

76
2^a Gen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA

APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LOS DERIVADOS
DE LA CAÑA DE AZUCAR, CON FINES:
ENERGETICO, PECUARIO E INDUSTRIAL

T E S I S

que para obtener el titulo de

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

- ALICIA KHOURI SOLIS
- SAMUEL MATEOS HIDALGO
- GUSTAVO RODRIGUEZ MARTINEZ
- LUIS MARIANO PERAFAN GARDUÑO
- RICARDO FELIX PEREDO PLASCENCIA
- ARTURO FLORENTINO MONEDERO DE LA VEGA

DIRECTOR. ING. MANUEL ENRIQUEZ POY

MEXICO, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

PROLOGO	7
INTRODUCCION	13
CAPITULO I DEFINICION DE OBJETIVOS Y RELEVANCIA DEL PROYECTO	
1.1 Objetivos	19
1.2 Relevancia del proyecto	20
1.3 Interdependencia del proyecto con los diver sos sectores del país	21
CAPITULO II GENERALIDADES DEL BAGAZO	
2.1 Bagazo	25
2.2 Características principales e importancia - de la fibra	26
2.3 Características principales e importancia - de la médula.	27
CAPITULO III CONSIDERACIONES SOBRE EL DESMEDULADO DEL BAGAZO	
3.1 Presencia indeseable de la médula	31
3.2 Beneficios de la operación de desmedulado - en el Ingenio	32
CAPITULO IV PROCESO DE DESMEDULADO	
4.1 Desmedulado	37
4.2 Métodos de desmedulado.	37
CAPITULO V EQUIPOS DESMEDULADORES	
5.1 Clasificación de desmeduladores mecánicos .	42
5.2 Análisis de las principales características de los equipos desmeduladores	44
5.3 Características de equipos desmeduladores y parámetros importantes en la industria na - cional.	44

CAPITULO XIV BALANCE DE MASA Y ENERGIA

14.1 Parámetros	151
14.2 Cogeneración	159
CONCLUSIONES.	163
BIBLIOGRAFIA.	167

PROLOGO

P R O L O G O

Siendo los programas de racionalización energética uno de los principales objetivos para cubrir a nivel nacional, se incursiona con este trabajo en tan intrincado terreno, mediante el análisis de una industria de vital importancia para el país, como lo es la azucarera; fuente real de subsistencia para un gran sector de nuestros compatriotas.

En trabajos previos, se han hecho ya, señalamientos que ubican a los ingenios azucareros como derrochadores energéticos con potencia, lo cual se corrobora al comparar nuestras fábricas con otros procesos también consumidores de calor, tales como los de celulosa y papel, cemento, químicos y petroquímicos, etc.

Realmente, el presente seminario de tesis se complementa con otro que por separado plantea el peletizado de residuos vegetales, con fines energéticos.

Siendo la operación del secado de sólidos un proceso de muy difícil interpretación a la hora de transferir los resultados empíricamente obtenidos en prototipos que simulen las condiciones en que a nivel industrial se desarrollará la operación, se cuidó sobremanera que el diseño de los experimentos estuviera sujeto a un procedimiento metodológico que reflejara fielmente dichos resultados.

Mucho se ha escrito sobre diferentes tipos de secadores, aunque existen aún grandes lagunas por clarificar máxime tratándose de materiales tales como los finos de bagazo(médula), dolor de cabeza para muchos, al tratar de quemarlos como tales en los hornos de los generadores de vapor, o bien, como agente casual de sobrecosto al transportarse desde los ingenios azucareros hata las plantas receptoras donde finalmente habrá que separarlos sin mayor utilización ; aunque también, representan una materia prima de incalculable valor para otros objetivos, tales como el pecuario.

Requiriendo el país en estos momentos soluciones estructurales que logren la interacción entre sus diferentes industrias, se concibió la idea de conjuntar objetivos para maximizar beneficios que se tradujeran en: ahorro de divisas, economía en el uso de combustibles no renovables, abatimiento en los índices de contaminación ambiental y una mayor producción y productividad, tan demandada precisamente en estos momentos.

Esperamos que esto se logre, para lo cual ofrecemos esta modesta aportación.

ING. MANUEL ENRIQUEZ POY.

DIRECTOR DEL SEMINARIO

AGOSTO DE 1985

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

Debido al desmedido e irracional aprovechamiento de la energía a nivel mundial , durante las últimas décadas, ha sido necesario buscar nuevas fuentes alternativas de energía que reduzcan la dependencia de las fuentes tradicionales ; que asimismo obtienen el proceso de transformación de la energía.

Atendiendo a esas necesidades y conociendo el deficiente aprovechamiento que se tiene de los subproductos de la caña de azúcar , los que en muchas ocasiones fueron considerados productos de deshecho, se pretende la utilización integral de la fracción del bagazo de caña (médula) como fuente sustituto de energía. .

CAPITULO

I

I DEFINICION DE OBJETIVOS Y RELEVANCIA DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

- Se pretende evaluar la repercusión financiera para la industria a zucarera, al reducir la dependencia energética de las fuentes suministradoras tradicionales de combustible ; mediante la utilización integral de la fracción del bagazo de caña (médula), como sustituto del combustóleo en la temporada de reparación de la unidad industrial misma que dura aproximadamente de 5 a 6 meses.
- Se determinará experimentalmente la curva de secado de la médula.
- Se fabricará un prototipo de secador, mediante los principios de lecho fluidizado y/o corriente neumática, observándose el comportamiento del material, fijando los parámetros a controlar para una posterior prueba a nivel piloto.
- Se probarán algunos residuos industriales propios, tales como la cachaza, vinazas, etc., con miras a determinar los aglutinantes necesarios para la operación de peletizado. (Esto se llevará a cabo en otra tesis que se complementa con los objetivos de ésta).
- Finalmente, se formularán las bases para la explotación integral del producto.

1.2 RELEVANCIA DEL PROYECTO

a) Desde el punto de vista económico

- Mayor precio de venta a la industria del papel por el suministro de una mayor calidad de la materia prima (fibra desmedulada).
- Ahorro en el pago de servicios eléctricos al lograrse la autosuficiencia eléctrica durante el tiempo de no zafra.
- Aumento en la producción de alcohol con el consiguiente incremento en los ingresos por la venta del mismo.
- Factibilidad para el procesamiento de alimentos balanceados para ganadería, incrementándose de esta manera los ingresos del ingenio azucarero.

b) Desde el punto de vista energético

- Descongestionamiento de las redes eléctricas nacionales con la posibilidad del suministro de este servicio a los asentamientos poblacionales adyacentes al ingenio.
- Disminución del consumo desproporcionado de los energéticos no renovables, con la utilización de un recurso renovable anual. Para este fin, se empleará la médula de caña de azúcar.

c) Desde el punto de vista tecnológico

- Implantación en México de una tecnología conocida, tomando como portación adicional, el adecuar esta a las necesidades del país.
- Conocimiento del comportamiento de la médula al ser secada, para obtener las características del secador, con el fin de obtener la máxima eficiencia energética.

d) Desde el punto de vista pecuario

- Incremento en cantidades de forraje para la industria ganadera.

1.3 INTERDEPENDENCIA DEL PROYECTO CON LOS DIVERSOS SECTORES DEL PAIS.

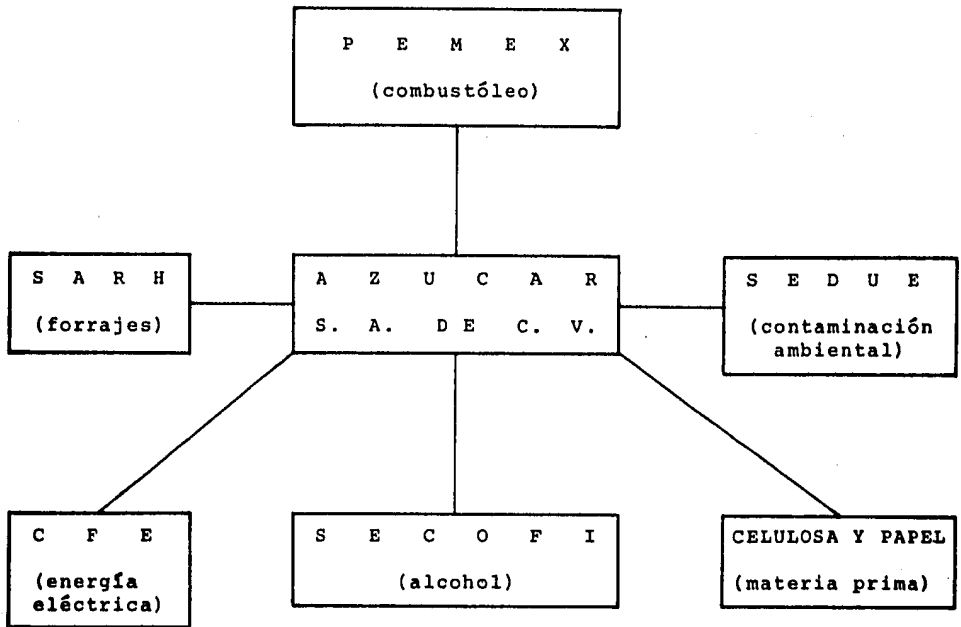


Diagrama 1.1 Esquema de Interrelación.

CAPITULO 2

II GENERALIDADES DEL BAGAZO

2.1 BAGAZO

El bagazo es el residuo fibroso que se obtiene después del proceso de molienda de los tallos de caña de azúcar para extraer el jugo de los mismos. Tal y como es producido el bagazo varía en color desde un blanco grisáceo hasta verde grisáceo muy oscuro.^(2.1) Está constituido principalmente por haces fibrovasculares que forman la parte fibrosa de la caña y células que forman las paredes de las celdas de jugo. A su vez, se pueden distinguir dos tipos de fibra que pudieran denominarse centrales y corticales, las primeras forman el centro del tallo y las segundas la corteza.

En general, desde el punto de vista tecnológico, se asume que el bagazo se compone de : (2.1)

Humedad.....	48 a 52 %
Componentes fibrosos.....	40 a 46 %
Componentes solubles.....	6 a 8 %

(2.1) Instituto Cubano de Investigación de los derivados de la caña de azúcar, Publicación sobre desmedulado págs. 7,11,13.

a su vez, la fracción de componentes fibrosos :

Fibras.....	60 a 65 %
Médula.....	18 a 20 %
Finos, suciedades, solubles.....	10 %

A causa de que la caña de azúcar es un cultivo del campo y que es quemada antes de su recolección, con el objetivo de remover hojas y la paja, la misma contiene de 5 a 15 % de suciedad y cenizas antes de llegar al ingenio azucarero.

Las propiedades físicas del bagazo dependen, en cierta medida de otros aspectos no menos importantes, como son : variedad de la caña, duración del periodo de la zafra, método de recolección empleado, grado de mecanización y otros, sin excluir los factores climatológicos, esto implica que el bagazo no constituye un material homogéneo. El crecimiento y desarrollo de microorganismos tiene importantes consecuencias para el almacenamiento y ulterior utilización del bagazo, esto se refleja en las pérdidas de fibra, calidad variable, peligros de combustión espontánea.

2.2 CARACTERISTICAS PRINCIPALES E IMPORTANCIA DE LA FIBRA

Dentro de las principales características de la fibra del bagazo de caña, se puede mencionar que son duras, resistentes a la presión y se expanden cuando ésta cesa. En adición a estas características la fibra del bagazo es termoplástica, lo cual significa que se ablanda con la aplicación de calor húmedo y endurece nuevamente cuando se enfría. (2.1)

Por otra parte la fibra constituye una formidable fuente de materia prima, técnicamente aceptable como sustituto de madera en la producción de pulpa y papel, siendo México quizá el país con mayor número de plantas que utilizan esta materia prima como base en su proceso. Aproximadamente el 50 % del peso seco del bagazo está constituido de haces fibrosos de alta calidad, que han estado concentrados en la corteza del tallo y orientados en forma paralela al eje del tallo. Al constituir una estructura compacta forman una especie de corteza que protege las celdas que contienen el jugo.

2.3 CARACTERISTICAS PRINCIPALES E IMPORTANCIA DE LA MEDULA

Se considera que la médula no tiene carácter de fibra. Está localizada principalmente en el centro, pero también se localiza en la sección transversal y envolviendo algunos haces vasculares, centrales, que equivalen al 15 % del peso del bagazo seco. Pruebas intensivas de alimentación han probado que la médula por su alto nivel de energía y azúcar, es una excelente base para alimentos de alto valor energético. Algunas variedades de caña de azúcar, cultivadas específicamente para la producción de alimentos para ganado, pueden ser cosechadas durante todo el año.

Se han realizado diversos estudios, demostrándose el alto grado de combustión, que tiene este subproducto del bagazo. El principal problema para su utilización es que la médula al ser un polvo fino dificulta su manejo teniendo como consecuencia grandes pérdidas. En base a lo anterior se ha pensado como alternativa de solución llevar a cabo un proceso de peletizado, el cual consiste en compactar la médula con ayuda de algunos residuos industriales propios del azúcar,

tales como cachaza, vinazas, etc., con el fin de determinar algún a glutinante que nos facilite el proceso. El objetivo de este estudio no se enfoca a resolver directamente el proceso de peletizado, sin embargo, en el contexto general no se puede olvidar. Por esto, se trabaja paralelamente con una investigación mas detallada de dicho proceso, en donde los resultados obtenidos podrán dar un criterio normativo para su empleo.

CAPITULO 3

III CONSIDERACIONES SOBRE EL DESMEDULADO DEL BAGAZO

3.1 PRESENCIA INDESEABLE DE LA MEDULA

En los primeros intentos por aprovechar el bagazo, no se pensó en la separación de los diferentes tipos de tejidos celulares que constituyen el bagazo, es decir, que fue usado tal como salta del ingenio. Los trabajos de investigación sobre morfología y comportamiento de fibras de bagazo permitieron sugerir la separación de las células del tejido, para mejorar las características de la pulpa de bagazo y poder competir favorablemente como componente fibroso de papeles y cartones.

La presencia de la médula es indeseable por diversos factores :

- Existe una falta de homogeneidad en tamaño, llevándose como consecuencia una digestión no uniforme.
- Elevada capacidad de absorción en comparación con una fibra limpia, por su gran área superficial y alto nivel de higroscopicidad. La médula es capaz de absorber hasta 20 veces su propio peso en un medio líquido, mientras que la fibra limpia normalmente absorbe unas 5 veces su propio peso.
- Contenido mas alto de cenizas, suciedades, azúcares y tierra coloidal

dal en la médula.

- Su elevada capacidad de absorción, unido al alto contenido de azúcares, favorece un ataque más intenso de los agentes químicos y por tanto, un incremento mayor en el consumo de los mismos.
- Influencia negativa sobre el drenaje, tanto en la producción de papel como en la de tableros de fibras por el método húmedo, lo que dificulta la operación de formación en máquinas de alta velocidad, disminuyendo, por consiguiente, su productividad.
- Necesidad de requerimientos más elevados con el objeto de mantener una atmósfera más higiénica de trabajo.
- En el almacenamiento de bagazo se tienen grandes problemas por falta de remoción de la médula, ya que ésta genera una mayor fermentación debido a los azúcares residuales e impurezas que contiene. (3.1)

3.2 BENEFICIOS DE LA OPERACION DE DESMEDULADO EN EL INGENIO

Al realizar la operación unitaria de desmedulado se pueden obtener ventajas, que por su trascendencia justifican la instalación de este tipo de equipos dentro del ingenio, de entre los cuales se citan las siguientes :

- Se obtienen mayores ingresos económicos al ofrecer una materia prima de mayor calidad.
- Los fabricantes de productos que emplean como materia prima la fibra, obtendrán sustanciales ahorros económicos, ya que el costo por concepto de flete de transportación será menor, debido a que se transportará mayor cantidad de fibra en el mismo número de viajes, devol-

(3.1) Instituto Cubano de Investigación de los derivados de la caña de azúcar, Publicación sobre desmedulado, p. 15.

viendo la médula al ingenio para su posterior reutilización.

- Se eliminarán los pagos efectuados por los fabricantes por concepto del consumo de energía y mantenimiento del equipo desmedulador.
- El ingenio será autosuficiente energéticamente hablando, ya que contará con un combustible que además de ser capaz de sustituir al existente (combustóleo), proveerá de energía al ingenio durante el tiempo de no zafra, por consiguiente, se tendrá un proceso continuo de producción de alcohol.
- Se incrementará la producción de alimentos balanceados para ganado vacuno con el consecuente beneficio en el desarrollo agropecuario de la región.

Analizando los puntos señalados con anterioridad, se concluye que en primera instancia el beneficio que se obtendrá al contar con un equipo desmedulador será considerable.

CAPITULO 4

IV PROCESO DE DESMEDULADO

4.1 DESMEDULADO

El desmedulado es la separación completa de la médula. Es decir, se considera que la operación de desmedulado es como una selección de fibra. Esta separación tal como se realiza con los sistemas de desmedulado existentes, no permite eliminar la totalidad de la médula, sino lograr la máxima separación posible de la misma ; en una operación única, sin perjudicar la calidad de las fibras y evitando la reducción del tamaño de éstas.

En la operación de desmedulado se debe de tener precaución en la excesiva acción mecánica, debido a que ésta, origina mayor consumo de energía y la posibilidad de reducir la longitud de las fibras con producción de "finos" que acompañarían a la médula.

4.2 METODOS DE DESMEDULADO

Una clasificación de los distintos métodos de acuerdo con el contenido de humedad en el bagazo es :

- Desmedulado húmedo (MOIST DEPITHING) ; es el que se efectúa con el bagazo inmediatamente a la salida del último molino del ingenio, con una humedad de 48 a 52 % . Este es el que mas comúnmente se realiza

en algunos procesos como primera etapa o tratamiento preliminar en el ingenio azucarero.

- El desmedulado seco (DRY DEPITHING) ; se realiza con bagazo del 15 al 30 % de humedad aproximadamente. Esta humedad se logra por secado artificial en instalaciones de secado distintas a este fin, o por secado natural como resultado de largos períodos de almacenamiento.

- Desmedulado mojado (WET DEPITHING) ; se realiza con el bagazo a un alto contenido de humedad, esto se origina debido a que se lava con agua, para remover las impurezas que ésta trae consigo como son finos, solubles, cenizas y arenas. Para después ser pasado al desmedulador. (4.1)

(4.1) Instituto Cubano de Investigación de los derivados de la caña de azúcar, Publicación sobre desmedulado, págs. 18, 19.

CAPITULO 5

V EQUIPOS DESMEDULADORES

Los primeros equipos que se usaron para eliminar parte de la médula fueron las cribas vibratorias, pero la eficiencia de separación era bastante baja.

A lo largo del tiempo transcurrido en las últimas tres décadas, se han desarrollado, adaptado y comercializado diferentes equipos con este propósito. Algunos de estos equipos han sido concebidos para un sólo método de desmedulado, mientras que otros tienen la ventaja de poder ser utilizados en diferentes métodos combinados, atendiendo a esta característica se presenta la Tabla 5.1, que contempla una lista de los principales desmeduladores existentes en el mercado.

TABLA 5.1

PRINCIPALES EQUIPOS DE DESMEDULADO

A - DESMEDULADO EN SUSPENSION	- Hydropulper - Krauss-Maffei - Hidrolimpia (CUSI)
B - DESMEDULADO EN SECO O EN HUMEDO	- Paramonga Flail - Molino SPM (RUCKSTUHL) - Molino BAY & BUESS
C - DESMEDULADO EN SECO, EN HUMEDO O EN MOJADO	- Molino Rietz - Molino Horkel - Molino Rivenco - PEADCO Villavicencio - Molino Vertamill - Molino Gunkel n°2 - Molino Ledesma - Molino Kimberly - Western States - Con-Depither - Molino Pallman Centurion

5.1 CLASIFICACION DE DESMEDULADORES MECANICOS

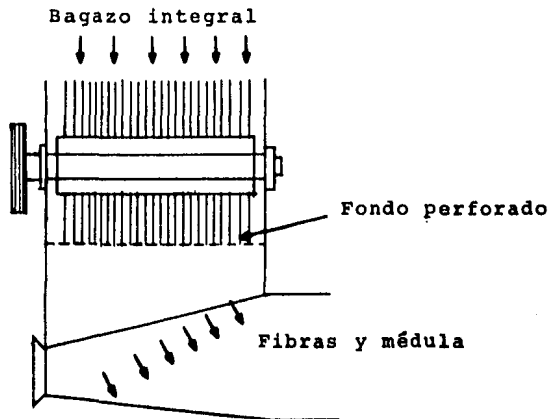
Fundamentalmente para llevar a cabo el desmedulado húmedo, se ocupan los desmeduladores mecánicos que desde el punto de vista de su conformación mecánica, se clasifican de la siguiente manera :

- Desmeduladores de rotor horizontal
- Desmeduladores de rotor vertical

Otra clasificación que se puede hacer, es tomando en cuenta la forma de separación y extracción de la médula :

- Desmeduladores de autoseparación de médula
- Equipos con separación posterior de la médula por medio de tamices vibratorios o extractores neumáticos.

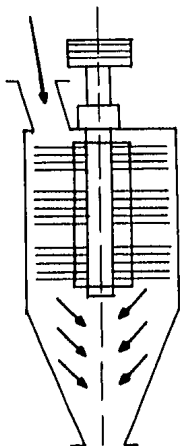
Se puede mostrar el principio de operación de un molino de martillos convencional de rotor horizontal con los molinos verticales de 1 y 2 camas, mediante las siguientes figuras :



a) MOLINO DE MARTILLOS DE ROTOR HORIZONTAL

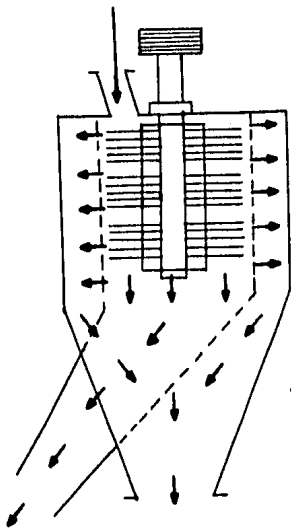
b) MOLINO VERTICAL MONOCAMARA

Bagazo integral



Fibra y médula

Bagazo integral



Fibra

Médula

c) MOLINO VERTICAL DE DOBLE CAMARA

Figura 5.1

Se observa en la figura 5.1 que los primeros dos tipos únicamente llevan a cabo la desintegración de los haces de fibras, por lo que la separación de la médula se realiza en un tamiz rotatorio. En el tercer tipo, las operaciones de desmedulado y de separación se da en una sola etapa.

La médula y el material fino pasan a través de las perforaciones, entre la cámara central y exterior, por la acción de la fuerza centrífuga originada por el giro del rotor. (5.2)

5.2 ANALISIS DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DESMEDULADORES

Se presenta en forma breve un análisis sobre las características de equipos desmeduladores, tratando de que la información lleve a la mejor selección del equipo. La Tabla 5.2 presenta una comparación de las características de capacidad. (5.1)

5.3 CARACTERISTICAS DE EQUIPOS DESMEDULADORES Y PARAMETROS IMPORTANTES EN LA INDUSTRIA NACIONAL

a) Ingenio Emiliano Zapata

- Proceso

El bagazo a la salida de los molinos lleva una humedad promedio del 54.76 % que contiene un 5.19 % de sólidos en solución, donde el 4.16 % es de azúcar y el 1.03 % corresponde a sólidos disueltos.

(5.1) Revista ATCP, Mzo-Abril, 1979, México, págs. 95 a 102.

(5.2) Instituto Cubano de Investigación de los derivados de la caña de azúcar, Publicación sobre desmedulado, págs. 34,35.

DESMEDULADOR	MODELO	MOTOR(1)	POTENCIA	VELOCIDAD	BAGAZO ALIMEN TMBS/HR	MEDULA ACEPTADA TMBS/22HR	FIBRA ACEPTADA TMBS/22HR	RENDIM MEDULA ACEP %	RENDIM FIBRA ACEP %	POTENCIA INST.UNIT. HP/TMBS(2)	OBSERV.
HORKEL	--	horizon.	125	800/1000	6.0	40	90	35-30	65-70	1.39	--
RIETZ	RI-24	vertical	150	3600	8.0	53	120	35-30	65-70	1.25	--
RIVENCO	R-36	vertical	250	1800	12.0	80	180	30	70	1.39	--
PARAMONGA FLAIL	--	vertical	125	1200	7.0	46	105	30	65-70	1.19	--
VERTAMILL	V-38	vertical	150	1400	8.0	48	125	30	70	1.20	--
WESTERN PEADCO	382M	vertical	200	1450	9.6	67	140	35	65	1.42	--
WESTERN PEADCO	462M	vertical	300	1450	14.4	101	210	35	65	1.42	--
S P M	1500	horizon.	300	1800	15.0	94	231	30	70	1.30	Doble rotor
S P M	2000	horizon.	400	1800	20.0	125	308	30	70	1.30	Doble rotor
HIDROLIMPIA	--	horizon.	300	750	22.0	118	360	25	75	0.83	(3)
CON-DEPITHER	CD-2	vertical	270	1500	13.5	83	210	30	70	1.29	(4)
CENTURION	PMS-10	vertical	250	1250	11.0	68	170	30	70	1.46	(4)
CENTURION	PMS-12	vertical	335	1250	15.0	95	230	30	70	1.46	(4)

(1) Potencia instalada

(2) Basada en la fibra aceptada

(3) La separación es en otro equipo

(4) Equipo nuevo

El bagazo es transportado por medio de bandas, que depositan el 42 % en algunas calderas y el 58 % se destina a los desmeduladores. La función de estos es separar la médula de la fibra, mandando la primera a un secador que la deja con 8 % de humedad, y enseguida se deposita en la planta de forraje. El tipo de desmedulado es húmedo. La fibra ya desmedulada se mezcla con bagazo integral para formar pacas que se mandan a las compañías papeleras.

- Descripción del equipo

1 - BANDAS TRANSPORTADORAS

Motor Trifásico

1 HP

85 rpm con reductor 2 : 1

440 - 220 V

2 - 4 A

ASEA

2 - DESMEDULADORES CENTRIFUGOS (3 unidades)

Motor Trifásico

100 HP

1800 rpm 1 : 1.43

60 martillos

3 - CANASTILLA DEL DESMEDULADOR

Diámetro : 46.5 pulg

Espesor de la lámina : 1/4 pulg

Diámetro orificios : 1/4 pulg

Altura total : 30 pulg

Espesor larguero : 1/2 pulg

4 - SECADOR

Temperatura de flama : 110 a 115 °C

Gasto : 5,300 lt/día

Combustible : diesel

Temp del cilindro del horno : 300 a 350 °C

Consumo de energía del quemador : 19×10^6 BTU/hr

Presión de inyección del diesel : 1.5 kg/cm^2

5 - VENTILADORES DEL SECADOR

Motor 25 HP

Motor 35 HP

440 - 220 V

440 - 220 V

34 - 68 A

41 - 83 A

Trifásico

Trifásico

1740 rpm

3530 rpm

60 Hz

60 Hz

6 - CICLON DEL DESMEDULADOR

Motor inducción de 50 HP

220 - 440 V

116 - 58 A

1750 rpm

Capacidad : 260 ton bagazo / día

Entrega : 24 ton de médula

- Aspectos relevantes

Se observó que al mezclar la fibra desmedulada con el bagazo integral no se aprovecha al máximo la operación de desmedulado debido a que esa fibra se tiene que volver a desmedular en las compañías papele-
ras, esto trae como consecuencia un abaratamiento en el costo de ven-
ta.

Se pudo apreciar que el ducto por el cual se transporta la médula a la planta de forraje carece de aislamiento, lo que origina pérdidas de calor. Además al carecer de una instrumentación adecuada no se tiene un estricto control de la temperatura de los quemadores, lo que ha ocasionado pequeños incendios dentro del ducto.

b) Ingenio La Margarita

- Proceso

El objetivo de la planta de desmedulado es producir fibra de calidad uniforme y con un bajo contenido de médula y finos.

Aproximadamente el 30 % de la caña que se alimenta al ingenio es rechazada en la forma de bagazo con un contenido de humedad de cerca de 50 % . Este bagazo se alimenta a las máquinas desmeduladoras que rechazan aproximadamente el 40 % en forma de médula y finos, que son enviados nuevamente al ingenio para ser quemados en la caldera. La fibra aceptada tendrá un contenido menor del 20 % de médula y finos. El bagazo del ingenio se alimenta a las máquinas desmeduladoras por medio de un sistema de transportadores.

Las máquinas desmeduladoras consisten básicamente de un rotor provisto de 96 cuchillas que gira a 1750 rpm dentro de una canasta. Normalmente se usan 32 cuchillas, que están sujetas por un perno y pueden moverse libremente.

Al entrar el bagazo a la máquina desmeduladora, éste es golpeado por las cuchillas formando infinidad de pedazos de bagazo que a su vez se golpean entre sí. La combinación de golpeo por las cuchillas y colisiones entre sí de los pedazos de bagazo, separa la médula y finos de la fibra de bagazo.

Las cuchillas giran dentro de una canasta con perforaciones de 5/16 de pulgada (8 mm). Por medio de un ventilador se obtiene la succión

necesaria para que la médula y finos pasen a través de las perforaciones de la canasta. La médula y finos son llevados por la corriente de aire a un ciclón donde se separan y se envían por medio de un transportador de banda al ingenio para ser quemados en las calderas. La fibra útil es tomada por otra corriente de aire y producida por el ventilador de fibra. La fibra se separa del aire por medio de otro ciclón y se carga a los camiones de transporte por medio de un transportador de banda y compactador de fibra.

- Descripción del equipo

1 - DESMEDULADOR

BUFFALO HAMMER MILL CORP

Capacidad tons/día (50 % humedad)

- Bagazo..... 150
- Fibra aceptada.. 90
- Médula..... 60

Canasta : 36 pulg

1750 rpm

100 HP

2 - VENTILADORES

- de fibra

BLOWER APPLICATION Co

Capacidad 90 tons/día (50 % humedad)

1750 rpm

50 HP

9 aspas

Diámetro : 35 1/2 pulg

- de médula

BLOWER APPLICATION Co

Capacidad : 60 tons/dia (50 % humedad)

1750 rpm

40 HP

9 aspas

Diámetro 35 1/2 pulg

3 - CICLON COLECTOR

Altura total : 27 pies

Altura del cono : 16 pies

Diámetro : 12 pies

4 - TRANSPORTADOR PESADOR

MERRICK

Capacidad : 60 tons/hr

Largo : 16 pies

Ancho : 48 pulg

Velocidad : 245 pies/min

- Aspectos relevantes

La densidad de la fibra de bagazo es relativamente baja, aproximadamente 8 libras por pie cúbico a 50 % de humedad.

La condición de las cuchillas, una alimentación constante, uniforme, contribuyen y afectan la calidad del desmedulado.

El contenido de humedad del bagazo tiene gran influencia en la operación de desmedulado. Cuando la humedad llega aproximadamente a 52 % la separación de la médula de la fibra se hace más difícil. La dificultad de separación aumenta conforme aumenta la humedad. Cuando la humedad llega aproximadamente a 54 % empieza a haber taponamientos en los ductos que van a los ciclones. Al aumentar la humedad también aumenta la carga de los motores de las máquinas desmeduladoras y es necesario reducir la alimentación de bagazo.

c) Fábrica de Papel "San Cristóbal"

Los desmeduladores en San Cristóbal a diferencia de los anteriormente mencionados son del tipo mojado y horizontal mientras que los otros son verticales y húmedos.

El proceso de desmedulado inicia con un par de rompepacas que desbaratan las pacas de bagazo para después ser llevada la fibra por un transportador de canjilones a una banda pesadora, posteriormente caen en un mezclador de bagazo en el que se le agregan grandes cantidades de agua en una proporción de 1/9 de bagazo/agua. La mezcla es conducida por medio de unos canales a unas cribas vibratorias que están constituidas de "platinas" con orificios a través de los cuales pasa el agua con la médula dejando una fibra semilimpia.

Esta última pasa por una serie de regaderas que tienen como finalidad eliminar la médula residual en el trayecto del gusano separador. Una vez limpia la fibra es llevada a la fábrica de papel, por medio de un transportador llamado de fibra limpia.

1 - DESMEDULADOR

Tipo horizontal

Capacidad : 16.66 TMBS/hr 75 % fibra, 25 % médula

100 % fibra aceptada

85 a 90 % médula retirada

Potencia instalada unitaria : 160 HP

- Consideraciones importantes

En ésta fábrica manejan otro tipo de desmedulador que ocupa un mayor espacio por ser del tipo horizontal y además requiere de equipos neumáticos para su operación. Para nuestro interés resulta inadecuado obtener una médula muy húmeda porque la operación de secado consume

una mayor cantidad de energía y se tendría un mayor tiempo de retención de la médula dentro del secador.

Desde el punto de vista económico, a las compañías papeleras (San Cristóbal, Kimberly Clark, San Rafael, etc.) les representa un ahorro de transporte y procesamiento de la fibra, porque si el proceso de desmedulado se realizara fuera de sus instalaciones, es decir, en los ingenios proveedores, se eliminarían de sus instalaciones equipos tales como mezcladores, cribas y gusanos separadores.

CAPITULO 6

VI CONSIDERACIONES Y ELECCION DEL EQUIPO DESMEDULADOR

De los procesos de desmedulado existentes, se considera que el óptimo para las necesidades del ingenio es el desmedulador húmedo. Esto se debe primordialmente a que no se aumentan los costos por la adquisición adicional de equipo inmediato a la salida de los molinos como serían : transportadores de banda o neumáticos, secadores, etc. Atendiendo a otra característica conveniente para la selección del equipo se propone el uso de un desmedulador mecánico de tipo vertical, con autoseparación de la médula. En comparación con las máquinas de rotor horizontal y las de rotor vertical monocámara, este ofrece la ventaja de simplificar la evacuación, tanto de la fibra aceptada como la de la fracción fina (médula), ya que la misma se realiza por caída libre en una sola operación, mientras que en el caso de las máquinas horizontales se requiere de costosas instalaciones neumáticas de extracción, o es necesario incluir equipos para lograr un adecuado efecto de separación de médula.

CAPITULO 7

VII CONSIDERACIONES SOBRE EL SECADO DE LA MEDULA

7.1 PRESENCIA INDESEABLE DE LA HUMEDAD

Después de llevar a cabo el proceso de desmedulado, la médula es la porción de bagazo que posee el mayor contenido de humedad. Esto trae consigo una serie de problemas de almacenamiento, en su aprovechamiento como materia prima para el proceso de peletizado.

En el proceso de peletizado es necesario un contenido de humedad mínimo en la materia prima, puesto que este consiste en la adición de un aglutinante que se comprime con la materia prima (médula). En consecuencia, al no llevarse a cabo la operación de secado, la materia prima sería incapaz de absorber los aglutinantes teniendo grandes problemas al realizar el peletizado.

En el caso de que se tuviera la necesidad de llevar a cabo un almacenamiento de la médula, porque sobrepase la capacidad de producción de las máquinas peletizadoras o la indisponibilidad de las mismas, traería consigo el crecimiento de microorganismos que a las pocas horas comenzaría a fermentar, lo que genera calor y causa peligro de combustión. (7.1)

Por información proporcionada en el ingenio Emiliano Zapata, se co-

noce que la humedad máxima permisible para evitar estos riesgos es aproximadamente del 15 %.

7.2 BENEFICIOS DE LA OPERACION DE SECADO

El beneficio que se obtiene al peletizar una materia prima con un mínimo de humedad es el obtener productos de buena calidad, esto es que la mezcla aglutinante-médula, contenga las proporciones óptimas de cada compuesto para su mejor aprovechamiento, siendo este el caso de la combustión, donde puede ser afectado benéficamente el poder calorífico inferior del combustible.

(7.1) Revista ICIDCA, Vol 12 # 2, 1978, p. 86.

CAPITULO 8

VIII OPERACION DE SECADO

8.1 SECADO

Es difícil formular una definición de secado que la diferencie estrictamente de la evaporación, sin embargo, existen diversas formas de describir esta operación. A continuación se presentan algunas definiciones que tienen una aproximación considerable al describir el proceso :

- El término secado, usualmente infiere la eliminación de relativamente pequeñas cantidades de agua de un sólido o de un material casi sólido. (8.1)
- El secado implica la eliminación del agua a temperaturas menores de su punto de ebullición. (8.1)
- El término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. Se aplica tan fácil e incongruentemente que es necesario reducir su significado y no confundirlo con evaporación, destilación, centrifugado, exprimido. (8.2)

(8.1) BADGER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, p. 484.

(8.2) ROBERT E TREYBAL, Operaciones de transferencia de masa, p. 723.

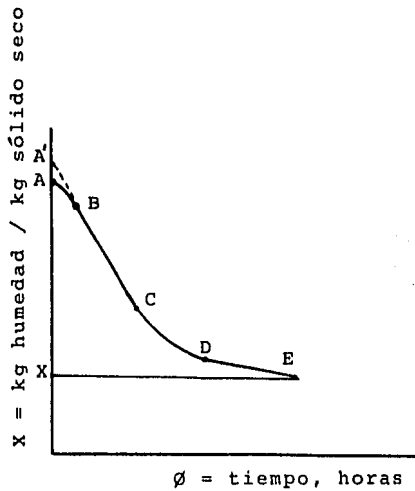
- El secado implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. (8.3)

El análisis de secado para este estudio, se limitará principalmente a la eliminación de humedad en un sólido por medio de una corriente gaseosa. En la práctica, la humedad es con tanta frecuencia agua y el gas con tanta frecuencia aire que esta combinación proporciona la base para la mayor parte del análisis de secado. Es importante acen-
tuar que los equipos y técnicas existentes son igualmente aplicables a otros sistemas de combinación líquido-gas.

En cualquier caso, se debe acen-
tuar que son necesarias las pruebas experimentales debido al imperfecto conocimiento de los mecanismos de secado. Los cálculos son útiles para una aproximación. Las mediciones de la rapidez del secado por lotes, son relativamente fáciles y proporcionan mucha información no solo para la operación por lotes, sino también para la continua.

Rapidez de secado : con respecto a la muestra de una sustancia, la rapidez de secado puede determinarse suspendiendo la muestra en un gabinete o tubería, en una corriente de aire, para un balance. Entonces el peso de la muestra seca puede medirse como una función del tiempo. A partir de los datos obtenidos durante una de estas pruebas, se puede graficar una curva de contenido de humedad como función del tiempo. Esta será útil para determinar el tiempo necesario para secar grandes lotes en las mismas condiciones de secado.

(8.3) FOUST, Principios de Operaciones Unitarias, p. 409.



Gráfica 8.1 Secado por lotes, condiciones de secado constantes.

Por otra parte se puede obtener mucha información si los datos se convierten a rapidez de secado, expresada como :

$$N = \left(\frac{\text{masa}}{\text{tiempo} \cdot \text{Area}} \right)$$

y se grafica contra el contenido de humedad, por el proceso de secado, no el contenido total de humedad, en donde :

$$N = \frac{-Ss}{A} \left(\frac{-dx}{d\theta} \right) \quad \dots (a)$$

-Ss - masa de sólido seco

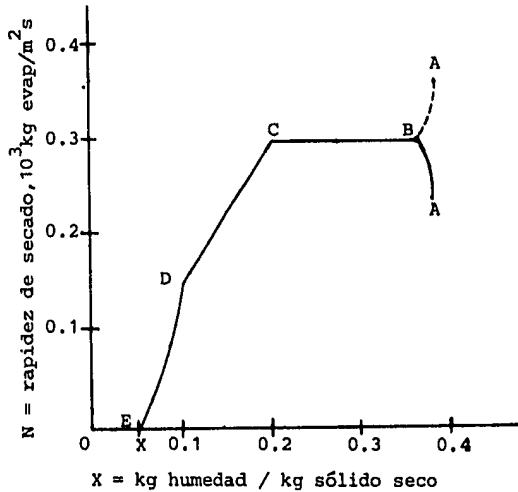
A - superficie húmeda sobre la cual sopla el gas y a través de la cual tiene lugar la evaporación, para el caso de secado por circulación forzada (cruzada).

A - es la sección transversal del lecho medida a ángulos rectos a

la dirección del flujo del gas en el caso de que el secado se realice por circulación transversal.

$-\frac{dx}{d\theta}$ - es la variación de la humedad con respecto al tiempo de secado.

A continuación se presenta una curva típica de rapidez de secado en condiciones de secado constantes.



Gráfica 8.2 Curva típica de rapidez de secado, condiciones de secado constantes.

- | | |
|---------------------------|--|
| A - Ajuste inicial | C-D - Secado de la superficie no saturada |
| A' - Ajuste inicial | D-E - Movimiento interno de los controles de humedad |
| B-C - Rapidez constante | |
| C-E - Rapidez de descenso | |

Otro enfoque que se le da al proceso de secado son las relaciones de equilibrio, porque éstas involucran la humedad que contiene el líquido-gas.

CAPITULO 9

IX EQUIPOS SECADORES

De acuerdo al tipo de proceso se pueden clasificar de la siguiente manera :

9.1 SECADORES POR LOTES

9.1.1 Secadores directos

a) Secadores de charolas o de platos

También son llamados de gabinete, se utilizan para secar sólidos que deben sujetarse sobre platos. Consta de un gabinete que contiene platos móviles sobre los cuales se coloca el sólido a secar. Cuando el sólido alcanza el grado de sequedad querido, el gabinete se abre y los platos reemplazan con un nuevo lote. ^(9.1)

b) Secadores de camión

Son una modificación del anterior, en este caso los platos están colocados sobre camiones que pueden sacarse y meterse en el gabinete, una desventaja es la no uniformidad del contenido en humedad.

Los secadores descritos anteriormente son baratos y requieren bajos

(9.1) BADGER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, p. 486.

costos de mantenimiento. Sin embargo, su operación es costosa debido a la baja economía calorífica y altos costos de trabajo. Cada vez que el secador se abre para descargar y cargar, la temperatura del interior baja. (9.2)

9.1.2 Secadores indirectos

a) Secadores de bandejas

Son secadores de platos cuyos gabinetes (de acero) constan de compuertas que cierran perfectamente, lo que provoca que se puedan operar a presiones inferiores a la atmosférica. Se emplean para secar materiales que no pueden ser sometidos a las altas temperaturas que se tienen en los secadores de compartimiento como los farmacéuticos. (9.2)

b) Secadores de charola con agitación

Se pueden secar pastos y lodos en lotes pequeños. La pasta o lodo se agita en la charola y se despega mediante una serie de rastrillos que giran, con el fin de exponer el nuevo material a la superficie caliente. (9.2)

c) Secadores giratorios de vacío

Los secadores al vacío son caros al construirlos y también al operarlos. Por esto, se utilizan sólo para materiales valiosos y que deben secarse a bajas temperaturas, o en ausencia de aire para evitar la descomposición como en ciertos productos farmacéuticos.

(9.2) BADGER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, págs. 488, 489, 497, 498.

d) Secado por congelamiento

La sustancia que se va a secar generalmente se congela mediante exposición al aire muy frío y se coloca en una cámara de vacío, en donde la humedad se sublima y se bombea mediante eyectores de vapor o bombas mecánicas de vacío.

9.2 SECADORES CONTINUOS

a) Secadores de túnel

Estos secadores son básicamente adaptaciones del secador de camión para la operación continua. Consisten de túneles relativamente largos a través de los cuales se mueven camiones cargados con platos llenos de sólidos que se van a secar y al estar en contacto con una corriente de gas, se evapora la humedad.

Este secador se utiliza normalmente para secar ladrillos, productos cerámicos, maderas aserradas y otros materiales que deben secarse lentamente pero en grandes cantidades. (9.3)

b) Secadores tipo turbo

El secador tiene una serie de platos anulares arreglados en un eje vertical. Estos giran lentamente alrededor de su eje. Cada plato tiene una ranura, lo mismo que un rastrillo nivelador para esparcir el sólido.

Los sólidos que generalmente pueden secarse en forma continua sobre platos son materiales en polvo o granulares, lodos y pastas pesadas, cristalinos, etc.

(9.3) BADGER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, p. 493.

c) Secadores rotatorios

Forman un grupo muy importante de secadores ; son adecuados para manejar materiales granulares de flujo libre que puedan arrojarse sin temor de romperlos.

d) Secador roto-louvre

Es una modificación del secador rotativo en el que el aire se inyecta a través del lecho que forma el material que se ha de secar. Se dice que debido a que el aire caliente pasa realmente a través - del lecho de material, el aire llega más próximo al equilibrio con el material, la velocidad de secado es más rápida y por tanto el secador puede ser más corto que con los secadores rotativos comunes. (9.

e) Secadores de lecho fluidizado

Los sólidos granulares, fluidizados mediante algún medio de secado como aire caliente, se pueden secar y enfriar en lechos fluidizados similares, tienen como características principales el flujo tangencial del sólido y el gas de secado, un tiempo de residencia controlable y la posibilidad de emplear cualquier intervalo de temperatura del gas. Una posibilidad de fluidización es la operación en multietapas a flujo tangencial. (9.2)

f) Secadores neumáticos

Si la velocidad del gas en un lecho fluidizado se incrementa hasta alcanzar un valor que pueda acarrear a las partículas sólidas individuales, éstas son levantadas del lecho y llevadas junto con el gas fluidizante.

9.3 TECNICAS ESPECIALES DE SECADO

a) Secado por radiación infrarroja

Este proceso es apto únicamente para el secado de películas finas sobre la superficie del material que ha de secarse y nunca para ca sos en que el agua(o disolvente) que ha de eliminarse penetre en el sólido. Es un secador muy caro.

b) Secado por calentamiento dieléctrico

Se efectúa pasando el objeto que ha de secarse a través de un campo electrostático de muy alta frecuencia (2 a 100×10^6 ciclos).

Esto genera calor uniformemente sobre el objeto. Su casi exclusiva aplicación es para la polimerización de resinas que forman el enla ce entre las capas de las maderas contrachapadas. (9.4)

(9.4) BADGER Y BANCHERO, Introducción a la Ingeniería Química, págs. 503, 504.

CAPITULO 10

X CONSIDERACIONES PARA LA ELECCION DEL SECADOR

El material seco debe de cumplir con ciertas especificaciones, para atender a éstas debe ser necesario imponer las condiciones de :

- El secador
- El equipo antes del secador
- El equipo después del secador

La elección de secadores contínuos contra secadores por lotes depende también de la naturaleza del equipo precedente y siguiente al secador (capacidades de producción mayores a 100 kg/h, a menudo requieren el uso de secadores contínuos).

A continuación se presenta una lista de posibles criterios para enjuiciar una partícula de material seco.

- Contenido de humedad : es la porción de agua remanente en la partícula ; es necesario conocerla, pues de ello dependerá si la partícula ya se encuentra dentro de las condiciones requeridas para su posterior utilización.

En nuestro caso, una vez que alcancemos el contenido de humedad deseado en la médula, ésta se transfiere al proceso de peletizado.

- Distribución del tamaño de la partícula : indica qué tan uniforme es su tamaño después de pasar por la operación de secado.

Mientras más homogéneo sea el tamaño de las partículas secas se obtendrán características que mejorarán las propiedades de resistencia mecánica de los pellets a obtener.

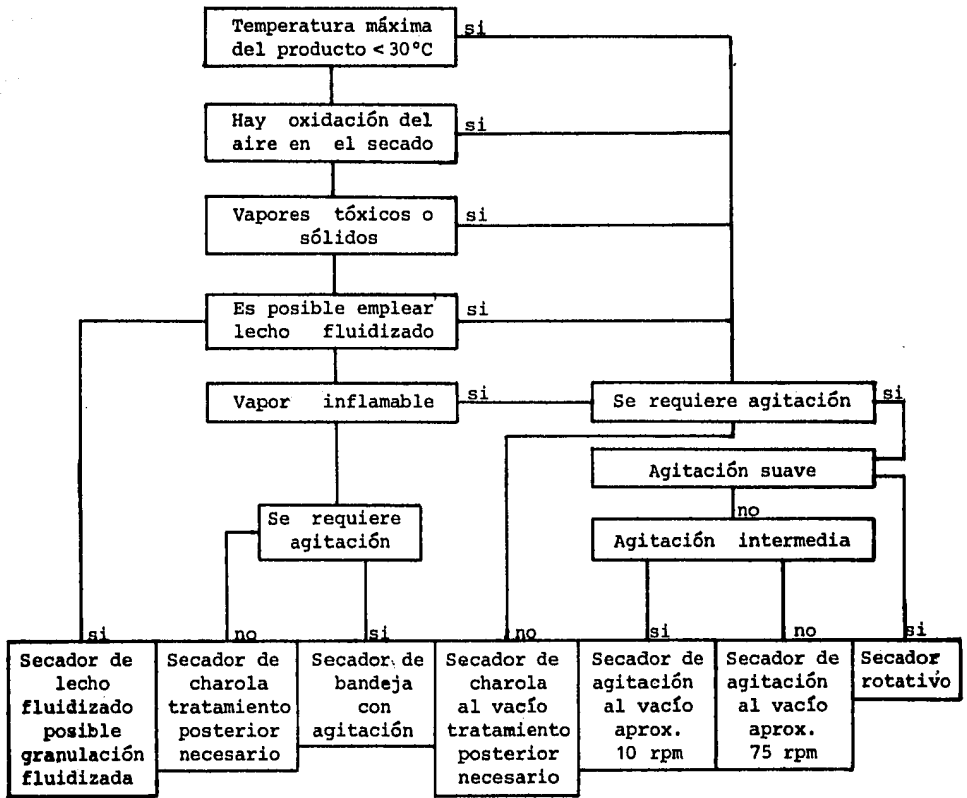
- Densidad de masa : masa por unidad de volumen ocupado por la partícula.

Para la operación de peletizado es necesario obtener un producto cuya densidad facilite un flujo adecuado de aire a través del mismo - mejorando con esto el proceso de combustión.

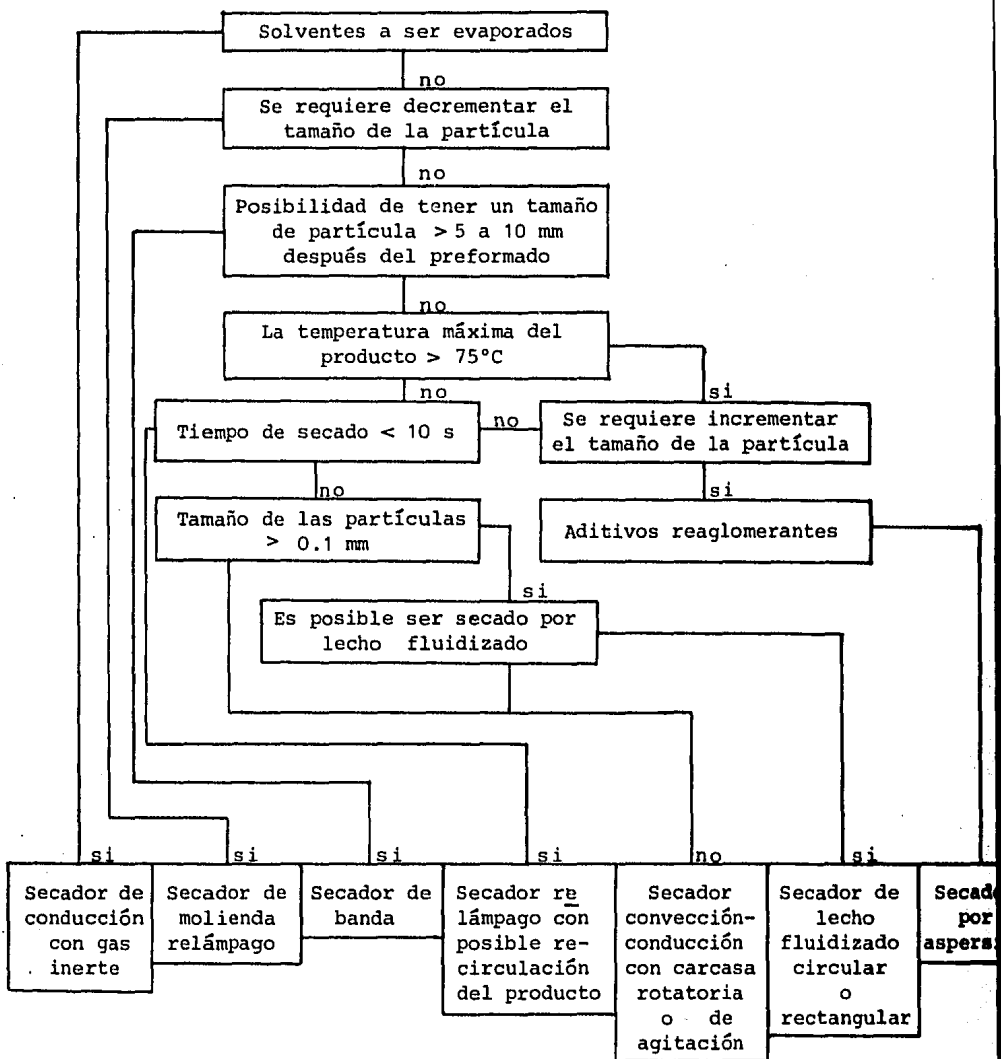
- Dureza : oposición que presenta un material a ser penetrado. Este parámetro no es de gran importancia en el proceso de peletizado dadas las dimensiones de las partículas de médula.

- Contenido de polvo : cantidad de polvo que se origina en el proceso. Su control es necesario ya que la operación de secado es una mezcla heterogénea de médula y finos ; estos últimos en nada nos benefician, por lo que se hace indispensable su eliminación en la mayor medida posible ; para obtener pellets con mayores propiedades físicas.

En los siguientes esquemas se muestran dos árboles de decisión para la selección apropiada de un secador por lotes para cualquier proceso particular. Existen secadores recomendados para este proceso.



ARBOL DE DECISIONES



ARBOL DE DECISIONES

Parámetros importantes que deben tomarse en cuenta para la buena selección del secador :

- Capacidad de producción (kg/hr) : es la cantidad de productos que se obtienen de un proceso por unidad de tiempo.

Este punto es de primordial importancia pues nos permite seleccionar, en primera instancia, el tipo de secador que es conveniente adquirir, sus dimensiones, el proceso que va a emplear (continuo o por lotes) y en consecuencia el costo del mismo.

- Contenido inicial de humedad : cantidad de agua que tiene la partícula antes de someterse a la operación de secado.

Nos determina, de acuerdo al porcentaje de humedad obtenido, el tipo de secador que es más conveniente emplear, así como el medio que se ha de emplear como secador.

- Distribución del tamaño de partícula : debido a la heterogeneidad del tamaño de las partículas, en el caso de la médula, se hace necesaria la colocación de equipos adicionales al secador, como podría ser un ciclón, siendo el tamaño predominante el que determine en buna medida los elementos físicos y los parámetros de operación del equipo secador.

- Curva de secado : existen dos, (rapidez de secado - % humedad y tiempo - % de humedad) su empleo es de gran utilidad, pues proveen de la información necesaria para conocer el tiempo que debe permanecer una partícula de material dentro del horno, hasta llegar a las condiciones de humedad requeridas para su posterior utilización.

- Temperatura máxima que soporta el producto : se refiere a la máxima temperatura que es factible alcanzar, para lograr un secado más rápido, antes de que el material a secarse altere sus propieda

des químicas al llegar a quemarse, por la alta temperatura.

Este es un parámetro importante, pues una vez conocida dicha temperatura, se consigue otro punto más a tomar en consideración para seleccionar el equipo secador que mejor se adecúe a los requerimientos preestablecidos.

- Características de explosión : es conveniente conocer y controlar las características explosivas de los materiales sólidos, tanto para la propia seguridad de los operarios, como para la vida del equipo. Para el caso de secado de médula se debe tener un especial cuidado en este punto, debido a que la médula con bajo contenido de humedad presenta propiedades explosivas.

- Propiedades tóxicas : un especial cuidado se debe tener en el manejo de los productos que se evaporen, ya que si se utiliza un secador sin los equipos para canalizarlos y controlarlos, puede originar en el lugar del proceso, graves trastornos de salud o la muerte ; y aún ocasionar el deterioro de ciertos equipos.

- Experiencias obtenidas al respecto : si con anterioridad se había seleccionado algún equipo secador, el análisis de su elección puede servir de base, con la adición de ciertos problemas que se hayan - presentado en el equipo adquirido, para la elección del más adecuado para algún otro proceso.

- Contaminación por los gases de secado : se deben observar las regulaciones establecidas en normas editadas por organismos encargados de su control, pues el gas empleado para secar es generalmente aire, sin embargo en algunas ocasiones se emplean gases producto de la combustión de algún combustible y en consecuencia contienen gran cantidad de sustancias que al descargarse directamente en la atmósfera, degradan su calidad como son : monóxido y dióxido de carbono, azufre

nitratos, sulfatos, etc.

- Datos físicos de los materiales empleados : el equipo seleccionado se debe adecuar a las características físicas del material a secar, para su mejor manejo y la obtención de un producto con excelente calidad.

- Aspectos de corrosión : el ambiente en el cual se vaya a instalar algún equipo y el tipo de proceso que se vaya a desarrollar, determinan en gran medida los tipos de materiales que se empleen en su fabricación, redundando esto en el costo del mismo, necesitándose, por lo tanto, analizar mediante algún balance económico la selección del más apropiado.

CAPITULO II

XI EXPERIMENTOS EN SECADO DE MEDULA

11.1 INTRODUCCION

Con la finalidad de obtener la humedad que contiene la médula de bagazo de caña después de salir del desmedulador de fibra y finos, que se encuentra en las instalaciones del ingenio, se realizó en el laboratorio de dicho ingenio la prueba de humedad, ésta consiste en colocar una muestra de peso conocido en un secador eléctrico, con una temperatura constante y un tiempo determinado, al finalizar éste, se procede a pesar la muestra para obtener el peso del agua que se ha retirado en la operación.

En particular en el experimento que se realizó se tomaron los siguientes parámetros :

- El peso conocido de la muestra (médula) que fue de 100 grs.
- La temperatura a la cual fue sometida la muestra (médula) que fue de 110°C.
- El tiempo que permaneció la muestra (médula) en el secador que fue de 75 min.

Es de hacer notar varios puntos ; el hecho de haber manejado 100 grs. como peso de la muestra se debe a que ésta no debe ser muy pequeña, y la capacidad de la canasta del secador no permitía aumentar el pe-

so, así como utilizar una masa grande traería como consecuencia un tiempo muy prolongado para poderla secar ; el valor de la temperatura se estimó tomando como base la experiencia que poseen las personas que trabajan en el laboratorio del ingenio ; el tiempo de secado es una función de la masa a secar, y al tener cierta incertidumbre del tiempo a emplear para el peso elegido (100 grs.), se recurrió al personal que trabaja en el laboratorio de dicho ingenio, el cual proporcionó un tiempo óptimo de 75 minutos, para lograr el secado completo de la muestra ; la humedad que se calculó no fue únicamente de un solo experimento, sino fue un promedio aritmético de lo obtenido en diferentes eventos.

Los cálculos realizados fueron los siguientes :

$$\text{Humedad en base húmeda} = \frac{\text{gramos de agua}}{\text{gramos de médula húmeda}} \times 100$$

$$\text{Humedad en base seca} = \frac{\text{gramos de agua}}{\text{gramos de médula seca}} \times 100$$

Al pesar la muestra después de transcurrir 75 minutos, ésta pesó 44.5 grs., en consecuencia el peso del agua que se retiró fue de 55.5 grs., por lo tanto :

$$\text{Humedad en base húmeda} = \frac{55.5}{100} \times 100 = 55.5 \%$$

$$\text{Humedad en base seca} = \frac{55.5}{44.5} \times 100 = 124.72 \%$$

11.2 OBTENCION DE LAS CURVAS DE SECADO

Para la elaboración de dichas curvas, nos podemos referir a lo descrito en el punto 8.1, donde se mencionan las características y variables que intervienen en dichas curvas.

De las operaciones de secado existentes es conocido que para fines de investigación el secado por lotes, es el método mas adecuado, puesto que su funcionamiento es más sencillo, se tiene un mayor control en el sólido a secar, y da una buena aproximación a la operación de secado contínuo. Como se mencionó anteriormente el mecanismo de secado es imperfecto, por lo que se hacen necesarias las pruebas experimentales en condiciones semejantes a las reales ; para ello se construyó un horno experimental, que utiliza los gases producto de la combustión que provienen de las calderas del ingenio, y se obtuvieron las características del gas secador. El horno es provisto de médula extraída directamente del proceso, para evitar modificaciones en sus propiedades.

Se eligió ubicar el horno dentro de las instalaciones del ingenio y junto a la chimenea de las calderas, porque este lugar no representa problema al transportar la médula y proporciona mayor facilidad para la obtención de los gases con las características más apropiadas para realizar el experimento.

Para la extracción de los gases se construyó una instalación que consta de una especie de campana ubicada dentro del conducto que transporta los gases, asimismo esta campana, está conectada por medio de una tubería a un ventilador eléctrico, que extrae los gases y los conduce hasta el horno, la salida de éste, está conectada a su vez a la chimenea de las calderas, auxiliándose la corriente por el tiro natural.

Debido al tiro que se forma en la chimenea, la velocidad de los gases es elevada, originándose un vacío en el conducto que los transporta. Esto se contrarresta con la instalación mencionada, debido a que la especie de campana instalada facilita la recolección. El ventilador vence el tiro de la chimenea y provoca la salida de los gases, la conexión a la salida del horno con la chimenea evita el estancamiento de los gases dentro del mismo, por la diferencia de presiones que existe en los dos sistemas.

El horno es de sección cuadrada (50 x 50 x 20 cm de altura en el interior) construido de tabique refractario. Se le adaptó una parrilla en el interior, con una mampara en el centro para obtener una mejor distribución de los gases, ya que la llegada de éstos al horno se realiza por medio de un tubo en el centro. Al frente, tiene una puerta de acceso.

Toda la instalación está aislada con lana mineral para evitar pérdidas de calor en la conducción de los gases, ya que sin ésta, la temperatura a la entrada del horno llegaba a ser un 50 % menor a la temperatura de salida de los gases.

Para llevar a cabo las pruebas de secado por lotes se construyeron 8 canastas, de lámina perforada que se utiliza en las centrifugas de azúcar del ingenio. Las dimensiones de estas canastas son 15 x 15 x 10 cm en el exterior. Estas canastas se numeraron para tener la tara de cada una, y están provistas de un asa para introducir las y extraerlas del horno.

El procedimiento para la obtención de los datos con los que se pretende realizar las curvas de secado es el siguiente :

- Se pesa la tara de cada canasta
- Se mide la cantidad de humedad contenida en la médula

- Se agrega a cada canasta 75 grs. de médula
- Se introduce en el horno, precalentado a 110°C aproximadamente
- Se extrae cada canasta en intervalos de 5 minutos (partiendo de cero a 40 minutos)
- Se toma la temperatura en el tiempo de la extracción de cada canasta
- Se pesan las canastas inmediatamente a la salida del horno
- Se repiten los 5 pasos anteriores dejando 40 minutos las canastas en el horno y extrayéndolas en intervalos de 5 minutos (partiendo de 40)

Se realizó el experimento en repetidas ocasiones, los resultados se presentan a continuación :

T A B L A 11.1

CANASTA	PESO DE LA CANASTA (TARA)	PESO DE LA CANASTA MAS MEDULA
1	407.50	482.50
2	404.93	479.93
3	405.13	480.13
4	404.80	479.80
5	401.20	476.20
6	400.80	475.80
7	403.70	478.70
8	392.50	467.50

T A B L A 11.2

Ti	#C	PTi	DIF	TEM	HBS	HBH
5	1	476.55	5.95	95	106.89	47.57
10	2	467.93	12.00	96	88.76	39.50
15	3	466.53	13.60	101	83.97	37.37
20	4	462.00	15.80	108	77.39	34.44
25	5	457.95	18.30	111	69.89	31.10
30	6	460.08	19.47	112	66.38	29.54
35	7	458.33	20.45	112	63.45	28.23
40	8	448.28	22.97	112	55.89	24.87
45	1	455.65	27.11	104	43.50	19.36
50	2	440.48	30.15	105	34.30	15.26
55	3	448.98	31.15	108	31.39	13.97
60	4	444.25	32.55	111	27.20	12.10
65	5	441.70	34.55	108	21.20	9.43
70	6	443.78	35.44	112	18.54	8.25
75	7	446.03	36.09	108	16.59	7.38
80	8	431.08	36.50	111	15.36	6.83

- Ti - Tiempo en minutos
- #C - Número de la canasta
- PTi - Peso de la médula después del tiempo Ti en gramos
- DIF - Diferencia de pesos (To - Ti) en gramos
- TEM - Temperatura en °C
- HBS - Humedad en base seca en %
- HBH - Humedad en base húmeda en %

En la tabla 11.1 se muestran los pesos de las canastas utilizadas, cada uno de los cuales, son el resultado de un promedio de 3 mediciones realizadas en el laboratorio.

En la misma también aparece el peso de cada una de las canastas con su respectiva cantidad en peso de médula húmeda.

Cabe recordar que el peso de la muestra (peso de médula húmeda) es de 75 grs. para cada canasta.

En la tabla 11.2 aparecen el número de la canasta y los intervalos de tiempo en que fueron extraídas las canastas durante el experimento ; tiene el peso de la canasta con médula después de ser extraída del horno, enseguida se observa el peso del agua que fue extraída de la muestra, que es el resultado de la diferencia de peso de la canasta con médula húmeda al inicio del experimento y el peso de la canasta con médula húmeda después de transcurrido su correspondiente intervalo de tiempo ; las temperaturas se leyeron en el instante en que fueron extraídas las canastas ; en la misma aparecen los porcentajes de humedad en base seca y en base húmeda de cada canasta - después de pasar el intervalo de tiempo que le corresponde a cada una de las mismas.

Para el cálculo del porcentaje de humedad en base seca se utilizó la siguiente expresión :

$$\text{Humedad en base seca} = \frac{41.625 - \text{DIF}}{33.375} \times 100 \quad (\%)$$

- El número 41.625 es el peso del agua que contiene la médula húmeda al inicio del experimento, que es el 55.5 % de 75 gramos.

- El numerador de esta expresión determina la cantidad en peso del agua que todavía posee la muestra después de transcurrido el tiempo T_i .

- El número 33.375 es el peso de la médula seca que contiene la médula húmeda al inicio del experimento, que es el 45.5 % de 75 gramos.

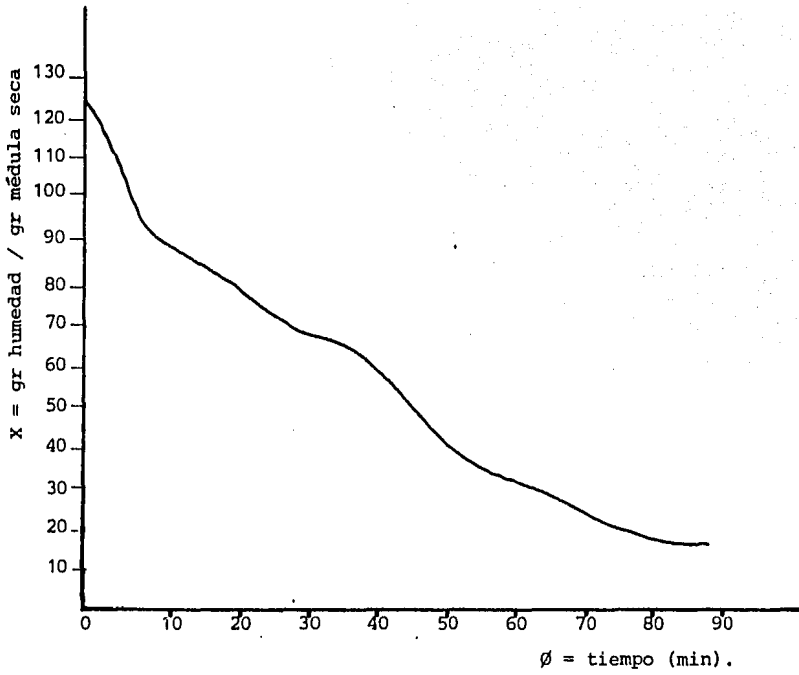
Para el cálculo del porcentaje de humedad en base húmeda se utiliza la siguiente expresión :

$$\text{Humedad en base húmeda} = \frac{41.625 - \text{DIF}}{75} \times 100 \quad (\%)$$

- El numerador significa la cantidad en peso del agua que todavía posee la muestra después de transcurrido el tiempo T_i .

- El número 75 es el peso de la médula húmeda al inicio del experimento.

Partiendo de los valores presentados en la tabla 11.2 se muestra una gráfica de HBS contra T_i .



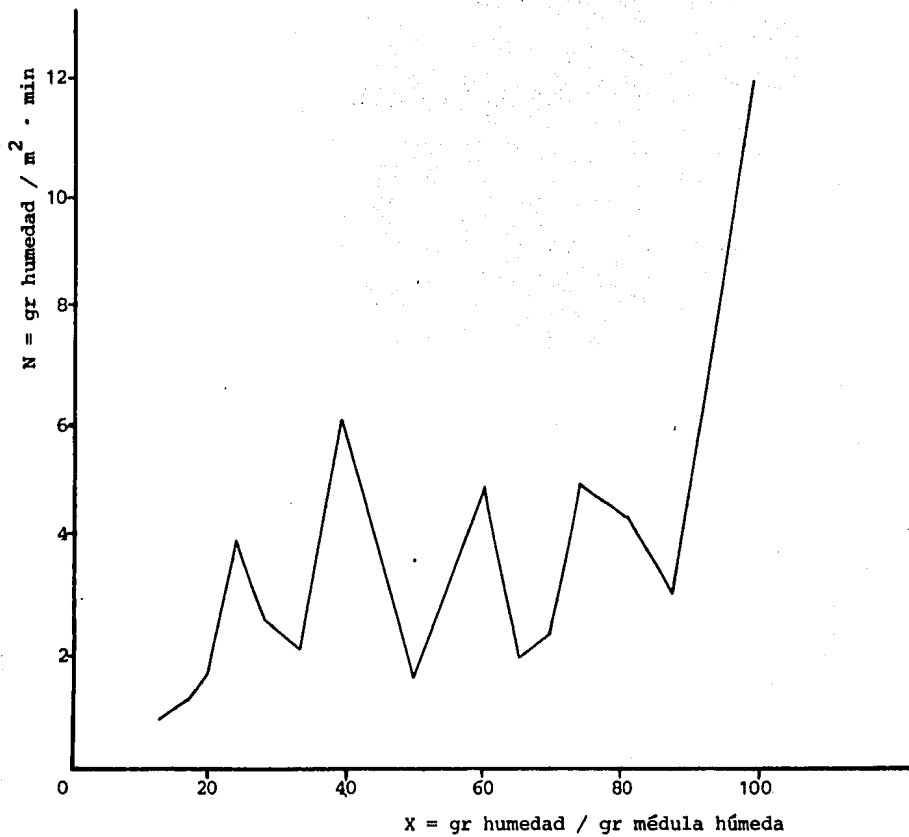
Gráfica 11.1 PORCIENTO DE HUMEDAD

Para obtener la gráfica de rapidez de secado, se tiene el contenido de humedad como abscisa y la rapidez de secado como ordenada. El contenido de humedad se obtiene de la tabla 11.2 ; tomando un promedio del primero y segundo valor de la humedad, después del segundo y tercero, y así sucesivamente. Para el cálculo de la rapidez de secado se emplea la fórmula (a) de la sección 8.1*. Los valores que se tienen como datos así como los experimentales necesarios para realizar la gráfica son reportados en la tabla siguiente :

T A B L A 11.3

HUMEDAD EN BASE SECA ($\frac{\text{gr agua}}{\text{gr médula seca}} \times 100$)	RAPIDEZ DE SECADO (kg agua / m ² · min)
97.83	12.09
86.37	3.19
80.68	4.39
73.64	5.00
68.14	2.34
64.92	1.95
59.67	5.04
49.70	1.59
38.90	6.13
32.85	1.94
29.30	2.79
24.20	4.00
19.87	1.77
17.57	1.30
15.98	0.82

* m = 0.075 kg
 $\Delta T = 3 \text{ min}$
 A = 0.0225 m²



Gráfica 11.2 RAPIDEZ DE SECADO

La gráfica 11.1 (% de humedad vs tiempo) tiene cierta similitud con la gráfica 8.1 variando únicamente en ciertas porciones de la curva la concavidad. Sin embargo, el simple análisis de esta curva no proporciona una idea apropiada del comportamiento del sólido a secar. Analizando la gráfica 11.2 (rapidez de secado vs % de humedad), se observa que el comportamiento es muy inestable esto no es congruente con la gráfica 8.2.

Ahora bien, esta inestabilidad se debe a que en el horno la distribución del gas secante no es uniforme, entendiéndose que sobre las 8 canastas colocadas dentro del horno no incide la misma cantidad de gases, provocando en la médula contenida en cada canasta una diferente rapidez de secado, y al considerar que todas y cada una de las canastas recibía la misma cantidad de gases nos llevó a los resultados anteriores.

Por esto se puede concluir que los resultados no son confiables y esto se observa en la gran diferencia que existe en las gráficas. Para poder corregir este error, se propone como solución una sola canasta en el horno (en el centro), retirando la mampara, la canasta se somete a una operación que consiste en introducirla en el horno previamente calentado, donde la incidencia de gases es mayor y después de transcurrido un determinado intervalo de tiempo se saca la canasta, se pesa y se regresa al horno en la misma posición, para ser repetida la operación tantas veces como sea necesario. La operación de extracción, pesado e introducción de la canasta se debe realizar en el menor tiempo posible para que la médula no pierda su temperatura, y no absorba agua del medio ambiente. Otro punto que se debe modificar para obtener resultados satisfactorios es el número de malla, dado que la malla de centrifugadora empleada en el

primer experimento permite el escape de médula cuando ésta se encuentra con poca humedad. Por ésta razón la malla utilizada debe ser de un número mayor. Con esto se evita el escape de médula originando que la diferencia de peso medida se deba únicamente al agua - perdida en la muestra y no por las pérdidas de agua y médula de la misma. Al llevar a cabo la solución propuesta se eliminaron los errores por estos conceptos y se obtuvieron los resultados siguientes.*

T A B L A 11.3

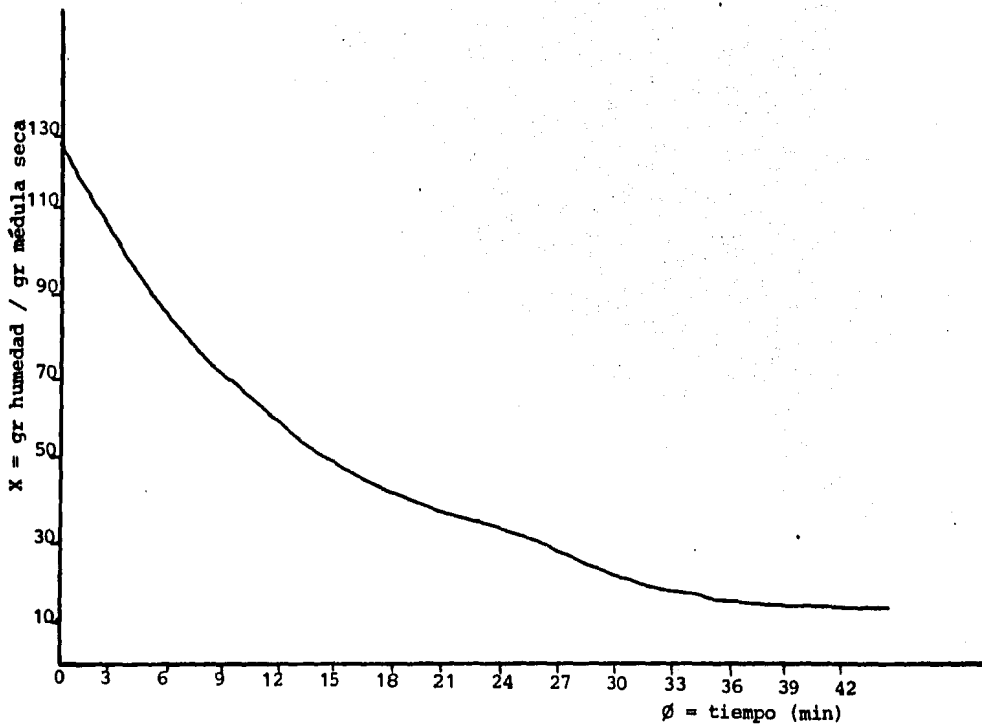
TEM	Ti	PESO	HBS	HBH	HBH P	RAP SEC
110	0	663.5	124.72	55.5	113.40	15.25
110	3	653.5	102.25	45.1	91.02	15.25
110	6	643.5	79.78	35.5	73.38	8.70
110	9	637.8	66.97	29.8	60.90	8.24
114	12	632.4	54.83	24.4	50.62	5.72
112	15	628.6	46.40	20.6	43.31	4.20
111	18	625.9	40.22	17.9	37.19	4.12
115	21	623.2	34.16	15.2	31.35	3.82
116	24	620.7	28.54	12.7	25.40	4.27
115	27	617.9	22.25	9.9	19.44	3.82
115	30	615.4	16.63	7.4	15.85	1.07
114	33	614.7	15.06	6.7	14.27	0.93
115	36	614.0	13.48	6.0	12.81	0.62
120	39	613.4	12.13	5.4	11.91	0.30
120	42	613.2	11.69	5.2	-	-

*m = 100 gr = 0.1 kg

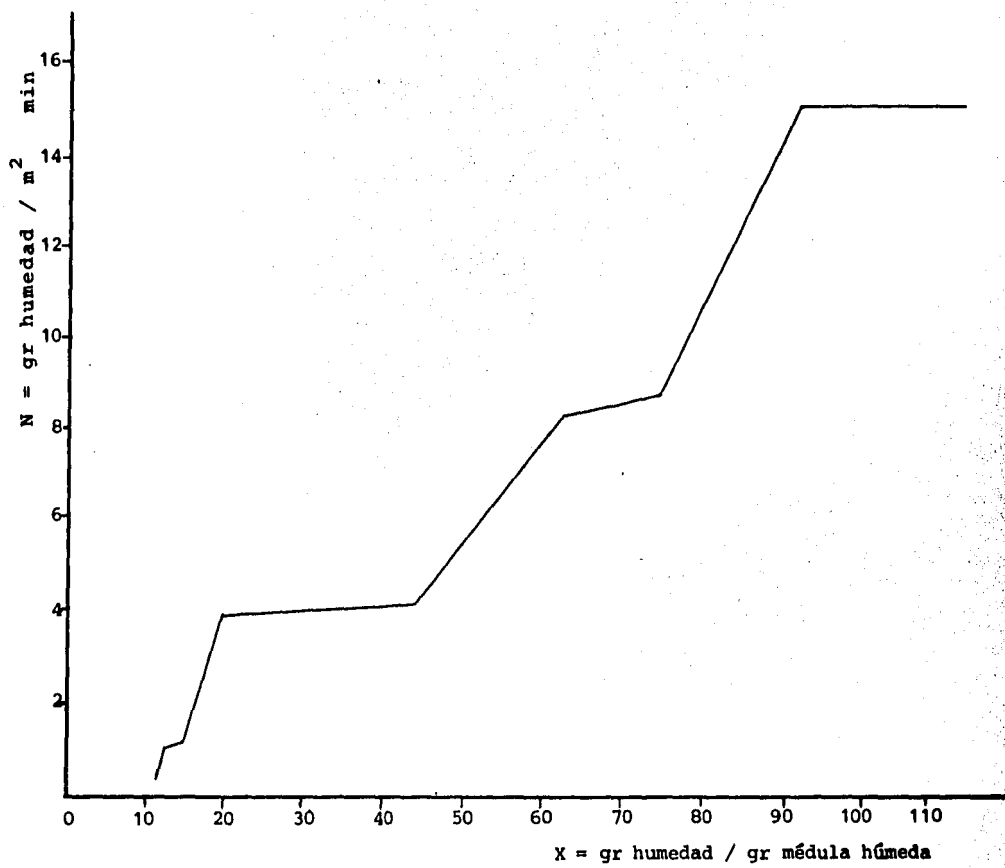
ΔT = 3 minutos

A = $(\pi)d^2/4 = 0.049 \text{ m}^2$

- HBH P Porcentaje de humedad en base húmeda promedio de entre dos valores de humedad consecutivos.
- RAP SEC Rapidez de secado.



Gráfica 11.3 PORCIENTO DE HUMEDAD



Gráfica 11.4 RAPIDEZ DE SECADO

Al observar la gráfica de humedad contra tiempo, se nota que no existe una gran diferencia con la bibliografía (gráfica 8.1). Sin embargo esto no es de mucha utilidad como tal, pero da origen a la gráfica de rapidez de secado contra humedad, que al analizarla, se observa que es bastante semejante a la que se muestra en la gráfica 8.2, tomando como referencia el intervalo de humedad de cero a 43 %.

En base a esto, se concluye que el experimento realizado otorga resultados bastante confiables, con los que se trabajará mas adelante. Cabe hacer notar que los datos, cálculos y gráficas son el resultado de un promedio de tres experimentos realizados en forma semejante a lo mencionado anteriormente.

Estos resultados eran de esperarse debido a que se redujo al mínimo los diferentes factores que causaron gran disparidad en los primeros experimentos, como fueron : el número de malla, la distribución de los gases producto de la combustión.

CAPITULO 12

XII ESPECIFICACION DEL PROTOTIPO Y REALIZACION DE PRUEBAS DE SECADO

Con la finalidad de conocer el comportamiento físico real en la operación de secado de la médula, en condiciones dinámicas, se llevó a cabo la construcción de un prototipo de secador en el cual se controlarán diversos parámetros de interés, tales como : presión, temperatura, gasto y velocidad del flujo de gases, así como la optimización de éstos para obtener un producto con el mínimo porcentaje de humedad.

Para llevar a cabo esto, se propone la implantación de los siguientes sistemas secadores : neumático, de lecho fluidizado y neumático-lecho fluidizado. La proposición se basa en el hecho de que tales sistemas nos dan un apreciable ahorro en el consumo de energía, redundando en un decremento de costos.

12.1 CARACTERISTICAS DEL SECADOR

Aprovechando la infraestructura existente obtenida con la anterior construcción del horno, se optó por modificar en cierta medida las características dimensionales del mismo para adaptarlas a las condiciones requeridas por el secador.

Como es sabido, la ubicación del secador es la misma que tenfa el horno, es decir, se encuentra dentro de las instalaciones del ingenio, junto a la chimenea de la caldera número cinco ; debido a que este lugar proporciona mayor facilidad en la obtención de los gases producto de la combustión y la médula, difícilmente modifica sus características iniciales, dando que la criba de donde se obtiene, - también se encuentra muy cercana de este lugar.

El sistema secador está constituido por las siguientes partes :
Un cuerpo principal de sección transversal cuadrada (50 x 50 cm), fabricado de tabique refractario y provisto de dos ventanillas laterales. Las dimensiones de éstas son de 10 x 20 cm. En su parte frontal el secador cuenta con una abertura de sección rectangular de (40 x 50 cm), Asimismo, para evitar la fuga excesiva de gases de combustión, se colocaron dos placas metálicas, las cuales pueden deslizarse por unas ranuras colocadas lateralmente. En la parte superior del sistema se colocó una campana de hierro con un orificio para la salida de los gases y los finos de médula. También se colocó en la parte inferior una tolva cuadrada para la entrada de los gases. En la parte superior de la sección trasera se dejó un orificio rectangular para la alimentación de la médula. Haciendo referencia a las placas metálicas diremos que sus dimensiones son : 45 x 50 y - 45 x 30 cm. La primera de ellas tiene un asa, que sirve para poder moverla y a la vez de apoyo (parte superior), la segunda tiene una ranura de 40 x 10 cm ; por otra parte, la forma de sujeción se realiza por medio de tornillos de presión.

Otra parte importante del sistema secador, es el alimentador que se utiliza para suministrar la médula al interior del cuerpo del secador. Este dispositivo consta de ocho paletas radiales, cuya longitud

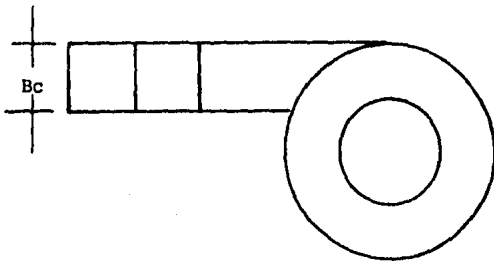
aproximada es el largo del alimentador y se encuentran soldadas a una flecha. El extremo de la flecha está acoplado a una manivela que transmite el movimiento angular.

Asimismo, tenemos el ciclón que se encuentra situado en la parte superior, a la derecha del cuerpo principal, y se coloca sostenido por un tripié mecánico. El ciclón tiene como finalidad la separación de los finos que son arrastrados por el flujo de gases que incide sobre la médula que cae del alimentador dentro del cuerpo principal.

El dimensionamiento del ciclón se basó en las ecuaciones de la figura 12.1.

El sistema secador también se encuentra provisto de una charola cuyas características son las siguientes : un marco de solera de fierro ángulo de 1.5 pulgadas (90 x 49 cm), reforzado por dos travesaños distribuidos cada 30 cm a lo largo del marco. En la parte posterior de la charola se acondicionó una bisagra que funciona de la siguiente manera : un perno de media pulgada de diámetro atraviesa de extremo a extremo el cuerpo principal del secador, pasando también dentro de un tubo que está soldado al marco de la charola. La malla que se montó sobre el marco de la charola es empleada normalmente en las máquinas centrífugas del ingenio. Este tipo de malla tiene un área libre pequeña, con lo que se evita que la médula a secar se trasmite a la parte inferior del secador.

En la parte inferior del secador, se encuentra un cono o tolva, que tiene como función recibir los gases provenientes de la caldera, y distribuirlos uniformemente al interior del secador. Esta tolva en su parte inferior recibe los gases, que son conducidos por una tubería que parte del ventilador que extrae los gases de la chimenea de la caldera, y que termina en la tolva antes mencionada.



$$Bc = \frac{Dc}{4}$$

$$De = \frac{Dc}{2}$$

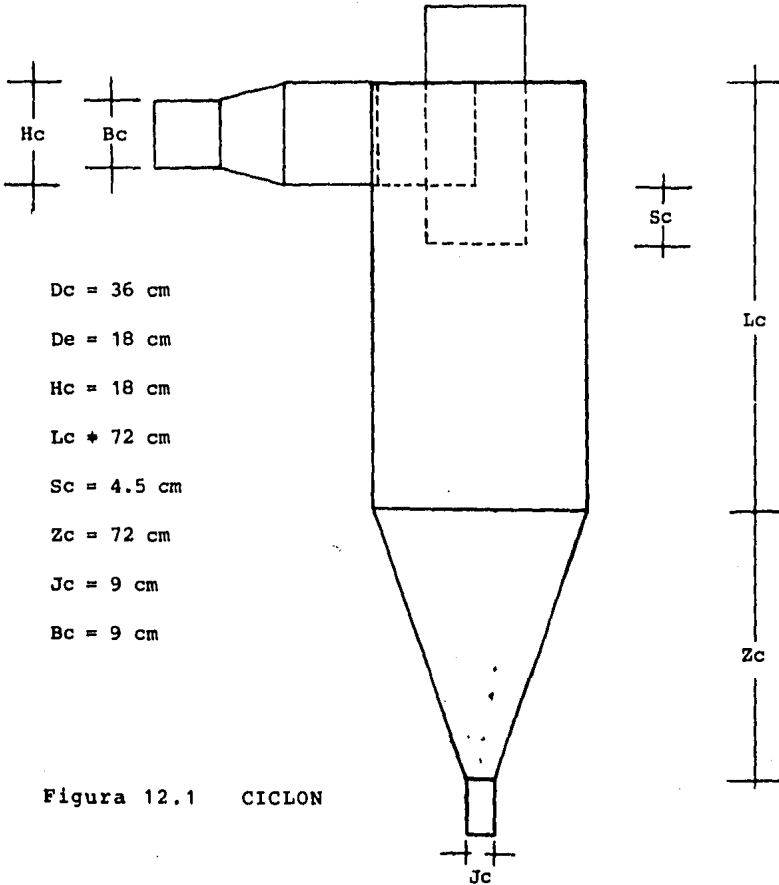
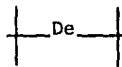
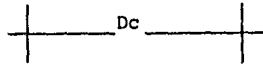
$$Hc = \frac{Dc}{2}$$

$$Lc = 2 Dc$$

$$Sc = \frac{Dc}{8}$$

$$Zc = 2 Dc$$

$$Jc = \frac{Dc}{4}$$



$$Dc = 36 \text{ cm}$$

$$De = 18 \text{ cm}$$

$$Hc = 18 \text{ cm}$$

$$Lc = 72 \text{ cm}$$

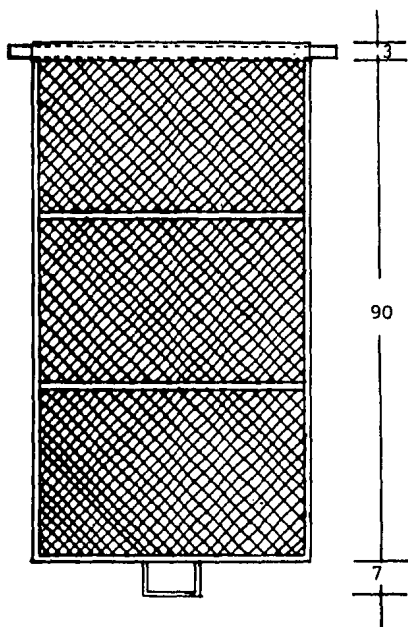
$$Sc = 4.5 \text{ cm}$$

$$Zc = 72 \text{ cm}$$

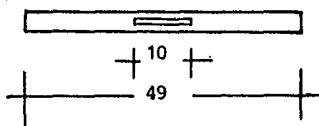
$$Jc = 9 \text{ cm}$$

$$Bc = 9 \text{ cm}$$

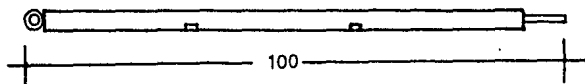
Figura 12.1 CICLON



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

Figura 12.2

CHAROLA
Escala 1:100
Cotas en cm.

Dentro de su sección longitudinal, está situada una brida con una placa de orificio cuya finalidad es proveer de datos para la obtención de las características propias del flujo.

El ventilador que extrae los gases de la chimenea de la caldera, es de tipo axial, la potencia es transmitida por banda con una relación de poleas adecuadas para elevar la velocidad.

12.2 OBTENCION DE DATOS Y ANALISIS

Ya obtenidas las muestras correspondientes a la médula del ciclón (médula que es arrastrada por los gases producto de la combustión y que es separada en el ciclón), y la médula del horno (médula que por su peso no puede ser arrastrada por los gases y se aloja dentro del horno), se procede a evaluar las características de humedad.

Para realizar esto, se recurrió al auxilio de un laboratorio (propio del ingenio).

Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron los siguientes :

- El peso conocido de la muestra
- Temperatura a la cual fue sometida la muestra
- Tiempo que permaneció la muestra en el secador eléctrico

a) Para el caso de la médula de horno, el peso inicial de la muestra fue siempre el mismo e igual a 100 gramos. Para el caso de la médula del ciclón, el peso de la muestra no fue siempre el mismo debido a que la cantidad de médula que se obtenía por medio del ciclón durante los primeros minutos de operación del horno, era inferior a 100 gramos ; por lo que, el peso inicial de la muestra era directamente, en este lapso de tiempo, el obtenido por medio del ciclón.

Cuando la cantidad de médula fue superior a 100 gramos, se tomó éste como valor fijo.

b) El valor de la temperatura se estimó tomando en consideración la experiencia que poseen las personas que trabajan en el laboratorio del ingenio y siguiendo la NOM (Norma Oficial Mexicana) para el secado de bagazo de caña. Este valor fue de 110°C.

c) Para el caso de la médula del horno, el tiempo que permaneció la muestra dentro del secador eléctrico fue de 30 minutos. Para el caso de médula del ciclón, el tiempo fue de 15 minutos. Esta diferencia se debe a que la médula que se obtenía por el ciclón, tenía un contenido de agua considerablemente menor que la médula del horno ; por lo que se estimó, en base a éstas observaciones los tiempos antes estimados, que posteriormente por medio de experimentos fueron verificados estos valores.

Los valores obtenidos en el laboratorio son correspondientes al peso inicial de la muestra y al peso de la médula al finalizar el tiempo de secado.

Para evaluar las características de humedad (humedad en base seca y humedad en base húmeda) nos auxiliamos de las ecuaciones descritas en el capítulo 11.1, las cuales se presentan a continuación.

$$\% \text{ Humedad en base húmeda} = \frac{\text{gr agua}}{\text{gr médula húmeda}} \times 100 \quad \dots \text{ (a)}$$

$$\% \text{ Humedad en base seca} = \frac{\text{gr agua}}{\text{gr médula seca}} \times 100 \quad \dots \text{ (b)}$$

Los gramos de agua se calculan por medio de la diferencia del peso inicial de la muestra (P_i), antes de iniciar el experimento, y el peso final (P_f), después de realizado el experimento.

$$\text{Gramos de agua} = P_i - P_f$$

Los gramos de médula húmeda son directamente el peso inicial de la muestra.

$$\text{Gramos de médula húmeda} = P_i$$

Los gramos de médula seca son directamente el peso final de la muestra.

$$\text{Gramos de médula seca} = P_f$$

Por lo tanto las ecuaciones (a) y (b) se reducen a las siguientes expresiones :

$$\% \text{ Humedad en base húmeda} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \dots \quad (12.a)$$

$$\% \text{ Humedad en base seca} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \quad \dots \quad (12.b)$$

De esta manera se elaboraron las tablas 12.1 y 12.2.

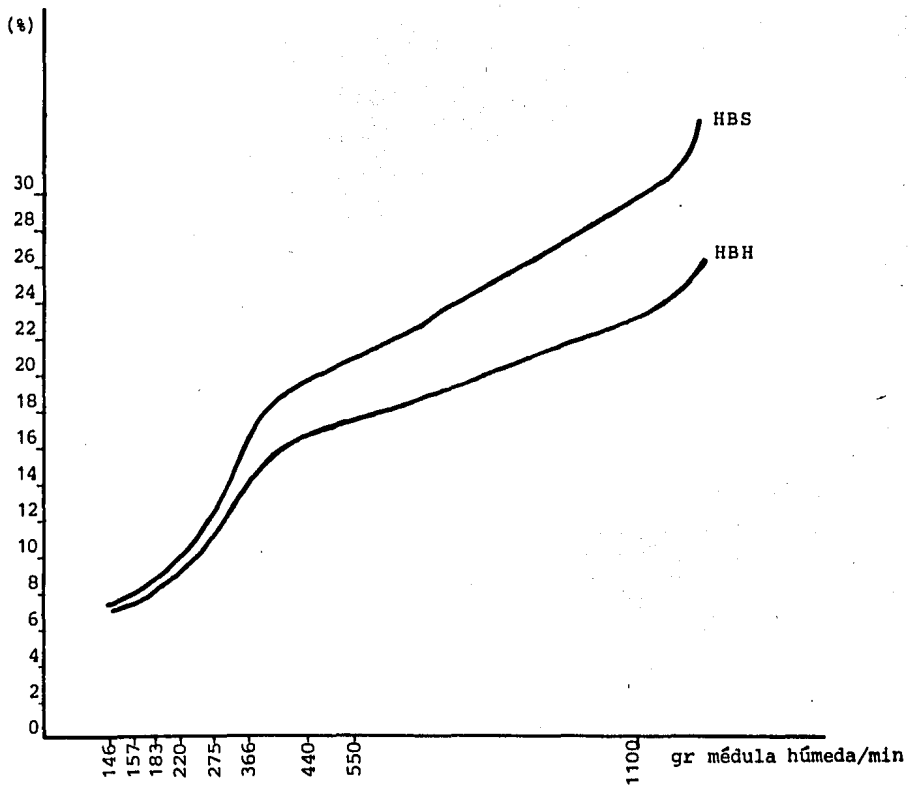
Ahora se requiere determinar la cantidad de masa por unidad de tiempo de médula del horno y médula del ciclón, para que posteriormente se decida su destino.

T A B L A 12.1
MEDULA DEL CICLON

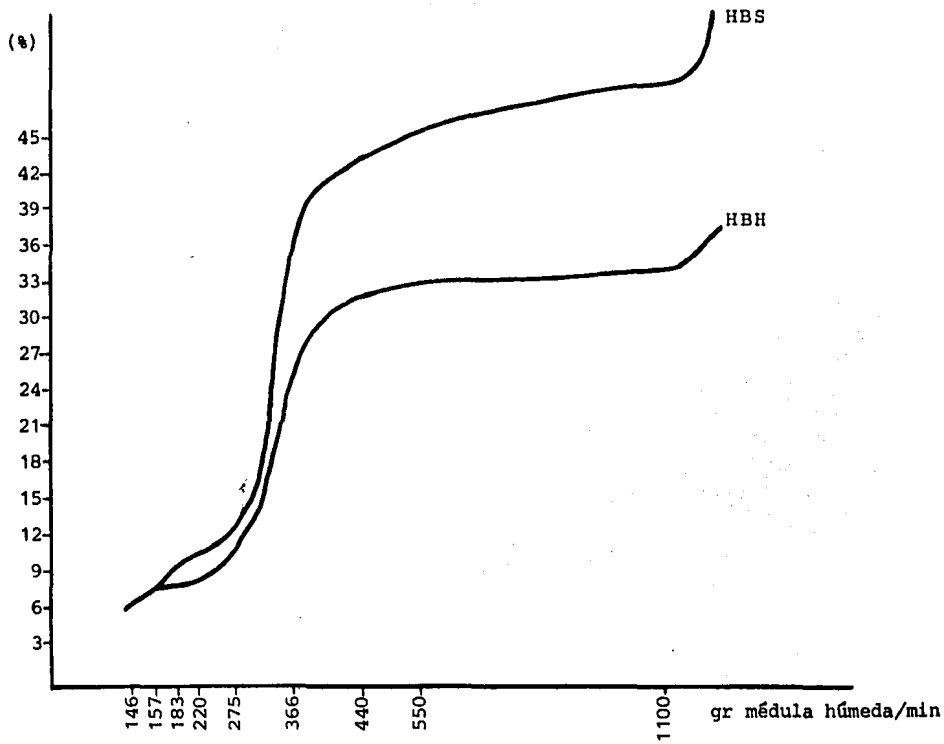
Flujo Másico (alimentación) <u>gr médula húmeda</u> minuto	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	HBH (%)	HBS (%)
M1	Pi	Pf	Y2	-
1100	21.00	16.50	21.42	27.27
550	34.40	29.00	15.47	18.30
440	47.94	40.77	14.95	17.58
366	81.50	70.00	14.11	16.43
275	100.00	91.00	9.00	9.89
220	100.00	91.90	8.10	8.81
183	100.00	92.99	7.01	7.54
157	100.00	93.30	6.87	7.38
146	100.00	93.49	6.51	6.96

T A B L A 12.2
MEDULA DEL HORNO

Flujo Másico (alimentación) <u>gr médula húmeda</u> minuto	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	HBH (%)	HBS (%)
M1	Pi	Pf	Y3	-
1100	100.00	69.10	30.90	44.72
550	100.00	71.36	28.64	40.13
440	100.00	73.44	26.56	36.17
366	100.00	87.73	12.27	13.99
275	100.00	91.20	8.80	9.65
220	100.00	91.70	8.30	9.05
183	100.00	92.90	7.10	7.64
157	100.00	93.40	6.60	7.07
146	100.00	93.90	6.10	6.50



Gráfica 12.1 HUMEDAD DE LA MEDULA DEL CICLON



Gráfica 12.2 HUMEDAD DE LA MEDULA DEL HORNO

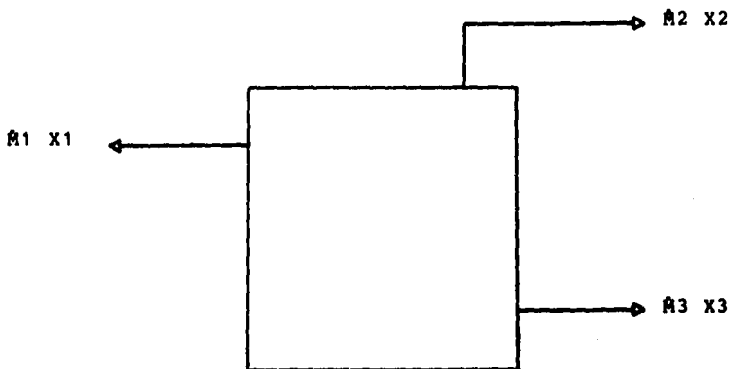
cantidad de médula del ciclón por unidad de tiempo se obtuvo directamente, esto es, a la salida del ciclón se colocó un recipiente, el cual permaneció ahí el tiempo que fue necesario, por ejemplo, cuando se alimentó con 1.1 kg de médula húmeda / min, se pesaron - gr de médula del ciclón durante 2 minutos, esto implica que el peso de médula húmeda que sale por el ciclón por unidad de tiempo es :

$$\frac{21 \text{ gr}}{2 \text{ min}} = 10.5 \text{ gr de médula húmeda del ciclón/min}$$

esta forma se elaboró la tabla 12.3.

flujo másico de médula del horno no se podía obtener directamente debido a las características propias del prototipo del horno. Por lo que se recurrió a un balance de masas el cual se presenta a continuación.

flujo másico de médula seca que entra al horno, es igual al flujo másico de médula seca que sale por el ciclón más el flujo másico de médula seca que permanece en el interior del horno, esto es :



- M1 - Flujo másico de médula húmeda (alimentación)
- M2 - Flujo másico de médula húmeda (médula del ciclón)
- M3 - Flujo másico de médula húmeda (médula del horno)
- X1 - Es la relación que existe entre los gramos de médula seca los gramos de médula húmeda (alimentación)
- X2 - Idem (médula del ciclón)
- X3 - Idem (médula del horno)
- X1 = 1 - Y1
- X2 = 1 - Y2
- X3 = 1 - Y3
- Y1 - Porcentaje de humedad en base húmeda de la médula de alimentación (permanece constante : Y1 = 0.557)
- Y2 - Porcentaje de humedad en base húmeda de la médula del ciclón (este valor se encuentra en la tabla 12.1 y depende del flujo másico de alimentación)
- Y3 - Porcentaje de humedad en base húmeda de la médula del horno (este valor se encuentra en la tabla 12.2 y depende del flujo másico de alimentación)

Por lo tanto el balance de masa queda definido por la siguiente expresión :

$$\dot{M}_1 X_1 = \dot{M}_2 X_2 + \dot{M}_3 X_3$$

$$\dot{M}_3 = \frac{\dot{M}_1 X_1 - \dot{M}_2 X_2}{X_3} \times 100$$

En base a esta expresión se calculó el flujo másico de médula húmeda (médula del horno).

Los resultados se muestran en la tabla 12.4

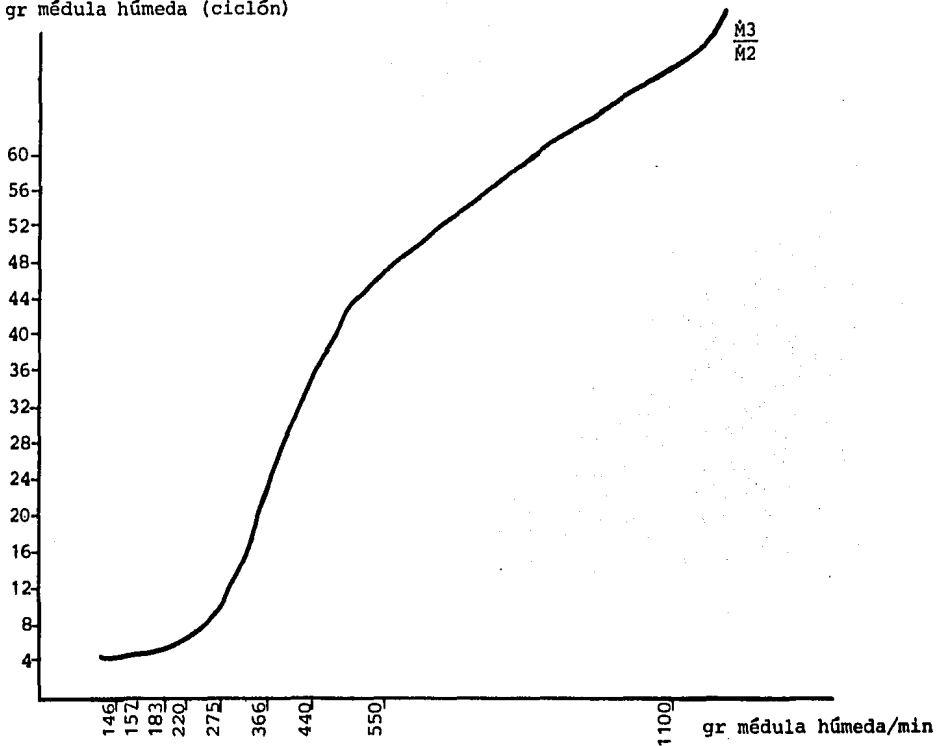
T A B L A 12.3

FLUJO MASICO (alimentación)	FLUJO MASICO DE MEDULA HUMEDA (ciclón)
<u>gr médula húmeda</u> minuto	<u>gramos</u> minuto
M1	M2
1100	10.50
550	8.72
440	9.58
366	13.58
275	17.38
220	16.00
183	14.99
157	14.18
146	13.37

T A B L A 12.4

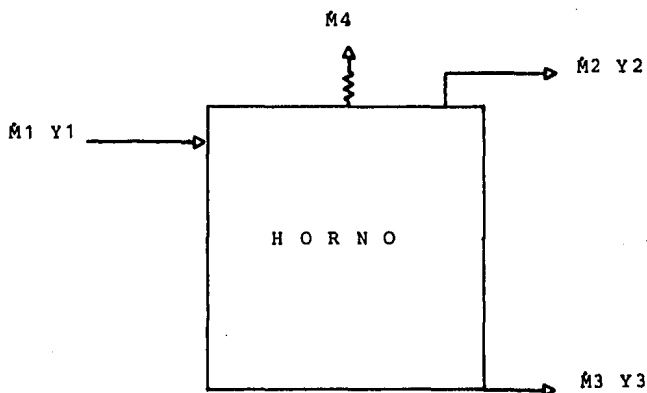
FLUJO MASICO (alimentación)	FLUJO MASICO DE MEDULA HUMEDA (horno)
<u>gr médula húmeda</u> minuto	<u>gramos</u> minuto
M1	M2
1100	643.27
550	331.14
440	254.28
366	174.82
275	116.21
220	90.29
183	72.26
157	60.30
146	55.41

$\frac{\text{gr médula húmeda (horno)}}{\text{gr médula húmeda (ciclón)}}$



Gráfica 12.3

Para calcular el flujo másico de agua que se retira por medio de los gases producto de la combustión, se realizó el balance de masa correspondiente al agua, esto es :



$\dot{M}_1, Y_1; \dot{M}_2, Y_2; \dot{M}_3, Y_3;$ tienen el mismo significado que en el caso del balance de masas para la médula seca.

\dot{M}_4 -. Flujo másico de agua que es retirado por medio de los gases producto de la combustión.

Por lo tanto el balance de masa queda definido por la siguiente expresión :

$$\dot{M}_1 Y_1 = \dot{M}_2 Y_2 + \dot{M}_3 Y_3 + \dot{M}_4$$

$$\dot{M}_4 = \dot{M}_1 Y_1 - \dot{M}_2 Y_2 - \dot{M}_3 Y_3$$

Por medio de esta última expresión se calculó la cantidad de masa de agua que los gases producto de la combustión retirarán de la médula.

Los resultados son presentados en la tabla 12.5.

Con los estudios realizados al parejo de esta tesis, se llegó a la

conclusión que el porcentaje de humedad en base húmeda, para que la médula estuviese en óptimas condiciones para pasar a la operación de peletizado, fue de 8 %.

Por medio de este trabajo se concluye que esta condición de humedad es bastante factible de realizar, utilizando como gas secador los gases producto de la combustión de las calderas, ya que éstos a las condiciones que se obtienen presentan propiedades que se aprovecharon para lograr dicho objetivo.

T A B L A 12.5

FLUJO MASICO (alimentación)	FLUJO MASICO DE AGUA
<u>gr médula húmeda</u> minuto	<u>gramos</u> minuto
M1	M4
1100	411.68
550	210.16
440	176.11
366	180.50
275	141.38
220	113.75
183	95.73
157	82.50
146	77.07

Con el prototipo del secador se alcanzaron los siguientes resultados:

a) El flujo másico de médula húmeda de alimentación, para una humedad en base húmeda de 8 % fue de :

$$195 \frac{\text{gramos de médula húmeda}}{\text{minuto}} \quad \frac{\text{gmh}}{\text{min}}$$

b) Se tiene un flujo másico de médula húmeda del ciclón :

$$15.5 \text{ gmh/min}$$

c) Se tiene un flujo másico de médula húmeda del horno de :

$$80 \text{ gmh/min}$$

d) El flujo másico de agua que se retira de la médula fue de :

$$100 \text{ gr agua/min}$$

Estos resultados son muy importantes, ya que con éstos, se diseña el secador industrial y el ciclón.

Como se puede observar se tienen dos tipos de médula, la que sale del ciclón y la que se queda en el horno, lo que prosigue es determinar el destino tanto de la médula del ciclón como la médula del horno, a continuación se presentan algunas alternativas :

a) Se mezclan ambos tipos de médula, se homogenizan y se procede a peletizarlos.

b) Se mezclan ambos tipos de médula, se homogenizan, una fracción de ésta se peletiza y el resto de la misma se destina para alimento para ganado.

c) La médula del ciclón se destina por completo para el alimento

de ganado y la médula del horno se peletiza.

d) Una fracción de la médula del ciclón se destina para alimento de ganado y el resto se peletiza por separado, la médula del horno también se peletiza.

e) Una fracción de médula del ciclón se destina para alimento de ganado y el resto se mezcla con la médula del horno, se homogeniza y se peletiza.

f), g), h) idem que c), d) y e) pero tratándose de médula del horno. Esta decisión se deja abierta pero debe estar fundamentada por un estudio económico completo.

12.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR

a) Realización de pruebas y problemas de funcionamiento

Una vez terminada la construcción e instalación del horno, se procedió a verificar la operación del mismo con respecto a lo que se tenía pensado. En el transcurso de las pruebas se tuvieron muchos problemas de diversa índole.

Al poner a funcionar el sistema secador, la primera sorpresa que se tuvo fue que no fluidizaba, pero lo que más resaltaba era la gran cantidad de fugas. Se taparon éstas en diferentes secciones : en las ranuras de la puerta de acceso del secador, en la unión del ventilador y el tubo que conduce el gas.

En las ranuras y orificios se puso fibra de vidrio, en el alimentador se puso una tapa en la parte superior, entre el ventilador y el tubo se colocó barro refractario, con esto las fugas se minimizaron. No obstante estas soluciones, el sistema secador seguía sin fluidizar. Se observó que ahora el problema consistía en una baja presión de los gases ; para incrementarla, se requería que el ventila-

dor girara a una mayor velocidad. Esto se solucionó cambiando la relación de poleas que acoplan el motor al ventilador.

Es sabido que al aumentar la carga en el motor, la corriente que circula por el estator se incrementa. Pero el valor de esta corriente nunca sobrepasó el valor de la corriente de placa. Después de un tiempo de operación, el motor sufrió un deterioro en sus embobinados debido a que se encontraba a un lado de la salida de los gases en la chimenea de la caldera. Ahí el motor estaba expuesto a una transferencia de calor por conducción y radiación, debido a las altas temperaturas en ese lugar.

Además, el aire que el ventilador propio del motor hacía circular en el interior de él, era incapaz de enfriarlo, esto se debió a que el medio ambiente tenía una temperatura elevada.

Para conseguir la presión requerida, se optó por poner un motor de mayor potencia y diseñado para trabajo rudo, con esto, se evitó el excesivo calentamiento por el trabajo propio del motor y el transmitido por el medio ambiente.

La relación de velocidades que se logró fue de 1750 del motor a 450 en el ventilador, que anteriormente era de 1750 del motor a 680 del ventilador.

Este aumento en la velocidad angular trajo como consecuencia otro problema :

Al no estar el ventilador debidamente balanceado, el incremento de la velocidad aumentó las fuerzas axiales que tenían que ser absorbidas por las chumaceras, esto ocasionó un desalineamiento entre el balero y la carcasa de la chumacera, provocando un calentamiento excesivo de las piezas internas del balero, con lo que los rodamientos de este elemento se destruyeron, obstruyendo así, su movimiento y

consecuencia eí de la flecha.

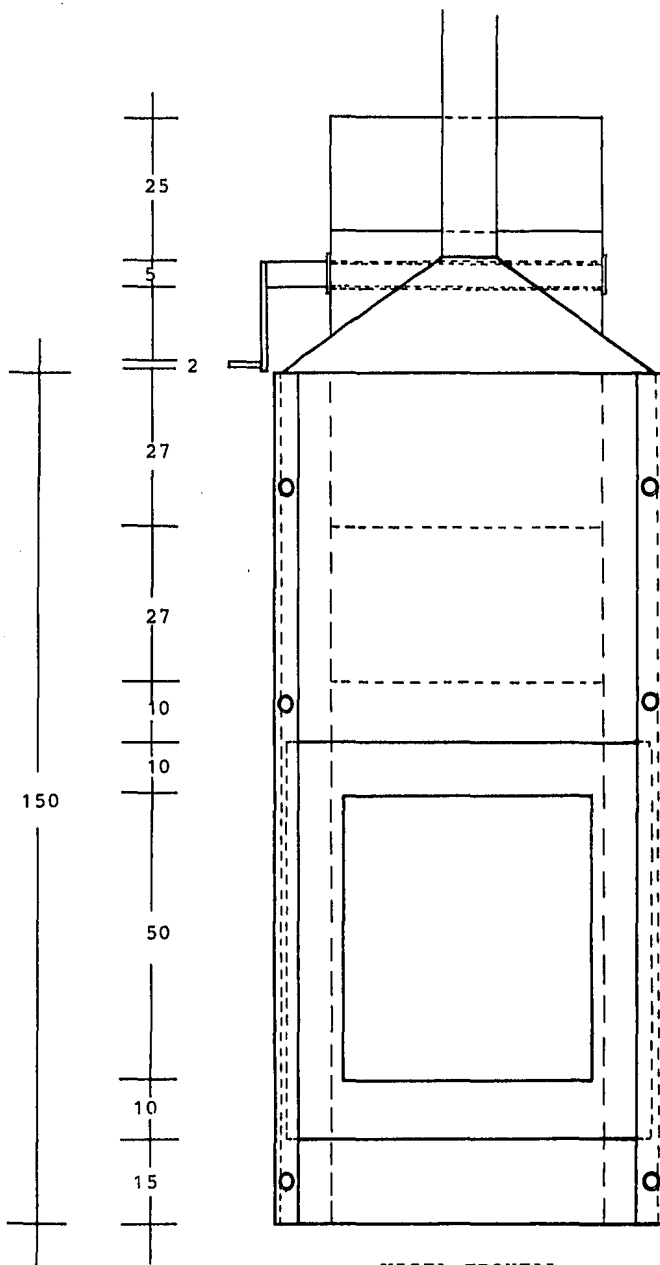
Para lograr el buen funcionamiento del ventilador al número de revoluciones requeridas, fue necesario cambiar las chumaceras por unas con mayor capacidad de absorción de fuerzas que actúan sobre su eje axial.

Una vez resultos los problemas anteriores, se puso en marcha el sistema secador para verificar que su funcionamiento fuera el esperado. El primer parámetro que se alejaba de lo estimado (100°C), fue la temperatura, que alcanzó como valor máximo 51°C . Esto indicaba grandes pérdidas de temperatura en la tubería que conduce los gases hacia el interior del horno. Estas pérdidas fueron eliminadas aislando la tubería con lana mineral, obteniendo de esta forma un valor muy aproximado al requerido : 95°C .

Con estas modificaciones el horno operó correctamente en un lapso corto de tiempo. Después hubo una baja de presión y una acumulación indeseable de médula en las ventanillas. La baja presión se debió a un taponamiento de la malla por el hollín que contienen los gases de la caldera. Se hicieron pruebas con mallas de diferentes áreas libres y se llegó a un tipo de malla tan grande que mejor se optó por eliminarla.

Además, fue eliminada la acumulación de médula en el alimentador, ya que el marco que sujetaba la malla formaba una pared que impedía el deslizamiento de la médula al horno.

Al encontrarse la médula sin ninguna obstrucción, se corría el peligro de que ésta se introdujera en el conducto de llegada de los gases al desconectar el motor. Por esta razón se tuvo la necesidad de poner una sección de malla (del área libre encontrada), en el tubo a la salida de los gases. Por otra parte se eliminó la acumulación



VISTA FRONTAL

Escala 1:100

Cotas en (cm)

Figura 12.3

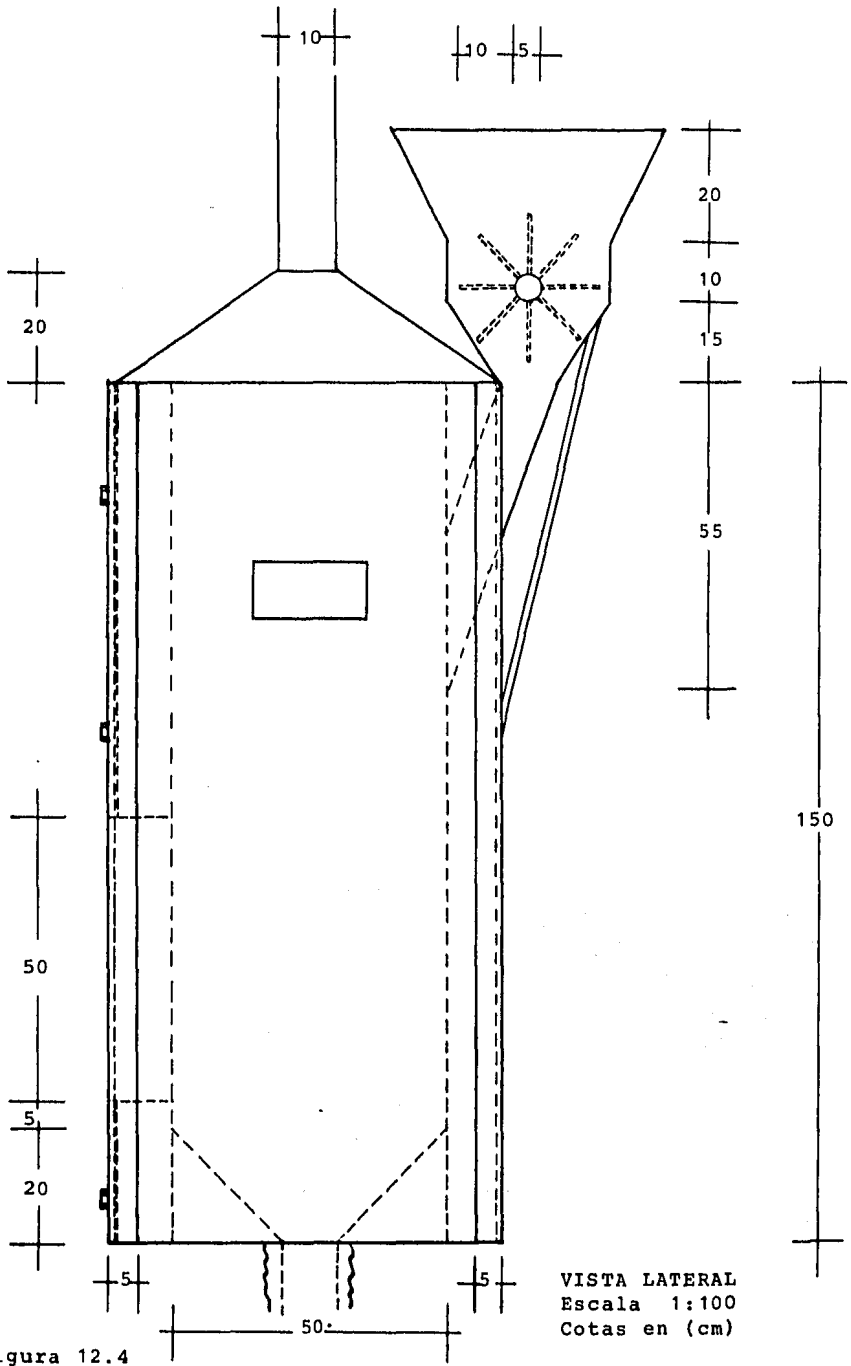
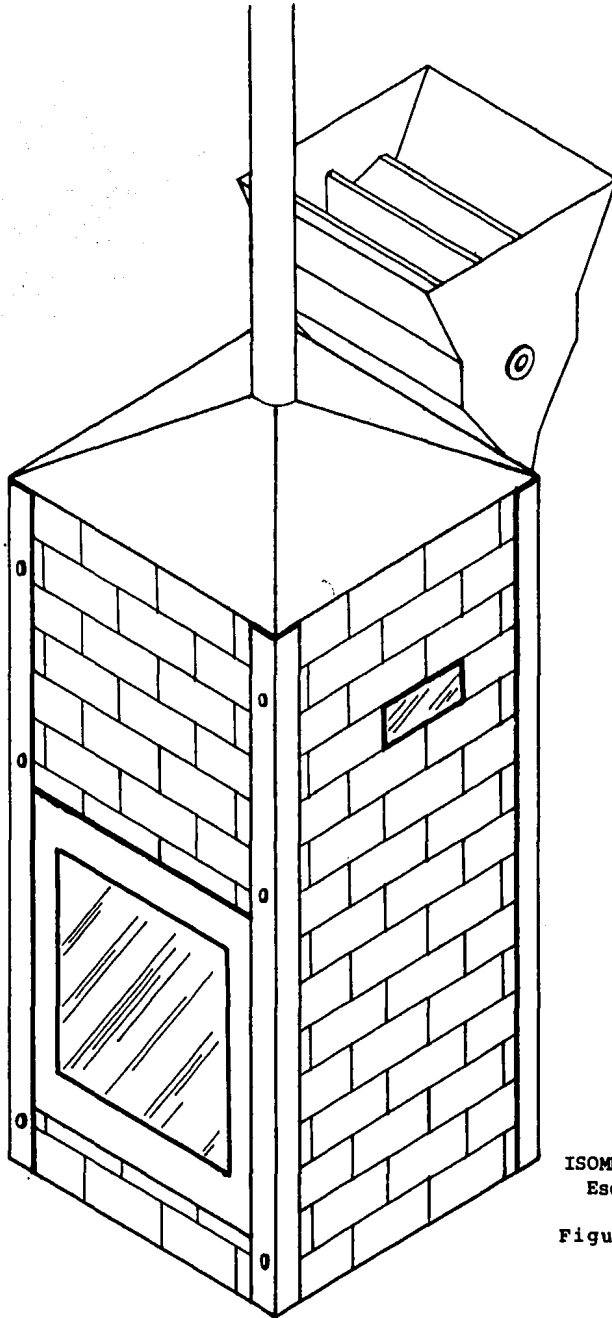


Figura 12.4



ISOMETRICO SECADOR
Escala 1:125

Figura 12.5

de médula en las ventanillas al rellenar los espacios entre la pared y la mirilla.

12.4 PRUEBAS DE SECADO

Una vez resueltos los problemas que se presentaron para poner en funcionamiento, en condiciones deseables, al secador, se empezaron a realizar las pruebas de secado que a continuación se describen.

Inicialmente, se accionó el motor que impulsa al ventilador con el propósito de que, por medio del flujo de gases, se precalentara el cuerpo principal del secador hasta alcanzar una temperatura aproximada de 95°C, llenándose posteriormente de médula húmeda el alimentador.

La primera prueba se efectuó dando medio giro a la manivela del alimentador y manteniendo la muestra de médula dentro del secador por intervalos de 2 minutos, aumentando este intervalo de 2 en 2 hasta llegar a un intervalo de 15 minutos. Es decir, que para el volumen de médula contenido en media vuelta del alimentador, se dejó fluidizar la misma dentro del secador durante 2 minutos, tomándose las muestras correspondientes tanto de la médula contenida en el horno, como de los finos de médula separados de los gases de combustión por el ciclón.

Después de realizada cada prueba, se procedía a vaciar la médula contenida en el alimentador y la excedente del secador con el fin de mantener siempre las propiedades iniciales de la médula en cada experimento.

Para los tiempos posteriores de 4, 6, 8, hasta 15 minutos se repitió el procedimiento anterior.

Se hicieron las pruebas nuevamente con una cantidad de médula correspondiente a una vuelta completa del alimentador, para los tiempos ya antes mencionados.

Al suministrar una cantidad de médula correspondiente a dos vueltas del alimentador, se observó que debido a las dimensiones del secador la cantidad de médula contenida en el mismo era excesiva, provocando se una mala fluidización y por ende un deficiente secado de la misma, por este motivo se descartó la posibilidad de tomar muestras de dicho experimento.

Se plantearon diversas alternativas para obtener, en cada experimento, la médula que se encontraba fluidizando dentro del cuerpo del secador, después de transcurrido el tiempo deseado.

La primera opción consistía en deslizar la ventanilla de la compuerta un cuarto de su longitud con objeto de aprovechar la diferencia de presiones y captar la médula impulsada desde el interior del secador. Esta opción resultó deficiente debido a que la cantidad de médula recolectada fue muy pequeña para realizar los análisis requeridos.

Por lo anterior, se empleó como alternativa recolectar médula directamente del fondo del secador con una canastilla, deslizando la ventanilla lo suficiente para que entrara la canastilla recolectora al fondo del secador. Después de varias pruebas se obtuvieron resultados de humedad, efectuados en el laboratorio, muy variantes para un mismo intervalo de tiempo, por lo que se pensó que las muestras obtenidas con anterioridad no eran representativas del total suministrado, por tal motivo se optó por descartar esta opción, debido a que se acumulaba médula en las aristas de la campana, la cual nunca fluídizaba y al tomar la muestra ésta se mezclaba con médula que sí ha-

bía secado por efecto de la fluidización, obteniéndose una muestra heterogénea de médula.

Como alternativa, se colocaron dos clavos en las paredes laterales internas del secador, a una altura aproximada de 70 cm del fondo al inicio de la operación. Al iniciarse la fluidización de la médula, ésta se empezaba a acumular desde el principio en las canastilla, lo grándose con ello tener una muestra antes del tiempo deseado, casi sin haber fluidizado y con condiciones de humedad semejantes a las de la muestra inicial.

La opción definitiva, fue la de colocar los dos clavos a una altura menor (40 cm). La diferencia con la anterior consistía en colocar las canastillas durante los últimos 40 segundos de cada prueba, para recolectar la médula que se encontraba fluidizando al final del tiempo requerido en cada experimento, desplazando la ventanilla lo suficiente para introducir la canasta y colocarla en el interior, cerrando rápidamente para evitar fugas de médula y una disminución en la temperatura del interior del secador.

CAPITULO 13

XIII GENERALIDADES DEL CONSUMO ELECTRICO

13.1 CONSIDERACIONES DEL EQUIPO

Como la finalidad del proyecto es alcanzar la autosuficiencia en materia energética, siendo la energía eléctrica el principal parámetro que se debe considerar para lograr este fin, es menester realizar un análisis en base a costo y ahorro en la implantación del sistema. Para lograrlo, es necesario realizar un análisis económico referente a costos, donde se involucren los siguientes equipos : generador eléctrico, turbina, caldera, etc., así como : combustible, costos directos e indirectos de operación y mantenimiento. Es conveniente iniciar el análisis con la demanda de energía eléctrica en el periodo de no zafra, con dicho dato es posible determinar la mínima capacidad del generador eléctrico con que debe contar el ingenio.

En base a dicha capacidad se podrá calcular mediante un adecuado balance de masa y energía, el gasto de vapor necesario en la turbina que moverá al generador, considerando que la planta destiladora de alcohol (localizada en las instalaciones del ingenio) operará en el tiempo de no zafra con su correspondiente consumo de energía eléctrica y vapor.

Apoyándose en el consumo total de vapor (turbina y destilería prin

cialmente), es posible calcular la mínima cantidad de vapor que la caldera debe suministrar al ciclo.

La producción de vapor deberá ser congruente de acuerdo a la capacidad de generación de las calderas bagaceras existentes en el ingenio y que deberán proveer en un momento determinado, un exceso de vapor en caso de contingencias del proceso.

Con las turbinas que posee el ingenio, se estudiará la factibilidad de su operación y en caso de no poderse emplear, se intercambiara alguna de ellas por otra que se encuentre en la red de ingenios de la zona centro (Atencingo, Casasano, Emiliano Zapata, Calipam), y que cumpla con los requerimientos en la mayor medida posible.

13.2 CONSUMO ELECTRICO Y ESTIMACIONES DE COSTO EN EL TIEMPO DE NO ZAFRA

El presente análisis se realizó con datos proporcionados por personal calificado en el Ingenio Oacalco.

Contemplan el consumo eléctrico en KW/hr del bienio 1982-1983, en los cinco meses correspondientes al período de no zafra para cada año. A los consumos anuales se les aplicó la tarifa vigente más el impuesto correspondiente para calcular el monto de la erogación que por dicho concepto tuvo el ingenio. Las tarifas aplicadas se obtuvieron de publicaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), considerando un incremento de 2.5 % mensual, hasta la publicación de una nueva tarifa.

El proceso de cálculo se describe a continuación :

Para el bienio 1982-1983 se empleó la tarifa número ocho, correspondiente al Servicio General de Alta Tensión. Se obtuvo el monto del

pago debido a la demanda máxima, multiplicando \$ 126.96 por los primeros 50 KW de consumo más \$ 170.90 por cada KW adicional de demanda máxima.

Los cargos adicionales por consumo de energía, se obtienen multiplicando los siguientes factores :

- 1.8 por los primeros 90 KW
- 1.358 por los segundos 90 KW
- 1.354 por los terceros 90 KW
- 0.9738 por los siguientes 168 KW
- 0.9613 por cada KW adicional a los anteriores.

Para los subsecuentes años (1984, 1985, 1986) se estimó el consumo eléctrico en KWh realizando un promedio anual correspondiente a los años 1982 y 1983. Asimismo, con dichos promedios de consumo se determinará el cargo en KWh que se ha de aplicar en los años 1984, 1985, 1986.

Para el año 1984, se utilizó la tarifa número ocho correspondiente al Consumo General en Alta Tensión con las siguientes bases de cálculo :

Cargo por demanda máxima \$ 600.00 por cada KW de demanda máxima medida, más los cargos adicionales por energía consumida, que fueron del orden de \$ 3.00 por cada KWh.

Para el año 1985 :

Cargo por demanda máxima \$ 928.96 por cada KW de demanda máxima medida, más los cargos adicionales por energía consumida, que fueron del orden de \$ 4.64 por cada KWh.

Al calcular el monto de los cargos que por consumo de energía eléctrica se estimaron para el año 1986, se tomó un promedio de los aumentos anteriores, considerando conveniente incrementar las tarifas

de 1985 en un 30 % (en base a estimaciones del departamento de estadística de CFE).

Se observó en los datos de consumo eléctrico con su correspondiente factor de potencia, proporcionados en el ingenio, que éste fluctuaba apreciablemente, debido principalmente al tipo de reparación que se estuviese efectuando en cada mes y la cantidad de equipo que se emplea para su realización.

En consecuencia, como se carecía de un dato estable de factor de potencia, se estimó un factor de potencia promedio correspondiente al bienio 1982-1983 cuyo valor fue de 70 %, por lo tanto, este valor trae consigo una penalización por un factor de potencia bajo. El monto de esta penalización se obtiene al dividir 0.85, que es el mínimo factor de potencia permitido por CFE entre el factor de potencia estimado, que en este caso es de 0.70, multiplicándolo por los KWh de consumo mensual.

La demanda máxima medida, se determina mensualmente por medio de instrumentos de medición que indican la demanda medida en KW durante un intervalo de 15 minutos, tiempo durante el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro período de 15 minutos en el mismo mes. En vista de que este dato lo proporciona CFE y que es inestable, se realizó en el Ingenio Oacalco un estudio para conocer la posible demanda máxima en el ingenio y la destilería de alcohol, en tiempo muerto.

Siguiendo el anterior planteamiento, se obtuvieron las tablas correspondientes a los años 1981 a 1986 que se presentan a continuación.

Nota : Para la elaboración de los cálculos se tomó un f.p. de 0.70 y una demanda máxima para el ingenio de 639.25 y para la destilería una demanda máxima de 147.34.

CONSUMO DE ENERGIA Y COSTOS

1 9 8 2

I N G E N I O

D E S T I L E R I A

Mes	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
Junio	31,200	215,533.60	211.1728	36,619.30
Julio	139,200	387,054.80	211.1728	37,534.82
Agosto	30,327	223,735.80	211.1728	38,473.19
Septiembre	32,949	232,720.00	211.1728	39,435.02
Octubre	49,800	265,279.70	211.1728	40,420.89
Noviembre	36,600	248,543.30	211.1728	41,431.41
Diciembre	66,000	303,835.70	211.1728	42,467.20
T O T A L	386,076	1,666,702.90	1,478.2096	276,381.86
Promedio Mensual	55,154	238,100.40	211.1728	39,483.12

1 9 8 3

I N G E N I O

D E S T I L E R I A

Mes	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
Junio	3,000	199,847.00	211.1728	49,248.93
Julio	4,200	205,824.00	211.1728	50,480.15
Agosto	600	203,183.90	211.1728	51,742.15
Septiembre	30,600	262,322.40	211.1728	53,035.71
Octubre	49,800	303,176.80	211.1728	54,361.60
Noviembre	45,000	299,408.40	211.1728	55,720.64
Diciembre	49,800	314,004.50	211.1728	57,113.66
T O T A L	183,000	1,787,767.80	1,478.2096	371,702.84
Promedio mensual	26,143	255,395.40	211.1728	53,100.41

1 9 8 4

I N G E N I O

D E S T I L E R I A

Mes	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
Junio	----	----	----	----
Julio	40,648.3	811,770.7	211.1728	142,984.71
Agosto	40,648.3	829,417.8	211.1728	146,559.31
Septiembre	40,648.3	847,712.2	211.1728	150,223.31
Octubre	40,648.3	864,712.2	211.1728	153,978.90
Noviembre	40,648.3	882,359.4	211.1728	157,828.31
Diciembre	----	----	----	----
T O T A L	203,241.5	4,235,325.1	1,055.8640	751,574.61
Promedio mensual	40,648.3	847,065.0	211.1728	150,314.91

1 9 8 5

I N G E N I O

D E S T I L E R I A

Mes	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
Junio	----	----	----	----
Julio	40,648.3	1,256,524.1	211.1728	221,375.84
Agosto	40,648.3	1,283,839.9	211.1728	226,911.26
Septiembre	40,648.3	1,311,155.6	211.1728	232,584.04
Octubre	40,648.3	1,338,471.4	211.1728	238,398.64
Noviembre	40,648.3	1,365,787.1	211.1728	244,358.61
Diciembre	----	----	----	----
T O T A L	203,241.5	6,555,778.0	1,055.8640	1,163,629.39
Promedio mensual	40,648.3	1,311,155.6	211.1728	232,725.88

1 9 8 6

Mes	<u>I N G E N I O</u>		<u>D E S T I L E R I A</u>	
	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
Junio	----	----	----	----
Julio	40,648.3	1,633,481.33	211.1728	287,789.69
Agosto	40,648.3	1,668,991.87	211.1728	294,984.43
Septiembre	40,648.3	1,704,502.28	211.1728	302,359.04
Octubre	40,648.3	1,740,012.80	211.1728	309,918.02
Noviembre	40,648.3	1,775,523.30	211.1728	317,665.97
Diciembre	----	----	----	----
T O T A L	203,241.5	8,522,511.50	1,055.8640	1,512,717.14
Promedio mensual	40,648.3	1,704,502.28	211.1728	302,543.43

CONSUMO DE ENERGIA Y COSTOS ANUALES

Tiempo de no zafra (5 meses)

Año	<u>I N G E N I O</u>		<u>D E S T I L E R I A</u>	
	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)	Consumo (KW/hr)	Costos (\$)
1982	386,076	1,666,702.90	1,478.2096	276,381.86
1983	183,000	1,787,767.80	1,478.2096	371,702.84
1984	203,242	4,235,325.10	1,055.8640	751,574.63
1985	203,242	6,555,778.00	1,055.8640	1,163,629.39
1986	203,242	8,522,511.50	1,055.8640	1,512,717.14

13.3 SELECCION DEL GENERADOR ELECTRICO

Para la elección del generador eléctrico se tomaron en cuenta los datos de los consumos máximos mensuales para cada año en el ingenio y la destilería.

MAYOR CONSUMO (KW/hr)

AÑO	INGENIO	DESTILERIA
1982	139,200.00	211.1728
1983	49,800.00	211.1728
1984	40,648.30	211.1728
1985	40,648.30	211.1728
1986	40,648.30	211.1728

Se observa que el máximo consumo de energía eléctrica se tuvo en el año de 1982, sin embargo, dicho consumo fue 3 veces superior aproximadamente a los que se tuvieron en los años subsecuentes, a causa de esta incongruencia se creyó conveniente considerar dicho valor como pico.

Al consumo eléctrico que se tuvo cada año, es necesario agregarle la demanda de todos los equipos auxiliares y así conocer la cantidad de energía eléctrica que el ingenio requiere en tiempo de no zafra.

Este consumo eléctrico adicional aunado al anterior pretende satisfacerse con autogeneración eléctrica del ingenio.

A continuación se mencionan los equipos auxiliares necesarios al sistema de generación eléctrica :

- Una planta de tratamiento de agua : se aprovechará la existente en el ingenio variando únicamente el volumen de agua a tratar, pues el

abastecimiento sólo se efectuará a una sola caldera.

- Un dispositivo de tratamiento interno de agua : todas las calderas existentes en el ingenio lo poseen. Este dispositivo operará a su capacidad normal.
- Bomba de suministro de agua a la caldera : las existentes en el ingenio tienen una capacidad que excede los requerimientos de agua para una sola caldera, por esto es necesario instalar una bomba cuya capacidad se adecúe a las necesidades de una sola caldera.
- Ventilador de tiro forzado : este equipo es propio de cada caldera y por esta razón, no será necesario modificar sus capacidades.
- Alimentador de pellets : se moverá por medio de un motor eléctrico. La finalidad de este sistema es transportar los pellets al hogar de la caldera, ya que estos serán el combustible proporcionado para la generación de vapor.
- Bombas de los pozos de suministro de agua : se seguirán utilizando totalmente.
- Bomba de suministro de petróleo.

Haciendo referencia al valor pico de consumo de energía eléctrica anteriormente mencionado y en base a éste, se obtendrá la potencia necesaria en el generador eléctrico de la siguiente manera :

Se divide la suma de los valores de consumo de energía eléctrica en el ingenio, la destilería y el originado por el equipo auxiliar empleado, entre las horas mensuales en que operó dicho equipo. Para nuestro caso, se sabe que la jornada de trabajo en el ingenio se divide tradicionalmente en dos turnos de ocho horas cada uno durante el ciclo de reparación, por lo que se puede decir que la operación es semicontinua, y el número total de horas por mes (considerándolo de

30 días) es de 480. A dicho cociente se le debería multiplicar por un factor técnico de servicio, pero no se hace, pues el valor de consumo eléctrico que se está considerando es ya de por sí alto.

Tomando en consideración lo anterior, se tiene que :

Capacidad del Generador = (Consumo eléctrico del ingenio + Consumo eléctrico de la destilería + Consumo eléctrico del equipo auxiliar para la caldera) / (horas trabajadas por mes).

El consumo eléctrico del equipo auxiliar de la caldera se obtiene multiplicando su capacidad nominal por el factor de conversión a KW eléctricos , cuyo valor es F.C. = 0.92.

E Q U I P O	CAPACIDAD (HP)	CONSUMO (KW)
Planta de tratamiento de agua		
2 (50 %)	15.00	13.80
1 (100 %)	0.75	0.69
4 (50 %)	6.00	5.52
1 (100 %)	0.66	0.613
Bomba tratamiento interno de la caldera		
1 (100 %)	5.0	4.6
Bombas de los pozos de agua		
2 (50 %)	75	69
1 (100 %)	150	138
1 (100 %)	100	92
4 (50 %)	50	46
1 (100 %)	130	119.6
2 (50 %)	75	69
1 (100 %)	150	138
Bomba de petróleo		
2 (50 %)	10	9.2
Bomba auxiliar calderas 1 y 2		
1 (100 %)	30	27.6
2 (100 %)	30	27.6
T O T A L		731.223 KW

$$\text{Capacidad del generador} = \frac{139,200 + 211.1728 + 731.223}{480}$$

$$\text{Capacidad del generador} = \underline{\underline{291.96 \text{ KW}}}$$

Comercialmente no existe dicha capacidad para un generador, por lo que se puede elegir convenientemente un generador eléctrico con una potencia de 350 KW.

Es importante tener en mente que, para implantar una mayor confiabilidad del sistema, se deben considerar equipos y sistemas de respaldo en caso de que el equipo principal de generación llegase a fallar. Afortunadamente, el ingenio cuenta con una planta diesel-eléctrica con capacidad de 300 KW.

CAPITULO 14

XIV BALANCE DE MASA Y ENERGIA

14.1 PARAMETROS

Para poder conocer la cantidad de médula requerida para producir el vapor necesario en el proceso, tanto en la generación de energía eléctrica como en su utilización en el proceso de destilación de alcohol, es menester realizar el balance térmico del ciclo Rankine - abierto mostrado a continuación.

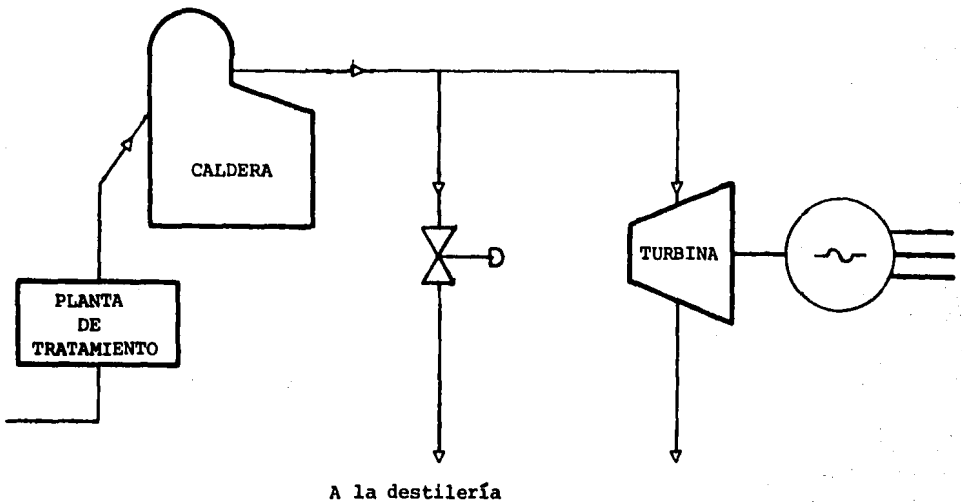


Figura 14.1

De los cálculos de generación eléctrica realizados con anterioridad, se tiene que este ciclo de potencia debe suministrar para cubrir los objetivos propuestos, 300 KW eléctricos ; siendo éstos, junto con el vapor requerido para generarlos, los parámetros fundamentales en que se basa dicho cálculo.

Se considera también la posibilidad de una conexión de vapor de relleno para cubrir cualquier anomalía, ya sea en caso de reparación o de una emergencia, en el sistema.

- Se calculan las propiedades del fluido de trabajo (agua) en los puntos de interés.

- Con auxilio de la capacidad eléctrica y la eficiencia del generador así como de la caldera, se encuentra el flujo de vapor que circula a través del ciclo, comprobando que dicho gasto satisfaga los requerimientos del proceso.

- Con el flujo de vapor que circula por el ciclo, y la purga, se calcula el gasto de agua de alimentación a la caldera.

- Finalmente, mediante el empleo de fórmulas empíricas^(14.1) se calculará la cantidad de médula necesaria que debe quemarse en la caldera. A continuación se presenta el ciclo de Rankine, del cual se tienen las siguientes estimaciones.

Para reducir de manera razonable la erogación económica que se tendría que realizar en caso de implantar las modificaciones que este estudio propone, se trata de aprovechar el equipo y las instalaciones existentes en el ingenio, es por esto que el presente balance tomará en cuenta las características de operación inherentes a las calderas bagaceras, estos parámetros son :

(14.1) HUGGOT, Manual del Ingeniero Azucarero.

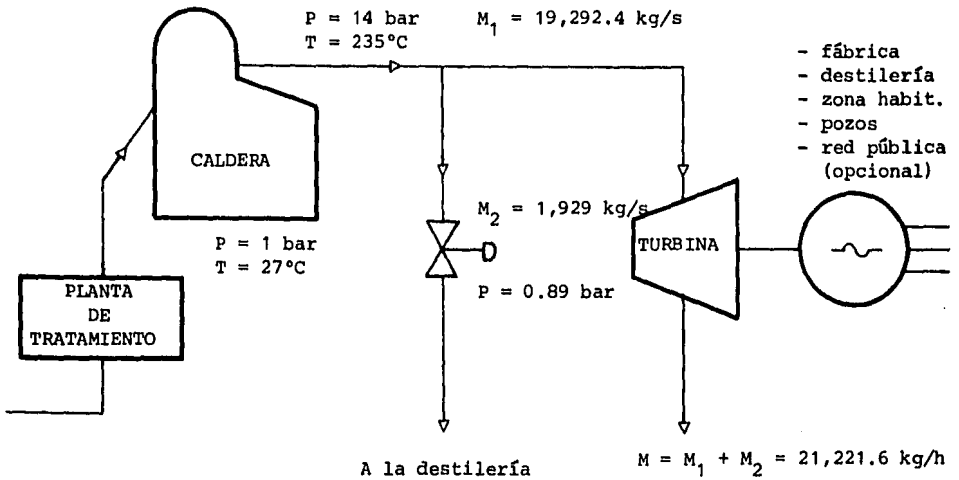


Figura 14.2

Presión aproximada de operación : 220 psig (aprox. 14 bars)

Eficiencia estimada : 60 %

Temperatura de sobrecalentamiento : 195°C + 40°C = 235°C

De la figura 14.2 se obtienen las ecuaciones de balance :

$$M_1 h_1 = M_2 h_2 + M_3 h_3 \quad \dots \quad (1)$$

$$M_2 (h_2 - h_4) = 300 \text{ KW} \quad \dots \quad (2)$$

entrando a tablas de vapor sobrecalentado con $P = 14 \text{ bar}$ y $T = 235^\circ\text{C}$

se obtiene :

$$h_2 = 2,891.7 \text{ KJ/kg}$$

$$s_2 = 6.6778 \text{ KJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$s_2 = s_{4s}$$

sabiendo que la presión de descarga de la turbina es de aproximadamente 15 psig o 1.05 bar.

Siguiendo un proceso isoentrópico y apoyándonos en las tablas de saturación a $P = 1.05$ bar, obtenemos la calidad del vapor de descarga por medio de la entropía, es decir :

$$x = \frac{s_{4s} - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6.6778 - 1.3181}{6.0249} = 0.8895$$

Por lo tanto :

$$h_{4s} = h_f + xh_{fg}$$

$$h_{4s} = 423.24 + 0.8895(2254.4)$$

$$h_{4s} = 2428.52 \text{ KJ/kg}$$

Estimando una eficiencia aproximada (interna) del 60 %

$$\eta_i = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_{4s}}$$

$$h_4 = h_2 - \eta_i(h_2 - h_{4s})$$

$$h_4 = 2891.7 - 0.6(2891.7 - 2428.52)$$

$$h_4 = 2613.79 \text{ KJ/kg}$$

Generalmente se considera que la purga debe ser un 10 a 15 % el valor del vapor generado, utilizando un 10 % se tiene la siguiente expresión :

$$M_3 = 0.1 M_2$$

de (2)

$$M_2 = \frac{300}{(0.6)(0.7)(0.95)(2891.7 - 2613.79)}$$

Para M_2 se toman en consideración las siguientes eficiencias :

- Eficiencia de la caldera = 60 %
- Eficiencia de la turbina = 70 %
- Eficiencia del generador eléctrico = 95 %

$$M_2 = 2.705 \text{ kg/s}$$

entonces,

$$M_3 = (0.1)(2.7054) = 0.2705 \text{ kg/s}$$

El agua que sale de la planta de tratamiento llega a la bomba de circulación a $T = 27^\circ\text{C}$ y $P = 1 \text{ bar}$, con estos datos y utilizando la tabla de líquido subenfriado, por interpolación se calculan las propiedades del punto en cuestión.

$$v = 1.0035 \text{ cm}^3/\text{gr}$$

$$h = 113.25 \text{ KJ/kg}$$

$$h_1 - h_0 = v(P_1 - P_0)$$

$$h_1 = 113.25 + 1.0035 \times 10^2 (14 - 1)$$

De la ecuación (1),

$$M_1 = \frac{M_2 h_2 + M_3 h_3}{h_1} \dots (3)$$

las condiciones de salida de la purga son de saturación, entonces con $P = 14 \text{ bar}$,

$$h_3 = h_{3f} = 830.30 \text{ KJ/kg}$$

sustituyendo en (3)

$$M_1 = \frac{2.7054(2891.7) - 0.2705(830.30)}{1417.9}$$

$$M_1 = 5.359 \text{ kg/s} = 19,292.4 \text{ kg/hr}$$

- Cálculo de la cantidad de combustible (médula) necesario para producir el flujo de vapor requerido.

De acuerdo a la fórmula obtenida del libro Manual del Ingeniero Azucarero^(14.1) se tiene que el calor transmitido al vapor por kilogramo de médula quemada es :

$$Mv = \{3041.54 - 3992.54w - q\} \alpha \beta \eta \text{ (Kcal/kg médula)} \dots (a)$$

donde,

$$w - \text{humedad de la médula} = 0.08$$

$$q - \text{pérdida de calor sensible} = 127.86$$

$$\alpha - \text{pérdida por sólidos no quemados} = 0.98$$

$$\beta - \text{pérdidas por radiación} = 0.9$$

$$\eta - \text{pérdidas por combustión} = 0.9$$

$$\text{Valor calorífico neto (VCN)} = (3041.54 - 3992.54w)$$

El valor calorífico bruto (VCS) de la médula es aproximadamente 3992.54 Kcal/kg

$$\text{VCN} = \text{VCS} - 600 E$$

$$E = (9H + (1 - w)) + w$$

$$\text{VCS} = 3992.54 (1 - w)$$

$$\text{VCN} = 3992.54 (1 - w) - 600(9H + (1 - w) + w)$$

$$\text{VCN} = 3992.54 (1 - w) - 600(9H) - 600 + 600w - 600w$$

$$\text{VCN} = 3992.54 (1 - w) - 5400H - 600$$

$$\text{VCN} = 3992.54 - 3992.54w - 5400H - 600$$

$$\text{Donde } H = 0.065$$

$$\text{VCN} = \underline{3041.54 - 3992.54 w}$$

Calor sensible perdido en los gases finales

$$q = t(1 - w)(1.4m + 0.5/(1 - w) - 0.12)$$

t - temperatura de los gases a la salida de la caldera (190°C)

m - exceso de aire (0.22, estimado)

$$q = 190(1 - 0.08)(1.4 \times 0.22 + 0.5/(1 - 0.08) - 0.12)$$

$$q = 127.86 \text{ Kcal/kg médula}$$

sustituyendo en (a)

$$Mv = (3041.54 - 3992.54(0.08) - 127.86)(0.98)(0.9)(0.9)$$

$$Mv = 2059.33 \text{ Kcal/kg}$$

Calor necesario para generar la unidad de vapor

De la tabla 168^(14.1); para P = 14 bar, Q = 595 Kcal/kg

$$\frac{\text{kg de vapor}}{\text{kg de médula quemada}} = \frac{2059.33 \text{ Kcal/kg}}{595 \text{ Kcal/kg}} = 3.461$$

$$\text{kg médula} = \frac{M_2}{\frac{\text{kg vap}}{\text{kg méd}}} = \frac{2.705 \text{ kg vap/s}}{3.461 \text{ kg vap/kg méd}} = 0.7815 \text{ kg méd/s}$$

$$\underline{\underline{M \text{ médula} = 10,128.24 \text{ ton/zafra}}}$$

La producción promedio aproximada de médula en el lustro 1980-1985 fue de 15,000 toneladas de médula húmeda/zafra, es decir, la molienda de caña de azúcar se aproximó a 270,000 ton., por lo que se satisfacen los requerimientos planteados y no es condición que se incremente la molienda del ingenio.

Existen otras alternativas, por ejemplo, en lugar de utilizar un mayor volumen de médula para quemar en calderas, éste se puede mezclar con combustóleo, el cual incrementará el poder calorífico de la mezcla y por ende disminuirá en gran medida la cantidad de médula utilizada.

Esta decisión estará basada en un estudio de factibilidad técnico-económico, tomando en consideración la variación en el precio del combustóleo, así como las posibilidades agrícolas de la región.

Los beneficios económicos que aportaría un incremento en la molienda serían :

- Aumento en la producción de azúcar y alcohol, pues se dispondrá de mayor cantidad de materia prima para su elaboración.
- El excedente de médula se puede emplear para producir forraje.
- Se proveerá del vapor y la energía eléctrica necesarios tanto en el ingenio como en la planta de alcohol.
- Se dispondrá de más toneladas de fibra para su venta a las fábricas de papel.

14.2 COGENERACION

Del balance térmico realizado, donde el objetivo principal fue encontrar los parámetros requeridos, en cuanto a capacidades de equipo, se observa que existe una producción simultánea de energía eléctrica y calor en un mismo lugar (ingenio), donde ésta forma de producción es denominada *cogeneración*.

El principio fundamental de la generación simultánea electricidad-va por estriba en aprovechar la energía, que en el caso de una planta convencional se desperdicia disipándola en el medio ambiente.

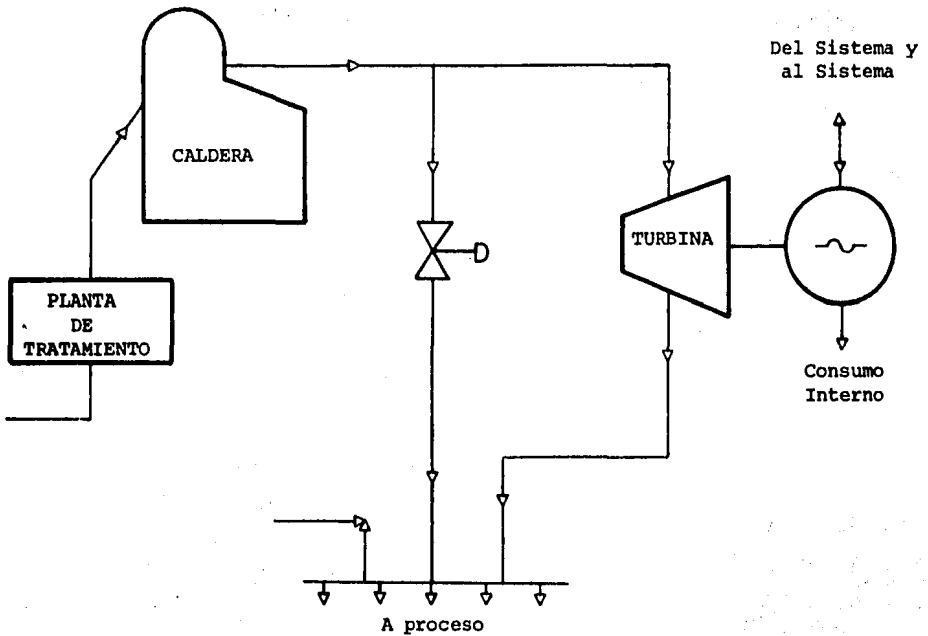


Figura 14.3

En la cogeneración, teóricamente el calor de vaporización del vapor expandido dentro de la turbina se puede aprovechar en un proceso industrial.

Las ventajas pueden verse al analizar la instalación convencional de una planta que requiera energía eléctrica y vapor de proceso, ya que ésta última necesita dos sistemas independientes, uno para la generación de energía eléctrica, probablemente con vapor de alta presión y temperatura, y el otro para producir vapor de proceso a una presión relativamente baja.

Son muchas las combinaciones de ciclos que pueden aplicarse en la cogeneración. El ciclo que se analizó se denomina "consumo interno, con turbina de contrapresión". En el cual el consumo de energía eléctrica es simultáneo al vapor de proceso. (14.2)

(14.2) ING. EDUARDO HERNANDEZ GORIBAR, Apuntes de Plantas Termo-eléctricas, Facultad de Ingeniería, UNAM.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Al finalizar la investigación realizada en esta tesis y después de haber analizado los resultados obtenidos, se puede concluir que los objetivos planteados inicialmente se alcanzaron casi en su totalidad.

En materia energética es posible lograr la autosuficiencia en la producción de energía eléctrica, teniendo como fuente un desecho del proceso de obtención de azúcar, que utiliza como materia prima un recurso natural renovable (caña de azúcar). Sin embargo, se ve lejana la posibilidad de abastecer a las poblaciones adyacentes de energía eléctrica, pues la infraestructura del ingenio no es suficiente ni confiable para interconectarse con la red eléctrica nacional.

Al lograrse la autosuficiencia eléctrica, se decrementan de manera apreciable los costos que por concepto de pago de consumo eléctrico tiene el ingenio ; además del aumento de ingresos como consecuencia de una mayor producción de alcohol, debido a que el periodo de elaboración de este producto será continuo todo el año.

El procesamiento de alimento para ganado tiene diferentes soluciones. En el caso de que exista un excedente de médula, una vez satisfechas las necesidades eléctricas del ingenio, la mejor opción es destinarla a forraje.

Por otra parte se plantea la posibilidad de mezclar la médula con combustible para elevar el poder calorífico de la misma, teniéndose con esto materia prima disponible.

Dicha decisión deberá basarse en un estudio económico, considerando las posibles fluctuaciones que presenta el precio de los energéticos así como la necesidad de mayor cantidad de alimento para ganado.

Esta investigación no se limita a un nivel bibliográfico únicamente sino que aporta datos acerca del secado de la médula del bagazo de caña y su posible utilización como combustible en las calderas. Los resultados de este estudio pueden utilizarse en otra industria, tomando en cuenta las limitaciones de la misma, con el fin de obtener un aprovechamiento más racional e integral de las fuentes energéticas convencionales, así como la óptima utilización de los subproductos del proceso de producción de azúcar.

La venta de fibra de bagazo de caña repercutirá en beneficio a dos sectores del país, el sector azucarero y papelerero.

De tal forma esperamos que esta modesta aportación contribuya con el avance y desarrollo de la industria azucarera, como un pequeño estímulo del avance económico de nuestro México.

BIBLIOGRAFIA

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

- BABCOCK & WILCOX, Steam, Its Generation and Use.
- BADGER & BANCHERO, Principios de Tecnología Química.
Introducción a la Ingeniería Química.
- COMPAÑIA INDUSTRIAL SAN CRISTOBAL, S.A., Estudio preliminar sobre Pulpeo de Médula, Agosto, 1974.
- CONVENCION DE TECNICOS AZUCAREROS DE MEXICO, Situación y Perspectivas en Procesamiento de Subproductos de Caña de Azúcar, Agosto 1977.
- ENCYCLOPEDIA OF CHEM. TECHNOLOGY, Sugar Manufacture, First Ed., v. 13, Interscience, N.Y. 1954.
- FACULTAD DE INGENIERIA, Mejoras en el Aprovechamiento Energético de los Combustibles Utilizados en la Industria Azucarera, U N A M 1980.
- FOUST, Principios de Operaciones Unitarias.
- HERNANDEZ GORIBAR EDUARDO, Apuntes de Plantas Termoelectricas, Facultad de Ingeniería, U N A M.
- HUGGOT, Manual del Ingeniero Azucarero, México 1980.
- INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACION DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZUCAR, Publicación sobre Desmedulado.

- MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, 8a Ed., México 1982.
- MILLER R.B. Y ASOCIADOS, La Caña de Azúcar en México, un Recurso Agroindustrial.
- PARDIÑAS, Metodología y Técnicas de Investigación en las Ciencias Sociales, Ed. S. XXI.
- REVISTA ATCP, Mzo-Abril, 1979.
- REVISTA ICIDCA, v. 12 # 2, 1978.
- SPENCER G.L., G.P. MEADE, WILEY J. & Sons, Cane Sugar Handbook, N.Y. 1945.
- TREYBAL R.E., Operaciones de Transferencia de Masa.