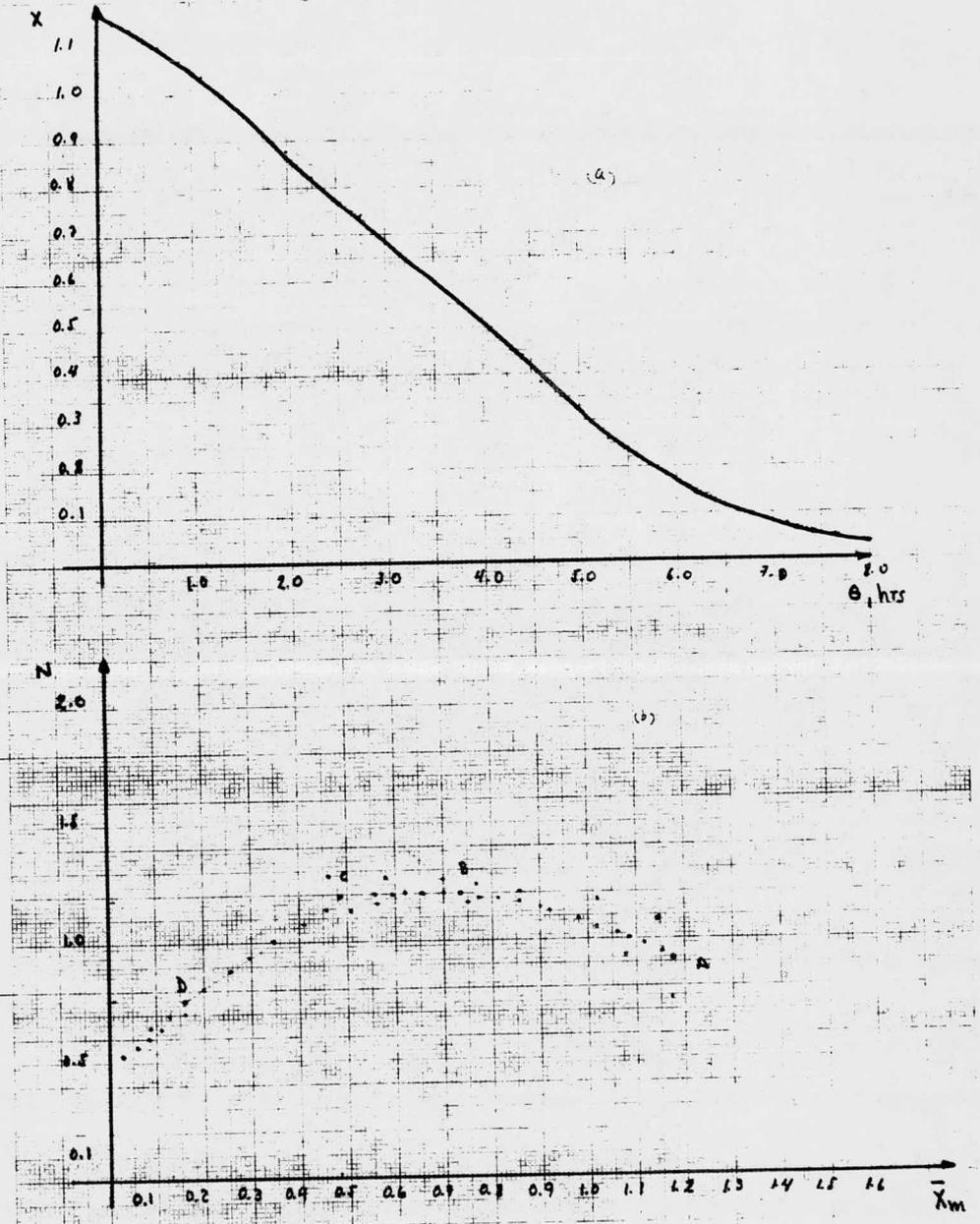


Figura No. 6

Poniendo (2) en forma matricial y despejando $\varepsilon = E$:

$$\begin{aligned} E &= Y - \hat{a} I - \hat{b} X - \hat{c} X^2 \\ &= Y - (\hat{a} I + \hat{b} X + \hat{c} X^2) \end{aligned}$$

donde:

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_{43} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{43} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{43} \end{bmatrix}$$

Calculando la suma de los cuadrados de las desviaciones:

$$\sum_{i=1}^{43} (\varepsilon_i)^2 = \sum_{i=1}^{43} (y_i - \hat{a} - \hat{b} x_i - \hat{c} x_i^2)^2 = f(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}) \quad (5)$$

Derivando (5) con respecto a cada uno de los parámetros buscados y minimizando:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c})}{\partial \hat{a}} &= 0 \\ \frac{\partial f(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c})}{\partial \hat{b}} &= 0 \\ \frac{\partial f(\hat{a}, \hat{b}, \hat{c})}{\partial \hat{c}} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Finalmente se llega al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} N \hat{a} + \sum x \hat{b} + \sum x^2 \hat{c} &= \sum y \\ \sum x \hat{a} + \sum x^2 \hat{b} + \sum x^3 \hat{c} &= \sum xy \\ \sum x^2 \hat{a} + \sum x^3 \hat{b} + \sum x^4 \hat{c} &= \sum x^2 y \end{aligned} \quad (7)$$

donde:

$$N = 43 \text{ (número de lecturas)}$$

En la tabla W, se observa como se obtuvieron los valores de las sumatorias. El sistema (7) queda finalmente:

$$\begin{aligned} 43 \hat{a} + 28.8864 \hat{b} + 26.0937 \hat{c} &= 41.9014 \\ 28.8864 \hat{a} + 26.0937 \hat{b} + 25.4242 \hat{c} &= 30.7433 \\ 26.0937 \hat{a} + 25.4242 \hat{b} + 25.9164 \hat{c} &= 27.3773 \end{aligned} \quad (8)$$

El sistema (8) se resuelve por matrices haciendo operaciones en renglones y columnas por el método de Gauss - Jordan:

TABLA V

	x	y	xy	x^2	x^2y	x^3	x^4
1)	1.1721	0.7976	0.9349	1.3738	1.0957	1.6102	1.8874
2)	1.1582	0.6428	0.7445	1.3414	0.8622	1.5536	1.7994
3)	1.1481	0.9762	1.1208	1.3181	1.2862	1.3067	1.5002
4)	1.1372	0.7143	0.8127	1.2944	0.9246	1.4726	1.6754
5)	1.1281	0.8333	0.9400	1.2726	1.0605	1.4356	1.6195
6)	1.1156	1.1905	1.3281	1.2446	1.4817	1.3885	1.5490
7)	1.1015	1.0714	1.1801	1.2133	1.2999	1.3364	1.4721
8)	1.0890	0.9524	1.0372	1.1859	1.1295	1.2914	1.4064
9)	1.0772	0.9524	1.0259	1.1604	1.1052	1.2500	1.3465
10)	1.0654	0.9524	1.0147	1.1350	1.0809	1.2092	1.2883
11)	1.0521	1.1905	1.2525	1.1069	1.3178	1.1646	1.2252
12)	1.0389	0.9524	0.9894	1.0793	1.0279	1.1213	1.1649
13)	1.0263	1.0714	1.0996	1.0533	1.1285	1.0810	1.1094
14)	1.0049	1.1905	1.1963	1.0098	1.2022	1.0147	1.0197
15)	0.9769	1.0714	1.0467	0.9543	1.0224	0.9322	0.9107
16)	0.9408	1.2252	1.1527	0.8851	1.0844	0.8327	0.7834
17)	0.9098	1.3095	1.1914	0.8277	1.0839	0.7530	0.6851
18)	0.8862	1.2500	1.1078	0.7854	0.9818	0.6960	0.6168
19)	0.8478	1.2252	1.0387	0.7188	0.8807	0.6094	0.5166
20)	0.8155	1.5238	1.2427	0.6650	1.0133	0.5423	0.4422
21)	0.7919	1.1429	0.9050	0.6271	0.7167	0.4966	0.3932
22)	0.7638	1.1310	0.8639	0.5834	0.6590	0.4456	0.3403
23)	0.7358	1.1310	0.8322	0.5414	0.6123	0.3984	0.2931
24)	0.7048	1.3691	0.9649	0.4968	0.6807	0.3501	0.2468
25)	0.6663	1.1541	0.7690	0.4440	0.5124	0.2958	0.1971
26)	0.6221	1.2173	0.7573	0.3870	0.4711	0.2408	0.1498
27)	0.5654	1.3650	0.7718	0.3197	0.4364	0.1808	0.1022
28)	0.5086	1.2552	0.6231	0.2587	0.3170	0.1316	0.0669
29)	0.4577	1.1265	0.5156	0.2095	0.2360	0.0959	0.0439
30)	0.4135	1.3095	0.5415	0.1710	0.2239	0.0707	0.0292
31)	0.3744	1.2252	0.4587	0.1402	0.1718	0.0525	0.0197
32)	0.3081	1.1660	0.3592	0.0949	0.1059	0.0242	0.0090
33)	0.2446	1.0671	0.2610	0.0598	0.0638	0.0146	0.0036
34)	0.2018	1.2252	0.2472	0.0407	0.0499	0.0082	0.0017
35)	0.1679	0.5928	0.0995	0.0282	0.0167	0.0047	0.0008
36)	0.1458	0.5928	0.0864	0.0213	0.0126	0.0031	0.0005
37)	0.1237	0.5928	0.0733	0.0153	0.0090	0.0019	0.0002
38)	0.1037	0.4743	0.0492	0.0108	0.0051	0.0011	0.0001
39)	0.0860	0.4743	0.0408	0.0074	0.0035	0.0006	0.00005
40)	0.0698	0.3952	0.0276	0.0049	0.0019	0.0003	0.00002
41)	0.0561	0.3399	0.0191	0.0031	0.0010	0.0002	0.00001
42)	0.0471	0.2529	0.0114	0.0020	0.0005	0.00009	0.000004
43)	0.0374	0.2381	0.0089	0.0014	0.0003	0.00005	0.000002

28.8864 41.9014 30.7433 26.0937 27.3773 25.4242 25.9164

$$\left[\begin{array}{ccc|c} 43 & 28.8864 & 26.0937 & 41.9014 \\ 28.8864 & 26.0937 & 25.4242 & 30.7433 \\ 26.0937 & 25.4242 & 25.9164 & 27.3773 \end{array} \right]$$

$$\Downarrow$$

$$\left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0.4422 = \hat{a} \\ 0 & 1 & 0 & 2.1102 = \hat{b} \\ 0 & 0 & 1 & -1.4591 = \hat{c} \end{array} \right]$$

Por lo tanto el modelo o relación funcional es:

$$y_c = 0.4422 + 2.1102 x - 1.4591 x^2 \quad (9)$$

Con el objeto de checar la bondad de la regresión es necesario calcular el coeficiente de regresión simple.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - y_c)^2}{\sum y^2 + \frac{(\sum y)^2}{N}} = \text{Coeficiente de regresión simple} \quad (10)$$

En la tabla VI se observa el cálculo de $\sum y^2$ y $\sum (y - y_c)^2$
De la ecuación (10):

$$R^2 = 1 - \frac{1.21509}{45.4299 + \frac{(41.9014)^2}{43}}$$

$$= 1 - 0.01408$$

$$R^2 = 0.9859$$

Este valor del coeficiente de regresión simple dice que el modelo propuesto (ecuación 9), explica el 98.59 % del comportamiento de los datos quedando un 1.41 % de error o "ruido".

Después de todo lo anterior, se puede deducir lo siguiente:

De la figura 6b se puede aproximar perfectamente por rectas las zonas — indicadas por DC y por CB quedando la gráfica como lo indica la figura número 7.

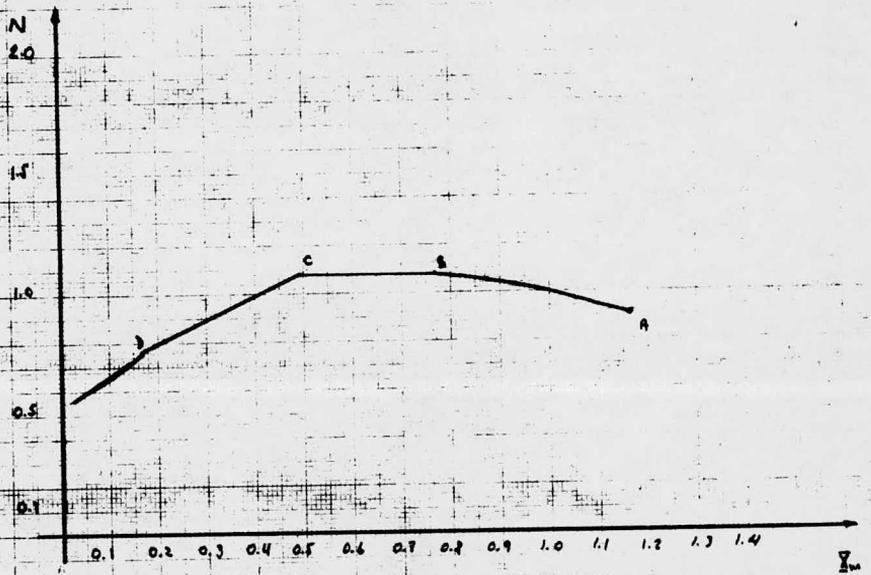


Figura No. 7

TABLA VI

	<u>y^2</u>	<u>$(y-y_a)^2$</u>	
1)	0.6362	0.01286	
2)	0.4132	0.08191	
3)	0.9539	0.00119	
4)	0.5102	0.0576	
5)	0.6914	0.01758	
6)	1.4173	0.04418	
7)	1.1479	0.00564	
8)	0.9070	0.0033	
9)	0.9070	0.00487	
10)	0.9070	0.0067	
11)	1.4173	0.0206	
12)	0.9070	0.0115	
13)	1.1479	0.00000016	
14)	1.4173	0.01024	
15)	1.1479	0.00158	
16)	1.5011	0.00796	
17)	1.7148	0.02408	
18)	1.5625	0.007	
19)	1.5011	0.00183	
20)	2.3220	0.1096	
21)	1.3062	0.00398	
22)	1.2792	0.00504	
23)	1.2792	0.00546	
24)	1.8744	0.02709	
25)	1.3319	0.0021	
26)	1.4818	0.000729	
27)	1.8632	0.0385	
28)	1.5011	0.0076	
29)	1.2690	0.00058	
30)	1.7148	0.0598	
31)	1.5011	0.0390	
32)	1.3595	0.0450	
33)	1.1387	0.0384	
34)	1.5011	0.1735	
35)	0.3514	0.0264	
36)	0.3514	0.0158	
37)	0.3514	0.0077	
38)	0.2250	0.0292	
39)	0.2250	0.01918	
40)	0.1562	0.0350	
41)	0.1455	0.0467	
42)	0.0640	0.0792	
43)	0.0567	0.0789	
	45.4299	1.21509	

De la figura 7 podemos ver lo siguiente:

- 1) La humedad crítica X_c , se encuentra entre los valores 0.4577 y 0.6221 y por la aproximación hecha:

$$X_c = 0.490$$

Por este valor de X_c , no era posible observar dicha humedad crítica - tanto en la prueba número 1 como en la número 3, es decir que en dichas pruebas desde el inicio ya se estaba dentro del período de velocidad decreciente.

- 2) Período AB, comprendido entre los valores de humedad 1.1721 y 0.7638. Este período inicial, que usualmente es corto resultó ser muy largo - como era de esperarse debido al uso de la fuente térmica (lámpara de 375 watts). Como la temperatura final fué más alta que la del principio, la velocidad de evaporación se fué incrementando desde el punto A hasta el B, al mismo tiempo que la temperatura de la superficie aumentaba.
- 3) Período BC, este es el período de velocidad de secado constante y está comprendido entre los valores de humedad: 0.7638 y 0.4900 (X_c). Este período se lleva a cabo en un tiempo relativamente corto en comparación con los demás.
- 4) Período CD, período de velocidad decreciente primera parte o secado - de superficie no saturada. Este período aparece en virtud de la presencia de "manchas secas" lo cual provoca que aumente el área expuesta conforme el secado procede y puesto que la velocidad N es calculada para una área (S), constante, entonces la velocidad disminuye aunque la velocidad por unidad de superficie húmeda permanece constante. Dicho período se encuentra entre las humedades: 0.4900 y 0.1679.
- 5) Período DE, período de velocidad decreciente segunda parte, comprendido entre las humedades: 0.1679 y X^* ($X^* \neq 0$). La velocidad de secado cae aún más rápidamente que antes en virtud de que el movimiento interno de la humedad disminuye.

6) Tiempos de secado:		%
Período AB (calentamiento)	= 2.500 hr.	31.25
Período BC (vel. de secado constante)	= 1.583 hr.	19.79
Período CE (vel. de secado decreciente)	= 3.917 hr.	48.96
Tiempo total de secado	= 8.000 hr.	

Tiempos obtenidos por medio de los datos reportados en la tabla IV. Como se puede ver el tiempo de secado del producto durante el período de velocidad decreciente (que es el período en el que se encuentra el producto al salir de la centrifuga), es de aproximadamente 4.0 hr.

Adicionalmente como resultado de la experimentación en laboratorio se puede decir también que el material presenta una gran facilidad para secar probablemente debido a su humedad de equilibrio (X^*), que prácticamente es cero y a su estructura cristalina.

Dentro de esta experimentación de laboratorio se hizo el cálculo de la densidad aparente tanto en estado seco como húmedo, ya que estos datos serán de utilidad al definir la capacidad (volumen) del secador. Los resultados fueron los siguientes:

a) Para el sólido húmedo:

$$0.467 \text{ g/cm}^3$$

b) Para el sólido seco:

$$0.510 \text{ g/cm}^3$$

Se puede ver que el volumen del sólido húmedo se reduce en un 8.43 % al secarse.

C A P I T U L O 4

SELECCION PRELIMINAR.-

4.1) EQUIPOS SUSCEPTIBLES DE MANEJAR EL MATERIAL.

Con el objeto de visualizar en forma objetiva los equipos de secado existentes, la Tabla **VII**, indica la clasificación de secadores, basada en la forma física del material alimentado.

Tomando como base las características físicas y químicas del material por secar, así como la experiencia en su manejo, a continuación se enumeran los equipos susceptibles de manejarlo:

- 1.- Secador de Bandejas y Compartimentos. Tipo directo, funcionamiento intermitente.
- 2.- Turbosecador vertical. Tipo directo, funcionamiento continuo.
- 3.- Rotatorio. Tipo directo, funcionamiento continuo.
- 4.- Transportador Neumático. Tipo directo, funcionamiento continuo.
- 5.- De vacío con anaqueles. Tipo directo, funcionamiento intermitente.
- 6.- De Congelación a vacío. Tipo indirecto, funcionamiento intermitente o continuo.
- 7.- De Pailas con agitación. Tipo indirecto, funcionamiento intermitente.
- 8.- Rotatorio a Vacío. Tipo indirecto, funcionamiento intermitente.
- 9.- Rotatorio. Tipo indirecto, funcionamiento continuo.
- 10.- Con transportador vibrante. Tipo indirecto, funcionamiento continuo.
- 11.- Con transportador de tornillo sin fin. Tipo indirecto, funcionamiento continuo.
- 12.- Infrarrojo. Funcionamiento intermitente o continuo.
- 13.- Secador de Circulación a través. Tipo directo, funcionamiento continuo.
- 14.- Secador Rotatorio de Circulación a través. Tipo directo funcionamiento continuo.

4.2) SELECCION DEL TIPO DE SECADOR ADECUADO.

Para hacer ésta selección, se tomarán en cuenta todos los factores -

Tabla VII

ALIMENTACION

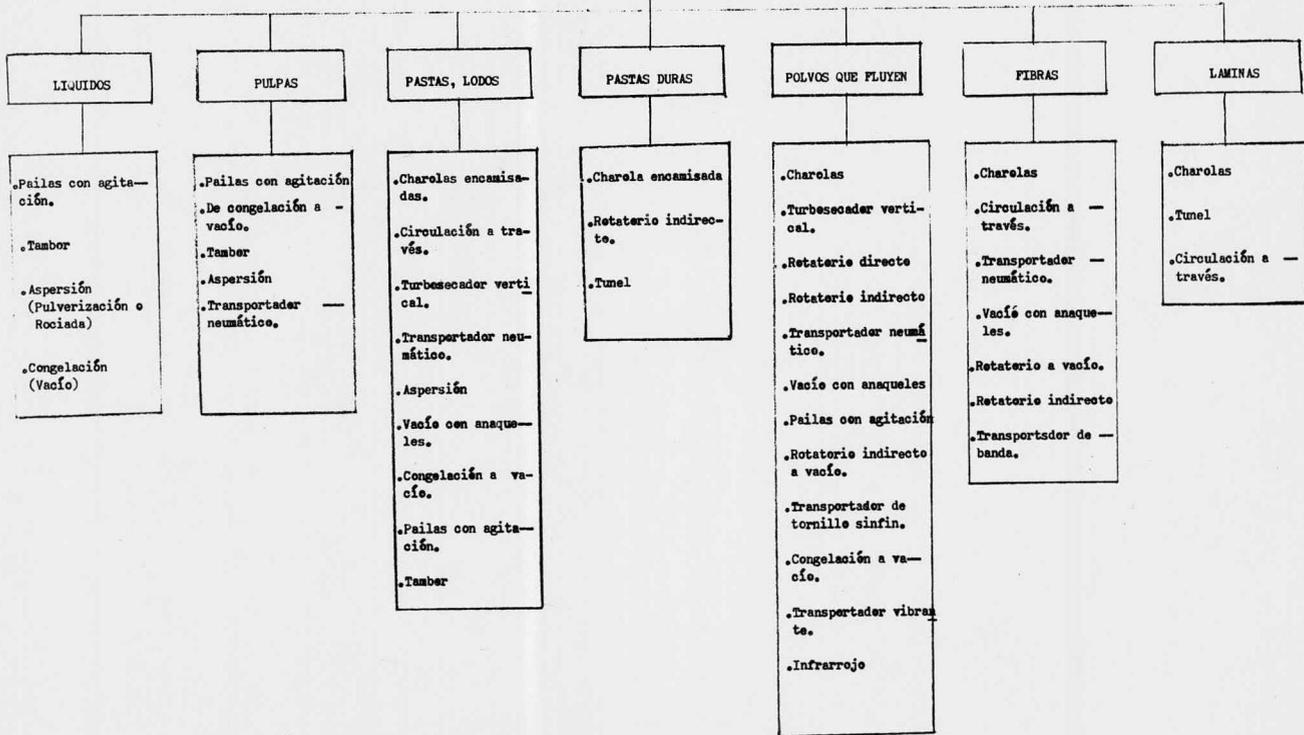


Tabla VII.- Clasificación de Separadores basada en la forma física del material alimentado.

que caracterizan al proceso, mismos que permitiran ir eliminando - aquellos secadores que se salgan fuera de las exigencias o limitaciones. También se tomarán muy en cuenta las características del material por secar.

Criterios de Selección.-

- 1.- El tamaño del lote húmedo es de 240 kg. y se produce cada 17 - horas aproximadamente.
- 2.- La recuperación del solvente es importante dado el costo del mismo, por lo cual aquella deberá ser máxima.
- 3.- Se cuenta con vapor como medio de calentamiento.
- 4.- No debe de haber ningún tipo de contaminación al material.
- 5.- Normalmente el secador trabajará para secar dos lotes diarios.
- 6.- Debido a la diversificación de la compañía en sus productos, - deberá (el secador), ser susceptible de secar otros materiales semejantes.
- 7.- Espacio limitado.
- 8.- Recursos económicos limitados.
- 9.- Secado rápido y adecuado.

Con las consideraciones anteriores y las características del material por secar, ya se puede analizar cada uno de los secadores enlistados anteriormente, pudiendo deshechar los que no satisfagan los requerimientos enlistados.

a.-) Análisis por Capacidad.-

El tamaño del lote húmedo es de 240 kg. con una variación de $\pm 5\%$. Este valor es de suma importancia ya que - dará directamente el tamaño del secador. El producto húmedo se obtiene de un proceso intermitente cada 17 horas aproximadamente lo cual indica que la operación deberá ser batch, además de que siendo la cantidad tan pequeña de material húmedo haría incosteable un secador de tipo continuo. En conclusión el secador será de funcionamiento batch, luego entonces se eliminan los secadores enlistados con - los números 2, 3, 4, 9, 10, 11, 13 y 14.

b.-) Análisis por tiempo de secado y recuperación de solvente.-

Este punto también es muy importante para la selección adecuada del equipo. Como se indicó anteriormente el secado actual se efectúa entre 40 y 50 horas en la forma que ya se describió. Este modo de secar tan extremadamente lento, pudierá llegar a ocasionar un "cuello de botella" para futuros planes en el aumento de producción, amén de ser muy costoso por la gran cantidad de mano de obra utilizada y la mala recuperación del solvente. El equipo seleccionado deberá mejorar el sistema de secado reduciendo el tiempo anterior hasta niveles requeridos, reduciendo la mano de obra y recuperando la cantidad máxima de solvente. Por lo anterior se eliminan los secadores con los números 1 y 5. El número 1 por que sería el mismo sistema que el actual y un aumento en la producción no podría ser absorbido. El número 5, aunque probablemente reduce el tiempo de secado y proporcione una buena recuperación de solvente, sin embargo no reduciría en forma apreciable la mano de obra.

El secador de congelación a vacío (No. 6), no es adecuado aparte de ser muy costoso. El secador infrarrojo es recomendado para el secado o calentamiento de objetos irregulares mazisos, además de ser sumamente costoso por el consumo de energía el cual inclusive podría llegar a ser diez veces el costo de los secadores calentados por vapor. Además se cuenta con vapor como medio de calentamiento, por lo tanto también se desecha (número 12).

Una vez eliminados doce secadores quedan finalmente el 7 y el 8, — el de paila con agitación y el rotatorio a vacío respectivamente. A continuación se hará un análisis más estricto de cada uno de estos secadores.

4.2.1.- ANALISIS DEL SECADOR DE PAILA CON AGITACION. TIPO INDIRECTO, FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE.-

Este tipo de secador puede trabajar a presión atmosférica o a vacío.

En virtud de la necesidad de recuperar solvente, trabajará a vacío. Consiste en una paila circular poco profunda encaquetada en el fondo y parte de los costados, usándose normalmente a vapor como medio de calentamiento. Las pailas que trabajan a vacío suelen tener — cubiertas o tapas en forma de cúpula, provistas de un registro de — hombre y boquillas para mirillas y extracción de los vapores de sol — vente.

Estos secadores se emplean para manipular pequeñas cargas intermiten — tes de materiales que durante su secado deben agitarse, Son de fácil limpieza y por lo tanto adaptables para manejar lotes sucesivos de diferentes materiales. Son más usuales para secar en forma intermi — tente materiales de difícil manejo que en secadores continuos, don — de no sería económico. También se recomiendan para secado con alto vacío o cuando las operaciones de evaporación, cristalización y se — cado con sus consecuentes cambios de propiedades físicas se deben — hacer en un sólo equipo. No son recomendables para materiales que — sufren degradación en el tamaño de partícula durante el secado o pa — ra aquellos que formen "bolas" y/o costras.

El equipo auxiliar para este aparato requiere de una fuente de va — cío que puede ser un inyector de vapor, una bomba de vacío o un ven — tilador extractor. Si se emplea una bomba de vacío deberá colocarse antes de ella un condensador con el objeto de impedir que los vapo — res se condensen en la misma y así recuperar el solvente.

Con frecuencia es necesario instalar equipo para recoger los polvos cuando se trata de productos pulverulentos o si el medio de agita — ción produce partículas finas. El polvo se recupera en filtros de — sacos, en ciclones o en lavadores húmedos. El polvo debe separarse de los vapores antes de que pasen al condensador, de lo contrario — la superficie del condensador se incrustará rápidamente.

Ahora bien estos secadores en ocasiones requieren de la presencia — de un manómetro o un termómetro en la chaqueta y rara vez tienen — algún otro instrumento auxiliar, ya que el aspecto del material — sirve a menudo de base para juzgar su sequedad .

En estos secadores suelen encontrarse tiempos de secado de 3 a 12 horas, sus dimensiones oscilarán entre 0.9 a 3 metros de diámetro y 0.3 a 0.9 metros de altura con 1.4 a 14 m² de superficie de calefacción. Suelen cargarse por lo general llenándolos en sus dos terceras partes. La velocidad de los agitadores variará entre 2 y 10 r.p.m.

Los costos de mano de obra son altos ya que la carga y la descarga exigen mucha atención. Para cargar y descargar un secador se necesitan aproximadamente dos horas hombre por operación o carga intermitente y aproximadamente la mitad de la jornada de un hombre durante el funcionamiento del secador.

En la figura 8, se da una representación esquemática de este tipo de secador.

4.2.2.- ANALISIS DEL SECADOR ROTATORIO A VACIO. TIPO INDIRECTO, FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE.-

Los secadores rotatorios a vacío son del tipo intermitente y se encuentran en el mercado en dos formas diferentes. El más común (fig.9), está formado por una envoltura cilíndrica fija, montada horizontalmente, en el interior de la cual una serie de paletas agitadoras montadas sobre un eje central rotatorio remueven y agitan el material que se seca. El calor se suministra por circulación de un medio de calefacción adecuado (agua caliente, vapor o dowtherm), en una camisa que rodea a la envoltura y en los secadores grandes, por el eje central hueco. El agitador generalmente es una espiral sencilla o doble discontinua con las hojas o paletas muy próximas a la pared del cilindro sin que lleguen a rozarla. El secador se carga por un registro de hombre en la parte superior de la envoltura y se descarga por otro ó varios del fondo del secador. Si el material se seca solamente por un extremo del secador, éste tiene paletas especiales en el agitador y una transmisión tal que cuando se invierte el movimiento empujan el material hacia el extremo de descarga. El vacío se hace y mantiene por cualquiera de los métodos usuales (eyectores de vapor, bombas de vacío, etc.).

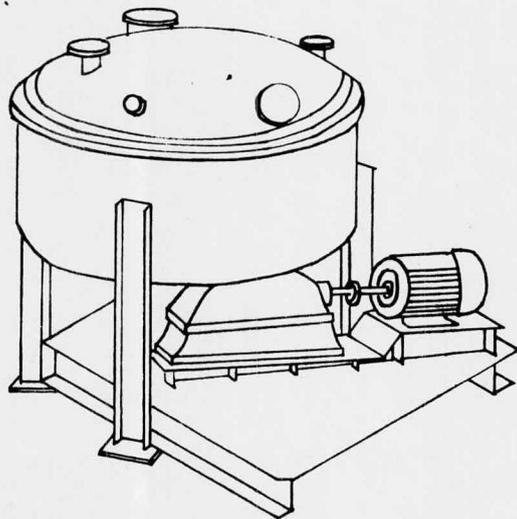


FIGURA No. 8.- SECADOR DE PAILA

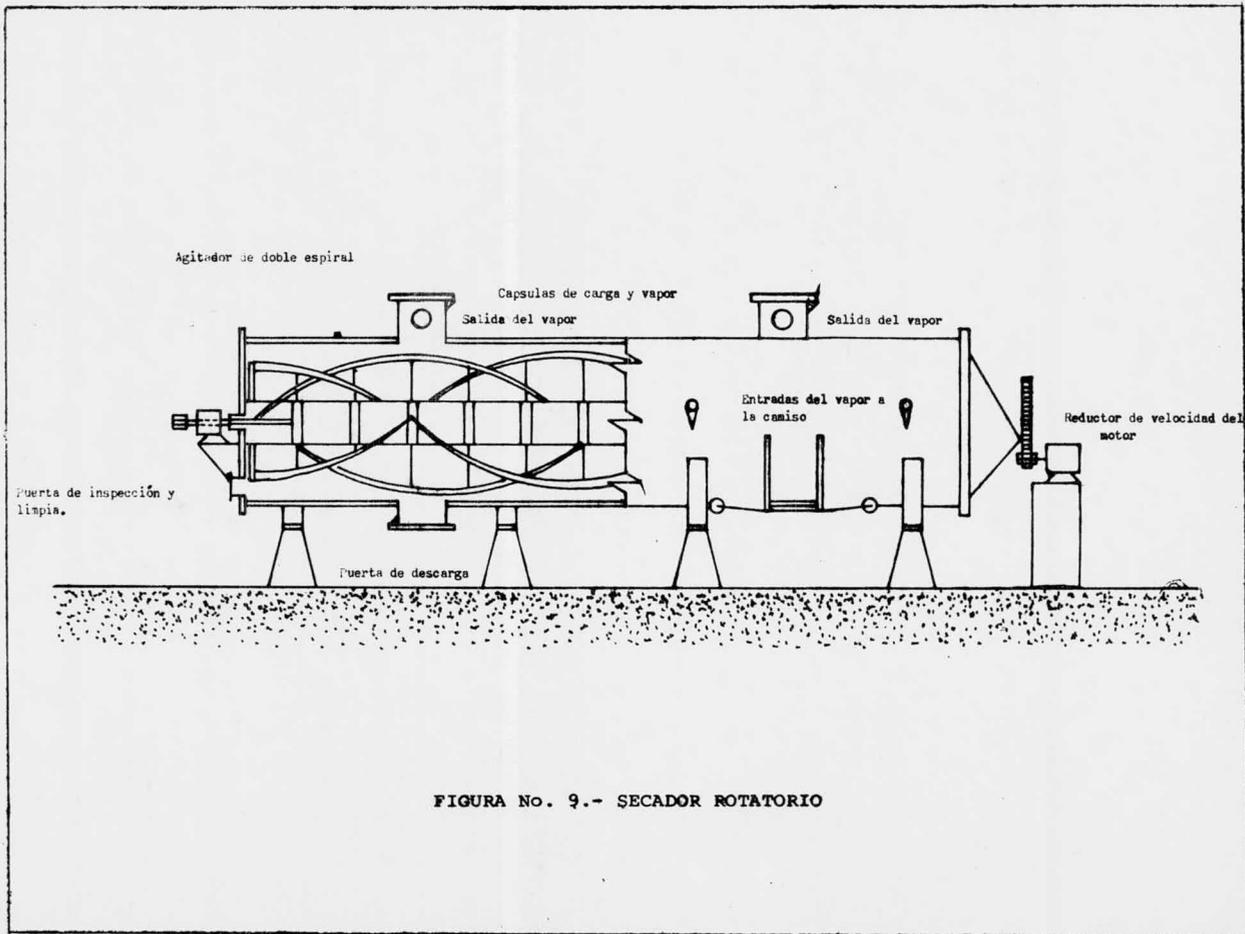


FIGURA No. 9.- SECADOR ROTATORIO

Otro tipo de secador rotatorio a vacío consiste en una envoltura cilíndrica rotatoria provista de una camisa adecuada. El vacío se aplica a éste aparato a través de muñones huecos con casquillos --- prensaestopas o empaquetaduras apropiadas que soportan el calor. Para introducir y sacar el medio de calefacción es necesario emplear casquillos rotatorios. El interior de la envoltura puede tener aletas elevadoras para que ayuden a agitar el material.

Campo de Aplicación.-

Los secadores rotativos a vacío sirven para secar grandes cargas intermitentes de materiales que deben mantenerse fuera del contacto del aire, o de los cuales quieren recuperarse disolventes. En éste tipo de secador pueden manejarse materiales que van desde lodos hasta cristales gruesos si no se pegan mucho al agitador, a las aletas o a la envoltura. Con el agitador central rotativo se produce alguna molienda del material y por consiguiente --- cuando haya que evitar la trituration del material, se empleará el aparato de envoltura rotativa. Los secadores a vacío no suelen --- recomendarse a menos que no sea para secar el mismo material durante un período largo y continuo de tiempo.

Datos Técnicos y de Proyecto o Diseño.-

El flujo de transmisión del calor desde el medio de calefacción a través de la pared del secador hasta el material húmedo se expresa por la ecuación.

$$Q = U A \Delta t_m$$

El coeficiente total de transmisión de calor depende casi por entero del coeficiente entre el material y la pared del secador y varía según el tipo de material manejado y según el peso total que soportan las superficies secadoras, creciendo cuando aumenta la densidad global o bruta, el tamaño de las partículas y la carga total sobre las superficies secadoras. Si se mantienen razonablemente limpias --- las paredes del secador, los coeficientes totales oscilarán entre --- 24 y 170 Kcal/(hr)(m² de sup. contacto) (°C).

Si el material se adhiere a las paredes pueden encontrarse coeficientes tan bajos como 5 ó 10.

Estos secadores suelen llenarse hasta 50-60% de su capacidad. Con cargas más pequeñas; 40% para materiales muy densos y cargas mayores 85% cuando se trata de materiales ligeros y mullidos. La velocidad del agitador suele ser de 3 a 5 r.p.m. Las velocidades mayores consumen más energía pero mejoran algo la transmisión del calor.

El equipo auxiliar para estos secadores es semejante al descrito en los secadores de paila. Los ciclos de secado varían entre 4 y 48 horas según el material del cual se trate. Los ciclos cortos implican costos elevados de mano de obra para cargar y descargar el material y los ciclos largos comprenden costos de inversión excesivamente altos. Los tamaños oscilan entre 0.46m. de diámetro por 1.07m. de largo con la superficie de calefacción comprendida entre 1.5 y 93 m². La longitud esta limitada por la luz que puede salvar el eje central sin flexionarse excesivamente.

Los costos de mano de obra en los secadores rotatorios a vacío varían entre 4 y 24 horas hombre por día, según el tamaño y el número de secadores, según los medios empleados para alimentar y descargar el secador y según la duración del ciclo de secado.

Adicionalmente, a continuación se da la tabla No. VIII que es de utilidad para visualizar mejor las características de cada uno de estos -- dos secadores.

T A B L A VIII

Características del secador de paila y el secador rotatorio indirecto.

	<u>Pailas</u>	<u>Rotatorio Indirecto</u>
Presión	Atmosférica o vacío	Vacío
Agitador	Si	Si
Chaqueta	Si	Si
Tiempo de secado	3-12 hrs.	4-48 hrs.
Diámetro	0.9-3 mts.	0.4-1.98 mts.
Altura o Largo	0.3-0.9 mts.	1.07-11 mts.
Superficie de calefacción.	1.4-14 m ²	1.5-93 m ²
Velocidad del agitador.	2-10 rpm.	3-5 rpm.
Volúmen de Trabajo.	75% del vol. total	85% del vol. tot.
Mano de Obra	6 h-H/Lote	2-12 h-H/Lote
Medio de Calentamiento.	Vapor	Vapor
Recuperación del solvente.	Si	Si

C A P I T U L O 5

SELECCION FINAL.

Una vez que se han descrito los dos secadores más apropiados para secar el material, se hará un análisis más a fondo de cada uno de ellos para seleccionar el mejor, se tomarán en cuenta factores como:

- a) El espacio disponible
- b) Volúmen de trabajo (tamaño del lote)
- c) Sistema de trabajo existente
- d) Facilidad de limpieza y acceso
- e) Dimensiones de los secadores a nivel comercial
- f) Equipo auxiliar requerido, y
- g) Ventajas del equipo horizontal sobre el vertical

a) Espacio disponible.

Para determinar este punto, surge el problema de la localización del lugar adecuado para la instalación. Después de analizar detenidamente el espacio con que se cuenta y tomando en cuenta factores como son la cercanía a la centrifuga, dimensiones del lugar, las vías de paso y la colocación de los extractores, se llega a la conclusión de que el lugar más adecuado es una sección que tiene como dimensiones 1.5 metros de ancho por 2.6 metros de largo, por lo cual el secador (sus dimensiones) tratará de adaptarse a dichas dimensiones. Es importante mencionar que aunque el área disponible es importante y puede determinar el tamaño del secador, pudiera llegar a pasarse por alto si fuera necesario, aunque el llegar a esto signifique un aumento en la inversión, ya que seguramente se tendría que modificar el arreglo actual de algunos equipos o "sacrificar" y acondicionar otra área de la planta.

b) Volúmen de trabajo (tamaño de los lotes).

Este factor es muy importante ya que determina el tamaño mínimo del secador. La cantidad de material húmedo por lote es en promedio de 240 Kg. y se toma como referencia

rencia dicho estado del material ya que en éste su densidad aparente es menor que en el estado seco. Si dicha densidad es igual a 0.467 g/cm^3 - el volúmen mínimo del secador será:

$$\rho_{ah} = 0.467 \text{ g/cm}^3 = 0.467 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 = 0.467 \text{ Kg/lt.}$$

$$V = \frac{M}{\rho_{ah}} = \frac{240.0}{0.467} = 514.0 \text{ lt. (volúmen mínimo)}$$

Considerando el volúmen de trabajo el doble del mínimo, da un volúmen de 1028 lt. Previendo que este volúmen de trabajo diera un secador cuyas dimensiones rebasaran las del espacio disponible, se hará un segundo cálculo considerando el estado seco del material.

$$\rho_{as} = 0.529 \text{ g/cm}^3 = 0.529 \text{ Kg/lt.}$$

$$V = \frac{M}{\rho_{as}} = \frac{198.0}{0.529} = 375.0 \times 2 = 750.0 \text{ lt.}$$

Analizando los dos volúmenes de trabajo, se observa que el de 1028 lts. sería muy sobrado ya que sería 2.7 veces más grande que el volúmen del sólido seco. También considerando factores económicos y de espacio ya que seguramente un secador de 1028 lts. de volúmen se saldría fuera del espacio disponible, se decide establecer el volúmen del secador en 750 litros, ya que es capacidad suficiente para admitir el lote húmedo y estará trabajando a un 50 % de su capacidad respecto al sólido seco y a un 68.5 % respecto al húmedo.

c) Sistema de trabajo existente.

En este aspecto sólo se quiere mencionar que una vez centrifugado el sólido húmedo, es recibido en recipientes con una capacidad de 40 lts. En seguida viene la carga del sólido húmedo al equipo, por lo que éste deberá tener una tolva o registro de carga con unas dimensiones tales que facilite la carga del material por medio de dichos recipientes.

d) Facilidad de limpieza y acceso.

Este es otro punto de vista que no deja de ser importante, ya que considerando la diversificación de los productos de la compañía, el secador deberá de ser limpiado en forma rápida y eficiente.

También es importante mencionar que el acceso al secador deberá — ser fácil, para efectos de realizar cualquier tipo de reparación mecánica en su interior.

e) Dimensiones de los secadores a nivel comercial.

Para ilustrar mejor este punto se darán dibujos y tablas de dimensiones para ambos secadores — con lo cual se tendrá una mejor visión de las dimensiones de ambos secadores. De las tablas y los diagramas mostrados en la figura 10 se ve — que las dimensiones estándar del secador que se requiere son en ambos — casos las marcadas con una flecha.

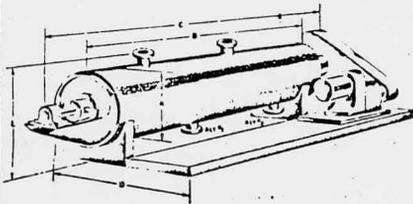
f) Equipo auxiliar requerido.

El equipo auxiliar requerido es el mismo para ambos secadores por lo cual será analizado simultáneamente para ambos.

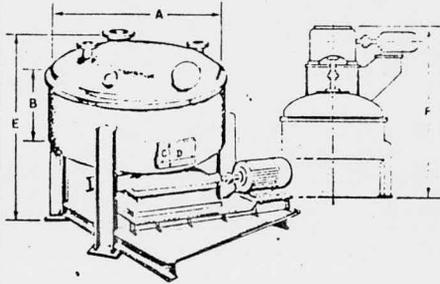
1.- Fuente de vacío.- En el caso de la bomba de vacío será necesario ins talar un sistema de recuperación de solvente (condensador) que no permita el paso de vapores hasta la misma bomba, ya que de suceder esto, se puede afectar su mecanismo interno debido a la contaminación del lubricante. El costo de la bomba de vacío es elevado y habrá de considerarse el cambio periódico del lubricante así como el costo de electricidad.

En el caso del eyector de vapor, el primer punto por considerar es el consumo de vapor que dada la capacidad instalada en esta planta no — permite que se use para otro proceso que no sea calentamiento de equipo. De aumentarse la capacidad de producción de vapor, se tendría que consi derar el gasto de vapor y obtener su costo unitario. De este modo se pue de ver que el costo del eyector sería bajo en inversión pero muy alto en costos variables.

SECADOR HORIZONTAL
TAMANO STANDARD



SECADOR DE PAILA
TAMANO STANDARD



Diam. Int. "A"	Long. Int. "B"	Ancho "C"	Long. Tot. "D"	Altura "E"	Vol. Aprox.	Area Tot. de Calen. (Aprox.)
18"	6'-0"	35"	9'-6"	3'-9"	7.1 cu. ft.	28.3 sq. ft.
18"	12'-0"	36"	15'-6"	3'-9"	14.2 cu. ft.	56.6 sq. ft.
24"	12'-0"	48"	15'-6"	4'-3"	25.3 cu. ft.	75.4 sq. ft.
24"	24'-0"	48"	27'-6"	4'-3"	50.5 cu. ft.	150.7 sq. ft.
30"	12'-0"	60"	15'-6"	4'-9"	39.5 cu. ft.	94.2 sq. ft.
30"	24'-0"	60"	27'-6"	4'-5"	78.9 cu. ft.	188.4 sq. ft.
44"	14'-0"	88"	17'-6"	6'-0"	99.4 cu. ft.	161.0 sq. ft.
44"	15'-0"	88"	18'-6"	6'-0"	106.5 cu. ft.	172.5 sq. ft.
60"	16'-0"	120"	19'-6"	7'-3"	210.1 cu. ft.	251.2 sq. ft.

Capac. de Trabaj.	Diam. Int. "A"	Profundidad "B"	Puerta Descarga "C"	"D"	Altura (aprox.) "E"	"F"	Superf. Calent.
40 Gals.	3'-0"	18"	6"	8"	5'-0"	6'-0"	14 sq. ft.
70 Gals.	4'-0"	18"			6'-0"	7'-0"	31 sq. ft.
95 Gals.	4'-0"	24"	6"	8"	6'-6"	7'-6"	38 sq. ft.
150 Gals.	5'-0"	24"			6'-6"	8'-6"	51 sq. ft.
220 Gals.	5'-0"	36"	8"	11"	7'-0"	9'-6"	66 sq. ft.
210 Gals.	6'-0"	24"			7'-0"	9'-6"	66 sq. ft.
320 Gals.	6'-0"	36"	8"	11"	8'-0"	10'-6"	85 sq. ft.
380 Gals.	8'-0"	24"			9'-0"	12'-0"	100 sq. ft.
560 Gals.	8'-0"	36"	14"	18"	10'-0"	13'-0"	125 sq. ft.
590 Gals.	10'-0"	24"			10'-0"	13'-0"	141 sq. ft.
880 Gals.	10'-0"	36"	16"	20"	11'-0"	14'-0"	173 sq. ft.

FIGURA No. 10

SECADORES Y SUS DIMENSIONES

El uso de un ventilador-extractor se justifica para obtener vacíos muy bajos, es económico en comparación con los dos anteriores y presentará problemas menores con el arrastre de polvos.

2.- Sistema colector de polvos.- En cualquier fuente de vacío que se use será necesario tener un sistema colector de polvos entre el secador y el equipo de condensación, ya que de no ser así dicho equipo se incrustaría rápidamente disminuyendo su eficiencia, además de los problemas para su limpieza. Como ya se ha mencionado los polvos se pueden recuperar en filtros de sacos, en ciclones o lavadores húmedos sin embargo estos equipos pueden ocupar mucho espacio, representan otra inversión y se deberá evitar la condensación de vapores de solvente en dichos equipos para su posterior recuperación.

3.- El equipo auxiliar correspondiente a la instrumentación mínima no representa ningún problema en ambos secadores.

g) Ventajas del equipo horizontal sobre el vertical.

Este punto se ha querido analizar debido a que en la literatura se han encontrado ventajas del equipo (secadores), horizontal sobre el vertical, las cuales se van a enumerar. Esto como podrá verse marca la tendencia a seleccionar el secador rotatorio. La unidad de proceso horizontal es considerada superior para muchas operaciones por las siguientes razones:

- 1.- Puede ser diseñada para operación continua.
- 2.- Para equipos de gran capacidad se pueden evitar los agitadores grandes y pesados.
- 3.- El uso de cojinetes o chumaceras fuera de borda minimiza el pandeo de la flecha.
- 4.- La superficie desocupada por unidad de volumen es mayor que unidades verticales como se puede ver en la tabla No. IX
- 5.- Menor potencia requerida y menor costo de operación.
- 6.- Menor costo fijo.

T A B L A IX

COMPARACION DE DIMENSIONES DE LAS UNIDADES
HORIZONTAL Y VERTICAL DE PAILA.

	Unidad Vertical de Paila			
	8'-0" Diam. x 4'-0" alt.			
Volumen del Material, ft ³	150	115	75	57.5
% del volumen total	75	57.5	37.5	28.7
Area de transferencia de calor, ft ²	126	108	88	79
% del Area total	84	72	58.5	52.5
Superficie desocupada, ft ²	50.5	50.5	50.5	50.5
Superficie desocupada/vol. del material	0.33	0.44	0.625	0.58
Potencia requerida, hp.	50	50	50	50

	Unidad Horizontal			
	4'-6" Diam. x 14'6" Long.			
Volumen del Material, ft ³	150	115	75	57.5
% del Volumen total	65	50	32.5	25
Area de Transferencia de calor, ft ²	120	103	83.5	73.5
% del Area total	58.5	50.0	40.6	35.8
Superficie desocupada, ft ²	62.5	72.5	61.5	58.8
Superficie desocupada/vol. del material	0.42	0.63	0.82	1.02
Potencia requerida, hp.	30	30	30	30

El volumen de trabajo para las unidades horizontales es generalmente 65% del volumen total. Esto da tanto una adecuada superficie desocupada como una alta superficie de transferencia. En un proceso batch, particularmente en secado el nivel de llenado puede variar, sin embargo se debe arreglar de tal manera que la mayoría de las veces trabaje en el rango entre 65 y 45% de capacidad.

A continuación se da una figura junto con una tabla que dan las características y dimensiones a nivel comercial de una unidad de proceso horizontal (Fig. 11).

Una vez que se han descrito con más detalles los dos secadores más apropiados y después de haber observado detenidamente todos los factores desde los que se analizaron, se llega a las siguientes conclusiones.:

- 1.- Se descarta el secador de Paila a vacío.
- 2.- Se descarta el secador rotatorio a vacío.
- 3.- Se selecciona el equipo de proceso horizontal.

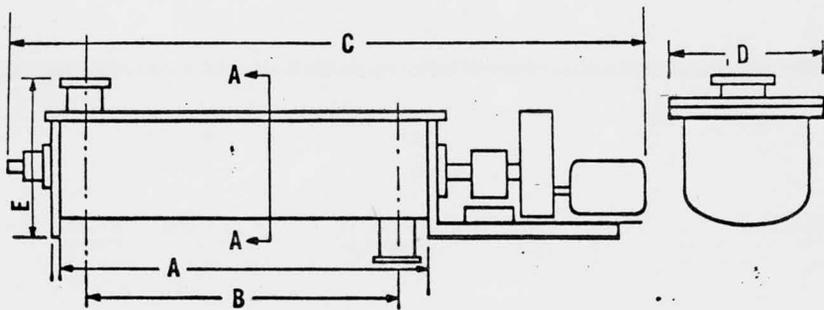
Análisis de las conclusiones.

Se descarta el secador de Paila a vacío debido a lo siguiente:

- a) Incomodidad práctica para la carga del producto húmedo, ya que presenta una boquilla de carga reducida y a que dicha boquilla estaría a 2.1 mt. de altura.
- b) Por el difícil acceso a su interior para efectuar su limpieza o cualquier reparación de tipo mecánico.
- c) El ancho del área disponible (1.5 mt.) es menor que la requerida (1.8 mt.), para la instalación de este equipo.
- d) Por las ventajas mencionadas del equipo horizontal sobre el vertical.

Se descarta el secador rotatorio a vacío de tipo indirecto y funcionamiento intermitente por lo siguiente:

- a) Alto costo de inversión.



DIAMETRO NOMINAL	A	B	C	D	E	F
12"	6' 0"	5' 1"	12' 0"	18"	2' 4"	2' 4"
	8' 0"	7' 1"	14' 0"	18"	2' 4"	2' 4"
	10' 0"	9' 1"	16' 6"	18"	2' 4"	2' 4"
	12' 0"	11' 1"	18' 6"	18"	2' 4"	2' 4"
18"	10' 0"	8' 11"	18' 6"	24"	3' 2"	3' 0"
	12' 0"	10' 11"	20' 6"	24"	3' 2"	3' 0"
	14' 0"	12' 11"	22' 6"	24"	3' 2"	3' 0"
	16' 0"	14' 11"	24' 6"	24"	3' 2"	3' 0"
24"	12' 0"	10' 8"	22' 0"	30"	4' 0"	3' 8"
	14' 0"	12' 8"	24' 0"	30"	4' 0"	3' 8"
	16' 0"	14' 8"	26' 0"	30"	4' 0"	3' 8"
	18' 0"	16' 8"	28' 0"	30"	4' 0"	3' 8"
	20' 0"	18' 8"	30' 0"	30"	4' 0"	3' 8"
30"	16' 0"	14' 4"	28' 0"	34"	4' 6"	4' 0"
	18' 0"	16' 4"	30' 0"	34"	4' 6"	4' 0"
	20' 0"	18' 4"	32' 0"	34"	4' 6"	4' 0"
	22' 0"	20' 4"	34' 0"	34"	4' 6"	4' 0"
	24' 0"	22' 4"	36' 0"	34"	4' 6"	4' 0"

FIG. 11 UNIDAD DE PROCESO HORIZONTAL.

- b) El espacio disponible, ya que se requieren de largo aproximadamente 4.75 mts. y sólo se cuenta con 2.6 mts. de longitud.
- c) Incomodidad práctica para la carga del producto húmedo, ya que al -- igual que el de Paila presenta una boquilla de carga reducida.
- d) Por el difícil acceso a su interior para efectuar su limpieza o cualquier reparación mecánica.

Selección de un equipo de proceso horizontal.-

Debido a todos los factores y consideraciones analizados anteriormente, se decide buscar dentro de -- los equipos de proceso horizontal uno que de las siguientes exigencias:

- a) Inversión de capital relativamente baja.
- b) Medio de agitación.
- c) Medio de calentamiento indirecto.
- d) Dimensiones adaptables al espacio disponible.
- e) Fácildad de carga.
- f) Fácildad de acceso y limpieza.
- g) Fácildad de extracción de los vapores de solvente.

Buscando en la literatura y considerando los factores antes mencionados se selecciona el equipo representado en la siguiente figura No. 12 .

Este equipo seleccionado está en la línea de mezcladores y se puede ver que proporciona:

- a) Buena agitación.
- b) Fácildad de diseño.
- c) Fácildad de carga.
- d) Fácildad de limpieza y acceso.
- e) Enchaquetado proporciona un medio de calentamiento indirecto.
- f) Con una boquilla proporciona el medio de extracción de los vapores de solvente.
- g) Bajo costo de inversión e instalación.

Independientemente del sistema de condensación que se seleccione el secador quedaría como se muestra en la fig. 13 (diseño preliminar).

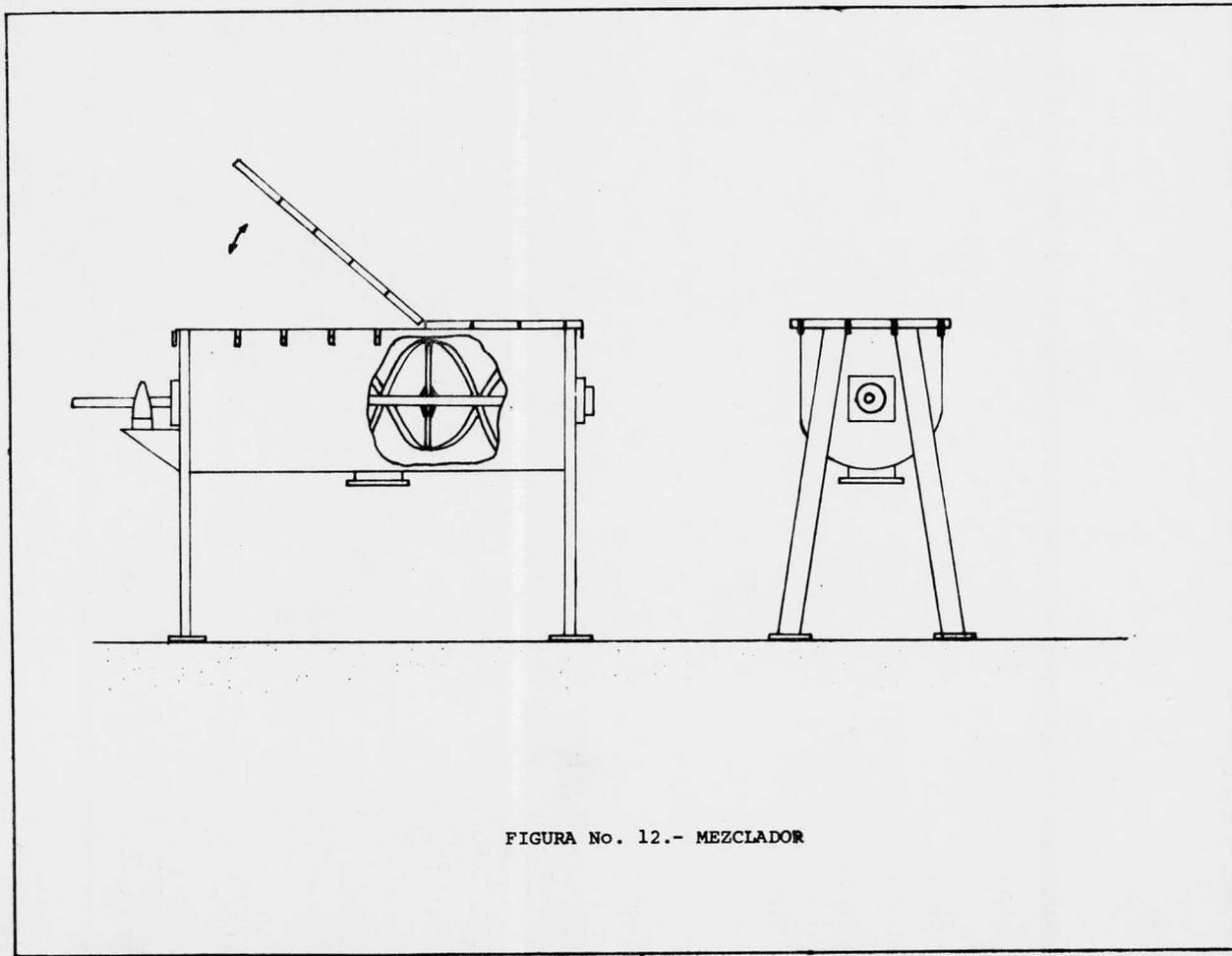


FIGURA No. 12.- MEZCLADOR

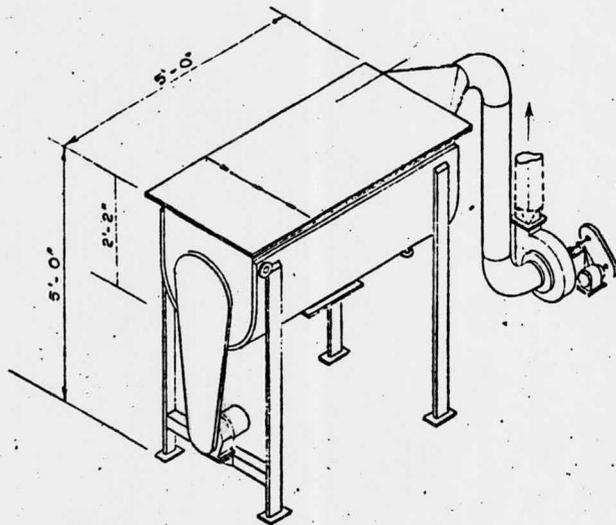


Fig. 3

FIGURA No. 13.- MODELO PRELIMINAR

NOTA: DIMENSIONES APROXIMADAS

APRUSH

C A P I T U L O 6

DISEÑO DEL EQUIPO PILOTO

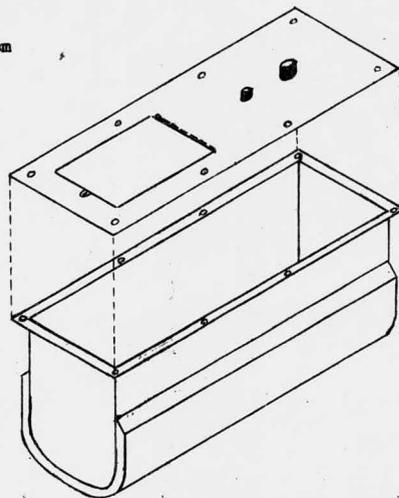
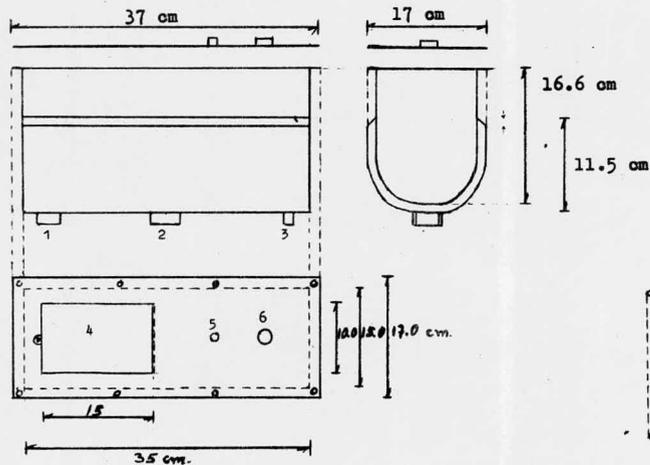
De acuerdo al capítulo anterior, el equipo piloto será del tipo de - procesador horizontal y estará dentro de la línea de mezcladores. Dentro de esta línea el que cumple los requerimientos mencionados en el capítulo anterior es el mezclador de doble espiral.

Tomando en cuenta las características de los procesadores horizontales, el equipo piloto contará con: eje horizontal a lo largo del recipiente; listón o espirales unidas a la flecha y a lo largo de toda ella; ohumace ras para fijación de la flecha; utilización de reductores de velocidad - para impulsión de la flecha; transmisión de potencia por medio de cadenas; estara enchaquetado para proporcionar el medio de calentamiento y por último contará con una boquilla para la extracción de vapores.

Ahora bien para la recuperación del solvente se usará un condensador de vidrio (tubular o de Friedrich) y en caso de ser necesario una trampa de agua. El equipo piloto se construirá en acero inoxidable tipo 304 y sus dimensiones se seleccionaran tomando un valor de la relación L/D (longitud/diámetro) característico de los equipos de proceso horizontal; --- considerando que al escalar el equipo las dimensiones del espacio disponible sean suficientes.

Características del Equipo.-

- 1.- El cuerpo del secador será tubería de acero inoxidable (tipo 304) de 4 pulgadas de diámetro con un orificio central de descarga (fig. 14)
- 2.- La chaqueta será tubería de 6 pulgadas de diámetro en acero al carbón
- 3.- Las tapas y lado recto seran de placa de acero inoxidable de 3/16 pulgadas de espesor. Todas las uniones serán soldadas.
- 4.- La tapa del secador también de acero inoxidable tendrá una compuerta de carga y una boquilla para la succión de vapores.
- 5.- La flecha de acero inoxidable será un redondo de media pulgada de --- diámetro con una longitud de 58 cm.



- 1.- Cople entrada de vapor.
- 2.- Cople de Descarga.
- 3.- Cople salida de vapor (condensado).
- 4.- Compuerta de carga.
- 5.- Cople entrada termómetro.
- 6.- Cople salida de vapores.

Fig. 4

EQUIPO PILOTO
CUERPO Y TAPA

FIGURA No. 14.- EQUIPO PILOTO

- 6.- La agitación del producto sera suministrada por una espiral doble que moverá el material a uno y otro lado del secador. Se escoje este tipo de espiral ya que el espacio abierto entre la espiral y el tubo elimi na la acumulación del material sobre la espiral y la flecha (fig.15)
- 7.- La impulsión de la flecha se hará por medio de un motor de un cuar to (1/4), de HP con 1450 rpm., acoplado a un reductor con una relación de reducción de 20/1. El movimiento es transmitido por un juego de - catarinas de 2 y $2\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro y por medio de una cadena de longitud de 157 cm.
- 8.- El calentamiento se hará por medio de vapor para lo cual se usa tube ría negra de 1 púlg. de diámetro con valvula y manometro. La línea de retorno de condensados será también de acero al carbón y de $\frac{1}{4}$ pulgada de diámetro con una trampa de vapor termodinámica.
- 9.- La instrumentación utilizada fué la siguiente: un termómetro de tallo para medir la temperatura en el interior del secador, un manometro -- para controlar la presión de la chaqueta del secador, una valvula pa- ra regular el paso de vapor, una trampa de vapor termodinámica y una bomba de vacio.

En las siguientes fotografías y en la figura no.16 se pueden apreciar los detalles del equipo piloto así como el diagrama de instalacion con el que se llevó a cabo el corrido de pruebas.

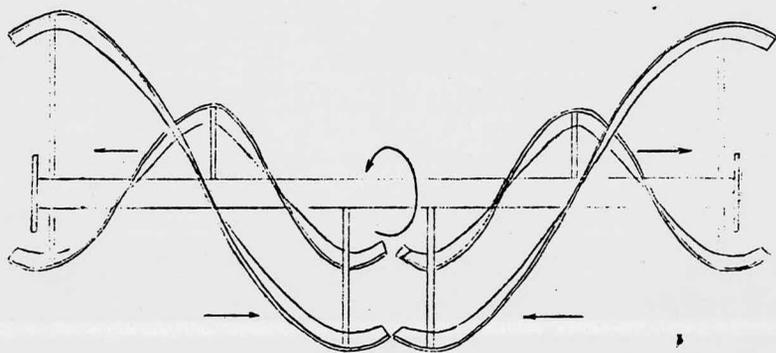


FIGURA No. 15 LISTON MEZCLADOR

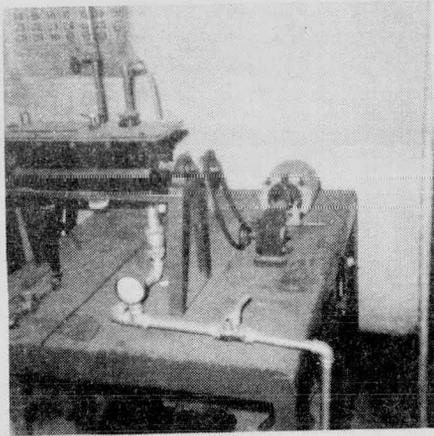


Fig. 6
Fotografia No. 1

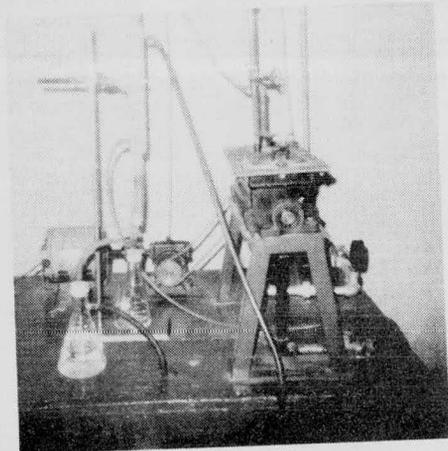


Fig. 7
Fotografia No. 2

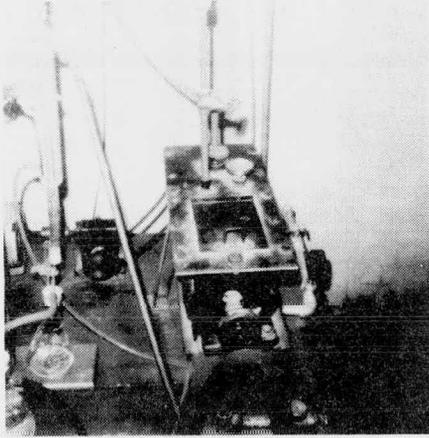


Fig. 8
Fotografia No. 3

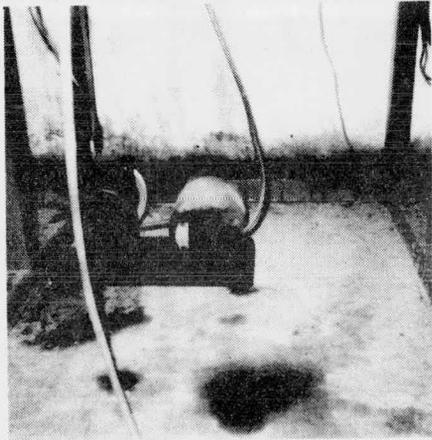


Fig. 9
Fotografia No. 4

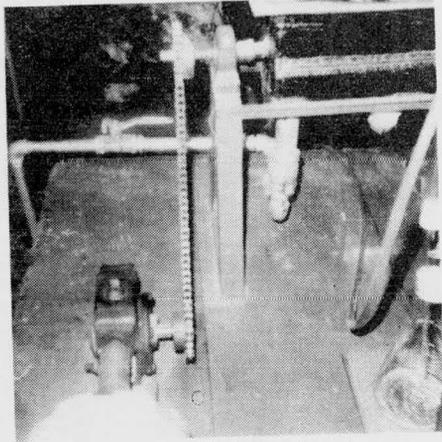


Fig. 10
Fotografia No. 5

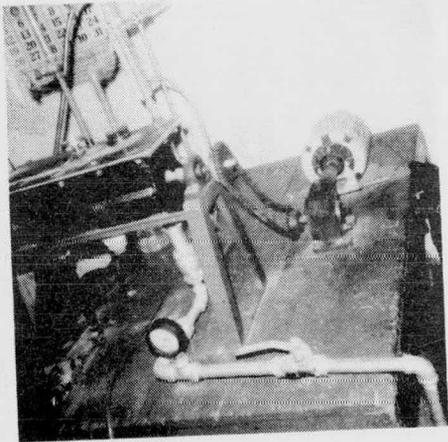


Fig. 11
Fotografia No. 6

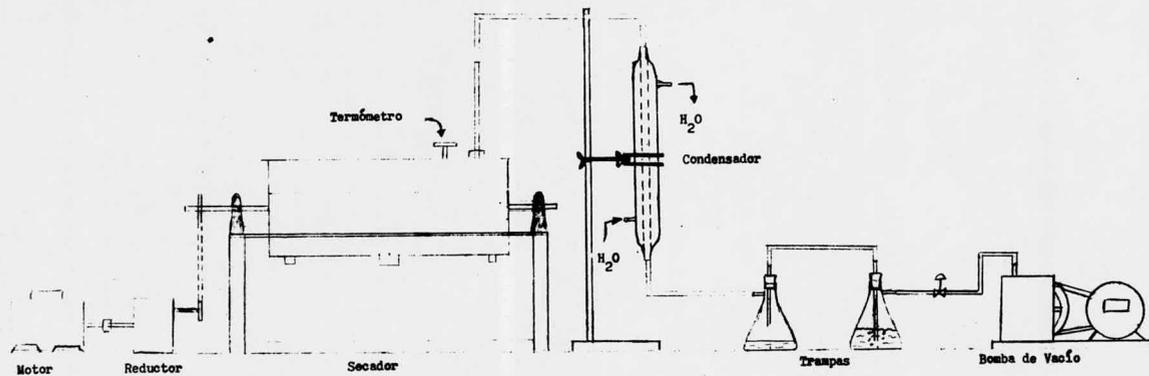


Fig. 12

FIGURA NO. 16.-SISTEMA EXPERIMENTAL PILOTO

C A P I T U L O 7

CORRIDO DE PRUEBAS EN EL EQUIPO PILOTO.

Una vez que se tiene el equipo montado como lo muestran las fotografías de la 1 a la 6, se procede a efectuar el corrido de pruebas, por medio del siguiente sistema: se pesa y se mide la humedad del producto, se — arranca el sistema de agitación y se carga el sólido húmedo (evitando pérdidas de solvente por evaporación). Posteriormente se mete vapor a — la chaqueta con el objeto de calentar a 70°C. (inicialmente ya que se tratará de determinar la temperatura de operación), dicha temperatura — se regulará por medio de la presión en la chaqueta del secador; así — mismo deberá checar que funcione la trampa de vapor. La circulación — de agua en el condensador deberá estar conectada desde el inicio de la prueba. Finalmente se conecta la fuente de extracción. Se tomarán mues— tras a diferentes intervalos de tiempo para poder determinar el avance del secado. Los resultados de las pruebas se resumen en la tabla No. X.

OBSERVACIONES IMPORTANTES.

- 1.- Como se puede ver en todas las pruebas a vacío, a los 30 minutos — el producto queda completamente seco, lo cual demuestra su gran fa— cilidad para secar.
- 2.- Se efectuó una prueba sin vacío y el solvente se condensó totalmen— te en la tapa, no pasó absolutamente nada hacia el condensador. Hu— bo fugas de solvente por la tapa.
- 3.- Al efectuar la prueba sin control del vacío (prueba No. 8), se — tuvo una mayor velocidad de secado pues se observó un mayor flujo — de vapores, sin embargo la malla usada para evitar el arrastre de — los finos se obstruyó con producto. El solvente se pasó hasta — la bomba de vacío en donde condensó aproximadamente un 15%.
- 4.- Al utilizar vacío parcial y condensador ya sea tubular o de Frie— drich, se obtuvo prácticamente un 50 % de recuperación del solvente condensándose parte del restante en la bomba de vacío y perdiéndose lo demás.

- 5.- Utilizando el sistema del punto anterior, pero con trampa de agua - (burbujec de los vapores en agua, una vez que salen del condensador y antes de llegar a la bomba de vacío), la recuperación del solvente asciende a un 75%.
- 6.- A pesar de que hay arrastre de finos dicha cantidad es despreciable (aproximadamente 1 %).

CONCLUSIONES DEL CORRIDO DE PRUEBAS.

1.- Condiciones de Operación.

Presión en la chaqueta del secador: 0.2 a 0.5 Kg/cm²

Temperatura de operación: 70 a 80 °C

2.- Incrustación y Corrosividad del equipo.

Nulas. No se pegó producto - a las paredes del secador, ni se presentó algún signo de corrosión.

3.- Arrastre de polvos finos.

Nulo o despreciable cuando se controló el vacío.

4.- Vacío requerido.

No se requiere gran vacío. Se recomienda un ventilador extractor como equipo de evacuación.

5.- Velocidad de Secado:

Como puede verse en la tabla No. X, no se pudo apreciar el avance del secado debido a la velocidad de respuesta - tan extraordinariamente alta, por lo que no fué posible obtener valores de humedad. Estas pruebas demostraron la gran facilidad de - secado del producto y permitieron obtener las condiciones de operación.

6.- Recuperación del solvente:

Aunque este punto será tratado con más - detalle en el capítulo 9, se quiere mencionar que los porcentajes -

de recuperación no fueron más altos debido fundamentalmente a dos factores, al diseño del sistema de condensación utilizado y la baja conductividad del vidrio, factores que afectaron la transferencia de calor y bajaron el porcentaje de recuperación.

Cabe mencionar que a escala industrial estos factores deberán — eliminarse.

TABLA No. x

PRODUCTO: 2,2'METILEN BIS (3,4,6 TRICLOROFENOL)

PRUEBAS DE SECADO

(unidades)

Cantidad de muestra (húmeda), Kg.	1.700	1.800	1.700	1.700	1.700	1.700	1.744	1.787
Cantidad de Producto seco, Kg.	1.525	1.560	1.478	1.496	1.560	1.601	1.530	1.571
% de Humedad Inicial, (base húmeda)	10,35	13,3	13,1	12,0	8,2	5,8	10,7	12,0
% de Humedad Inicial (base seca)	11,54	15,34	15,07	13,63	8,93	6,15	11,98	13,63
Presión de vapor en la chaqueta, Kg/cm ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Temperatura de la Prueba, °C	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70
Temperatura del Producto, °C	70	70	70	70	70	70	70	70
Humedad del Producto a los: 20 min.	-	-	-	-	-	-	-	-
Humedad del Producto a los: 30 min.	0	0	0	0	6,15	-	-	-
Humedad del Producto a los: 40 min.	-	-	-	-	-	0	0	-
Cantidad a recuperar de solvente, Kg	0,175	0,24	0,222	0,204	0,199	0,099	0,183	0,215
Cantidad recuperada de solvente, Kg	0,091	0,136	0,1675	0,151	-	0,084	0,097	0,115
Porcentaje de recuperación	53	57	75,5	74,4	-	84,3	53	53
RPM de la cinta	64	64	64	64	64	64	64	64
Arrestre del Producto	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Incorustación del Equipo	No							
Observaciones *	Nota 1*	Nota 2*	Nota 3*	Nota 4*	Nota 5*	Nota 6*	Nota 7*	Nota 8*

* Ver siguiente hoja.

- NOTA 1.- Se uso vacío sin regular y pasó solvente hasta la bomba de vacío. Se usó condensador tubular de vidrio. Hay arrastre de producto.
- NOTA 2.- Se usó vacío sin regular y pasó solvente hasta la bomba de vacío. Se usó condensador de vidrio Friedrich. Hay arrastre de producto.
- NOTA 3.- Se usó vacío sin regular con trampas de agua y condensador de vidrio. Hay arrastre de producto. También se observa - aumento en la recuperación del solvente.
- NOTA 4.- Se usó vacío sin regular con trampas de agua condensador de vidrio y malla en la succión de vapores. Disminuye el arrastre de producto y se queda producto en la malla.
- NOTA 5.- No se usa vacío. Todo el solvente se condensa en la tapa. No pasa nada hacia el condensador, hay fugas.
- NOTA 6.- Con vacío controlado, trampas de agua, condensador de --- vidrio y malla, se logra un aumento en la recuperación del solvente.
- NOTA 7.- Con vacío controlado, condensador de vidrio y malla. Disminuye la recuperación de solvente. Se queda producto en la malla.
- NOTA 8.- Con vacío sin regular, condensador de vidrio y malla. Hay mayor rapidez de evacuación de los vapores pero aumenta el arrastre y disminuye la recuperación del solvente. Mayor cantidad de producto en la malla. Pasa solvente hasta la bomba de vacío.

C A P I T U L O 8

ESCALAMIENTO DEL SECADOR

El procedimiento de escalación se llevará a cabo básicamente por similitud geométrica, sin embargo antes se quiere dar un bosquejo general sobre los conceptos de similitud.

La similitud geométrica es la más importante aplicación del concepto de similitud para problemas de agitación y también el más fácil de comprender. Cuando se aplica la similitud geométrica a la escalación el diseño del equipo de proceso está basado en las dimensiones de un modelo a escala.

El principio de similitud se refiere a las relaciones entre sistemas físicos de diferentes tamaños y es fundamental para el escalamiento de procesos físicos y químicos. En el campo de la ingeniería química, el principal uso de la similitud ha sido para correlacionar el desarrollo de mezcladores geoméricamente similares.

Los objetos materiales y sistemas físicos en general son caracterizados por tres cualidades: Tamaño, Forma y Composición. Las tres variables son independientes, así que dos objetos pueden diferir en tamaño y tener la misma forma y composición, o pueden ser iguales en forma pero diferentes en tamaño y materiales. Este principio establece que la configuración espacial y temporal de un sistema físico está determinada por relaciones de magnitudes dentro del mismo sistema y no dependen del tamaño o naturaleza de las unidades con las cuales son medidas estas magnitudes.

El Ing. Químico está relacionado con sistemas complejos compuestos de cuerpos sólidos y fluidos en los cuales se puede llevar a cabo la transferencia de materia y energía así como un cambio químico.

El concepto de "forma" aplicado a estos sistemas involucra no solamente las proporciones geométricas de sus miembros sólidos y superficies sino también factores tales como: Patrones de flujo, gradientes de temperatura, perfiles de tiempo-concentración, etc. los sistemas que tienen la misma configuración en uno o más de estos aspectos se dice que son similares, la similaridad puede definirse en dos formas, una especificando las relaciones entre las diferentes medidas en el mismo cuerpo y otra por medidas correspondientes en diferentes cuerpos, la forma geométrica de un cuerpo es determinada por sus proporciones intrínsecas, es decir la relación de altura a diámetro y diámetro a espesor, etc.; en cuerpos geoméricamente similares todas sus relaciones son constantes. Alternativamente cuando dos cuerpos geoméricamente similares son comparados, hay una relación constante entre sus respectivas alturas, diámetros y otras medidas correspondientes, la cual es llamada como una relación de escala. Este segundo método tiene la ventaja práctica de que una simple relación de escala sustituye a un número de factores de forma o relaciones intrínsecas. Por esta razón, la similaridad geométrica se define mejor en términos de correspondencia y relaciones de escala, pero cuando esto se hace con otras variables tales como velocidad, fuerza y temperatura pueden ser definidos generalmente por una relación simple e intrínseca para cada sistema. Una correspondencia geométrica punto a punto entre dos sistemas asegura que, si todos los valores de la relación intrínseca son iguales, entonces los valores correspondientes serán iguales en todo el sistema.

En Ingeniería Química se tienen cuatro estados de similaridad importantes:

- A) Similaridad Geométrica
- B) Similaridad Mecánica
- C) Similaridad Térmica
- D) Similaridad Química

Estrictamente hablando cada uno de los estados necesita de todos los otros. Por ejemplo, una similaridad química completa requeriría similaridad térmica, mecánica y geométrica. En la práctica a menudo es necesario aceptar una aproximación para la similaridad química con diferencias importantes en alguna de las otras.

En todos los casos de similaridad se presentan factores o efectos de distorsión que a menudo pueden ser despreciables. Cuando no es posible despreciarlos dan lugar a una corrección cuando los resultados experimentales han de ser escalados. Al hablar de similaridad es necesario frecuentemente referirse a cantidades correspondientes y sus relaciones en sistemas similares. Los símbolos primos (x'), siempre se relacionan con los sistemas a gran escala y los no primos (x), a magnitudes correspondientes en el modelo. Por lo anterior L' denotaría una longitud dada en un equipo prototipo o a gran escala y L sería la longitud correspondiente en el modelo geoméricamente similar:

$$L = \frac{L'}{L} = \text{relación lineal de escala}$$

$$V = \frac{v'}{v} = \text{relación de velocidades correspondientes}$$

El numerador se refiere siempre al sistema de gran escala, es decir L es siempre mayor que la unidad independientemente de si el modelo está siendo comparado con el prototipo o viceversa.

SIMILARIDAD GEOMÉTRICA.-

Como se ha dicho la similaridad geométrica se define mejor en términos de correspondencia, considerense dos cuerpos sólidos provistos con tres ejes imaginarios de tal modo que cada punto sea descrito por tres

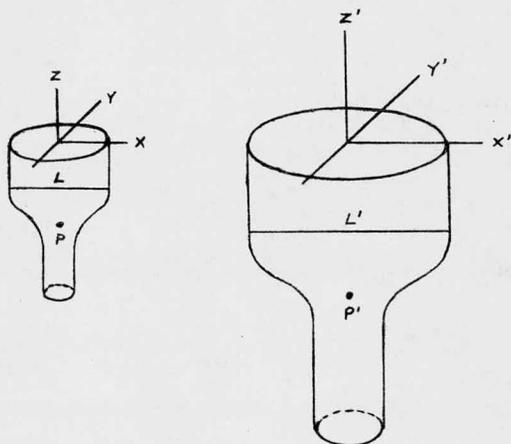
coordenadas. Si se tiene ahora un punto dentro del primero cuyas coordenadas son x, y, z y un punto dentro del segundo con coordenadas x', y', z' , estas últimas se relacionan con las del primer cuerpo para dar:

$$\frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{z'}{z} = L$$

Donde la relación lineal de escala L es constante. Estos dos puntos y todos los que se relacionen en términos de L son conocidos como puntos correspondientes.

"Dos cuerpos son geoméricamente similares cuando a todo punto en un cuerpo existe un punto correspondiente en el otro".

El concepto de similaridad geométrica se ilustra en la siguiente figura, x y x', y e y', z y z' con coordenadas correspondientes, P y P' -- son puntos correspondientes y L y L' son longitudes correspondientes.



Una replica geoméricamente similar del prototipo en una escala más pequeña con iguales relaciones de escala en todas direcciones es llamado modelo

SIMILARIDAD MECÁNICA.-

La similaridad mecánica, comprende la similaridad estática, la similaridad cinemática y la similaridad dinámica.

"Los cuerpos geoméricamente similares son estáticamente similares cuando bajo esfuerzos constantes, sus deformaciones relativas son tales que permanecen geoméricamente similares".

La similaridad estática es de principal interés para los ingenieros mecánicos, quienes emplean modelos para producir la deformación en estructuras o cuerpos de forma complicada.

La similaridad cinemática se refiere a sistemas sólidos o fluidos en movimiento. Este concepto introduce una dimensión adicional que es el tiempo.

"Sistemas geoméricamente similares y moviéndose, son similares cinemáticamente cuando partículas correspondientes trazan trayectorias similares en intervalos de tiempo correspondientes".

El concepto de una relación escalar de tiempo es menos familiar que una relación escalar lineal y para propósitos de ingeniería es a menudo más conveniente usar el término de velocidades correspondientes.

La similaridad dinámica se refiere a fuerzas que aceleran o retardan el movimiento de masas en sistemas dinámicos. Fuerzas de la misma clase —

(gravitacional, centrífuga, etc.), que actúan sobre partículas correspondientes en tiempos correspondientes serán llamadas fuerzas correspondientes.

En máquinas o movimientos mecánicos cuyas partes son forzadas a seguir trayectorias fijas, es posible tener similaridad cinemática sin ninguna relación fija de fuerzas aplicadas. En una máquina únicamente algunas de las fuerzas sirven para acelerar el movimiento de masas, otras fuerzas producen esfuerzos estáticos en las partes de construcción, otras vencen la resistencia friccional y otras son disipadas como calor.

"Sistemas similares geoméricamente y en movimiento son dinámicamente -- similares cuando las relaciones de todas las fuerzas correspondientes -- son iguales". En sistemas de flujo de fluidos, la similaridad dinámica es de importancia en casos donde se desean predecir caídas de presión o consumos de energía.

SIMILARIDAD TÉRMICA.-

La similaridad térmica se refiere a sistemas en los cuales hay un flujo de calor y se introduce la dimensión de temperatura.

El calor fluye de un punto a otro por radiación, conducción, convección y por movimiento de materia debido a un gradiente de presión. Para los tres primeros procesos es necesaria una diferencia de temperaturas. El cuarto proceso de transferencia de calor (por movimiento de materia), -- depende de la forma de movimiento o patrón de flujo en el sistema. Por -- lo tanto la similaridad térmica en sistemas en movimiento necesita de la similaridad cinemática.

"Los sistemas geoméricamente similares son térmicamente similares cuando diferencias correspondientes de temperaturas guardan una relación constante uno a otro y cuando los sistemas sí se mueven son cinemáticamente similares".

Si H_r , H_o , H_v y H_f representan el flujo de calor por segundo por radiación, convección, conducción y por transporte de materia respectivamente a través de un elemento de área transversal, entonces por similaridad - térmica:

$$\frac{H_r'}{H_r} = \frac{H_o'}{H_o} = \frac{H_v'}{H_v} = \frac{H_f'}{H_f} = H \text{ Constante}$$

Alternativamente en términos de relaciones intrínsecas:

$$\frac{H'r}{H'o} = \frac{H_r}{H_o} \quad \frac{H'v}{H'v} = \frac{H_r}{H_v} \quad \frac{H'f}{H'f} = \frac{H_r}{H_f}$$

En general, no es posible mantener las tres relaciones simultáneamente en todos los puntos y la similaridad térmica puede establecerse únicamente cuando la radiación, conducción y convección sean despreciables.

SIMILARIDAD QUÍMICA.-

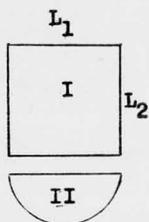
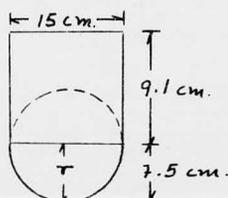
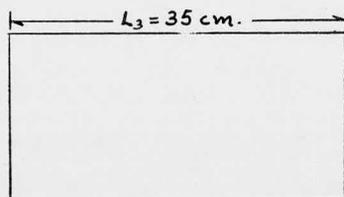
La similaridad química se refiere a sistemas químicamente reactivos en los cuales la composición varía de punto a punto y de instante a instante ya sea en procesos intermitentes o continuos. La similaridad química necesita de la similaridad térmica y cinemática y depende más bien de las diferencias de concentración en cada punto que de la concentración absoluta.

"Sistemas similares geométrica y térmicamente son similares químicamente

cuando diferencias de concentración correspondientes guardan relaciones constantes uno a otro y cuando los sí se mueven son cinemáticamente similares.

Con todo lo anterior en la construcción del equipo a escala industrial se trataran de mantener las similaridades mecánicas y termicas, construyendo el equipo estrictamente con similaridad geométrica, la similaridad química no interviene ya que no hay ninguna reacción química.

Para poder desarrollar este método se tomarán como base las dimensiones del equipo piloto y sus relaciones intrínsecas.



$$V = V + V$$

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$$

$$V = 1/2 (r \cdot L_3)$$

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 + 1/2 (r \cdot L_3)$$

L_1 = ancho o diámetro

L_2 = lado recto

L_3 = largo

r = radio

El procedimiento a seguir será el siguiente:

Se darán valores de L_3 considerando el espacio disponible y se calculará el volumen total del equipo, una vez que se tengan varios datos se graficará L_3 contra volumen total y se obtendrán las dimensiones para un volumen de 750 litros.

Se usaran las siguientes relaciones intrínsecas del equipo piloto:

$$\frac{L_3}{L_1} = \frac{35}{15} = 2.3333 \quad \left(\frac{\text{longitud}}{\text{diámetro}} \right)$$

$$\frac{L_2}{r} = \frac{9.1}{7.5} = 1.2133 \quad \left(\frac{\text{lado recto}}{\text{radio}} \right)$$

1.- Considerando $L_3 = 2.0$ m.

$$a) \frac{L_3}{L_1} = 2.3333 ; \frac{L_1}{D} = \frac{2.00}{2.3333} = 0.8571 \longrightarrow r = 0.4285$$

$$b) \frac{L_2}{r} = 1.2133 ; L_2 = 1.2133 \times 0.4285 \longrightarrow L_2 = 0.5198$$

$$c) L_1 = D = 0.8571 ; L_2 = 0.5198 ; L_3 = 2.00 ; r = 0.4285$$

$$d) \text{Vol. Tot.} = 0.8571 \times 0.5198 \times 2.00 + \frac{1}{3} (\pi (0.4285)^2 \times 2.00)$$

$$= 0.8910 + 0.5768$$

$$\text{Vol. Tot.} = 1.4678 \text{ m}^3 \cong 1468 \text{ Lts.}$$

2.- Considerando $L_3 = 1.5$ m.

$$a) L_1 = \frac{1.50}{2.333} = 0.6428 \longrightarrow r = 0.3214$$

$$b) L_2 = 1.2133 \times 0.3214 = 0.3899$$

$$c) L_1 = 0.6428 ; L_2 = 0.3899 ; L_3 = 1.5 ; r = 0.3214$$

$$d) \text{Vol. Tot.} = 0.6428 \times 0.3899 \times 1.5 + \frac{1}{3} (\pi (0.3214)^2 \times 1.5) \\ = 0.3759 + 0.2433$$

$$\text{Vol. Tot.} = 0.6192 \text{ m}^3 = 619 \text{ Lts.}$$

3.- Considerando $L_3 = 1.8$ M.

$$a) L_1 = 0.7714 \longrightarrow r = 0.3857$$

$$b) L_2 = 0.4679$$

$$c) L_1 = 0.7714 ; L_2 = 0.4679 ; L_3 = 1.8 ; r = 0.3857$$

$$d) \text{Vol. Tot.} = 0.6496 + 0.4206$$

$$\text{Vol. Tot.} = 1.0702 \text{ m}^3 = 1070 \text{ Lts.}$$

Graficando estos valores tenemos:

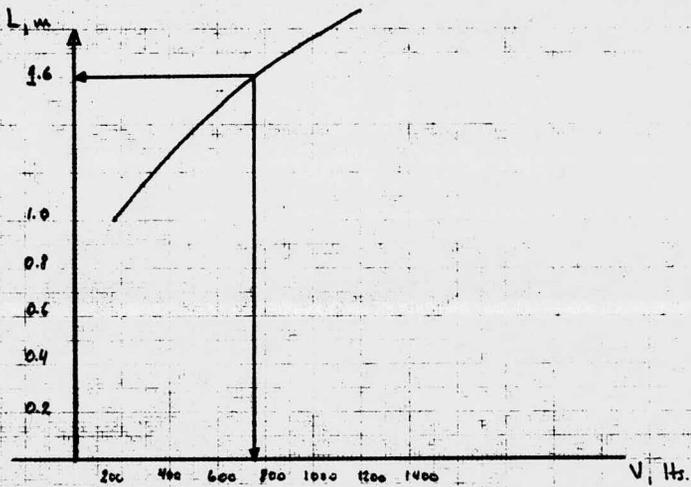


FIGURA No. 17 GRAFICA PARA EL ESCALAMIENTO

De la gráfica podemos ver que para un volumen de 750 lts. necesitamos un equipo con una longitud de 1.6 mts. (L_3).

Con esta longitud fijada las dimensiones del equipo serán:

$$A) L_1 = \frac{1.60}{2.3333} = \underline{0.6857} \text{ m. } \cdot \cdot \cdot \quad r = \underline{0.3428} \text{ m.}$$

$$B) L_2 = 1.2133 \times 0.3428 = \underline{0.4159} \text{ m}$$

e.d.:	Largo	=	1.6 metros
	Ancho	=	0.6857 metros
	Diámetro	=	0.6857 metros
	Radio	=	0.3428 metros
	Lado recto	=	0.4159 metros

Una vez que se tienen las dimensiones del equipo a escala industrial, se puede ver que el espacio disponible (1.5 m x 2.6 m.), es suficiente - para su instalación.

Con todos los datos que se tienen, las cotizaciones con los fabricantes se hicieron con las siguientes bases:

EQUIPO: Mezcladora de doble cinta enchaquetada, tapa plana de acceso rápido, boca de descarga al centro con compuerta manual deslizante.

APLICACION: Secado de un producto orgánico de una humedad inicial de 16.6 % a una humedad final de 0.1% por evaporación, operando a una - temperatura máxima de 120°C y utilizando como medio de calentamiento vapor a 3.5 Kg/cm² de presión.

CAPACIDAD TOTAL: 750 litros.

DIMENSIONES: Arteza de 0.6857m. de diámetro por 1.6 m. de longitud — por 0.7587 m. de altura.

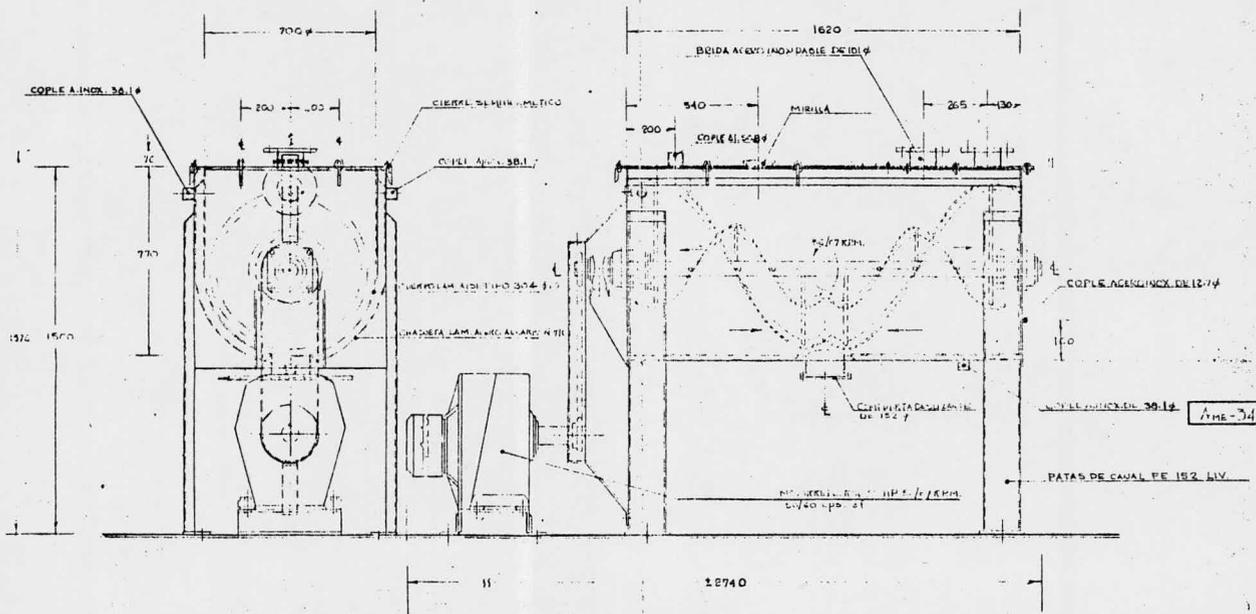
SISTEMA DE MEZCLADO: Integrado por dos listones según dibujo proporcionado y flecha tubular soportada por chumaceras.

MATERIALES DE CONSTRUCCION: La mezcladora se fabricará totalmente en acero inoxidable tipo 304 en todas las partes en contacto con el — producto.

MANDO: Integrado por el motorreductor que recomiende el fabricante de acuerdo a las características de nuestro material. Deberá mantenerse la velocidad de salida en la — flecha de aprox. 60 r.p.m.

CHAQUETA: Cubrirá la parte cilíndrica del mezclador.

Una vez que se tuvieron las cotizaciones y en base a mejores condiciones en: precio, tiempo de entrega y pago, se escogió el mejor proveedor. Ya en forma más formal y detallada las dimensiones del secador se aprecian en la figura 18 .



PERFIL

VISTA LATERAL

— Fricción máxima de trabajo: 2 kg/cm²
 (conisa)
 — Pro. En. Ind. Quím. (Atenas, Grecia)

MEZCLADOR TIPO LISTON

U.N.A.M.

F. QUIMICA

CAPACIDAD: 750 Lts.

TESIS PROFESIONAL 1978

ESCALA: 1:20

PLANO SECADOR

FIGURA No. 18

ACOTACIONES: m.m.



C A P I T U L O 9

SISTEMA DE RECUPERACION PROPUESTO

El objeto de recuperar el solvente obedece básicamente a dos razones:

- a) Costo del Solvente
- b) Contaminación Ambiental

El punto primero es importante debido al costo del solvente que es 8.00 \$ 1 Kg.

La importancia del segundo radica en que evitará la contaminación de las áreas de trabajo.

Los sistemas de recuperación del solvente dependen en gran parte de las propiedades físicas del mismo y de las condiciones del proceso en que se trabaja, es por esto que existen alternativas de recuperación como las siguientes:

- 1.- Condensación,
- 2.- Compresión,
- 3.- Adsorción, y
- 4.- Absorción por medio de líquidos

El método de recuperación de solvente por condensación es probalmente el más usado y tiene ciertas restricciones cuando las temperaturas de condensación deben ser muy bajas o cuando hay presencia de incondensables junto con el solvente lo cual requiere de la psicometría.

El método de compresión, industrialmente es muy poco usado, ya que es antieconómico para muchas industrias, además de ser técnicamente difícil de operar. Como es de suponer se requiere de gran cantidad de energía y mayor inversión en los materiales de construcción por los espesores de los equipos utilizados que tendrán que ser más grandes. Además tendrán que usar enfriadores y condensadores con el consiguiente aumento de la inversión.

El método de adsorción se basa en el uso de carbones activados. Esta alternativa es buena siempre y cuando las concentraciones del solvente en el gas sean bastante pequeñas por lo cual no es usado como un método de recuperación de solvente sino más bien para eliminar pequeñas cantidades de vapores peligrosos a corrientes de aire exhausto.

El método de Absorción-desorción, aunque es relativamente sencillo, su uso requiere de equipos adicionales que elevan el costo de la inversión. Esta operación se puede efectuar en columnas de platos, torres empacadas o columnas de disco y dona. Este método aunque requiere de mayor cantidad de equipo que el de condensación es bastante sencillo y consta de una torre para absorber el solvente y otra para desorberlo, además de los equipos necesarios de transferencia de calor y bombeo.

Independientemente del sistema de recuperación utilizado, deberá contarse con una fuente o evacuación de los vapores de solvente en el secador.

Debido al posible arrastre de partículas, deberá contarse con un sistema recolector de polvos que evite la incrustación del equipo de recuperación. Y finalmente un equipo o sistema de condensación del solvente y accesorios adicionales para el funcionamiento de todo el proceso, como son bombas, manómetros, termómetros, etc.

La selección del sistema de recuperación se verá afectada por los recursos económicos de cada compañía en particular y es por esto que a continuación se hace la selección de alternativas.

Sistema de Extracción.- Las fuentes de vacío para estos sistemas consisten en:

- a) Eyectores de vapor,
- b) Bombas de vacío, y
- c) Ventilador-extractor

El eyector de vapor se deshecha debido a los siguientes factores:

- a.1 No se requiere de vacío elevado
- a.2 No se está en condiciones de utilizar gran cantidad de vapor en otro equipo que no sea de fabricación (reactores).
- a.3 No se cuenta con generadores de vapor de gran capacidad.

La bomba de vacío se deshecha por lo siguiente:

- b.1 Costo elevado de adquisición
- b.2 El vacío requerido es pobre.
- b.3 Se tendría mayor arrastre de polvos
- b.4 El sistema de condensación tendría que ser sumamente efectivo para evitar que los vapores de solvente pasaran al interior de la bomba.

Debido a lo anterior se selecciona como fuente de extracción un extractor ventilador que nos dará las siguientes ventajas:

- 1.- Bajo costo de adquisición
- 2.- Vacío suficiente para la extracción de vapores, y
- 3.- Arrastre de polvos mínimo.

I.- CONDICIONES DEL SOLIDO HUMEDO:

Tamaño de la Carga = 240 Kgs. de Sólido Húmedo
 Humedad Inicial = 16.6% (Base Húmeda)
 Humedad Final = 0.1% (Base Húmeda)

Solvente a recuperar p/carga = 39.60 Kgs.

II.- CONDICIONES DE OPERACION:

Temperatura de la cámara de secado = 80°C
 (Determinada Experimentalmente)

Presión sobre la chaqueta del equipo = 1.0 - 1.5 Kg/Cm²
 (con vapor)

Presión en la cámara de secado = atmosférica

La figura No. 19 muestra el sistema de condensación propuesto.

III.- CRITERIOS DE SELECCION:

1.- Fácilidad de Construcción.

La Fig. 20, muestra las dimensiones y detalles de los condensadores. Como puede verse, el equipo es muy simple, pudiéndose construir en cualquier taller de pailería.

2.- Baja Inversión.

El condensador secundario requiere de una inversión relativamente baja (Los costos se dan en el capítulo de costos).

3.- Bajo Costo de Operación.

Dado que la cantidad de solvente es muy poca, el motor del extractor es muy pequeño y el agua requerida seguramente poca: estos - costos son practicamente despreciables (se calculan en el capítulo de costos).

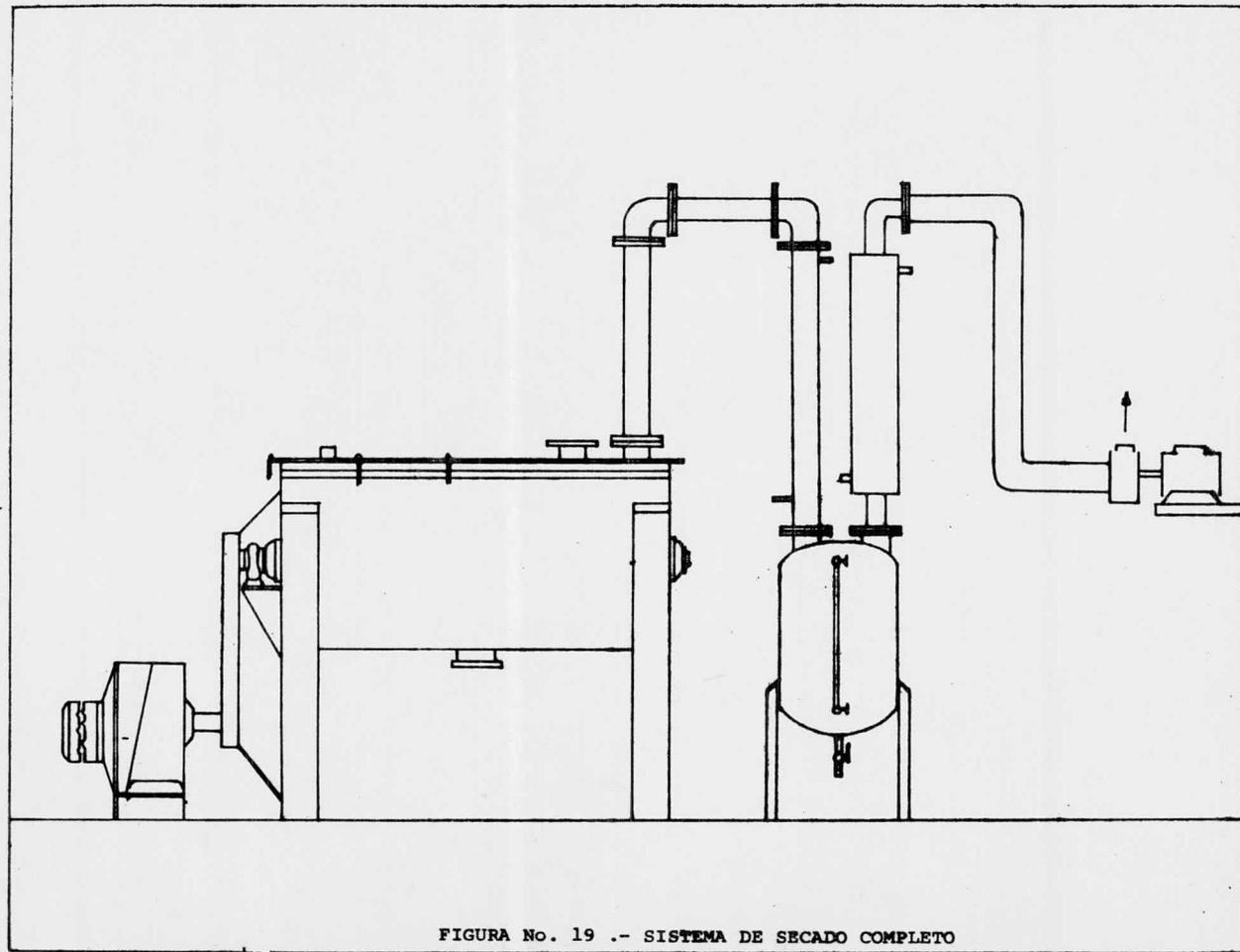


FIGURA No. 19 .- SISTEMA DE SECADO COMPLETO

4.- Facilidad de Operación.

La operación del equipo es muy sencilla pues ésta consiste en arrancar el extractor una vez que la temperatura de la cámara llegue a 80°C , antes deberá checar la circulación del agua a través de los condensadores.

5.- Bajo costo de mantenimiento.

El mantenimiento consistirá básicamente en la limpieza de los condensadores y los ductos.

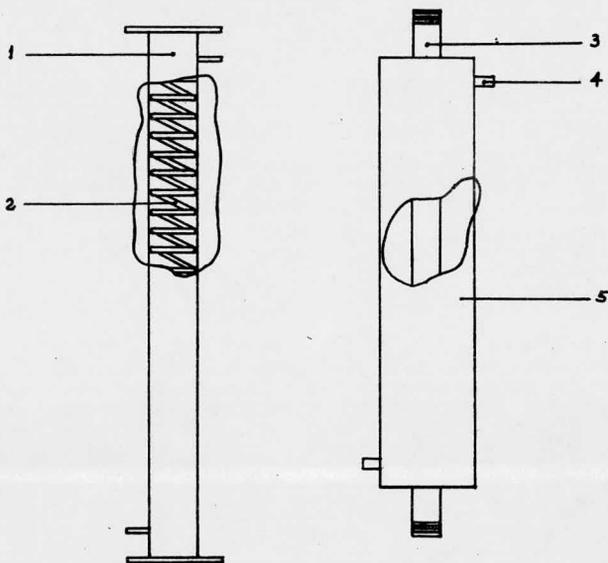
DESCRIPCION DEL SISTEMA:

El ducto es de vidrio, de 4" de diámetro hasta antes del 1er condensador:

Condensador Primario: Este es un tubo de cobre de 300 cm. de largo, diámetro $3/4$ " colocado a manera de serpentín. El agua fluirá por el serpentín y los vapores por la carcasa la cual es de lámina galvanizada.

Equipo de Extracción:

Extractor de tipo centrífugo, equipado con motor de $1/4$ HP, para manejar un gasto de 15 MCM, 1" PE.



CONDENSADOR PRIMARIO

- 1.- Tubo A.C. de 101.6mm. de \varnothing
 2.- Serpentin con tubo de cobre
 de 12.7 mm. de \varnothing

CONDENSADOR SECUNDARIO

- 3.- Tubo A.C. de 50.8 mm. de \varnothing
 4.- Cople A.C. de 19.0 mm. de \varnothing
 5.- Tubo A.C. de 152.4 mm. de \varnothing

Figura No. 20. CONDENSADORES.

C A P I T U L O 10

COSTOS

Se dividirán en dos grupos: por una parte el costo instalado (Inversión más Instalación) y por otra los costos anuales de secado.

En virtud de que se cuenta con datos reales (proveedores), de muchos renglones de las tablas XI y XII, amén de que se sabe donde se colocará el equipo, los costos serán realísticamente conocidos, es decir el grado de estimación será muy bajo.

A.- COSTO INSTALADO.

a)	Costo Libre a Bordo muestra Planta (Incluye motorreductor de 7 1/2 H.P. y agitador de doble cinta de S.S.-316).		\$ 56,480.00
b)	Cimentación		\$ 2,000.00
c)	Aislamiento (Cuerpo y Tuberías)		\$ 852.00
d)	Accesorios		
	d.1) Tubería	\$ 500.00	
	d.2) Válvulas	\$ 3,100.00	
	d.3) Varios (niples, codos, tuercas unión, tees, reducciones, etc.)	\$ 800.00	
	d.4) Instrumentación	\$ 500.00	\$ 4,900.00
e)	Instalación Eléctrica		
	e.1) Motor Secador	\$ 4,918.00	
	e.2) Motor Sistema de Vacío	\$ 1,814.00	\$ 6,732.00
f)	Equipos auxiliares		
	f.1) Tanque colector de Solvente	\$ 2,250.00	
	f.2) Condensador	\$ 5,300.00	
	f.3) Equipo Vacío	\$ 1,249.00	\$ 8,799.00

g) Mano de Obra Instalación (150% Materiales para Instalación)	\$ 11,000.00
h) Contingencias	\$ 11,345.00
TOTAL COSTO INSTALADO	\$ 102,108.00

=====

B.- COSTOS ANUALES DE SECADO

a) Costos Anuales Fijos	
- Depreciación (7 1/2% por año Costo Instalado)	\$ 7,658.10
- Interés sobre Inversión (3% Costo Instalado)	\$ 3,063.24
- Impuesto de Propiedad 1 1/2% Costo Instalado)	\$ 1,531.62
- Seguro (1/2% Costo Instalado)	\$ 510.54
- Mantenimiento Fijo (5% Costo Instalado)	\$ 5,105.40
- Indirectos Miscelaneos (50% mant. fijo)	\$ 2,552.70
TOTAL COSTOS ANUALES FIJOS	\$ 20,421.60

b) Costos Anuales de Operación

- Mano de Obra	
$2.5 \frac{\text{H-hr}}{\text{Carga}} \times \frac{2 \text{ Carga}}{\text{Semana}} \times \frac{49 \text{ semanas}}{\text{Año}} \times \frac{\$ 107.6}{8 \text{ H-hr}}$	\$ 3,295.25
- Supervisión Directa (15% Mano Obra)	\$ 494.30
- Servicios	
Electricidad	
$7.5 \text{ HP} \times \frac{0.7457 \text{ kw}}{1 \text{ HP}} \times 0.85 \frac{\$}{\text{Kw}} \times \frac{3 \text{ hrs.}}{\text{Día}} \times \frac{330 \text{ Días}}{\text{Año}}$	\$ 4,706.30

Para el vapor:

$$Mv \ v = M \ C_p \Delta T + M_s \ \lambda_s = Q$$

$$M = 240 \text{ kg.} = 528 \text{ lbs. (peso del sólido húmedo)}$$

$$C_p = 0.21 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\lambda_s = 50 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} = 90.2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$M_s = 50 \text{ Kgs. de solvente} = 110 \text{ lbs.}$$

$$\Delta T = (176 - 68) = 108 \text{ }^\circ\text{F}$$

M_v = Masa del vapor

$$\text{Presión del vapor} = 1.0 \text{ kg/cm}^2 \quad (\lambda_v = 1035.2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}})$$

$$Q = 528 \times 0.21 \times 108 + 90.2 \times 110 = 21897.0 \frac{\text{BTU}}{\text{carga}}$$

$$M_v = \frac{21897.0}{1035.2} = 21.1 \frac{\text{lb}}{\text{carga}}$$

$$21.1 \frac{\text{lb}}{\text{carga}} \times 1 \frac{\text{carga}}{\text{día}} \times 330 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} \times \$ \frac{0.8}{\text{kg}} = \$2532.00$$

Costo anual por servicios (Electricidad y vapor) \$ 7238.30

- Mantenimiento de Operación \$ 5105.40
(5 % del Costo Instalado)

- Indirectos \$ 5024.14
(75% Mano Obra + 50% Mant. Operación)

- Laboratorio de Control \$ 494.30
(15 % Mano de obra)

TOTAL COSTOS ANUALES DE OPERACION \$ 21,651.69

TOTAL COSTOS ANUALES DE SECADO \$ 42,073.29

TABLA XI PARA ESTIMAR COSTOS FIJOS ANUALES

COSTO	% COSTO INSTALADO
1.- Depreciación	7 1/2% por año (se deprecia completamente en menos de 15 años)
2.- Interés sobre Inversión	3%
3.- Impuesto de Propiedad	1 1/2%
4.- Seguro	1/2% o 1% de el valor depreciado
5.- Costos Indirectos Miscelaneos	50% de costos mant. fijo
6.- Mantenimiento fijo (fixed maintenance)	5 - 10%
T O T A L	1 2 1/2% del costo instalado + - 150% de mantenimiento.

TABLA XII PARA ESTIMAR COSTOS DE OPERACION

1.- Mano de Obra	En base a Experiencia
2.- Supervisión Directa	15% de Mano de Obra
3.- Servicios	
a.- Combustible	De balance de Mat. y calor
b.- Agua	De balance de mat. y calor
c.- Eléctricidad	De potencia
d.- Vapor	De balances de materia y de calor
e.- Vacío	De requerimientos del proceso
4.- Mantenimiento de Operación	3 - 5% Costo Instalado
5.- Costos Indirectos Miscelaneos	75% de Mano de Obra + 50% de Mantenimiento de Operación
* 6.- Accesorios de Operación	10% de Mano de Obra
7.- Laboratorio de Control	15% de Mano de Obra.

* Incluye válvulas, focos, grasa, baleros, tinta, papel instrumentos, etc.

C A P I T U L O 11

ANALISIS DE RESULTADOS.

I.- Selección del Equipo de Secado.

Las fotografías 7, 8 y 9, muestran el equipo seleccionado. Se tuvo la oportunidad de comprobar el funcionamiento del equipo y éste en términos generales es satisfactorio. Se han presentado problemas en la flecha, en donde el esfuerzo a la torción es mayor que el esfuerzo permisible, pues en ocasiones ésta se ha roto.

II.- Sistema de recuperación propuesto.

Con el equipo de condensación propuesto, la recuperación de solvente es de 70%.

La recuperación no es del todo satisfactoria, por lo que a continuación se analiza someramente el comportamiento del equipo, particularmente los calores eliminados en los condensadores.

La extracción se efectúa con entrada de aire (recuérdese que el equipo no es hermético) por lo que es una CONDENSACION DE UN VAPOR DE UN GAS NO CONDENSABLE.

CALOR ELIMINADO EN EL PRIMER CONDENSADOR.

Las propiedades del fluido caliente y frío representan por letras mayúsculas y minúsculas respectivamente. El subíndice A se refiere al vapor (solvente) y el B al aire.

Condiciones de proceso requeridas.

Fluido Caliente = T_1, T_2, W, C_p ,

Fluido Frío = t_1, t_2, w, c_p ,

Los diámetros de los tubos (ducto y serpentín) son dados, así como las dimensiones del equipo restante.

W , debe ser calculada, midiendo la P a la entrada del condensador.

P , debe ser calculada a condiciones estandar de T_1 y P .

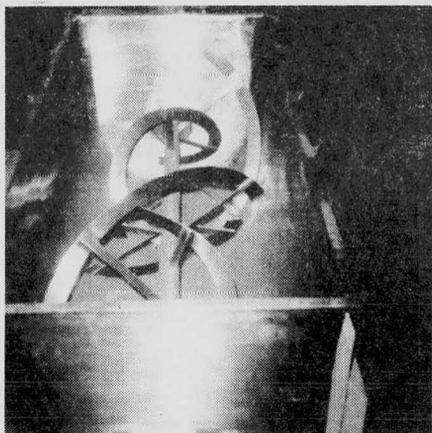
w , debe ser conocida experimentalmente.

De T_1, T_2, t_1 y t_2 calcular Q_1

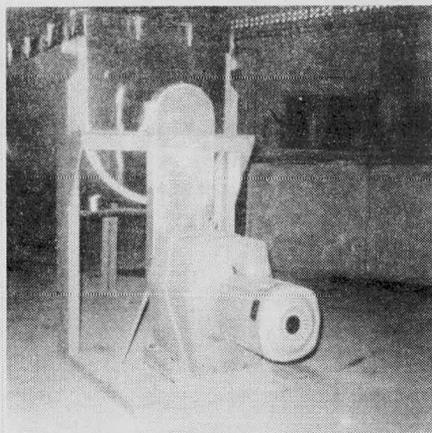
$$Q_1 = w c_p (t_1 - t_2) = W_B C_{PB} (T_1 - T_2) + W_A \lambda + W_A C_{PA} (T_1 - T_R)$$

$$T_R = T_{\text{Rocio}}$$

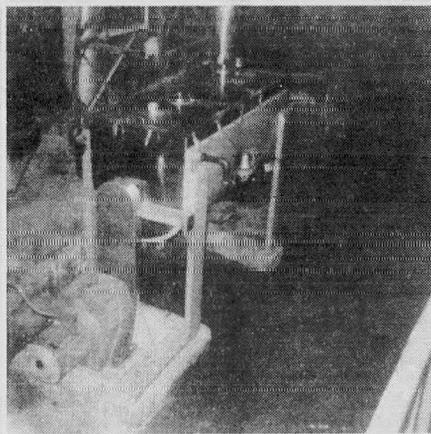
Cálculo de la temperatura de rocío de la mezcla entrando al primer condensador.



Fotografia No. 7



Fotografia No. 8



Fotografia No. 9

- 1.- Deberá estimarse o determinarse experimentalmente la masa del solvente en la corriente.
- 2.- Obtener la fracción mol del solvente en la mezcla.
- 3.- Obtener la presión parcial del solvente.
- 4.- Con la presión parcial = presión de vapor y la Fig. 21 se obtiene la temperatura de rocío.

CALOR ELIMINADO EN EL SEGUNDO CONDENSADOR

De T_1 (temperatura del tanque de almacenamiento), T_2 , t_1 y t_2 calcular Q_2

$$Q_2 = w C_p (t_1 - t_2) = W_B C_{pB} (T_1 - T_2) + W_A \lambda_A + W_A C_p (T_1 - T_R)$$

$$T_R = T_{\text{Rocío}}$$

Cálculo de la temperatura de rocío de la mezcla entrando al segundo — condensador.

- 1.- Medir la presión en el tanque de almacenamiento.
- 2.- Con T_1 y la fig. 21, se obtiene la presión de vapor del solvente (p^o_A)
- 3.- Cálculo de las moles de vapor sin condensar.

Moles sin condensar = Moles de aire $\times \frac{p_A}{P_T - p_A}$ donde P_T = presión en el tanque.

- 4.- Con 3.- se obtiene la fracción mol del solvente.

$$Y_A = \frac{\text{Moles sin condensar}}{\text{(moles de aire + moles sin condensar)}}$$

- 5.- Obtener la presión parcial del solvente en la mezcla.
- 6.- Con la presión parcial y la fig. 21, obtener finalmente la temperatura de salida de la mezcla gaseosa de los condensadores.

SEGUNDO CONDENSADOR

Temperatura de salida propuesta (T_2)

- 1.- Fijar la fracción mol del solvente a un nivel tan bajo como sea posible (Y_A). Medir la presión a la salida
- 2.- Con Y_A y la presión calcular la temperatura de rocío, la cual será T_2

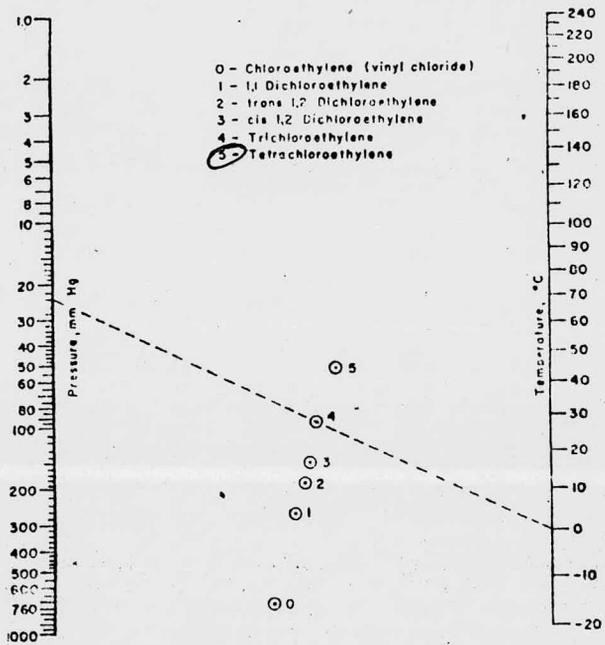


FIGURA No. 21

para lograr la $\Delta T (T_1 - T_2)$ necesaria a gasto de agua constante, calcular la Δt requerida.

PRIMER CONDENSADOR.

Temperatura de salida propuesta (T_1)

1.- Fijar dicha temperatura a un nivel cercano a la temperatura de rocío de la mezcla entrando al primer condensador (por lo menos).

Para lograr lo anterior a gasto de agua constante calcular la Δt requerida.

Dada la cantidad tan pequeña de solvente en una gran masa de aire; las temperaturas de rocío deberán ser muy bajas, pudiéndose requerir un sistema de refrigeración para poder satisfacer las Δt requeridas.

Se recomienda también aislar todos los ductos y tanque de almacenamiento.

C A P I T U L O 12

CONCLUSIONES

Considerando los objetivos fijados en la Introducción se puede concluir que el sistema seleccionado nos brinda las siguientes mejoras.

- 1.- Reduce el tiempo de secado de 50 a 4 horas.
- 2.- Proporciona una recuperación de solvente (aproximadamente el 70%, donde no la había.
- 3.- Reduce la mano de obra.
- 4.- Reduce la contaminación ambiental.
- 5.- Se logró evitar un posible "cuello de botella" por posibles aumentos en la producción.
- 6.- Y por último debido a la versatilidad del secador se podrán secar otros materiales similares.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Sloan, Wheelock y Tsao. "Sistems and Equipment, Theory and Calculations". Chemical Engineering, Jun. 19, 1967. Pags. 167 a 214.
- 2.- Perry, John H. Manual del Ing. Químico. Tomo I, 3a. Edición. Edit. UTEHA. Mexico, 1966. Pags. 1239 a 1243; 1330 a 1335 y 1357 a 1365.
- 3.- Johnstone and Thring. Pilot Plants Models and Scale Up Methods. -- Capítulo 3. Pags. 12 a 26.
- 4.- Ostle Bernard. Statistics in Research. 2a. Ed. 1963 The Iowa State - University Press. Ames, Iowa, U.S.A. Pags. 161 a 164.
- 5.- Johnstone, J. Econometric Methods. International Student Edition. -- Mc Graw- Hill Book Co., Inc. Kogakusha Co., Ltd. Tokyo 1962. Pags. - 9 a 29.
- 6.- Qern Q. Donald. Procesos de Transferencia de Calor. 4a. Ed. México, 1971. Pags. 397 a 406.
- 7.- Ocon y Tojo. Problemas de Ingeniería Química. Tomo II. 3a. Ed. Aguilar S.A. España.
- 8.- Treibal E. Robert. Mass Transfer Operations. 2a. Ed. Mc Graw- Hill Book Co. New York. Pags. 581 a 586.
- 9.- Himmelblau M. David. Principios y Cálculos Básicos en la Ingeniería Química. Ed. C.E.C.S.A. Pags. 157.
- 10.- Chilton H. Cecil. Cost Engineering en the Process Industries. Mc -- Graw- Hill Book Co. Pags. 80 a 90.
- 11.- Lapple C. Walter, Eclark William. Drying Design and Costs. Pags. - 80 a 85.
- 12.- Zimmerman and Lavine. Chemical Engineering Costs Quarterly. Capitulo "Horizontal Processing Equipment". Pags. 11 a 16.
- 13.- Dow Chemical Latin America, S.A. "Catálogo No. 825-064-70". Pags. - 11 y 12.
- 14.- The Bethlehem Corporation. "Catálogo 1002". Pags. 12 y 13.
- 15.- Organo Síntesis, S.A. Boletín Técnico HCF- 001.

N O M E N C L A T U R A

X	=	humedad base seca, Kg/Kg
	=	tiempo, hrs.
N	=	velocidad de secado, Kg/hr-m ²
X _{med}	=	humedad media
X _c	=	humedad crítica
S	=	área de secado
X	=	humedad de equilibrio
P _{ah}	=	densidad aparente del sólido húmedo, g/cm ³
P _{as}	=	densidad aparente del sólido seco, g/cm ³
V	=	volúmen, lts.
M	=	masa del sólido, Kg.
L ₁	=	diámetro o ancho, m
L ₂	=	lado recto, m
L ₃	=	largo, m
r	=	radio, m
T ₁ , T ₂	=	temperaturas de fluido caliente, C
W	=	masa del fluido caliente
C _p	=	Cap. calorífica del fluido caliente
t ₁ , t ₂	=	temperaturas del fluido frío
w	=	masa del fluido frío
c _p	=	capacidad calorífica del fluido frío
P	=	presión
P _A	=	presión de vapor de A
Y _A	=	fracción mol de A