

TE
UVG
Inq. Qui
S67es
1989
C. 2

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

ESTANDARIZACION Y ELABORACION DEL MANUAL
DE OPERACION DE UN SECADOR ROTATORIO

ROBERTO ANTONIO SOLORZANO CONTRERAS


Trabajo de graduación presentado para optar
al título de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

1989


Vo.Bo. :

(f)

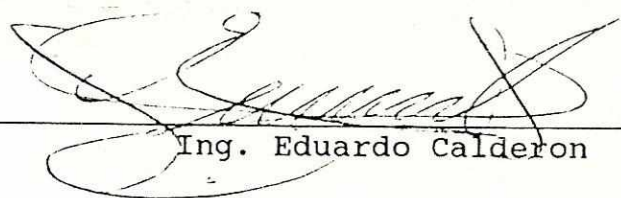

Asesor. Ing. Oscar Gil

Tribunal :

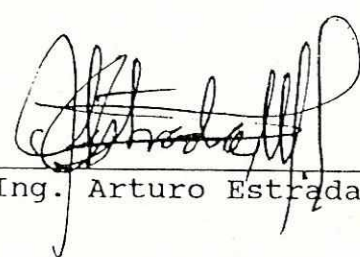
(f)


Ing. Oscar Gil

(f)


Ing. Eduardo Calderon

(f)


Ing. Arturo Estrada

Fecha de Aprobacion: 11 de agosto de 1989.

CONTENIDO

	Paginas
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	3
A. Secado de sólidos	3
B. Tipos de secadores	3
C. Selección del secador a utilizar	4
D. Secador rotatorio	6
1. Clasificación de los secadores rotatorios	7
2. Transferencia de masa y calor en secadores rotatorios	8
a. Transferencia de calor	8
b. Transferencia de masa	9
3. Consideraciones generales del diseño de un secador rotatorio	10
4. Diseño de las paletas de alzamiento	11
5. Tiempo de residencia	11
III. METODOLOGIA	15
A. Características de los materiales secados	15
1. Arena de río	15
2. Corazón de trigo	16

	Páginas
IV. PROCEDIMIENTO	18
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	21
A. Datos y resultados de las pruebas	21
B. Discusión de resultados	27
1. Combustión	27
2. Balance de masa	28
3. Balance de energía	29
4. Tiempo de residencia	33
5. Discusión general	35
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
VII. BIBLIOGRAFIA	43
APENDICES	45
A. Calibración de rotámetro y manómetro de gas propano	45
B. Cálculo de muestra	47
C. Manual de operación y Mantenimiento	57

RESUMEN

En el procedimiento para la prueba del secador rotatorio se realizaron ³ veinte corridas a diferentes condiciones de operación. Se determinó que el secador tiene una capacidad máxima de evaporación de agua de 0.00255 kg/s (20 lb de agua/hora), con eficiencia que oscila entre 35 y 55 %, basado en el calor proporcionado por la combustión del gas propano, utilizado para la evaporación de agua a la temperatura de entrada del sólido. Durante el desarrollo de las pruebas, el principal problema encontrado, fue mantener constante la alimentación de la arena húmeda. Por lo anterior, para un material en el cual se tenga duda de su fluidez, se recomienda hacer pruebas en el sistema de alimentación, antes de su selección para una práctica de secado. Se concluye que el secador responde a los requerimientos estipulados en su diseño. Puede aumentar su eficiencia si el cilindro rotatorio es aislado y si trabaja con una inclinación menor de 1 % y, en la práctica propuesta en este reporte, el estudiante encuentra un proceso ilustrativo de los procesos de transferencia de calor y masa en una operación de secado.

1. INTRODUCCION

La remoción de humedad de una sustancia, es parte importante en muchos procesos de la industria, y en algunos casos se convierte en uno de los mayores costos de los mismos, siendo suficientes estas razones para que el ingeniero químico tenga conocimientos profundos de los fenómenos que en un secado ocurren. La necesidad de tener una práctica adecuada, para el estudio de la operación de secado en la Universidad del Valle de Guatemala, motivó la búsqueda de un equipo que reuniera dos características principales: la primera, versatilidad para poder apreciar los efectos que se producen al cambiar las condiciones de secado, y la segunda, la de ser un equipo que pudiera ser construido en nuestro medio.

El secador que se construyó para el Laboratorio de Operaciones Unitarias es de operación continua, del tipo rotatorio. El estudio de los fenómenos de transferencia de masa y calor puede ser realizado en este equipo y al mismo tiempo se puede apreciar el manejo de sólidos, que por el momento es un área que no cuenta con los recursos para su análisis práctico.

El trabajo de diseño, construcción, instalación y prueba del secador rotatorio se realizó conjuntamente con Ricardo

2

Barillas Trennert. dividiendose en dos partes, siendo este reporte el referente a la evaluación del equipo y al desarrollo del manual de operación y mantenimiento del mismo.

II. MARCO TEORICO

A. Secado de sólidos

En general, secar un sólido significa removerle cantidades relativamente pequeñas de agua o de otro líquido, para reducir el contenido del líquido residual a un valor bajo aceptable. Agua u otros líquidos pueden ser removidos de los sólidos mecánicamente por presión, fuerza centrífuga o térmicamente por evaporación. Es, generalmente, más barato remover agua por medios mecánicos que por térmicos, y se recomiendan para reducir el contenido de humedad, tanto como sea práctico, antes de alimentarse a un proceso de secado por calor.

B. Tipos de secadores

Por el método de operación, los secadores se pueden clasificar en continuos y discontinuos. En los discontinuos el equipo es operado intermitente o cíclicamente bajo condiciones de estado estable. Secadores continuos son usualmente operados en condiciones de estado estable.

Secar en forma discontinua es una operación relativamente costosa, y es limitada a operaciones a pequeña escala, para desarrollos en plantas piloto y para el secado de aquellos materiales donde la influencia del costo de secado sobre el costo total no es muy significativa.

Un secado continuo ofrece las ventajas de que el equipo es, en terminos relativos, más pequeño por cantidad de producto, la operación puede estar integrada con un proceso continuo, sin necesidad de estar haciendo almacenamiento de productos intermedios y además el producto tiene un secado más uniforme.

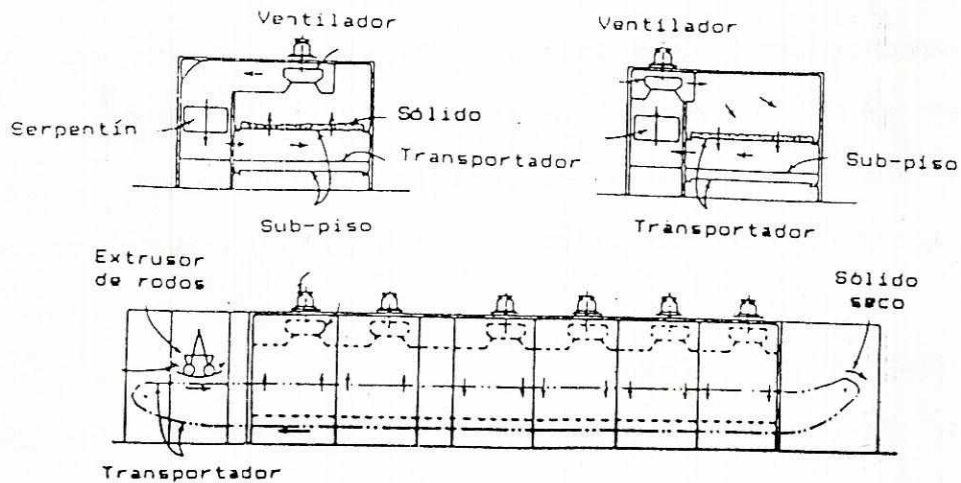


Fig. 1 Secador continuo con circulación a través

C. Selección del secador a utilizar

La necesidad de mantener una calidad en el producto final, hace que en la selección del secador que se utilizará para la disminución de humedad, deban tomarse en cuenta las principales características físicas y químicas del material.

La tabla que se presenta a continuación pueden ser de utilidad en la selección del equipo.

Tabla 1

Selección del secador según el tipo de sólido alimentado

Tipo de secador	Líquidos		Torta de		Sólidos de libre fluidez			Sólidos formados	
	Suspensiones Concentradas	Solución	Pastas	Centrí-fuga	Polvo	Granular	Cristal frágil		Fibroso
De banda transportadora						X	X	X	X
De vap. instantanea				X	X				X
De cama fluida	X		X	X	X		X		
Rotatorios				X	X		X		X
De rociado	X								
De bandejas (discontinuo)				X	X	X	X	X	X
De bandejas (continuo)				X	X	X	X	X	X
De tambor	X								
Rotatorio de tubos de vapor				X	X	X	X	X	X

D. Secador rotatorio

Un secador rotatorio consiste básicamente de un cilindro que tiene una pequeña inclinación respecto de la horizontal. La alimentación es introducida en uno de los extremos del secador, y pasando a través del mismo, sale el producto seco en el extremo más bajo. El interior del cilindro está equipado con paletas de alzamiento. Mientras el secador rota, el sólido se levanta y cae por acción de estas paletas, mientras una corriente de gas caliente pasa por él.

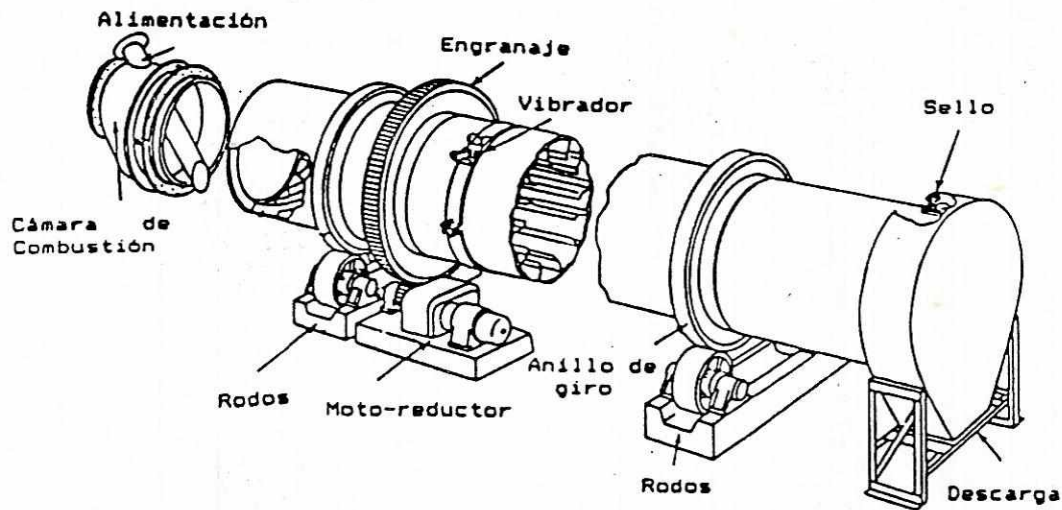


Fig. 2 Secador rotatorio

Los secadores rotatorios pueden ser hechos para una variedad de operaciones. La clasificación siguiente incluye a los tipos más usados.

1. Clasificación de los secadores rotatorios:
 - a. De calor directo en contracorriente
 - b. De calor directo en corriente paralela
 - c. De calor indirecto en contracorriente
 - d. Directo-indirecto

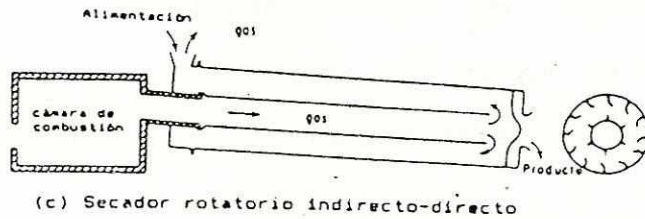
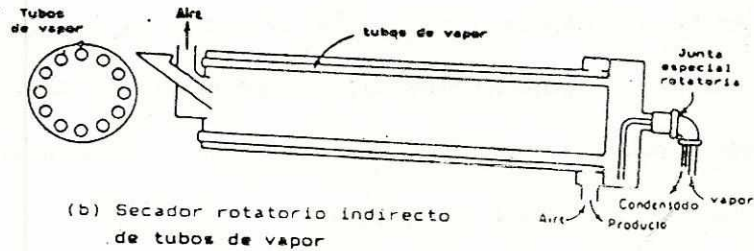
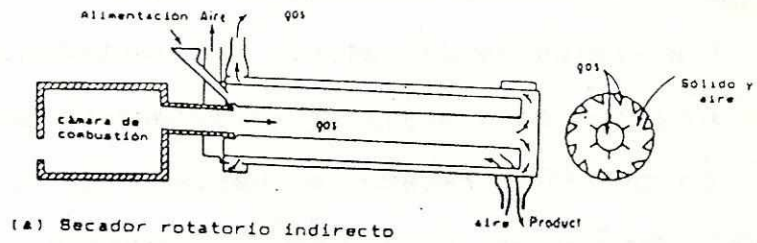


Fig. 3 Secadores Rotatorios

2. Transferencia de masa y calor en secadores rotatorios. En una operación de un secador rotatorio, el mecanismo es usualmente descrito como una transferencia simultánea de masa y calor; aunque si bien estos son procesos consecutivos, la transferencia de calor precede y controla la transferencia de masa.

Ambas transferencias son más complejas en la operación de los secadores rotatorios que en un secado estático o uno de condiciones estrictamente estables, debido al movimiento de cascada de los sólidos a través del secador.

a. Transferencia de calor. Recientemente, todos los intentos para analizar el mecanismo de transferencia de calor en secadores rotatorios habían sido de una naturaleza empírica. Se habían presentado correlaciones en las cuales el coeficiente volumétrico de transferencia de calor U_v o el total de calor transferido Q , estaban relacionados a la mayoría de todos los parámetros de rotación y/o las propiedades físicas del cilindro.

El concepto de un coeficiente volumétrico de transferencia de calor fue mencionado por primera vez por Marshall. Este es definido por la ecuación.

$$Q = U_v V_c T_{c-m}$$

donde U_v = coeficiente volumétrico ($W/m^3 \cdot K$), V_c = volumen efectivo del cuerpo del secador (m^3) y T_{c-m} = diferencia media de temperatura entre sólidos y gas (K).

Friedman y Marshall encontraron que el coeficiente volumétrico de transferencia de calor estaba relacionado con la fracción del secador que estuviese llena, lo cual se ilustra en la figura siguiente:

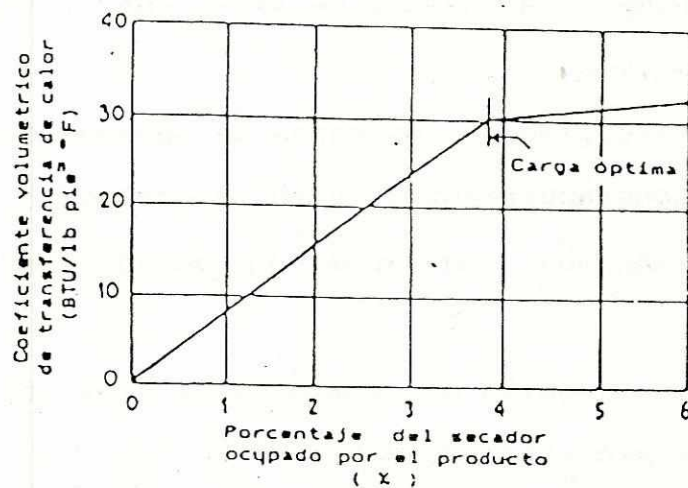


Fig. 4 Efecto de la fracción llena en el secador en la transferencia de calor

b. Transferencia de masa. Estudios experimentales dentro del proceso de transferencia de masa o procesos de secado son mucho más escasos en la literatura técnica que los estudios de transferencia de calor.

3. Consideraciones generales del diseño de un secador rotatorio. Las características básicas a ser consideradas en el diseño de un secador rotatorio son las que siguen:

- i. La rapidez de alimentación del sólido y su contenido de humedad.
- ii. El diámetro y la longitud del cilindro.
- iii. La inclinación del cilindro.
- iv. La velocidad de rotación del cilindro.
- v. Número de paletas de alzamiento y diseño de las mismas.
- vi. Dirección de los gases de secado (paralela o en contracorriente), y su velocidad.

Los procesos que ocurren en el secador rotatorio por separado son:

- i. La dinámica o movimiento de las partículas a través del secador.
- ii. La transferencia de masa.
- iii. La transferencia de calor.

Aunque el proceso simultáneo de transferencia de masa y calor son los principales objetivos del mismo, el análisis de estas transferencias requieren que se determine la dinámica de las partículas a través del cilindro.

4. Diseño de las paletas de alzamiento. Las partículas caminan a través del secador en una serie de cascadas y, entre cascadas, por un deslizamiento por las paletas que se encuentren abajo y las paredes del secador. Durante el momento que el sólido está en cascada, el gas de secado lo adelanta o regresa según su dirección como lo muestra la figura siguiente:

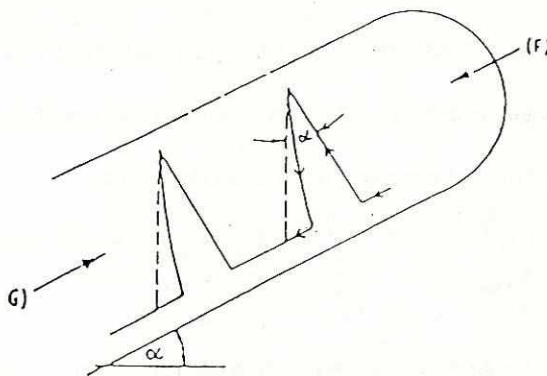


Fig. 5 Fenómeno de cascada

5. Tiempo de residencia. En un equipo experimental, la medida del tiempo promedio de residencia de las partículas es determinado por la ecuación:

$$t_{res} = H/F$$

donde H es la cantidad de sólido que se encuentra dentro del secador en un momento dado (m^3 o kg), y F es la capacidad de alimentación del equipo (m^3/s o kg/s).

La ecuación de Schofield y Glikin está basada en el estudio del movimiento de cascada.

$$t_{res} = \frac{L (t_f + 1/\delta N)}{Y_{pr} (\text{sen } \alpha - KG^2/g)}$$

donde t_f es el tiempo de caída en la cascada, el factor $1/\delta N$ es el tiempo que el sólido está en la paleta antes de iniciar la cascada, Y_{pr} es la altura promedio de caída, K una constante que está relacionada con el arrastre de la partícula por la corriente gaseosa, g es la constante de aceleración de la gravedad y L es el largo del secador.

Robert Treybal propone las ecuaciones siguientes para la determinación del tiempo de residencia:

$$t_{res} = \frac{L * H_D * \rho_s * A}{S_s}$$

donde t_{res} = tiempo de residencia

L = largo del secador

H_D = fracción del secador ocupada por el sólido

ρ_s = densidad en bulto del sólido

A = sección transversal del cilindro

S_s = flujo másico del sólido seco

Para determinar el tiempo de residencia es necesario conocer la fracción del secador que está ocupada por el sólido. Esta fracción es determinada con las ecuaciones que se presentan a continuación.

$$H_D = H_{D0} + KG$$

donde H_{D0} es la fracción del cilindro que estaría ocupada por el sólido si no existiera flujo de gas, y $+ KG$ es la corrección por la influencia del flujo gaseoso. Cuando H_{D0} no excede de 0.08 ésta se puede describir como:

$$H_{D0} = \frac{0.3344 S_s}{\rho_s S N^{0.9} D}$$

donde s es la inclinación del secador, N la velocidad de rotación (rev/s) y D es el diámetro del secador (el factor 0.3344 es para ser utilizado en sistema SI). El factor K queda descrito por la ecuación:

$$K = \frac{0.6085}{\rho_s d_p^{0.5}}$$

donde d_p es el diámetro promedio de partícula.

Experimentalmente se ha determinado que los mejores valores para la fracción del cilindro ocupada por el sólido oscilan entre 0.05 y 0.15.

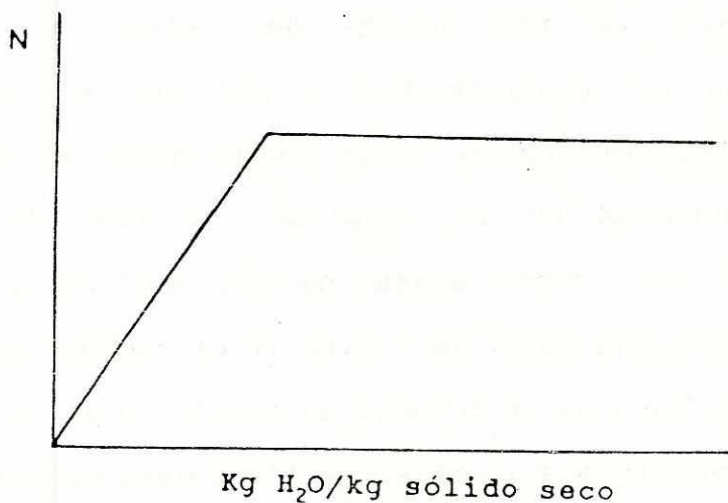
III. METODOLOGIA

A. Características de los materiales secados

Para el desarrollo de las prácticas realizadas se empleó dos materiales que son descritos a continuación.

1. Arena de río. La arena es un material proveniente de la desintegración de rocas, utilizado, principalmente, en la construcción como uno de los constituyentes del concreto. La humedad que retiene la arena de río es superficial debido a su baja porosidad.

La curva de rapidez de secado en función de la humedad absoluta en materiales como la arena es la siguiente:

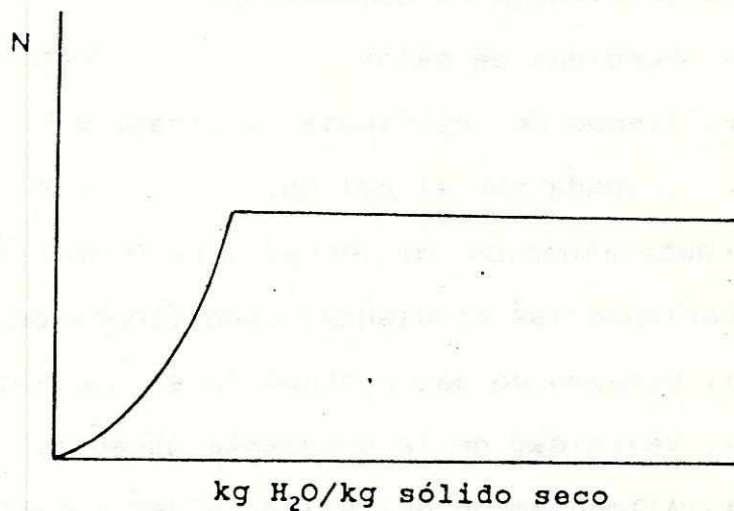


2. Corazón de trigo. Corazon de trigo es el nombre dado al producto que se extrae de la molienda del trigo "durum", formado del endosperma del grano, y que puede ser utilizado en la elaboración de atoles, papillas y como espesante, el cual se caracteriza por tener una granulometria según el cuadro siguiente:

mallá No.	porcentaje retenido
32	0.0 %
40	13.5 %
46	43.0 %
60	41.6 %
100	1.7 %
∞	0.2 %

El corazón de trigo se diferencia de la semolina (harina utilizada para la fabricación de pastas alimenticias) únicamente en su granulometria y por que el primero es vitaminado. El corazón de trigo es un material poroso que retiene la humedad en su interior, lo que hace que la extracción de las últimas trazas de agua sea lenta. Por ser un producto con una capacidad calorífica relativamente alta (1841.0 J/kg), durante un proceso de secado no es recomendable elevar su temperatura a niveles muy altos para no desperdiciar calor calentando el sólido.

La curva típica de secado para materiales como el corazón de trigo es la mostrada a continuación:



Para el secado de estos dos materiales se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

B. Procedimiento

En las prácticas que aquí se reportan se realizaron las mediciones para determinar las magnitudes siguientes:

- i. Transferencia de masa.
- ii. Transferencia de calor.
- iii. Eficiencia de combustión.
- iv. Pérdidas de calor.
- v. Tiempo de residencia y fracción del secador ocupada por el sólido.

En la determinación de estas magnitudes se hicieron corridas, variando las siguientes condiciones de operación:

- i. Consumo de gas propano en el quemador.
- ii. Velocidad de la corriente gaseosa.
- iii. Alimentación del sólido a ser secado.
- iv. Humedad del sólido a ser secado.
- v. Inclinação del secador.

Como se indicó para las diferentes corridas, se usaron dos tipos de sólidos: Arena de río y Corazón de trigo. Los intervalos entre los que se hicieron variar las condiciones de operación son:

Consumo de gas propano: 4.72_E-5 - 1.90_E-4 m³/s

Velocidad del gas de secado: 1.219 -- 4.166 m/s

(medida en la salida de la corriente gaseosa del ciclón, al final del equipo)

Alimentación del sólido: 0.01268 -- 0.02299 kg/s
Humedad del sólido a ser secado: 5.00 -- 14.10 %
Inclinación del secador: 0.0100 -- 0.0500 m/m (1.00
a 5.00 %)

Las corridas se realizaron siguiendo el procedimiento que se describe en el apéndice C, con base en la experiencia que se tuvo en las mismas.

Las condiciones a las que se operó el secador rotatorio, para cada corrida, pueden ser apreciadas en la sección de resultados y discusiones donde se presentan los datos medidos.

En la práctica se utilizaron condiciones extremas para algunos parámetros, con el fin de determinar las tendencias que tiene el proceso al variar estas condiciones, y en algunos casos, como lo es el gas propano, determinar el peligro en que se puede incurrir al salirse de los límites establecidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Datos y resultados de las pruebas

En las tablas que se presentan en las páginas siguientes, se encuentran los datos y resultados más importantes de las veinte corridas que se efectuaron para la evaluación del funcionamiento de este secador rotatorio. El siguiente esquema representa el proceso de secado que ocurre dentro del secador.



Fig. 7 Esquema de la operación del secador

Resultados del balance de masa

Numero de corrida	Humedad del sólido		Humedad del gas de secado		Flujo másico sólido (kg/s)	Flujo másico gas de secado (kg/s)	Agua evaporada sólido (kg/s)	Agua evaporada gas de secado (kg/s)
	Entrada (t)	Salida (t)	Entrada (%)	Salida Relativa (t)				
<u>Arena de río</u>								
1	10.00	0.00	5.6	19.5	0.02299	0.02320	0.002555	0.002640
2	10.00	0.00	4.2	13.0	0.01332	0.02437	0.001480	0.001613
3	10.00	0.00	3.1	10.7	0.01268	0.02493	0.001408	0.001357
4	10.00	2.12	2.9	48.2	0.01354	0.02593	0.001211	0.001095
5	10.00	0.00	6.0	20.3	0.01659	0.01419	0.001844	0.001690
6	10.00	0.00	5.1	19.7	0.01425	0.01490	0.001583	0.001740
7	10.00	1.92	4.1	13.8	0.01370	0.01615	0.001254	0.001175
8	5.00	0.00	4.1	11.7	0.01737	0.01607	0.000914	0.000896
9	5.00	0.00	3.6	20.7	0.01713	0.01578	0.000902	0.000911
10	5.00	1.48	3.0	45.7	0.01777	0.01611	0.000668	0.000665
11	5.00	0.00	5.2	14.9	0.01780	0.01447	0.000937	0.001087
12	5.00	0.00	5.7	16.4	0.01693	0.00973	0.000891	0.000827
13	5.00	0.00	4.3	19.4	0.01737	0.00985	0.000914	0.000886
14	5.00	1.62	3.8	39.7	0.01713	0.00946	0.000620	0.000584
<u>Corazón de trigo</u>								
15	14.10	11.95	3.7	72.0	0.02111	0.00961	0.000600	0.000548
16	14.10	11.05	4.5	81.1	0.02158	0.01025	0.000862	0.000823
17	14.10	10.25	5.4	82.1	0.02176	0.01021	0.001087	0.001234
18	14.10	10.05	4.1	73.0	0.02226	0.01604	0.001167	0.001218
19	14.10	8.22	5.6	39.9	0.02263	0.01497	0.001688	0.001837
20	11.60	2.15	5.0	16.6	0.02104	0.02504	0.002299	0.003305

Tabla 3
Resultados del balance de energía

Número de corrida	Temperatura del sólido		Temperatura del gas de secado		Cambio entalpico gas de secado (J/S)	Perdida de calor por radiación y convección en la pared del cilindro (J/S)	
	Entrada (°C)	Salida (°C)	Entrada (°C)	Salida (°C)			
Arena de río							
1	31.0	93.0	512.0	155.0	981.6	-2181.5	1275.8
2	25.0	71.0	315.0	113.5	409.4	-1073.5	625.5
3	23.0	54.0	250.0	96.0	226.4	-537.3	301.7
4	23.0	39.0	183.0	55.0	102.6	-708.6	269.7
5	20.0	83.0	573.0	135.0	808.4	-2576.7	1685.7
6	21.0	71.0	460.0	102.0	517.0	-1374.4	1174.2
7	20.0	58.0	360.0	58.0	417.1	-1553.9	884.7
8	19.0	73.0	340.0	106.0	791.3	-1762.4	908.1
9	20.0	57.0	280.0	80.0	508.3	-1041.3	529.3
10	20.0	40.0	195.0	56.0	293.7	-676.5	322.0
11	20.0	92.0	470.0	155.0	1102.1	-2175.0	1508.2
12	20.0	86.0	552.0	122.0	954.4	-2576.8	1689.0
13	19.0	70.0	425.0	90.0	743.3	-1331.5	572.1
14	19.0	55.0	316.0	66.0	561.2	-1068.5	447.9
Corazón de trigo							
15	20.0	42.0	313.0	52.0	1068.7	-1328.3	338.9
16	20.0	50.0	410.0	55.0	1456.4	-1927.3	471.2
17	21.0	47.0	535.0	61.0	1216.6	-2307.1	1057.5
18	20.0	52.0	360.0	56.0	1546.8	-2225.3	683.4
19	20.0	62.0	560.0	78.0	1964.3	-3443.5	1427.3
20	20.0	89.0	500.0	117.0	2614.3	-4657.4	1649.2

Tabla 4

Distribución del calor cedido por el gas propano (J/s)

Número de corrida	Calor de combustión	Pérdidas en combustión	Evaporación de agua	Calentamiento del gas	Calentamiento del sólido	Pérdidas en paredes
1	15459.3	2518.8	6262.4	4053.8	1313.0	1275.8
2	9083.5	1259.4	3626.7	2652.4	564.2	625.5
3	7120.4	998.2	3452.1	2137.5	361.9	301.7
4	5317.4	759.9	2968.1	1074.3	219.1	269.7
5	11319.6	2256.0	4518.6	2206.8	962.7	1685.7
6	9274.6	1840.5	3879.8	1657.2	656.0	1174.2
7	7270.5	1147.1	3072.9	1598.3	522.0	884.7
8	7270.5	1542.2	2241.1	1701.3	864.0	908.1
9	5306.5	830.3	2209.9	1128.1	583.8	529.3
10	3486.1	431.9	1637.7	694.5	349.6	322.0
11	9239.6	1857.2	2296.6	2453.5	1180.5	1508.2
12	7151.8	1207.7	2183.8	1273.1	1029.0	1689.0
13	5326.6	869.0	2241.1	882.8	816.0	572.1
14	3486.1	401.3	1518.5	537.2	610.5	447.9
15	3473.0	386.2	1471.1	370.8	1118.9	338.9
16	5306.5	843.5	2111.6	451.4	1528.5	471.2
17	7151.8	1141.8	2663.9	577.0	1312.1	1057.5
18	7112.7	1091.6	2859.9	708.4	1644.4	683.4
19	11277.0	2013.2	4136.1	1165.9	2105.5	1427.3
20	15634.0	2043.1	5635.3	3092.5	2806.7	1649.2

Tabla 5

Distribución porcentual del calor
cedido por el gas propano

Número de corrida	Pérdidas en combustión	Evaporación de agua	Calentamiento del gas	Calentamiento del sólido	Pérdidas en paredes
1	16.29 %	40.51 %	26.22 %	8.49 %	8.25 %
2	13.86 %	39.93 %	29.20 %	6.21 %	6.89 %
3	14.02 %	48.48 %	30.02 %	5.08 %	4.24 %
4	14.29 %	55.82 %	20.20 %	4.12 %	5.07 %
5	19.93 %	39.92 %	19.50 %	8.50 %	14.89 %
6	19.84 %	41.83 %	17.87 %	7.07 %	12.66 %
7	15.78 %	42.27 %	21.98 %	7.18 %	12.17 %
8	21.21 %	30.82 %	23.40 %	11.88 %	12.49 %
9	15.65 %	41.64 %	21.26 %	11.00 %	9.97 %
10	12.39 %	46.98 %	19.92 %	10.03 %	9.24 %
11	20.10 %	24.86 %	26.55 %	12.78 %	16.32 %
12	16.89 %	30.54 %	17.80 %	14.39 %	23.62 %
13	16.31 %	42.07 %	16.57 %	15.32 %	10.74 %
14	11.51 %	43.56 %	15.41 %	17.51 %	12.85 %
15	11.12 %	42.36 %	10.68 %	32.22 %	9.76 %
16	15.89 %	39.79 %	8.51 %	28.80 %	8.88 %
17	15.96 %	37.25 %	8.07 %	18.35 %	14.79 %
18	15.35 %	40.21 %	9.96 %	23.12 %	9.61 %
19	17.85 %	36.68 %	10.34 %	18.67 %	12.66 %
20	13.07 %	36.05 %	19.78 %	17.95 %	10.55 %



Tabla 6

Tiempo de residencia
y fracción del cilindro ocupada por el sólido

Número de corrida	Inclinación del secador (%)	Tiempo de residencia (segundos)	Fracción ocupada (%)
<u>Arena de río</u>			
1	1.00	589	2.60
2	3.56	205	0.52
3	3.56	194	0.47
4	5.11	145	0.38
5	5.11	126	0.34
6	5.11	139	0.38
7	4.00	161	0.43
8	3.00	216	0.72
9	3.00	229	0.75
10	3.00	220	0.75
11	3.00	262	0.90
12	1.50	312	1.01
13	1.50	273	0.91
14	1.50	288	0.95
<u>Corazón de trigo</u>			
15	2.33	271	2.74
16	3.00	212	2.19
17	3.67	182	1.89
18	4.33	154	1.64
19	5.00	135	1.47
20	1.00	575	5.80

B. Discusión de resultados

1. Combustión. En las prácticas efectuadas, como se observa en las tablas anteriores, el calor que se encuentra disponible para aumentar la temperatura de los gases de secado, es el suficiente para llegar a temperaturas en la entrada del secador que sobrepasan los 500 °C, por arriba de la cual ya no se recomienda el secado de muchos materiales. Por la estructura y calibre de la lámina de que está construido el cuerpo del secador, sobrepasar los 500 °C no es aconsejable. Para disminuir las pérdidas de calor durante la combustión, la cámara se encuentra recubierta de una capa de asbesto (conteniendo fibra de vidrio). Según el balance de masa y energía hecho para el proceso de combustión, el aprovechamiento del calor cedido por la combustión del gas propano fue en promedio de un 84.1 %, siendo un valor aceptable. Uno de los factores que influyó en que las pérdidas de calor durante la combustión no fueran tan grandes, es lo corto de la cámara de combustión, lo que hace que la llama llegue al inicio del cilindro rotatorio. Sin embargo, aunque el calor perdido sea pequeño, no es conveniente tener una cámara de combustión corta, debido a que esto significa que los gases de combustión no entran totalmente mezclados al secador y se puede tener regiones muy calientes, y al mismo tiempo regiones relativamente frías.

Esto provocaría un secado inicial desigual para las partículas. En este secador rotatorio, tal problema no es muy importante, debido a que el quemador empleado produce una llama corta, y la cámara de combustión está prevista de paletas helicoidales que provocan una mejor mezcla de los gases. Una de las ventajas que mostró el quemador empleado es que, debido a sus características y la posición en el secador, éste aumenta su capacidad al elevar el flujo gaseoso en el secador, y así para diferentes flujos gaseosos se tiene intervalos de temperatura similares.

2. Balance de masa. Por medio del balance de masa se determinó que el secador tiene la capacidad de evaporar hasta 9 kg/hora de agua a las condiciones de mayor flujo gaseoso y temperatura más alta (dependiendo en parte del sólido y los intervalos de humedad en que se está trabajando). En el desarrollo de la práctica, las mediciones que llevan al cálculo del balance de masa, deben ser en las que mayor empeño se tenga, pues las variaciones en los parámetros medidos afectan bastante en los resultados que se obtengan del cálculo (principalmente en las mediciones de temperatura de bulbo húmedo). En las corridas, donde la arena de río ingresaba al secador con una humedad del 10 %, era necesario empujarla manualmente para que ingresara al tornillo alimentador para así mantener una alimentación continua y

constante. Para una práctica de laboratorio, una alimentación que no sea constante, puede producir resultados que no describan realmente el proceso que está ocurriendo. Lo anterior se debe a que el flujo másico del sólido es determinado como un promedio durante la operación, mientras que las lecturas de temperaturas pertenecen, únicamente, al instante en que son registradas, donde, no necesariamente, la tasa de alimentación es la que indica su valor promedio. El dato de la humedad del gas de secado, en la entrada al cilindro rotatorio, es obtenido por un cálculo de balance de masa en la cámara de combustión, pudiéndose también implementar una forma de medir la temperatura de bulbo húmedo en este punto, si bien, por las altas temperaturas alcanzadas se puedan tener márgenes de error poco convenientes.

3. Balance de energía. De los resultados del balance de energía los más interesantes son los que se refieren a la distribución del calor obtenido de la combustión del propano. El calor se distribuye en:

- i. Pérdidas de calor en la combustión
- ii. Calor utilizado para la vaporización del agua (ocurrida a la temperatura que entra el sólido)
- iii. Calor empleado para calentar el sólido a su temperatura de salida

- iv. Calor empleado para calentar el gas a su temperatura de salida
- v. Pérdidas por radiación y convección en las paredes del secador

Para entender mejor esta distribución, el proceso que se lleva a cabo durante la operación del equipo puede ser visto, según los siguientes pasos (los que no necesariamente ocurren de esta forma): El gas propano se quema y cede una parte de calor al medio ambiente; el agua toma el calor necesario para evaporarse, sin que exista una variación de temperatura en el gas de secado ni en el sólido; el gas de secado conteniendo el agua ya evaporada del sólido se calienta a la temperatura a la cual sale del secador; el sólido (con la humedad final) se calienta a su temperatura de salida; el calor remanente es perdido por radiación y convección en paredes.

El calor utilizado únicamente para la evaporación del agua, en las diferentes corridas, es de un 40 % en promedio, tomando como base el calor total cedido por la combustión del gas propano, y de un 47 % tomando como base el calor absorbido por el gas de secado durante la combustión. Con la arena de río se nota que el porcentaje es mayor en los casos en que la temperatura de entrada es más baja (puede verse en las corridas # 4 y 10).

Esto es atribuible a que un buen porcentaje de su contenido de agua puede ser eliminado, fácilmente, con una corriente de aire (sin necesidad de que se encuentre caliente), debido a que toda su humedad es superficial. Sin embargo, es de esperarse que en un secador, sin variar las condiciones de operación más que la temperatura de entrada del gas de secado, la eficiencia del mismo disminuya al aumentar esta temperatura. Esto se debe a que es mayor la cantidad de calor que debe ser transferida o utilizada (aunque también crecen los potenciales de transferencia de masa y energía), y esta disminución puede ser notada en las corridas # 17, 19 y 20.

El calor consumido para calentar el sólido y el gas, osciló entre un 40 y 45 % del calor de combustión. En algunas corridas se observa que la diferencia de temperatura entre el sólido y el gas de salida es grande, y que el gas aún no ha llegado a un punto de saturación, factores que indican que prolongando el tiempo de secado (disminuyendo la inclinación del secador) se puede reducir más la humedad del sólido y aprovechar más el calor en la evaporación de agua. El corazón de trigo es un material que tiene dos características que vale la pena notar: tiene una capacidad calorífica relativamente alta, y sus últimas trazas de agua son difíciles de extraer. Si se pone atención en la última característica, en el momento

de que se desee llegar a un nivel de humedad bastante bajo, la opción que se pensaría en el diseño de un secador para este material, es la de uno que operara en contracorriente, con el fin de que el gas más caliente esté en contacto con el sólido que posee la humedad más difícil de extraer. Pero trabajar este material con un secador en contracorriente provocaría un gasto alto de energía al calentar el sólido a temperaturas altas (por su capacidad calorífica alta) y una eficiencia energética menor a la deseada por este mismo hecho, lo que hace justificable tener un secador más grande pero en corriente paralela, si se desea llegar a un contenido de humedad cercano a cero.

Del calor que no es utilizado, específicamente para la evaporación de agua, el que puede ser disminuido a niveles bastante bajos es el que se cede al medio ambiente por pérdidas por radiación y convección en paredes del secador, aislando el cilindro rotatorio.

La mayor parte de la pérdida en paredes ocurre en el principio del secado, cuando el gas de secado está caliente y en contacto con las paredes del secador. En el final del secado, el gas se ha enfriado y ya no mantiene contacto con las paredes (lo cual se puede observar en la figura de abajo donde se muestran las líneas de flujo gaseoso dentro del

interior del secador), la transferencia de calor por convección en el interior del secador se reduce.

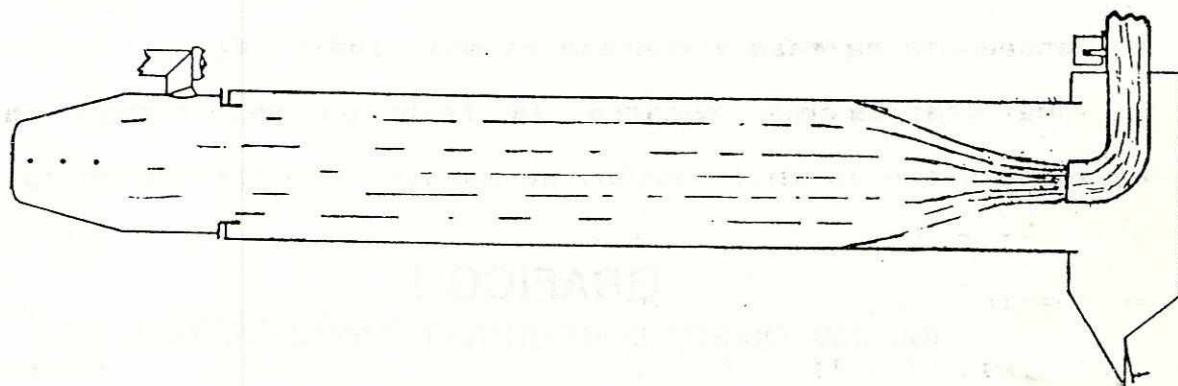


Fig. 8 Líneas de flujo del gas dentro del secador

4. Tiempo de residencia. El tiempo de residencia es uno de los parámetros de un secador rotatorio más difícil de predecir, debido a que depende de muchos factores, de los cuales, algunos son específicos del equipo. Con las inclinaciones trabajadas se obtuvieron tiempos de residencia pequeños, con los que no se puede proponer alguna influencia sobre la eficiencia del secado, por la variación de los mismos. Estos tiempos, sólo pueden ser empleados para observar su tendencia debido a los cambios de inclinación del cilindro. Un análisis de la forma en se ven afectados los procesos de transferencia, al cambiar la inclinación del

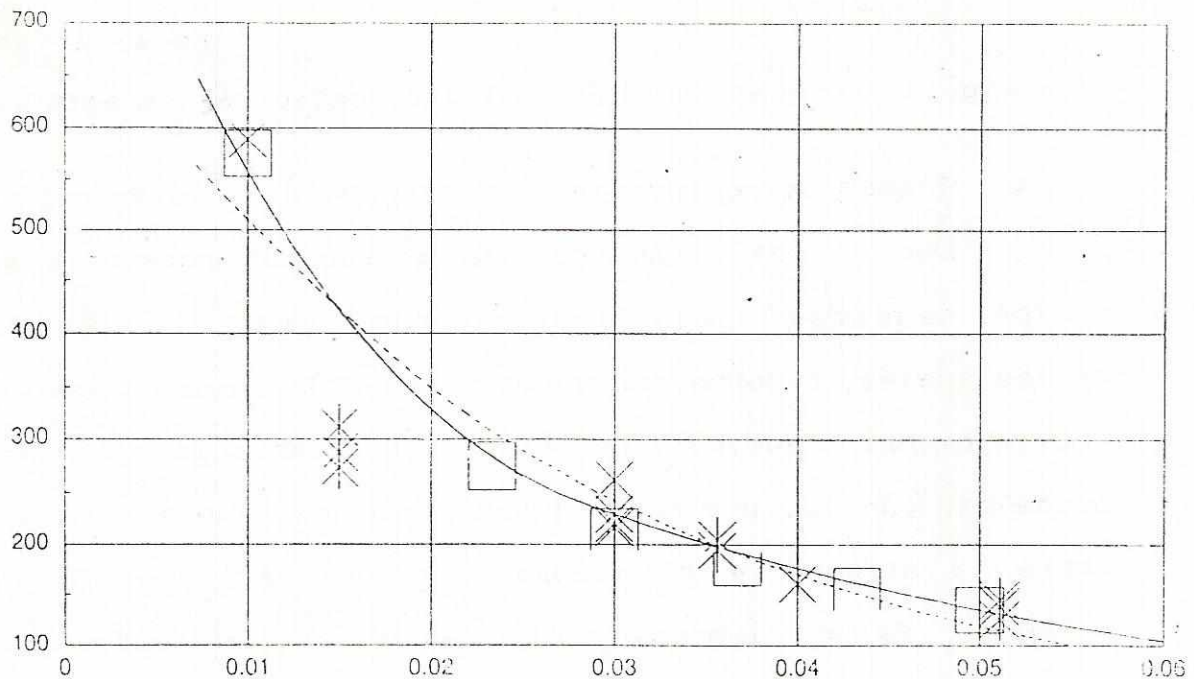
cilindro (por lo tanto los tiempos de residencia también), puede ser hecho manteniendo todas las condiciones de operación iguales y, variando la inclinación de 0.00 a 0.01 m/m (0.00 a 1.00 %), intervalo en el cual la influencia sobre la transferencia de masa y energía es más significativa.

Una gráfica que muestra la relación del tiempo de residencia con la inclinación, se muestra a continuación.

GRAFICO 1

INCLINACION SECADOR CONTRA TIEMPO RESIDENCIA

TIEMPO DE RESIDENCIA (s)



A



Arena de río

B



Corazón de trigo

INCLINACION SECADOR (m/m)

5. Discusión general. Durante las pruebas realizadas, el secador rotatorio mostro un comportamiento que le permite ser recomendado para su uso en las prácticas de laboratorio, y para la integración del mismo en un proceso de investigación para la industria a una escala de planta piloto. A un nivel de práctica de laboratorio, cambiar el valor de cinco variables (capacidad de alimentación, humedad del sólido en la entrada, flujo másico del gas de secado, temperatura del gas de secado e inclinación del cilindro rotatorio, lo convierte en un equipo ilustrativo para el estudio de la operación de secado. La capacidad de alimentación (100 kg/hora) y de evaporación de agua (9 kg agua/hora) permite que pueda ser considerado como un equipo con el tamaño adecuado para emplearse en escala de planta piloto.

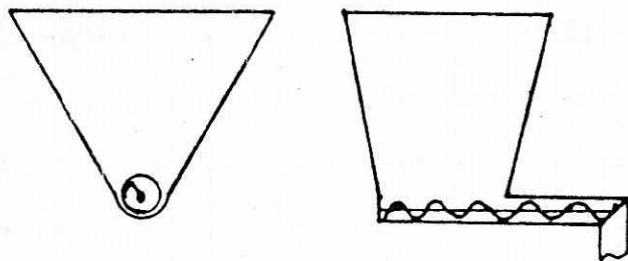
Después de concluidas las pruebas, los principales inconvenientes que se pueden encontrar en el manejo de este secador son:

a. El tener que utilizar una bolsa de manta en la salida de polvos del ciclón (lugar en el cual debería de existir una válvula rotatoria).

b. La medición del flujo gaseoso en la salida de gases del ciclón no es adecuada por tener un anemometro con una sección transversal mayor a la de la salida del mismo

ciclón.

c. El sistema de alimentación es adecuado, únicamente para materiales que tengan una fluidez bastante libre como el corazón de trigo. Para materiales como la arena de río, en los cuales su ángulo de fricción interna y el ángulo cinemático de fricción con la superficie crecen considerablemente, al aumentar la humedad, el diámetro de la abertura inferior de una tolva debe ser muy grande para que se rompa el arco y fluya. Debido a lo anterior es recomendable otro sistema de alimentación al secador, similar al mostrado en la figura de abajo.



d. En el quemador, por no tener un sistema de piloto, al momento de apagarse la llama, el gas propano sigue fluyendo, y luego es expulsado por el ciclón y enviado al medio ambiente, lo cual es peligroso e indeseable. Al mantenerse dentro del intervalo de temperatura aconsejado (de 150 °C a 600 °C), la llama permanece sin apagarse, por lo que es recomendable no salirse de este intervalo y, colocar un

sistema de piloto al quemador.

e. La determinación de la humedad de la corriente gaseosa en la entrada al secador, se hace indirectamente por un balance de masa en la cámara de combustión, sin tener una medición directa de ésta con algún aparato para poder comparar. En los cálculos, el error en el cual se puede incurrir por esto es muy pequeño, pues los valores de estas humedades son cercanos a cero y su influencia en la determinación de la cantidad de agua evaporada por el gas no es significativa.

f. Debido a una modificación hecha al secador, el ventilador se cambió de una posición en la cual se encontraba, después del ciclón, a la actual en la cual se encuentra antes de éste.

Por la posición del ventilador en el secador en un principio y por disminución de costos, éste no se construyó de acero inoxidable, por lo que no se pueden trabajar materiales corrosivos como la sal común, sin que exista un deterioro del ventilador. Para poder manejar más materiales en este secador rotatorio es necesario que cuente con un ventilador de acero inoxidable.

A pesar de los dos grandes inconvenientes que tienen el ventilador y el ciclón (el primero por el material del cual está construido y el segundo por carecer de una válvula

rotatoria en su parte inferior), el ventilador tiene la capacidad de manejar los flujos gaseosos requeridos por el secador ($0.040 \text{ m}^3/\text{s}$ ó $85 \text{ pie}^3/\text{min}$), y el ciclón, durante las pruebas, retuvo el polvo de la arena y la harina del corazón de trigo arrastrados por la corriente gaseosa, razón por la cual, mientras se les hacen correcciones respectivas, pueden ser empleados para las prácticas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos, la principal conclusión que se puede concretar, es que el secador rotatorio evaluado es un equipo del cual se puede obtener mucho beneficio en el laboratorio de operaciones unitarias.

El equipo, por sus dimensiones y capacidad, puede ser utilizado como parte de un proceso de investigación para la industria, a escala de planta piloto.

Lo bajo de sus costos de energía (Q. 0.03/lb de agua evaporada), lo hace un equipo atractivo para cualquier secado en que se reúnan las condiciones necesarias para su uso.

El aprovechamiento del calor proporcionado por la combustión del gas propano, empleado para la evaporación de agua a la temperatura de entrada del sólido, fue en promedio 40 % (entre 35 y 55 %), valor que puede aumentarse al disminuir el calor perdido en las paredes del cilindro rotatorio, y aumentando el tiempo de residencia del sólido dentro del secador.

La inclinación a la cual debe operarse el secador rotatorio debe ser menor o igual a 1.0 % para tener un tiempo de residencia adecuado (no menor de 10 minutos), durante

en la cual, el sólido llegue a la humedad final deseada, empleando un mínimo de calor.

En la operación del secador rotatorio, debe escogerse productos de buena fluidez. Con base en las observaciones hechas durante la operación del equipo, se concluye que la arena de río, con una humedad mayor del 5.0 %, no debe trabajarse en este secador, debido a que el diámetro de la abertura inferior de la tolva de alimentación, no es lo suficientemente grande para romper el arco que en ella se forma.

Para fines educativos, es preferible trabajar con materiales que retengan humedad interna, como el corazón de trigo, pues en el secado de estos materiales, es donde puede apreciarse mejor la diferencia entre los resultados de corridas que tengan productos finales de diferente humedad (más marcado cuando el contenido de humedad esta cercano a cero).

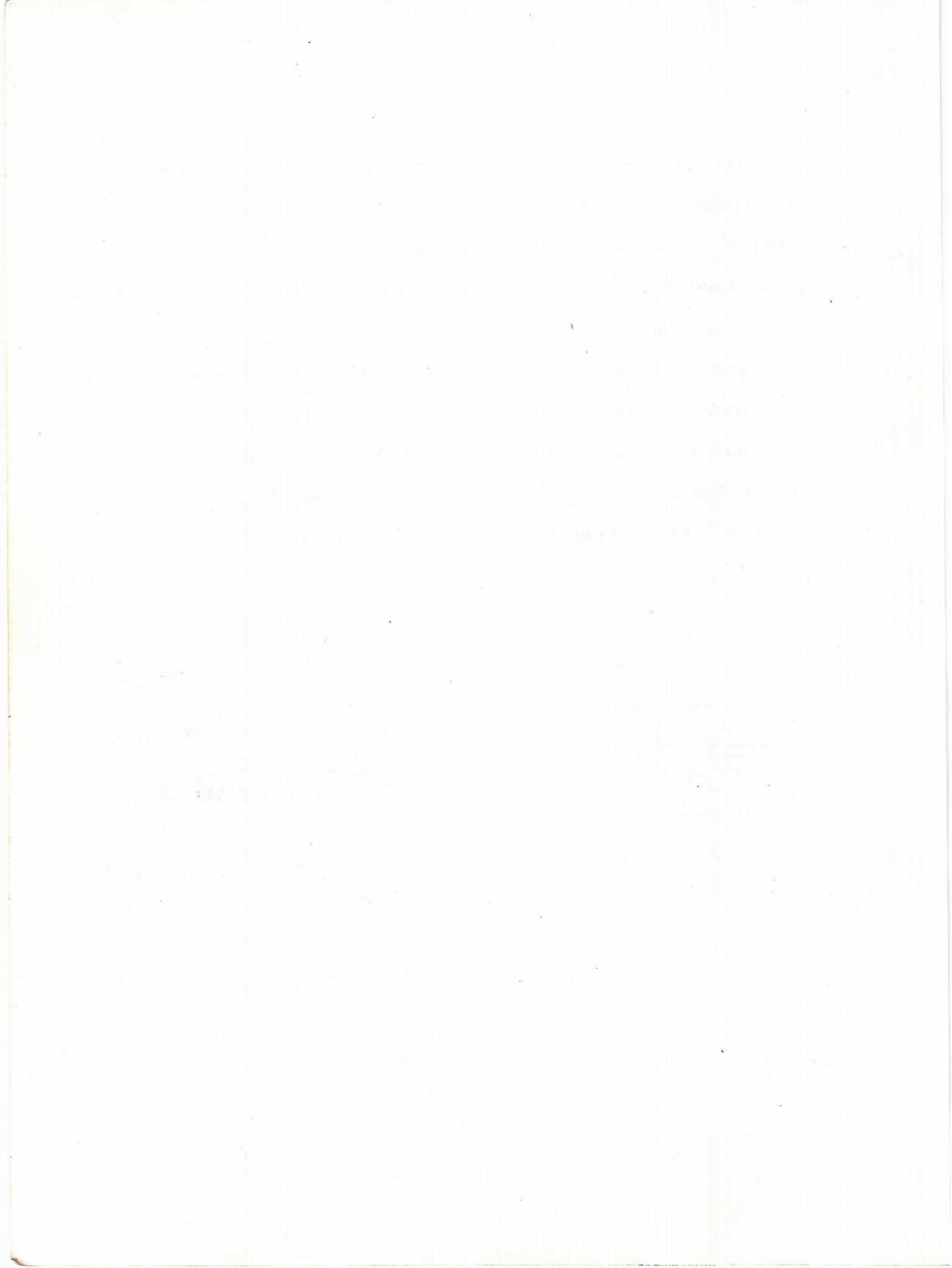
Antes de la integración de este equipo a un programa de prácticas de laboratorio, deben ser atendidas las siguientes recomendaciones:

La instalación eléctrica debe ser mejorada. El motor del ventilador y el motor de giro del cilindro deben tener cada uno su respectivo contactor (por el tamaño de los motores el contactor trae una protección térmica), y el motor del

tornillo alimentador es necesario protegerlo únicamente con un flipón, debido a que este motor tiene una protección térmica interna. El diagrama eléctrico propuesto es presentado en el manual de operación y mantenimiento en este mismo reporte.

Para la instalación del gas propano, se recomienda tener una línea de mayor presión a la que existe actualmente (con un regulador que tenga en su salida una presión que pueda llegar hasta 50 psig), siempre manteniendo la línea de baja presión. El sistema propuesto es el siguiente:





VI. BIBLIOGRAFIA

- Jennings, B.; Lewis, S. Aire acondicionado y refrigeración. Cia. Editorial Continental, S. A. de C. V. México D. F.
1983
- Key, R. Introduction to industrial drying operations. Pergamon Press. Oxford.
1978
- Key, R. Drying principles and practice. Pergamon Press. Oxford.
1972
- Kern, D. Procesos de transferencia de calor. Cia Editorial Continental, S. A. de C. V. México D. F.
1968
- Manual de mantenimiento y recambio de rodamientos. SKF.
1977 Jarold Printing. Inglaterra
- Manual de operación de envasadora Envaflex 2000. Envaflex.
1987 México, D. F.
- Mc Cabe, W.; Smith, J. Unit operation of chemical engineering. Mc Graw-Hill Chemical engineering series. New York.
1976
- Mc Naughton, K. Solids handling. Mc Graw-Hill publications Co. New York ✓
1981
- Mujumdar, A. Drying 80. Hemisphere publishing Co. Washington.
1972
- Mujumdar, A. Advances in drying. Hemisphere publishing Co. Mc Graw-Hill international book Co. Washington.
1983
- Mujumdar, A. Handbook of industrial drying. Marcel Decker incorporation. New York.
1987
- Nonhebel, M.; Moss, A. Drying of solids in the chemical industrie. Butterworths Inc. London.
1971
- Perry, R.; Chilton, C. Chemical engineers Handbook. ✓
1973 International student edition. Auckalnd.
- Principios básicos de la lubricación. Mobil.
1980.

Smith, J.; Van Ness, H. Introducción a la termodinámica en
1981 ingeniería química. Mc Graw-Hill. México, D. F.

Treybal, R. Mass-Transferoperations. McGraw-Hill
1980 Kogakusha. Ltd. Tokyo.

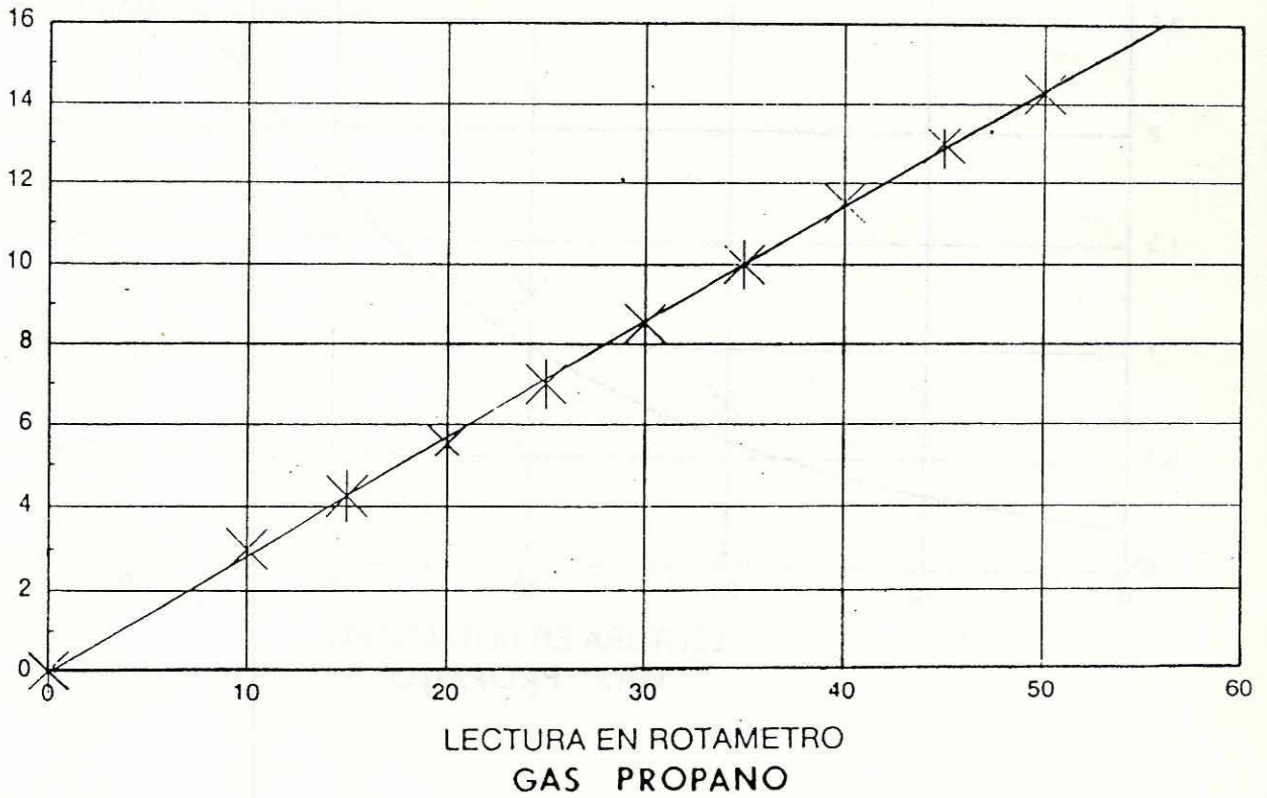
APENDICE A

Calibración de rotámetro y manómetro
de gas propano

Gráfica A.1

LECTURA EN ROTAMETRO CONTRA FLUJO VOLUMETRICO

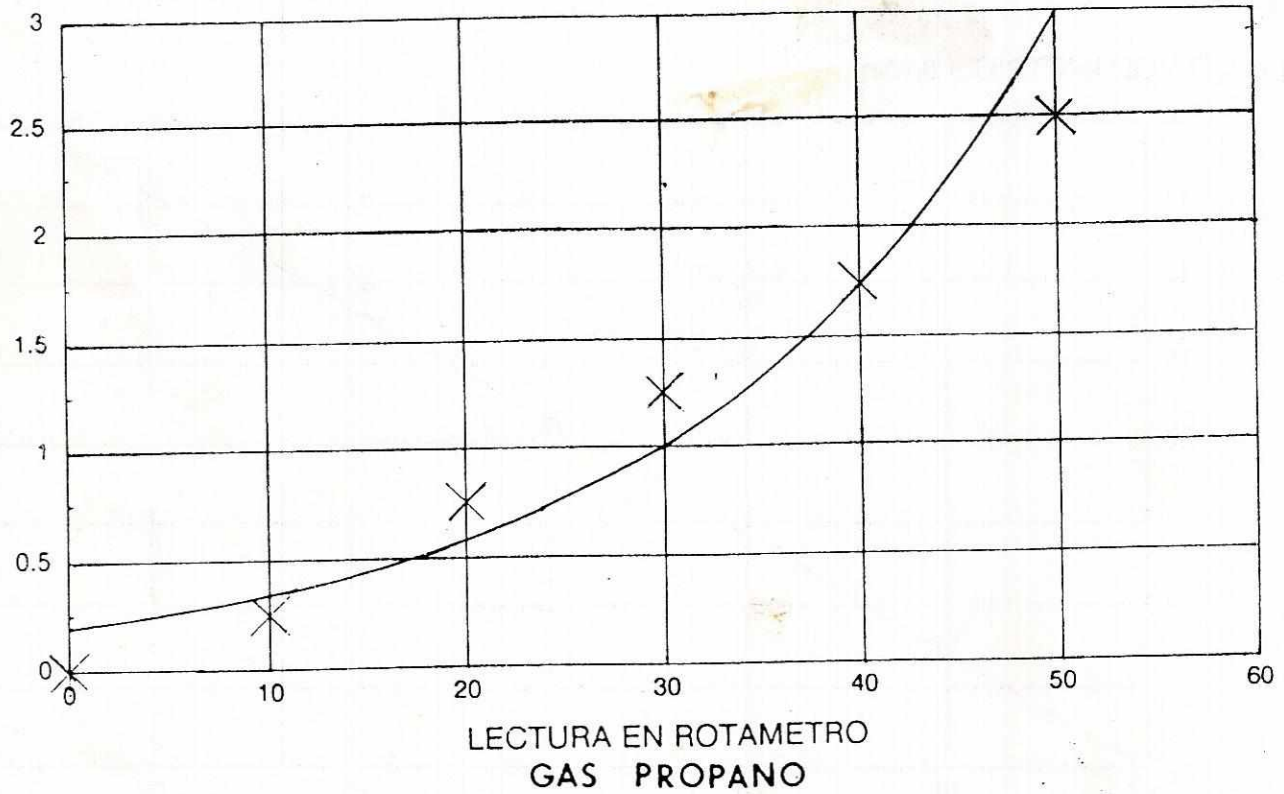
FLUJO VOLUMETRICO (l/Min)



Gráfica A.2

LECTURA EN ROTAMETRO CONTRA PRESION MANOMETRICA

PRESION MANOMETRICA (psig)



APENDICE B

Cálculo de muestra

DATOS MEDIDOS

(entre paréntesis, dimensionales en instrumentos de medición)

Corrida # 16

SOLIDO

Entrada:

Temperatura..... $T_{s1} = 293.2 \text{ K}$ (20 °C)
 Humedad $x_{s1} = 14.10 \%$
 Alimentación; Masa..... 9.07 Kg (20.0 lb)
 Tiempo..... 361 s

Salida:

Temperatura..... $T_{s2} = 323.2 \text{ K}$ (50 °C)
 Humedad..... $x_{s2} = 11.05 \%$
 Producto secado en 369 s..... 3.62 Kg (7.98 lb)

GAS DE SECADO

Medio ambiente:

Temperatura de bulbo seco..... 292.1 K (66.0 °F)
 Temperatura de bulbo húmedo... 288.2 K (59.0 °F)
 (Humedad relativa 68.8 %)

Gas propano:

Consumo volumétrico..... $7.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (4.26 l/min)

Presión..... 88804 Pa (0.50 psig)

Gas de secado en la entrada:

Temperatura..... $T_{g1} = 683.2$ K (410 °C)

Gas de secado en la salida:

Temper. de bulbo seco.. $T_{g2} = 328.2$ K (55.0 °C)

Temperatura de bulbo húmedo.. 324.2 K (51.0 °C)
(humedad relativa 81.1 %)

Velocidad del gas en la salida del ciclón..... 1.372 m/s (270 pie/min)

Temperatura del gas en la salida del ciclón..... 322.2 K (49 °C)

TEMPERATURA EN PAREDES DEL CILINDRO ROTATORIO

0.10 m de distancia..... 330.2 K (57 °C)

0.50 m de distancia..... 316.2 K (43 °C)

1.00 m de distancia..... 310.2 K (37 °C)

1.50 m de distancia..... 306.2 K (33 °C)

2.12 m de distancia..... 303.2 K (30 °C)

Inclinación del cilindro: 0.0300 m/m

DATOS ADICIONALES

Tamaño de partícula: 250_{E-6} m

Densidad en bulto del sólido: 800 kg/m³

Constante de los gases ideales: 8.3144 Pa*m³/mol*K

Radio psicométrico del sistema aire-agua: 950 J/Kg*K

Calor de combustión del propano (25 °C): 2.044_{E6} J/mol

CALCULO:

COMBUSTION:

Consumo de gas propano:

$$\sqrt{PV = nRT}$$

P = presión = 88804 Pa

V = flujo volumétrico = $7.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

n = flujo molar

R = Constante de gases ideales

T = temperatura = 292.1 K

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{88804 \text{ Pa} * 7.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{8.3144 \text{ Pa m}^3/\text{mol K} * 292.1 \text{ K}} = 0.0025961 \text{ mol/s}$$

$$\begin{aligned} \text{flujo másico} &= 0.0025961 \text{ mol/s} * 0.044 \text{ kg/mol} \\ &= 1.142 \times 10^{-5} \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

Calor de combustión:



$$- \Delta H_c = 2.044 \times 10^6 \text{ J/mol C}_3\text{H}_8$$

$$- \Delta H_c = 0.0025961 \text{ mol/s} * 2.044 \times 10^6 \text{ J/mol} = 5306.5 \text{ J/s}$$

Balance de masa en cámara de combustión:

Humedad del medio ambiente:

$$t - t_w = \frac{\lambda_w (Y_w - Y)}{h_g/K_y}$$

t = temperatura de bulbo seco = 292.1 K

t_w = temperatura de bulbo húmedo = 288.2 K

λ_w = calor latente de agua a t_w = $2.463 \times 10^6 \text{ J/kg}$

Y_w = humedad absoluta de saturación a t_w
= 0.01268 kg H₂O/kg aire seco

Y = humedad del aire

h_g/k_y = radio psicométrico (agua-aire) = 950 J/kg K

$$Y = Y_w - \frac{h_g/k_y (t - t_w)}{\lambda_w}$$

$$Y = Y_w - \frac{950 \text{ J/kg K} (292.1 \text{ K} - 288.2 \text{ K})}{2.463 \times 10^6 \text{ J/kg}}$$

Handwritten: 0.011768, 0.0126742

$$Y = 0.01117 \text{ kg H}_2\text{O/kg aire seco}$$

Flujo de aire seco entrando a la cámara de combustión:

$$\text{flujo molar de gas húmedo en salida} = n = \frac{PV}{RT}$$

$$V = v \cdot A \quad v = \text{velocidad lineal}; \quad A = \text{área}$$

$$V = 1.372 \text{ m/s} \cdot ((0.11 \text{ m})^2 \cdot \pi/4) = 0.01304 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = \text{presión atmosférica} = 85357 \text{ Pa} \quad (640 \text{ mmHg})$$

$$T = 322.2 \text{ K}$$

$$n = \frac{85357 \text{ Pa} \cdot 0.01304 \text{ m}^3/\text{s}}{8.3144 \text{ Pa m}^3/\text{mol K} \cdot 322.2 \text{ K}} = 0.41549 \text{ mol/s}$$

Humedad del gas de salida:

$$t = 328.2 \text{ K} \rightarrow 130^\circ\text{F}$$

$$t_w = 324.2 \text{ K}$$

$$Y_w = 0.11129 \text{ kg H}_2\text{O/kg gas seco}$$

$$\lambda_w = 2.378 \times 10^6 \text{ J/kg H}_2\text{O}$$

$$Y_2 = 0.11129 - \frac{950 \text{ J/kg K} (328.2 \text{ K} - 324.2 \text{ K})}{2.378 \times 10^6 \text{ J/kg}}$$

$$Y_2 = 0.10969 \text{ kg H}_2\text{O/kg gas seco} \quad (9.8849 \% \text{ H}_2\text{O})$$

Después de un iteración, el peso molecular del gas seco es 0.0291 kg/mol

Composición del gas de salida

	en peso	molar
H ₂ O	9.8849 %	15.062 %
gas seco	90.1151 %	84.938 %

Moles de gas seco en la salida de la cámara de combustión y entrada de la sección de secado:

$$\begin{aligned}\text{flujo molar de gas seco} &= 0.41549 \text{ mol/s} * 0.84938 \\ &= 0.35291 \text{ mol/s}\end{aligned}$$

Si Z es el flujo molar de aire seco que entra a la cámara de combustión, la composición del gas antes y después de la combustión es la siguiente:

	Antes de la combustión (mol/s)	después de la combustión (mol/s)
C ₃ H ₈	0.0025961	0
O ₂	0.21*Z	0.21*Z - 5*0.0025961
CO ₂	0	3*0.0025961
H ₂ O	0.01117*1.602*Z	0.01117*1.602*Z - 4*0.0025961
N ₂	0.79*Z	0.79*Z
1.01890*Z + 0.0025961		= 1.01890*Z + 0.0051922

$$Z - 0.0051922 = 0.35291 \text{ mol gas seco/s}$$

$$Z = 0.35810 \text{ mol aire seco/s}$$

Flujo de los componentes del gas de secado a la sección de secado:

	Flujo molar (mol/s)	Flujo masico (kg/s)
O ₂	0.062220	1.991 _E -3
CO ₂	0.007788	3.427 _E -4
H ₂ O	0.016794	3.023 _E -4
N ₂	0.282899	7.921 _E -3
0.369701		0.010557

$$G_s = 0.01025 \text{ kg gas seco/s}$$

$$Y_1 = 0.02948 \text{ kg H}_2\text{O/kg gas seco}$$

Pérdidas en Combustión:

Calor absorbido por el gas de secado (292.1 -- 683.2 K):

$$C_{p_{O_2}} = 31.16 \text{ J/mol K}$$

$$C_{p_{W_2}} = 30.16 \text{ J/mol K}$$

$$C_{p_{CO_2}} = 44.19 \text{ J/mol K}$$

$$C_{p_{W_2O}} = 35.56 \text{ J/mol K}$$

Handwritten notes:
 $1.63 \times 10^{-3} + 1.6 \times 10^{-3}$
 6.91×10^{-3}

$$Q_{\text{abs}} = (31.16 \cdot 0.062220 + 44.19 \cdot 0.007788 + 35.56 \cdot 0.01679 + 35.56 \cdot 0.016794 + 30.16 \cdot 0.282899) \cdot 391.1 \text{ K}$$

$$= 4463.0 \text{ J/s}$$

$$\text{Pérdidas} = \frac{(5306.5 - 4463.0)}{5306.5} \cdot 100 = 15.89 \%$$

BALANCE DE MASA EN EL SECADO:

Flujo másico de sólido seco:

$$S_s = \frac{9.07 \text{ Kg} \cdot 0.8590}{361 \text{ s}} = 0.02158 \text{ Kg sólido seco/s}$$

✓ Humedades absolutas en sólido:

$$x_1 = \frac{14.10}{100 - 14.10} = 0.16414 \text{ kg H}_2\text{O/kg sólido seco}$$

$$x_2 = \frac{11.05}{100 - 11.05} = 0.12423 \text{ kg H}_2\text{O/kg sólido seco}$$

$$\text{Agua evaporada del sólido} = 0.02158 (0.16414 - 0.12423)$$

$$= 0.0008615 \text{ Kg H}_2\text{O/s}$$

$$\text{Flujo másico del gas: } G_s = 0.01025 \text{ kg gas seco/s}$$

$$\text{Humedad de entrada: } Y_1 = 0.02948 \text{ kg H}_2\text{O/kg gas seco}$$

$$\text{Humedad de salida: } Y_2 = 0.10969 \text{ kg H}_2\text{O/kg gas seco}$$

$$\text{Agua evaporada por el gas} = 0.01025 (0.10969 - 0.12423)$$

$$= 0.0008225 \text{ kg H}_2\text{O/s}$$

$$\text{Diferencia abs. porcentual} = \frac{0.0008615 - 0.0008225}{0.0008615} \cdot 100$$

$$= 4.53 \%$$

BALANCE DE ENERGIA EN EL SECADO:

Calor aprovechado para la vaporización de agua a 20 °C:

$$\bar{\lambda} = 2.4511 \times 10^6 \text{ J/kg H}_2\text{O}$$

$$\lambda = 0.0008615 \text{ kg/s} * 2.4511 \times 10^6 \text{ J/kg} = 2111.6 \text{ J/s}$$

Cambio entálpico en sólido:

$$H_s = (C_{p_{\text{sólido seco}}} + C_{p_{\text{H}_2\text{O}(l)}} * X) * (t - t_o) + H_A$$

$$t_o = \text{temperatura de referencia} = 273.2 \text{ K}$$

$$H_A = \text{calor integral de adsorción (en este caso } H_A = 0)$$

$$C_{p_{\text{sólido seco}}} = 1841.0 \text{ J/kg K}; C_{p_{\text{H}_2\text{O}(l)}} = 4184.0 \text{ J/kg K}$$

$$H_{s1} = (1841.0 + 4184.0 * 0.16414) * (293.2 - 273.2 \text{ K}) \\ = 50556 \text{ J/kg sólido seco}$$

$$H_{s2} = (1841.0 + 4184.0 * 0.12423) * (323.2 - 273.2 \text{ K}) \\ = 118038 \text{ J/kg sólido seco}$$

$$\Delta H_s = 0.02158 * (118038 - 50556) = 1456.4 \text{ J/s}$$

Calor absorbido por el producto (pérdidas por calentamiento del producto)

$$H'_{s1} = (1841.0 + 4184.0 * 0.12423) * (293.2 - 273.2 \text{ K}) \\ = 47216 \text{ J/kg sólido seco}$$

$$\Delta H'_s = 0.02158 * (118038 - 47216) = 1528.5 \text{ J/s}$$

Cambio entálpico en gas:

$$H_g = (C_{p_{\text{gas seco}}} + C_{p_{\text{H}_2\text{O}(g)}} * Y) * (t - t_o) + Y * \lambda_o$$

$$t_o = \text{temperatura de referencia} (273.2 \text{ K})$$

$$\lambda_o = \text{calor latente de vaporización a } t_o = 2.499 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

Entrada:

$$C_{p_{\text{gas seco}}} = 1052.3 \text{ J/kg K} \quad C_{p_{\text{H}_2\text{O}(g)}} = 1970.3 \text{ J/kg K}$$

$$H_{g1} = (1052.3 + 1970.3 * 0.02948) * (603.2 - 273.2) \\ + 0.02948 * 2.499 \times 10^6 = 528939 \text{ J/kg gas seco}$$

q = Cp m Δt.

Salida:

$$C_{p_{\text{gas seco}}} = 1010.5 \text{ J/kg K} \quad C_{p_{\text{H}_2\text{O(g)}}} = 1868.8 \text{ J/kg K}$$

$$H_{g2} = (1010.5 + 1868.8 * 0.10969) * (328.2 - 273.2) + 0.10969 * 2.499 \times 10^6 = 340974 \text{ J/kg}$$

$$- \Delta H_g = 0.01025 * (528939 - 340974) = 1927.3 \text{ J/s}$$

Calor absorbido por el gas (pérdidas por calentamiento del gas desde 20 °C hasta la temperatura de salida):

$$C_{p_{\text{gas seco}}} = 1003.8 \text{ J/kg K} \quad C_{p_{\text{H}_2\text{O(g)}}} = 1858.5 \text{ J/kg K}$$

$$H'_{g1} = (1003.8 + 1858.5 * 0.10969) * (293.2 - 273.2) + 0.10969 * 2.499 \times 10^6 = 296947 \text{ J/kg}$$

$$\Delta H'_g = 0.01025 * (340974 - 296947) = 451.4 \text{ J/s}$$

Diferencia entre cambio entálpico de gas y sólido:

$$\text{diferencia abs. porcentual} = \frac{1927.5 - 1456.4}{1927.5} = 24.43 \%$$

PERDIDAS POR RADIACION Y CONVECCION EN PAREDES DEL CILINDRO

$$q = (f_c + f_r) * A * (t_i - t_e)$$

$(f_c = f_r)$ = factor de película por convección y radiación

A = área

t_i = temperatura de pared

t_e = temperatura de medio ambiente = 292.1 K

Como la temperatura varia a lo largo del cilindro se hace el siguiente análisis:

$$dq = (f_c + f_r) * (t_i - t_e) * dA$$

$$dA = \pi * D * dx$$

x = distancia a lo largo del secador

D = diámetro del cilindro (0.38 m)

x (m)	t _i (K)	(f _c + f _r) (W/m ² K)	dq/dx (W/m)
0.10	330.2	10.79	490.8
0.50	316.2	10.27	295.7
1.00	310.2	10.07	217.6
1.50	306.2	9.93	167.3
2.12	303.2	9.84	130.4

Por una integral de trapecios

$$q = 471.2 \text{ J/s}$$

DISTRIBUCION DEL CALOR PROPORCIONADO POR EL GAS PROPANO

Calor de combustión del propano	5306.5	(100.00 %)
(-) pérdidas en combustión ✓	843.5	(15.89 %)
(-) calor vaporización agua ✓	2111.6	(39.79 %)
(-) calentamiento del gas	451.4	(8.51 %)
(-) calentamiento del sólido	1528.5	(28.20 %)
(-) pérdidas de calor en paredes	471.2	(8.88 %)
DIFERENCIA	-99.7	(-1.87 %)

TIEMPO DE RESIDENCIA

sólido secado en 361 s = 3.62 kg

sólido seco en secador = 9.07 * 0.8590 - 3.62 * 0.8895
= 4.57 kg sólido seco

S_s = 0.02158 kg sólido seco/s

$$t_{res} = \frac{4.57 \text{ kg}}{0.02158 \text{ kg/s}} = 212 \text{ s (3 minutos, 32 segundos)}$$

$$H_D = \frac{t_{res} * S_s}{L * s * A}$$

H_D = fracción del secador ocupada por el sólido

t_{res} = tiempo de residencia

L = largo del secador = 2.30 m

S_s = flujo másico de sólido seco

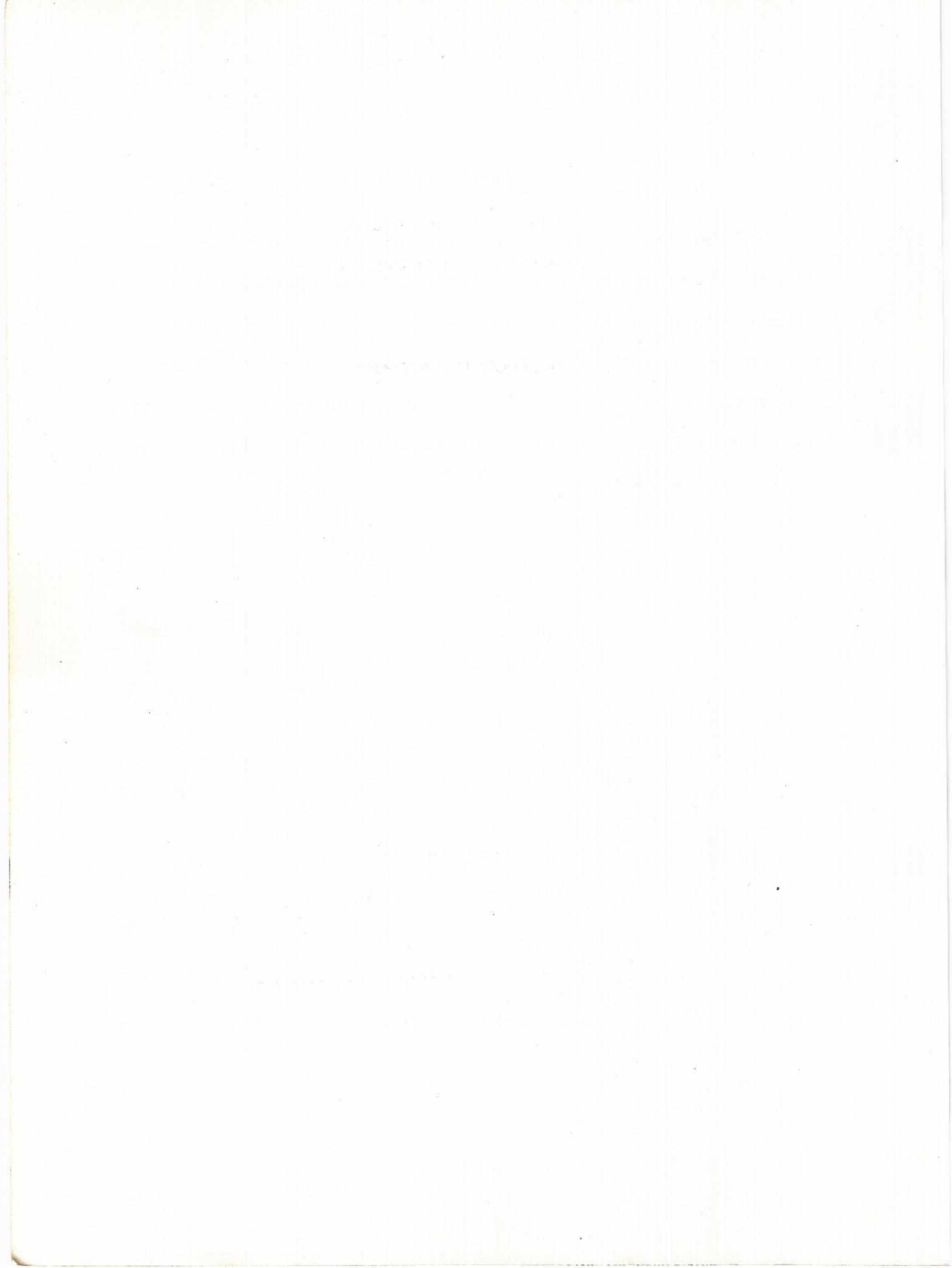
s = densidad del sólido seco = 800 kg/m³

A = sección transversal del secador = 0.1134 m²

$$H_D = \frac{212 * 0.02158}{2.30 * 800 * 0.1134} = 0.02742 \quad (2.742 \%)$$

APENDICE C

En las páginas que contiene este apéndice, se encuentra el manual de operación y mantenimiento del secador rotatorio, construido para la Universidad del Valle de Guatemala. La estructuración de dicho manual se realizó con la intención de que éste pueda ser extraído de este reporte y ser utilizado individualmente. Debido a lo anterior, éste lleva su propio índice y numeración.



MANUAL DE OPERACION
Y MANTENIMIENTO PARA EL

SECADOR ROTATORIO

SR-88

UNIVERSIDAD DEL
VALLE DE GUATEMALA

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
INGENIERIA QUIMICA

1870

1871

1872

1873

1874

1875

1876

1877

1878

1879

1880

1881

1882

1883

1884

1885

1886

1887

1888

1889

1890

1891

1892

1893

1894

1895

1896

1897

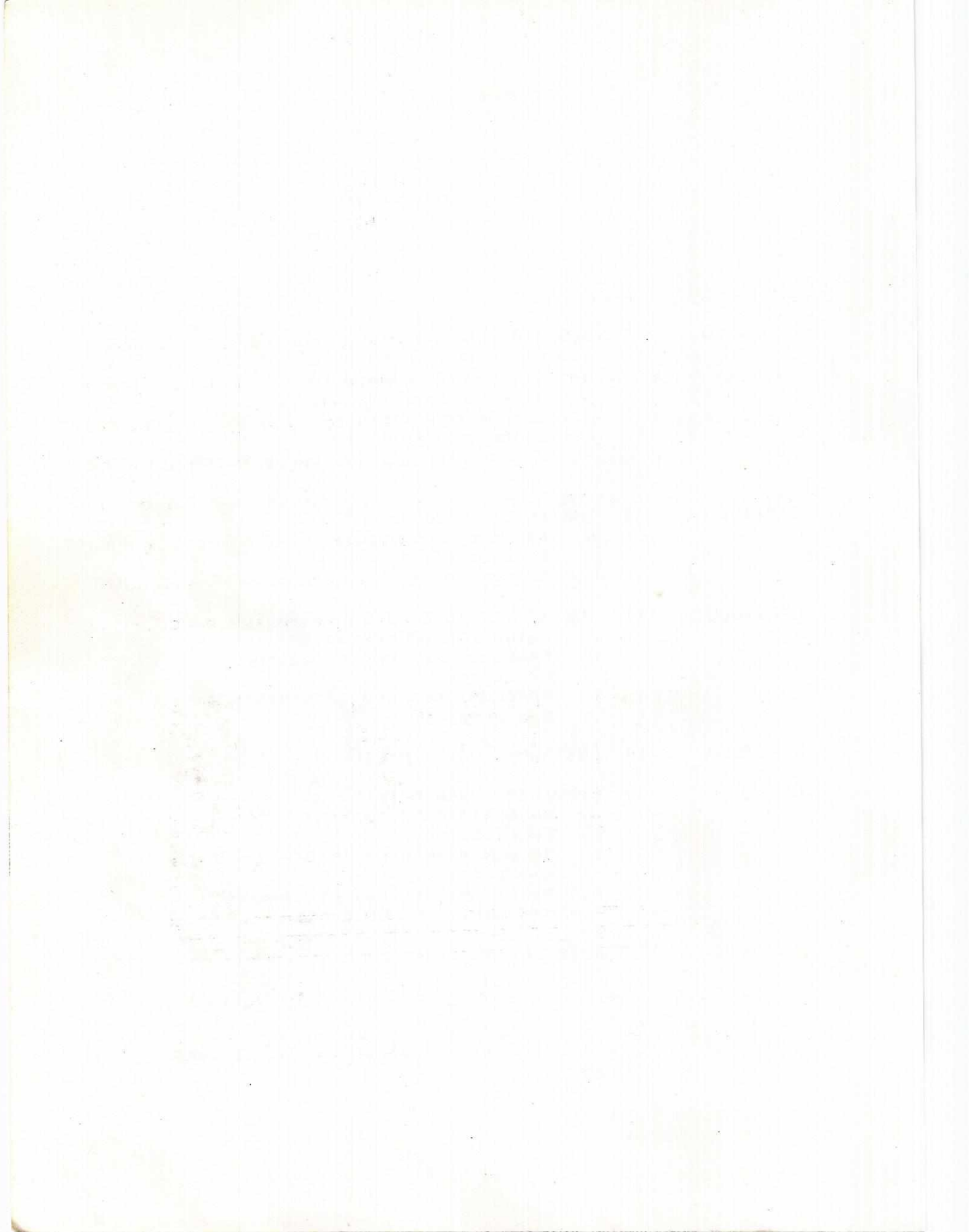
1898

1899

1900

CONTENIDO

		Página
CAPITULO	I DESCRIPCION GENERAL	1
	A. El secador rotatorio	1
	B. Sistema de combustión	3
	C. Sistema de alimentación	4
	D. Cuerpo del secador	5
	E. Descarga del sólido	9
	F. Sistema de extracción de gases	9
CAPITULO	II INSTALACION DEL EQUIPO	11
	A. Anclaje del equipo	11
	B. Sistema eléctrico	11
	C. Sistema de gas propano	13
CAPITULO	III INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION	15
	A. Secuencia de operación	15
	B. Precauciones con el equipo eléctrico	16
	C. Precauciones con el sistema de gas propano	17
CAPITULO	IV INSTRUMENTOS DE MEDICION	19
CAPITULO	V SERVICIO Y MANTENIMIENTO	21
	A. Mantenimiento general	21
	B. Lubricación	21
	C. Mantenimiento del sistema eléctrico	28
	D. Mantenimiento del sistema de combustión	29
CAPITULO	VI GUIA DE PRACTICA	31



CAPITULO I

DESCRIPCION GENERAL

A. El secador rotatorio

El secador rotatorio SR-88 esta construido para trabajar en corriente paralela, introduciendose el solido por medio de un alimentador de tornillo. El solido avanza a través del cilindro por la accion del flujo gaseoso y la inclinacion del secador, la cual puede variarse. El gas de secado es una mezcla de gases de combustion y aire, que es forzado a pasar por el secador por un ventilador que actúa como extractor. El combustible utilizado para calentar el gas de secado es gas propano.

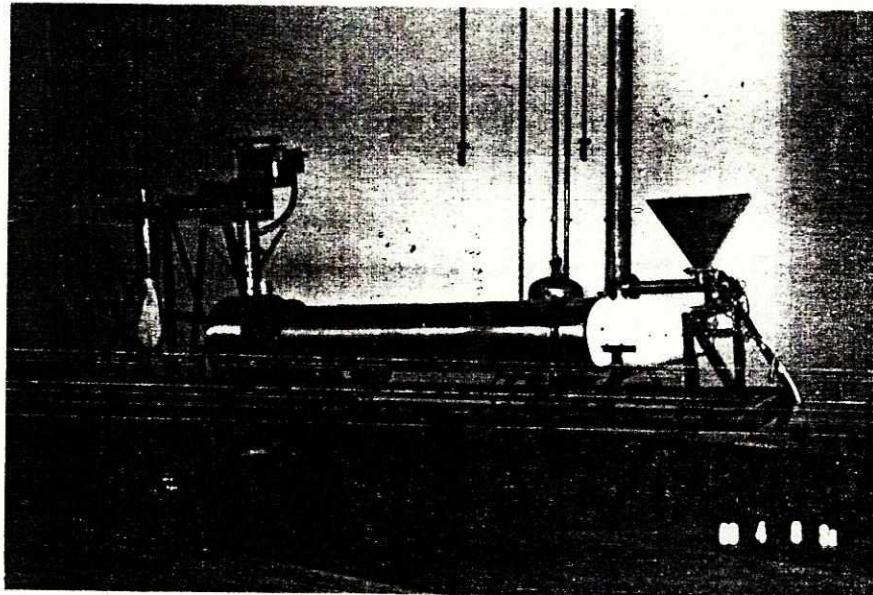


Fig. 1 Vista general del secador

- | | |
|--|---|
| 1. Cilindro rotatorio | 14. Descarga del sólido |
| 2. Cámara de combustión | 15. Deposito de agua para la medición de temperatura de bulbo húmedo |
| 3. Quemador | 16. Termómetros |
| 4. Tolva de alimentación | 17. Ventilador |
| 5. Alimentador de tornillo sin fin | 18. Motor del ventilador |
| 6. Compuerta de paso al tornillo sin fin | 19. Sistema de poleas para cambio de velocidad de giro del ventilador |
| 7. Motorreductor del tornillo sin fin | 20. Ciclón |
| 8. Juego de cadena y ruedas dentadas del tornillo sin fin | 21. Patas delanteras móviles |
| 9. Rodos de soporte del cilindro | 22. Manivela para ajustar la inclinación |
| 10. Motor para el giro del cilindro | |
| 11. Reductor de velocidad para giro del cilindro | |
| 12. Juego de cadena y ruedas dentadas para la transmisión de fuerza. | |
| 13. Sello entre parte móvil y de rotación | |

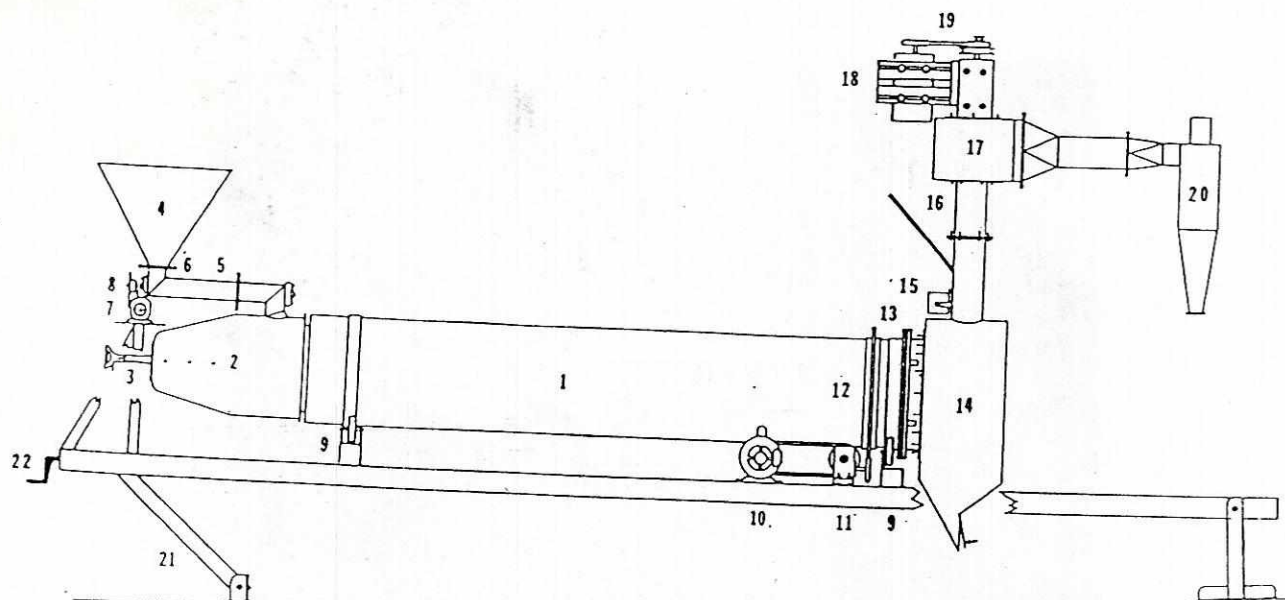


Fig. 2 Partes del secador

B. Sistema de combustion

El sistema de combustion está compuesto por un quemador y la cámara de combustion. El quemador es un mechero Bunnsen, el cual está adaptado para la operación del secador. Tiene una sola boquilla con un orificio de 1.5 mm de diametro, y puede operar con una presión máxima de 2.0 psig. y a flujo volumétrico de 15 l/min. La cámara de combustion tiene una entrada de aire suficiente para cumplir con los requerimientos de flujo. En su interior tiene tres paletas helicoidales, que tienen como función mejorar la mezcla de aire con gases de combustion, y dirigen en forma contraria al giro del cilindro rotatorio.

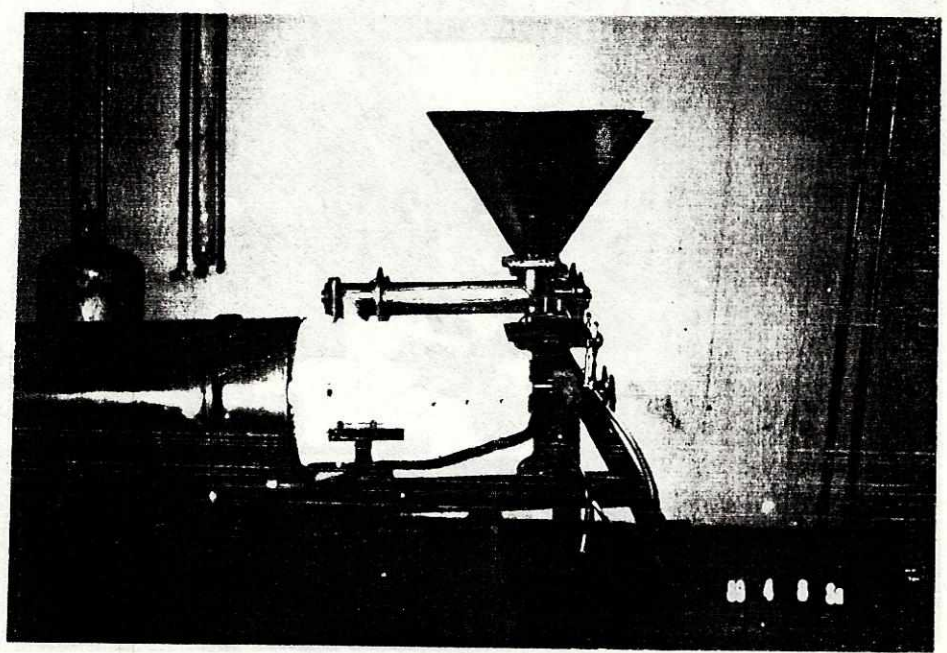


Fig. 3 Cámara de combustion

C. Sistema de alimentación

La alimentación del sólido al cilindro se realiza por un sistema de transportador de tornillo sin fin. El tornillo es accionado por un motoreductor monofásico de 110 V y 60 Watts de potencia. El motor de 1750 rpm (1500 rpm según placa del motor) acciona el reductor con una tasa de reducción de 10, el cual, a su vez por un sistema de cadena transmite la fuerza al tornillo. La velocidad de alimentación puede variarse cambiando la relación de dientes de las ruedas dentadas, contándose con dos juegos para tener una velocidad de rotación del tornillo de 42 y 73 rpm.

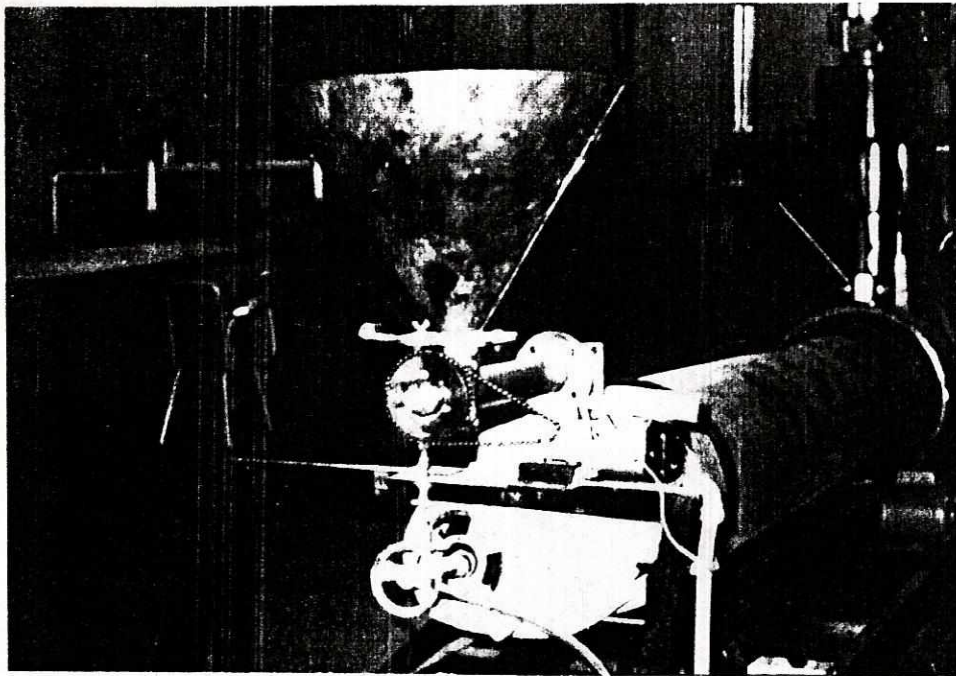


Fig. 4 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación tiene una compuerta, cuya única función es la de interrumpir el flujo del sólido en el momento que se desee. Sin embargo, esta función también se puede efectuar parando el motorreductor.

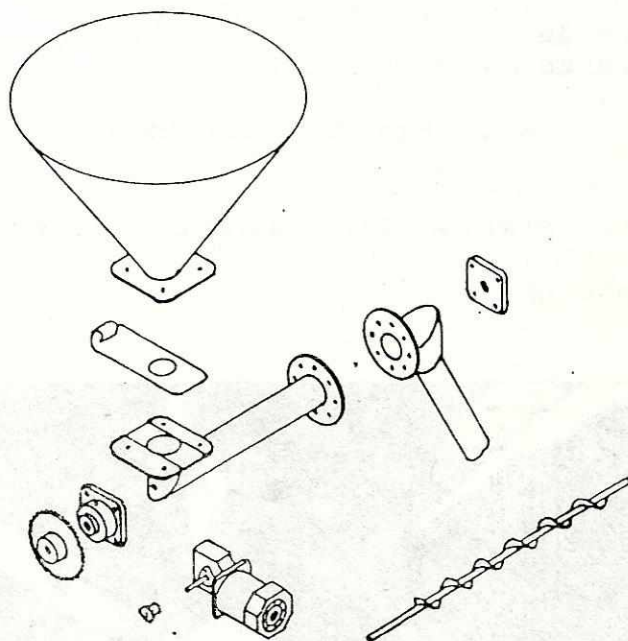


Fig. 5 Partes del sistema de alimentación

D. Cuerpo del secador

El cuerpo del secador es un cilindro de 0.38 metros de diámetro y 2.30 metros de largo. En ambos extremos (0.20 m) cuenta con seis paletas helicoidales que permiten un avance rápido del producto y evita la cascada. A lo largo, el cilindro (a excepción de las regiones que están provistas de paletas helicoidales) tiene seis paletas de alzamiento, las

cuales provocan la cascada del producto dentro del secador.

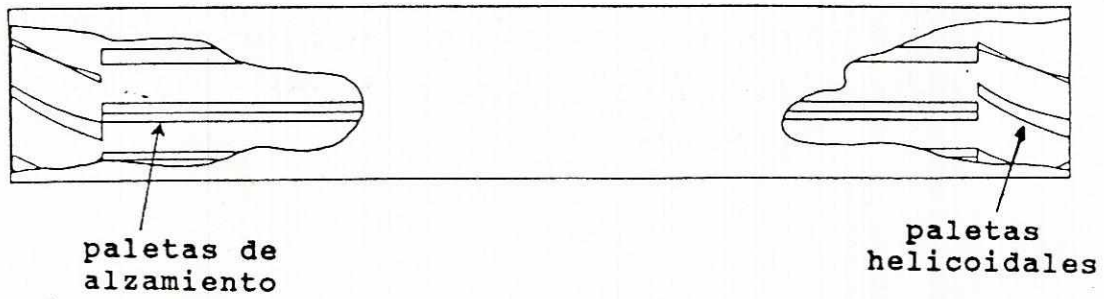


Fig. 6 Cilindro

Una vista interior del cilindro se puede apreciar en la gráfica siguiente:

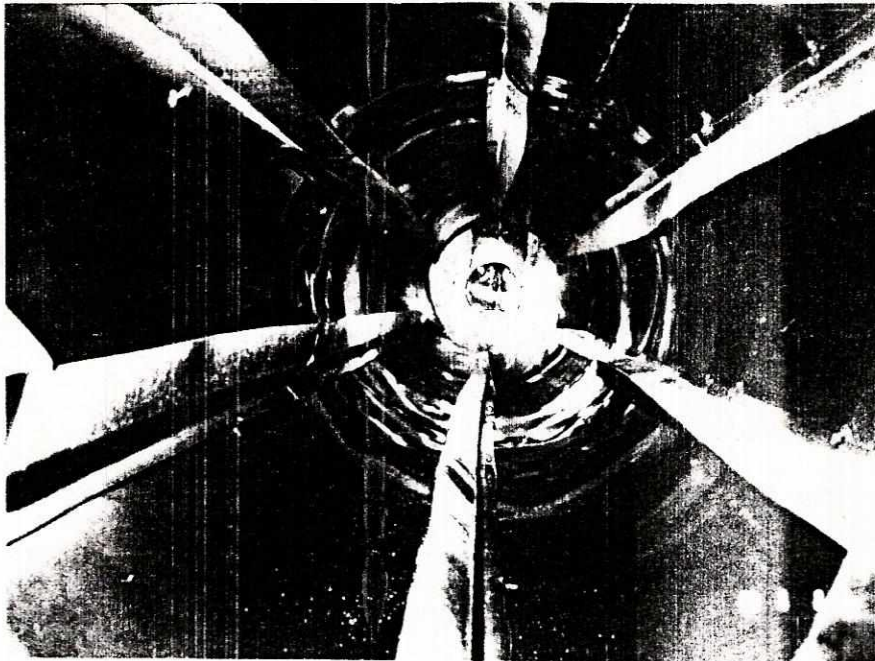


Fig. 7 Paletas de alzamiento

En el extremo final del cilindro, para evitar el ingreso de aire al secador tiene un sello de asbesto, teniendose como lubricación entre la parte móvil y la parte estacionaria, polvo de grafito. El sello puede apreciarse en la figura que se presenta a continuación:

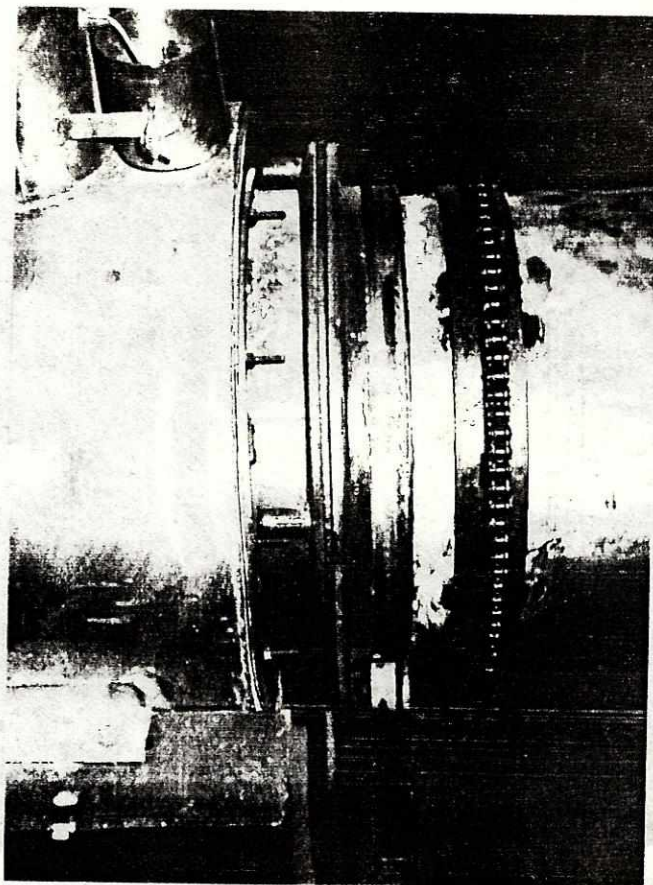


Fig. 4 Sello

La rotación del cilindro es producida por un sistema de motor, reductor y cadena. El motor monofásico de 110 V, 1725 rpm y 1/3 hp transmite su fuerza a un reductor por medio de una faja y dos poleas. El reductor tiene una tasa de reducción de 20 y transmite la fuerza al cilindro por medio de una cadena. El cilindro gira a una velocidad de 12 rev/min. La relación de velocidad entre el cilindro y el "sprocket" del reductor es de 20:115.

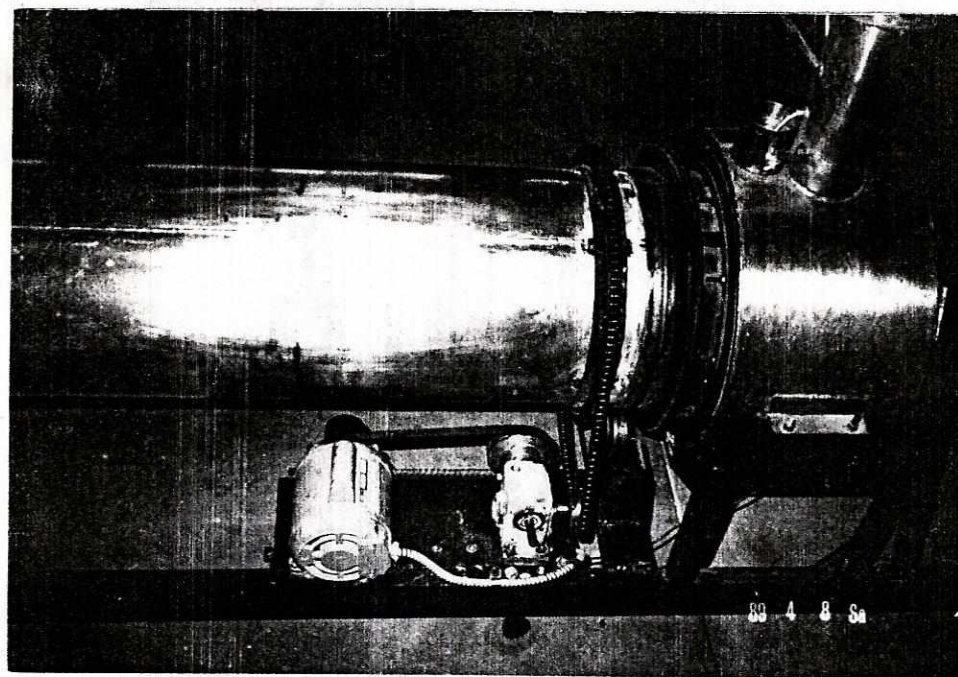


Fig. 9 Transmisión de fuerza al cilindro

Para su giro, el cilindro descansa sobre cuatro rodos.

E. Descarga del sólido

La descarga del sólido se realiza en la sección del secador, mostrada en la figura de abajo. Tiene una compuerta para evitar la entrada excesiva de aire al interior del secador.

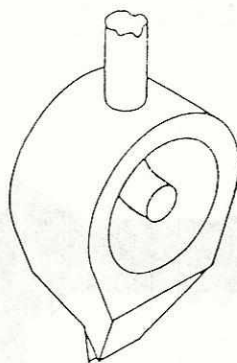


Fig. 10 Descarga del sólido

F. Sistema de extracción de gases

La extracción del gas del secador se realiza con un ventilador centrífugo de paletas rectas (del tipo utilizado para el manejo de aire con polvos finos), el cual envía la corriente gaseosa a un ciclón, donde son separados los polvos finos arrastrados por el gas. El arreglo de este sistema puede ser observado en la figura que se presenta en la página siguiente. El motor que acciona el ventilador es un motor monofásico 220 V de 1/2 hp, que transmite el movimiento a una polea compuesta, y tiene las siguientes especificaciones:

	diámetro de polea	velocidad angular	flujo promedio
1	1.0 pulg	4375 rpm	80 pie ³ /min
2	2.5 pulg	1750 rpm	42 pie ³ /min
3	4.0 pulg	1090 rpm	24 pie ³ /min

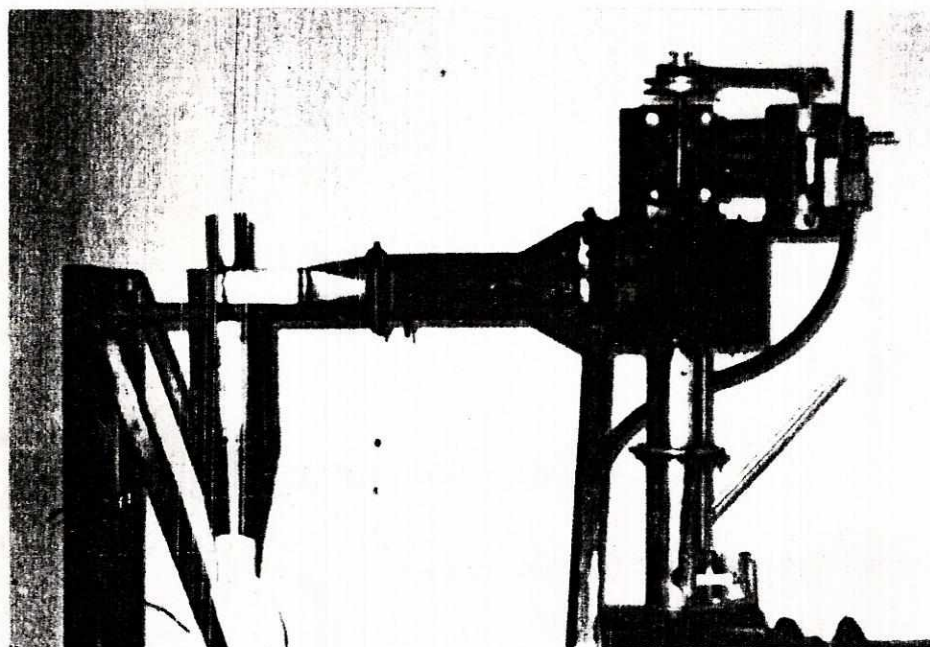


Fig. 11 Vista del sistema de extracción de gases

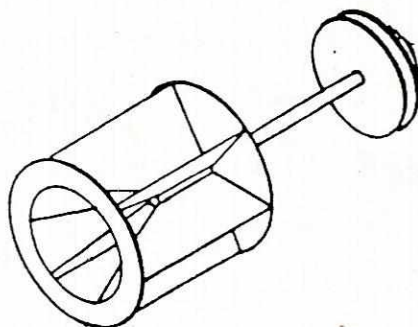


Fig. 12 Ventilador

CAPITULO II
INSTALACION DEL EQUIPO

A. Anclaje

El equipo puede ser anclado al suelo con pernos de anclaje o con tarugos de expansión. Los tarugos de expansión que deben emplearse en el anclaje deben ser mayores de 1/2 pulgada de diámetro.

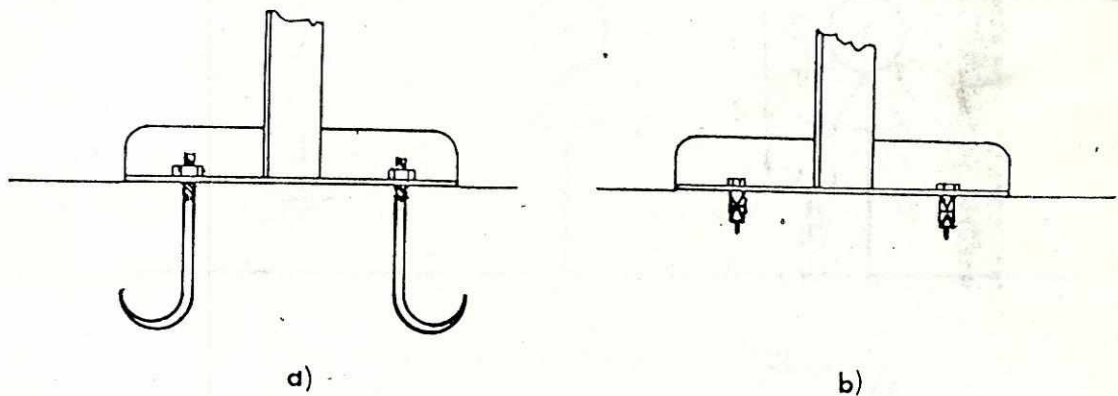


Fig. 13 Anclaje del equipo, a) pernos de anclaje
b) tarugos de expansión

B. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico debe ser instalado, según el siguiente diagrama. Es importante notar que el motor del tornillo de alimentación tiene protección interna.

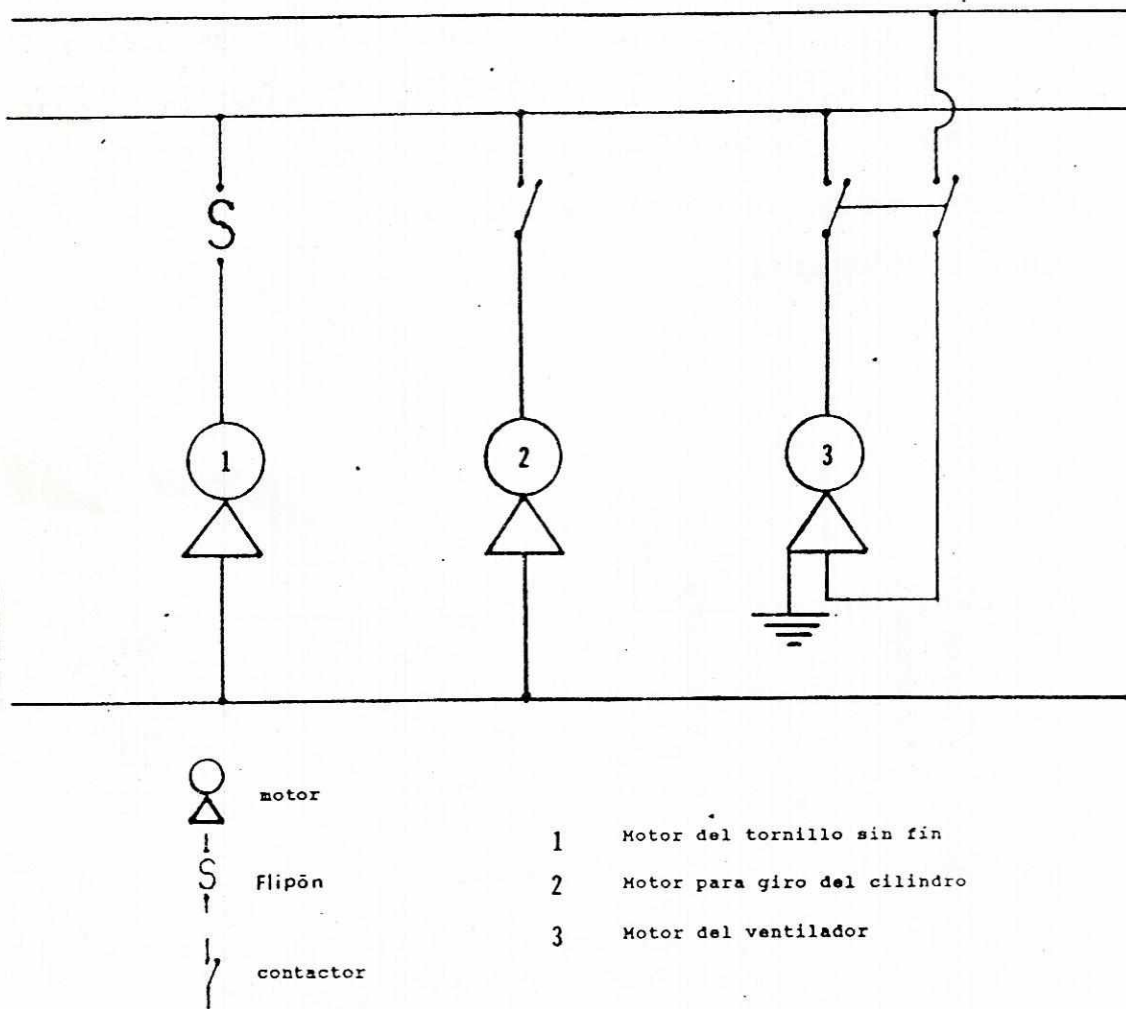


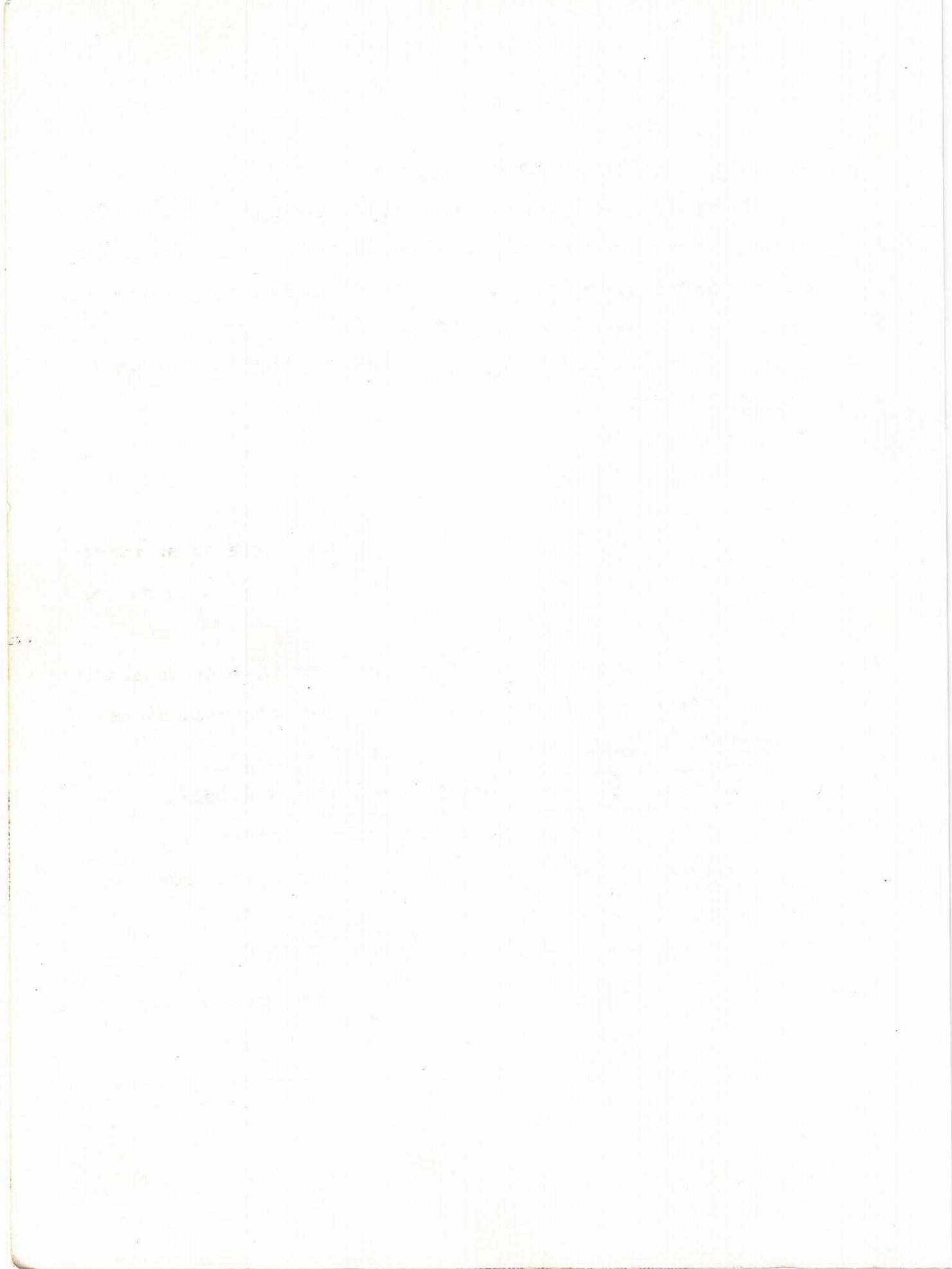
Fig. 14 Diagrama eléctrico

C. Sistema de gas propano

La presión que debe llegar al rotámetro para medición del flujo del gas propano debe ser de 40 psig. Este rotámetro actúa como un regulador del cual se obtiene una presión de salida que se encuentra dentro del intervalo de 0.50 y 2.50 psig. La instalación debe ser hecha, según la siguiente figura:



Fig. 15 Instalación de gas propano



CAPITULO III
INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION

A. Secuencia de operación

En la operación del secador rotatorio SR-88 se sigue la siguiente secuencia:

Arranque:

1. Determinar si el producto que se piensa secar puede ser trabajado en el secador (principalmente en el caso de los productos pegajosos).
2. Ajustar la inclinación del secador al valor deseado.
3. En el ventilador colocar la polea correspondiente, según el flujo de gas que se desee trabajar.
4. Asegurarse que los instrumentos de medición se encuentren preparados y en las condiciones necesarias.
5. Arrancar los motores del equipo, uno por uno, dejando un pequeño lapso entre cada arranque.
6. Encender el quemador y graduar la llama (NOTA: el quemador es encendido hasta que los motores están trabajando y no antes).
7. Agregar el sólido en la tolva, manteniendo cerrada la compuerta de descarga al tornillo.

8. Abrir la compuerta de la tolva de alimentación en el momento que se tenga todo preparado para iniciar la prueba.

Durante el proceso:

9. Asegurarse, frecuentemente, si la llama no se ha apagado.

10. Revisar, constantemente, la temperatura de entrada del gas al secador.

11. Realizar las mediciones necesarias, cada cinco minutos.

Paro del equipo:

12. Apagar quemador, cerrando la llave de globo que se encuentra antes del rotámetro del gas propano.

13. Asegurarse que la llave de la línea de gas propano se encuentra bien cerrada.

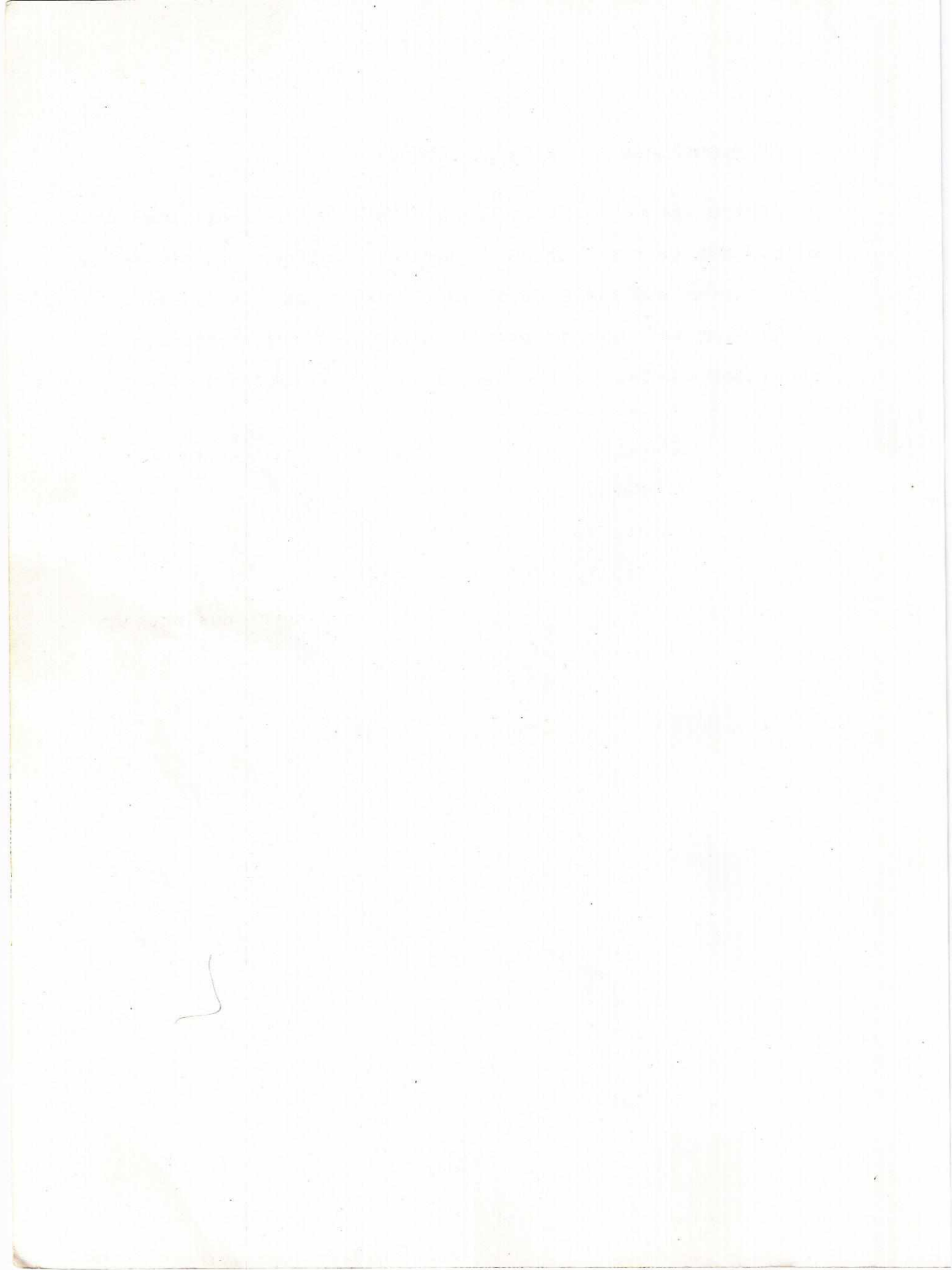
14. Esperar que el secador se encuentre totalmente vacío para apagar los motores.

B. Precauciones con el equipo eléctrico

En la operación y mantenimiento del equipo no deben mojarse los motores, cableado o sistema de arranque. Asegurarse, antes de la operación del equipo, que las partes móviles que accionan los motores giren libremente (principalmente si el equipo ha sido desarmado antes, en una de estas partes).

C. Precauciones con el gas propano

Entre las principales precauciones que se debe tener con el sistema de gas propano es evitar fugas por las líneas o los acoples que lleva desde el cilindro hasta el quemador. Es de recordar, que las presiones que se trabajan después del regulador y antes del medidor de gas son relativamente altas.



CAPITULO IV
INSTRUMENTOS DE MEDICION

Los instrumentos de medición utilizados son los siguientes:

1. Balanza (capacidad: 26 lb)
2. Termómetro digital (intervalo: -10 -- 1100 °C)
3. Termómetros de mercurio
4. Anemómetro
5. Rotámetro de gas (gas propano)
6. Manómetro para medición de presión de gas propano
7. Psicrómetro

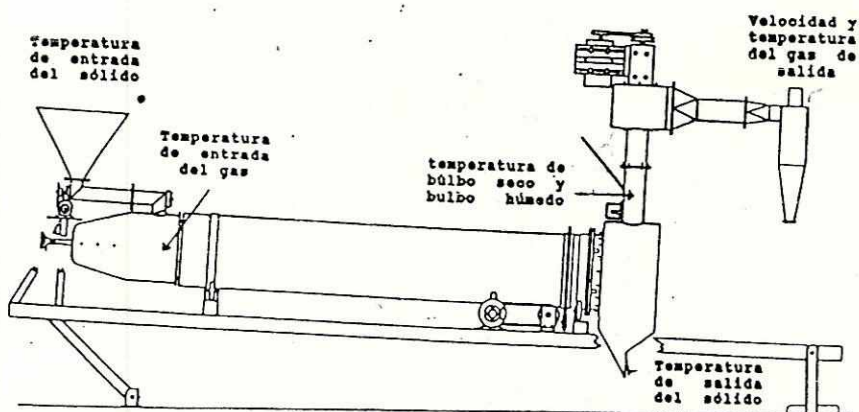


Fig. 16 Puntos de medición

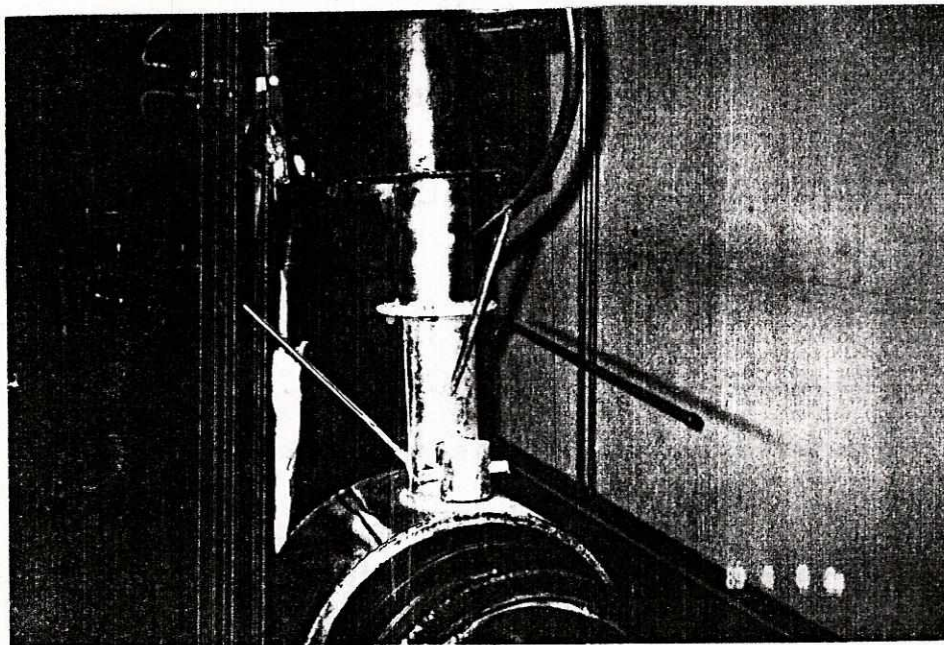


Fig. 17 Medición de temperatura de bulbo húmedo
y seco en salida de gas

CAPITULO V
SERVICIO Y MANTENIMIENTO

A. Mantenimiento general

El mantenimiento general que se le puede dar al equipo, es el de su limpieza externa, antes de su uso y limpieza externa e interna, después de un paro. Las partes en que debe ponerse mayor cuidado al respecto, son todas aquellas que no están construidas de acero inoxidable.

En la limpieza que debe realizarse antes y después de su uso, preferiblemente hay que evitar el desarmar las partes del equipo.

Si el ventilador es recubierto internamente con resina epóxica, ésta ha de ser revisada, cada seis meses, para determinar su condición.

Los cilindros de grafito para lubricación del sello deben ser cambiados después de 500 horas de uso del equipo.

B. Lubricación

a) Puntos de lubricación

Los puntos de lubricación se muestran en el diagrama que aparece en la página siguiente:

1. Motor del tornillo sin fin (2 cojinetes radiales de bolas, 10 mm de diámetro)
2. Motor para giro del cilindro (2 cojinetes radiales de bolas, 15 mm de diámetro)
3. Motor del ventilador (2 cojinetes radiales de bolas, 15 mm de diámetro)
4. Tornillo sin fin (2 soportes de brida con rodamientos, 15 mm de diámetro)
5. Rodos de soporte del cilindro (2 soportes de brida con rodamiento, 15 mm de diámetro; 3 rodos con cojinetes radiales de bolas incorporados, 15 mm de diámetro)
6. Eje del ventilador (2 Soportes de pie con rodamientos, 15 mm de diámetro)
7. Reductor del tornillo si fin (4 cojinetes radiales de bolas, 10 mm de diámetro)
8. Reductor para el giro del cilindro (4 cojinetes radiales de bolas, 15 mm de diámetro)
9. Cadena y sprockets de tornillo sin fin
10. Cadena y sprockets de sistema de giro del cilindro
11. Sistema de ajuste de inclinación del secador

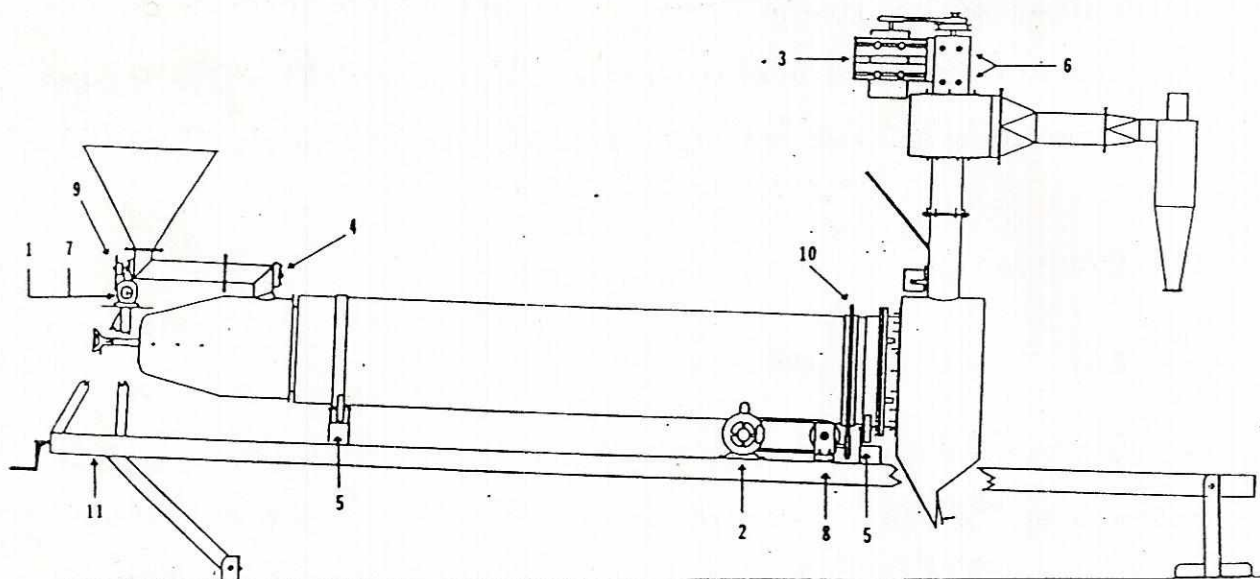


Fig. 18 Puntos de lubricación

b) Recomendaciones de revisión

Para las recomendaciones que se dan en este manual de operación y mantenimiento, se trabaja con la base de que el equipo puede ser usado de dos formas: 1) Únicamente para la realización de prácticas en el laboratorio de operaciones unitarias, para lo cual se estima un uso de 4 horas/semana 2) El equipo puede ser utilizado en la investigación de algún proyecto para la industria, con lo que se estima un máximo de funcionamiento de 12 horas/día. Entre paréntesis se encuentra el número del punto según diagrama.

Cojinetes de motores (1, 2 y 3)

Los cojinetes de los motores son autolubricados. para los tres motores se debe hacer una revisión interna de los mismos, después de 20,000 horas de uso, para ver si los cojinetes se encuentran en buenas condiciones, y a las 30,000 horas deben ser cambiados.

Soportes de brida con rodamiento radial de bolas autocentrante del tornillo sin fin (4)

Su revisión es como sigue:

uso 4 horas/semana	30,000 horas a dos años
uso 12 horas/día	10,000 horas o seis meses

Soportes de brida con rodamiento radial de bolas autocentrante del giro del cilindro (sometidos a calor) (5)

Su revisión es como sigue:

uso 4 horas/semana	30,000 horas o dos años
uso 12 horas/día	10,000 horas o seis meses

Rodos con cojinete radial de bolas incorporado para el giro del cilindro (5)

Por ser rodos que no tienen punto de lubricación, lo recomendable según su diámetro, velocidad de giro y exposición al calor, es cambiarlos después de 15,000 horas de uso.

Soportes de pie con rodamiento axial de bolas autocentrante del eje del ventilador (6)

Su revisión debe ser cada 10,000 horas

Cojinetes radiales de bolas del reductor del tornillo sin fin (7)

Este reductor por ser sellado y no tener puntos de lubricación no se lubrica. La revisión de los engranajes es como sigue:

uso 4 horas/semana	cada dos años
uso 12 horas/día	cada seis meses

La revisión de los cojinetes debe ser cada 3,500 horas.

Cojinetes radiales de bolas del reductor para el giro del cilindro (8)

La revisión del nivel de aceite del reductor debe hacerse cada 2,500 horas.

c) Recomendaciones de lubricación

Cojinetes de motores no se lubrican (1, 2 y 3).

Soportes de brida con rodamiento radial de bolas autoconcentrante del tornillo sin fin (4).

Su lubricación es así: (expuestos al calor):

uso 4 horas/semana cada seis meses

uso 12 horas/día cada 15 días

Soportes de brida con rodamiento radial de bolas autocentrante del rodo de giro del cilindro (5).

Su lubricación es como sigue:

uso 4 horas/semana cada 2 meses

uso 12 horas/día diariamente

Rodos con cojinetes radiales de bolas incorporados para el giro del cilindro son sellados; no se lubrican (5)

Soportes de pie con rodamientos axiales de bolas autocentrantes del eje del ventilador (6).

Se lubrican como sigue:

uso 4 horas/semana	una vez por semana
uso 12 horas/dia	diariamente

Engranajes y cojinetes radiales de bolas del reductor del tornillo sin fin (7).

No se lubrican hasta llegada la revisión.

Cojinetes radiales de bolas del reductor para el giro del cilindro (8).

Se debe cambiar de aceite según lo siguiente:

uso 4 horas/semana	cada seis meses
uso 12 horas/dia	cada tres meses

Cadenas del giro del cilindro y del tornillo sin fin y tornillo de ajuste de inclinación del secador (9, 10 y 11).

Su lubricación es como sigue:

uso 4 horas/semana	semanalmente
uso 12 horas/dia	diariamente

d) Lubricantes recomendados

Cojinetes expuestos al calor (4 y 5):	Darina
	Mobil Temp 32
Cojinetes del eje del ventilador:	Alvania
	Mobil Temp 32
Reductor de tornillo sin fin:	Alvania
Reductor de giro del cilindro:	Meropa 150
	Omala 150
	SAE 30
	Mobil Gear-
	629
Cadenas y tornillo de ajuste de inclinación:	Durón
	Mobilux EP111

C. Mantenimiento del sistema eléctrico

a) Puntos a revisar

Los motores, contactores y cableado.

b) Recomendaciones de revisión

Los motores deben ser revisados en el mismo momento que se revisan sus cojinetes internos. Revisar rotor y estator.

Los contactores se revisan así:

uso 4 horas/semana cada seis meses

uso 12 horas/día cada mes

En la revisión es importante determinar si el recubrimiento de la bobina del contactor está en buenas condiciones.

El cableado debe revisarse una vez por año.

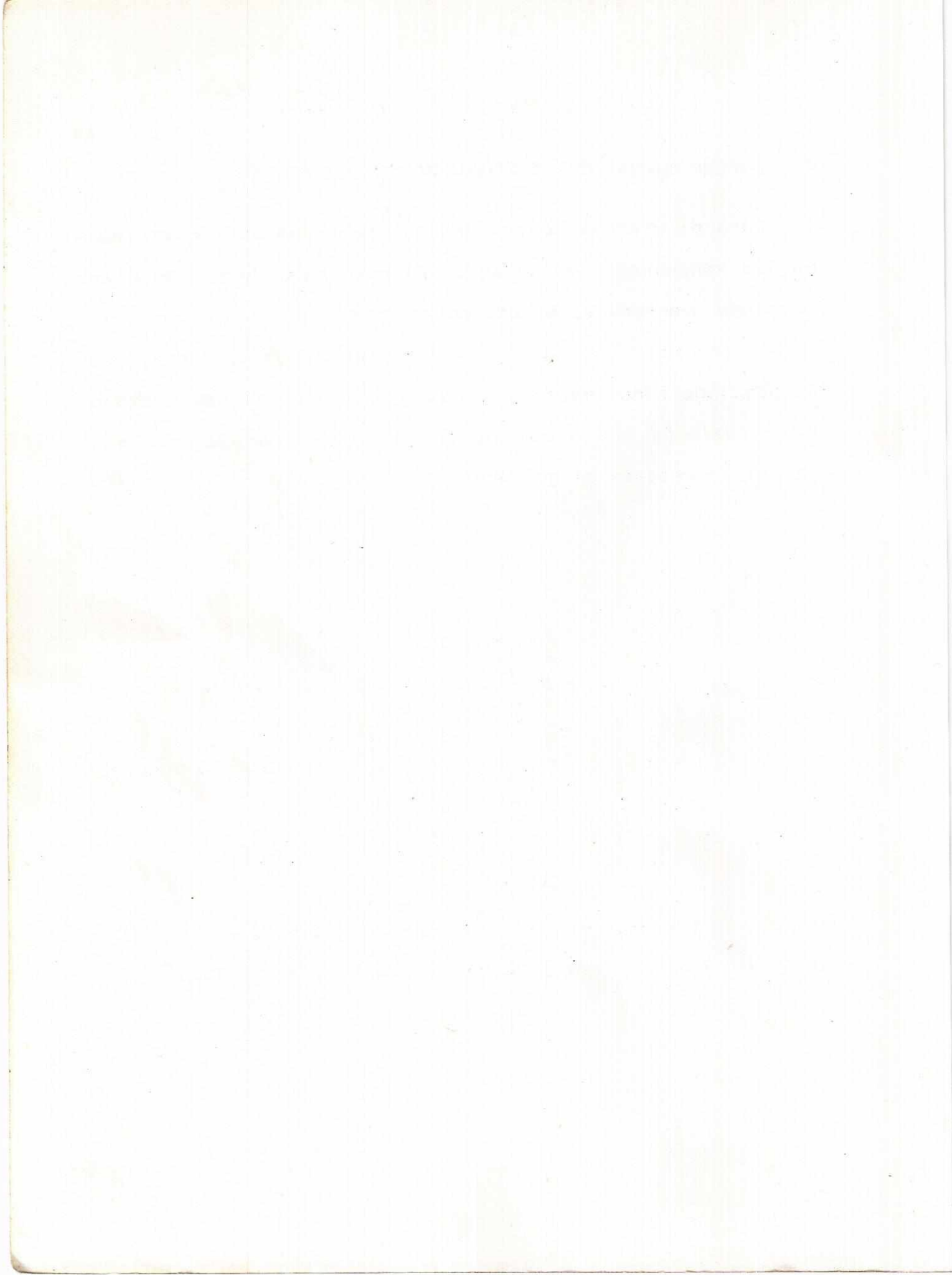
c) Servicio de mantenimiento preventivo

Los contactores se limpian con Unitrón o Fludizol en el momento de su revisión.

D. Mantenimiento del sistema de combustion

Para el sistema de combustion, es bueno verificar fugas en las mangueras cada semana. El regulador de gas debe ser revisado una vez, cada seis meses.

Es importante mantener limpia la linea del gas propano. Se recomienda una limpieza de la linea una vez por mes, principalmente en el quemador.



CAPITULO VI
GUIA DE PRACTICA

Objetivos

Determinar el aprovechamiento de calor del secador.

Determinar la influencia de la inclinación del secador en la eficiencia de secado.

Material a secar

Semolina: 2.00 qq

(harina granular proveniente del trigo durum)

Instrumentación para la práctica

Los instrumentos de medición a utilizar en la práctica son los siguientes:

- 1 Rotámetro de gas (para medición de flujo de gas propano)
- 1 Manómetro (0 - 5 psig)
- 1 Termómetro digital (-10 - 1000 °C)
- 2 Termómetros de mercurio (-10 - 260 °C)
- 1 Balanza (26 libras de capacidad máxima)
- 1 Anemómetro
- 1 Psicrómetro

PROCEDIMIENTO

El procedimiento que se describe a continuación debe ser realizado para las tres inclinaciones siguientes:

0.50 % (usar 1.00 qq de semolina)

0.75 % (usar 0.50 qq de semolina)

1.00 % (usar 0.50 qq de semolina)

Antes de la práctica, determinar la humedad y temperatura del material a secar y la temperatura de bulbo seco y húmedo del ambiente.

NOTA: ANTES DE TRABAJAR EN EL EQUIPO LEER COMPLETO ESTE MANUAL DE OPERACIONES.

Colocar el material en la tolva, cuidando de no llenarla más de un 70 % de la altura de la misma. De acuerdo a la secuencia descrita en el manual de operación del equipo, arrancar el equipo e iniciar la corrida. Después de iniciada la corrida, esperar que se hayan descargado de 5 a 10 libras de producto seco para iniciar las mediciones, que deben ser repetidas cada dos minutos. Las mediciones que deben hacerse son:

Temperatura de entrada de gas de secado

Temperatura de bulbo seco y húmedo en la salida de los gases (asegurarse que la gasa del termómetro para la medición de temperatura de bulbo húmedo esté humedecida).

Temperatura y velocidad de los gases en la salida del ciclón.

Temperatura de salida del sólido.

Temperatura en las paredes del cilindro a las siguientes distancias en el cilindro: 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 y 2.12 metros.

En el momento de que el sólido húmedo termine de ingresar al secador, anotar el tiempo que tomó el tornillo para alimentar el sólido y la cantidad de sólido seco que ha sido descargado en ese momento.

Al terminar la corrida, hacer nuevamente la determinación de temperatura de bulbo seco y húmedo del medio ambiente.

Análisis de resultados sugerido

Hacer balance de masa y energía de la operación global.

Determinar el tiempo de residencia, determinando el material que se encuentra dentro del secador en el momento que terminó de ingresar el sólido húmedo al secador.

Determinar el porcentaje del calor proporcionado por la combustión utilizado para la evaporación de agua a la temperatura de entrada del sólido, y trazar una curva que se muestre dicho porcentaje a cada una de las inclinaciones

Costo de la práctica

El costo de la práctica es el siguiente:

Materia prima			
Semolina (2.00 qq)	<u>Q. 92.00</u>		
		Q.	92.00
Gastos de operación			
Consumo eléctrico	Q. 0.50		
Gasto de gas propano	<u>Q. 2.00</u>		
		Q.	2.50
Gastos fijos			
Gasto por mantenimiento	Q 50.00		
Depreciación del equipo	<u>Q. 62.50</u>		
		Q.	112.50
		<u>Q.</u>	<u>267.00</u>