

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias Químicas

LA INDUSTRIA DEL HULE
REGENERADO

México, D. F.
MCMXLII

M. 162.598



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

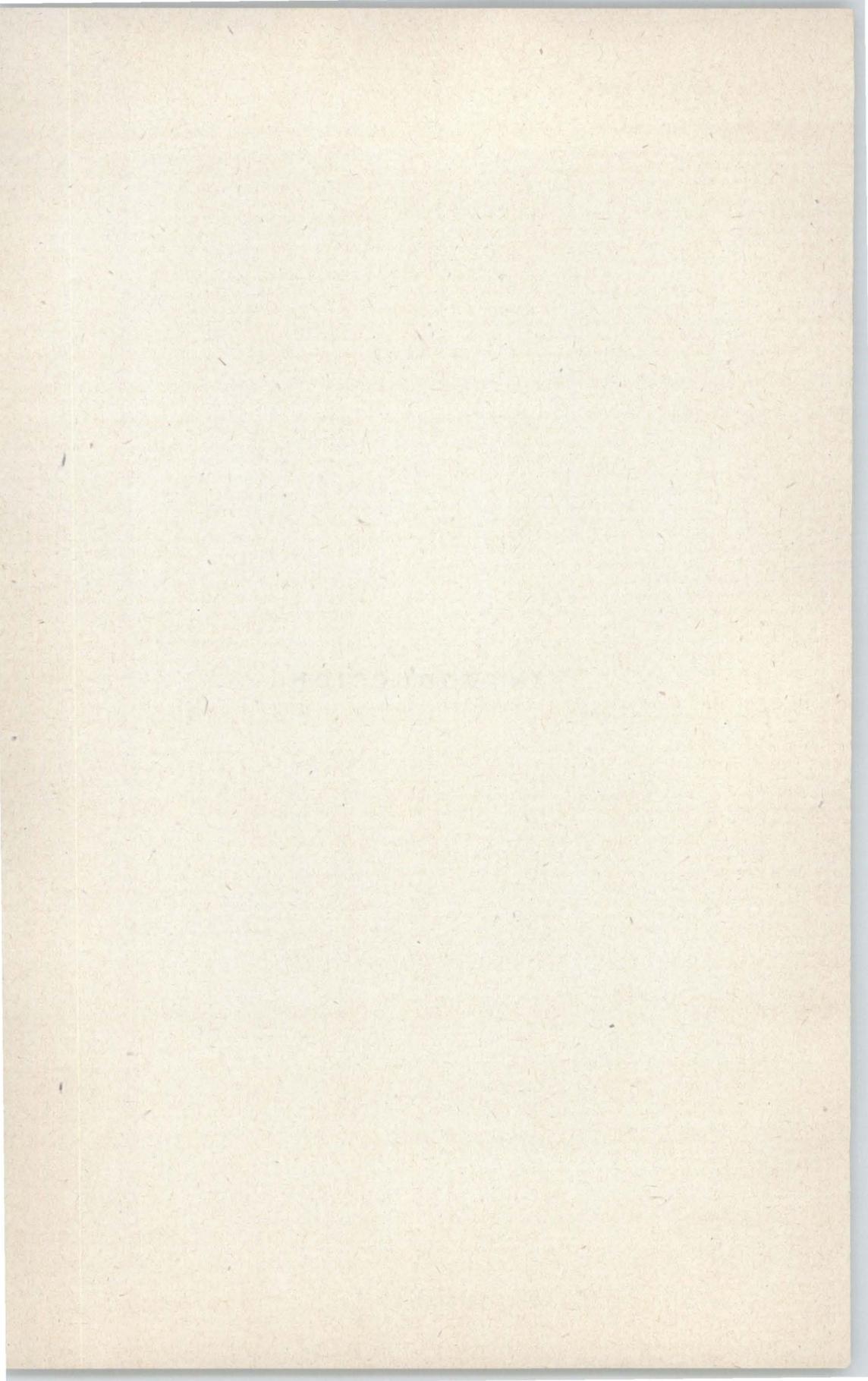
T E S I S

que presenta

Fernando Santín

para su examen profesional de

Ingeniero Químico



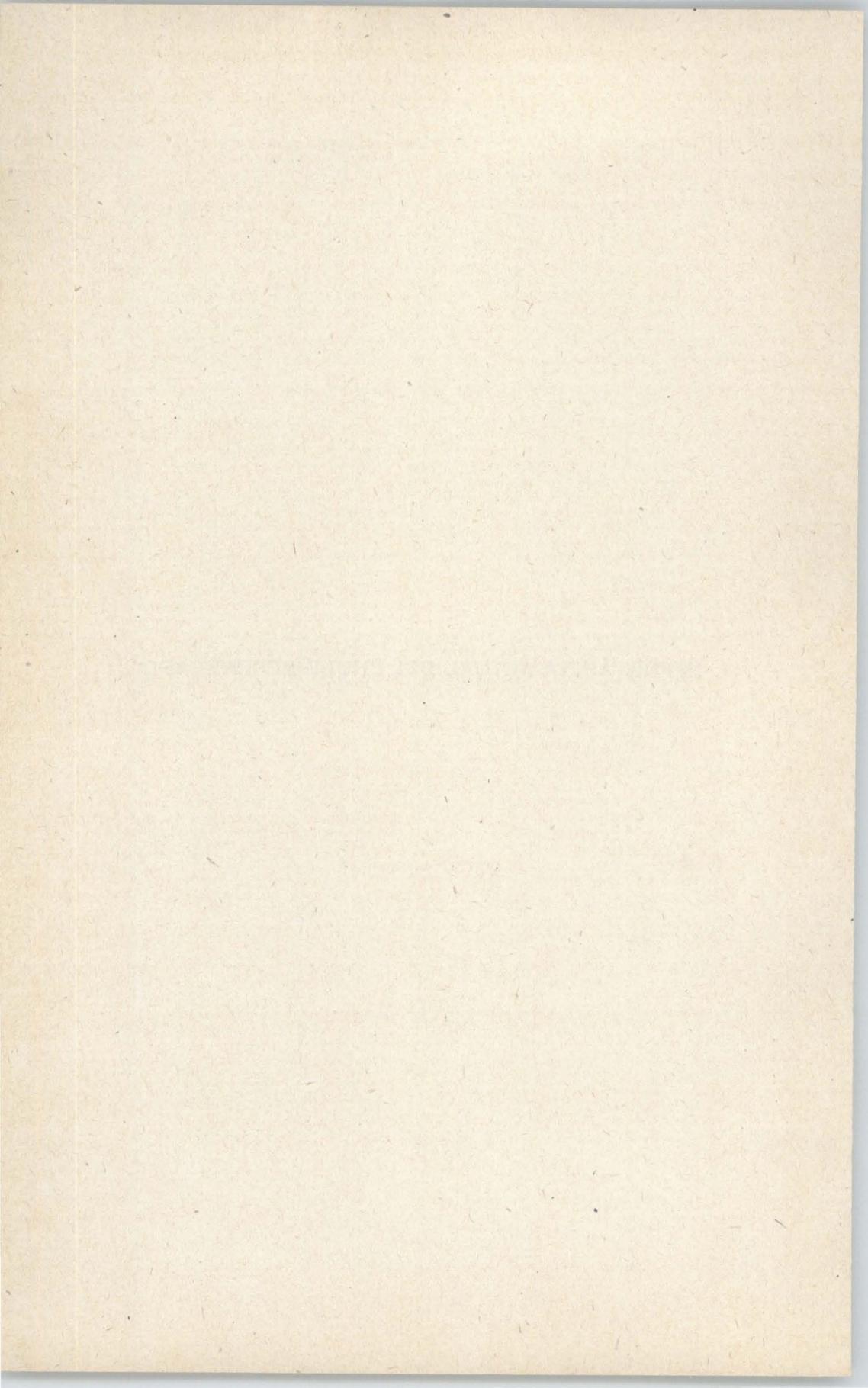
INTRODUCCION

Para tema de mi tesis quise desde un principio tomar un problema de la industria en que estoy trabajando. Se presentó el de un secador para hule regenerado que trabajara con eficiencia, problema de cuya solución voluntariamente me he encargado. Pero no conforme con el solo diseño del secador, he querido extenderme y presentar un tema completo acerca de la industria del hule regenerado. Es ésta la razón del título de la tesis.

Sin duda alguna, el hule regenerado ocupa en estos momentos el primer lugar entre los sustitutos del hule natural. El objeto de su producción es recuperar el hule ya usado contenido en los desperdicios, tal como hace la industria del acero al utilizar también su material de desperdicio, logrando con ello más beneficios económicos. En el caso del hule regenerado, el hecho tiene mayor importancia, ya que se trata además, de prolongar la existencia de una materia prima que se halla escasa.

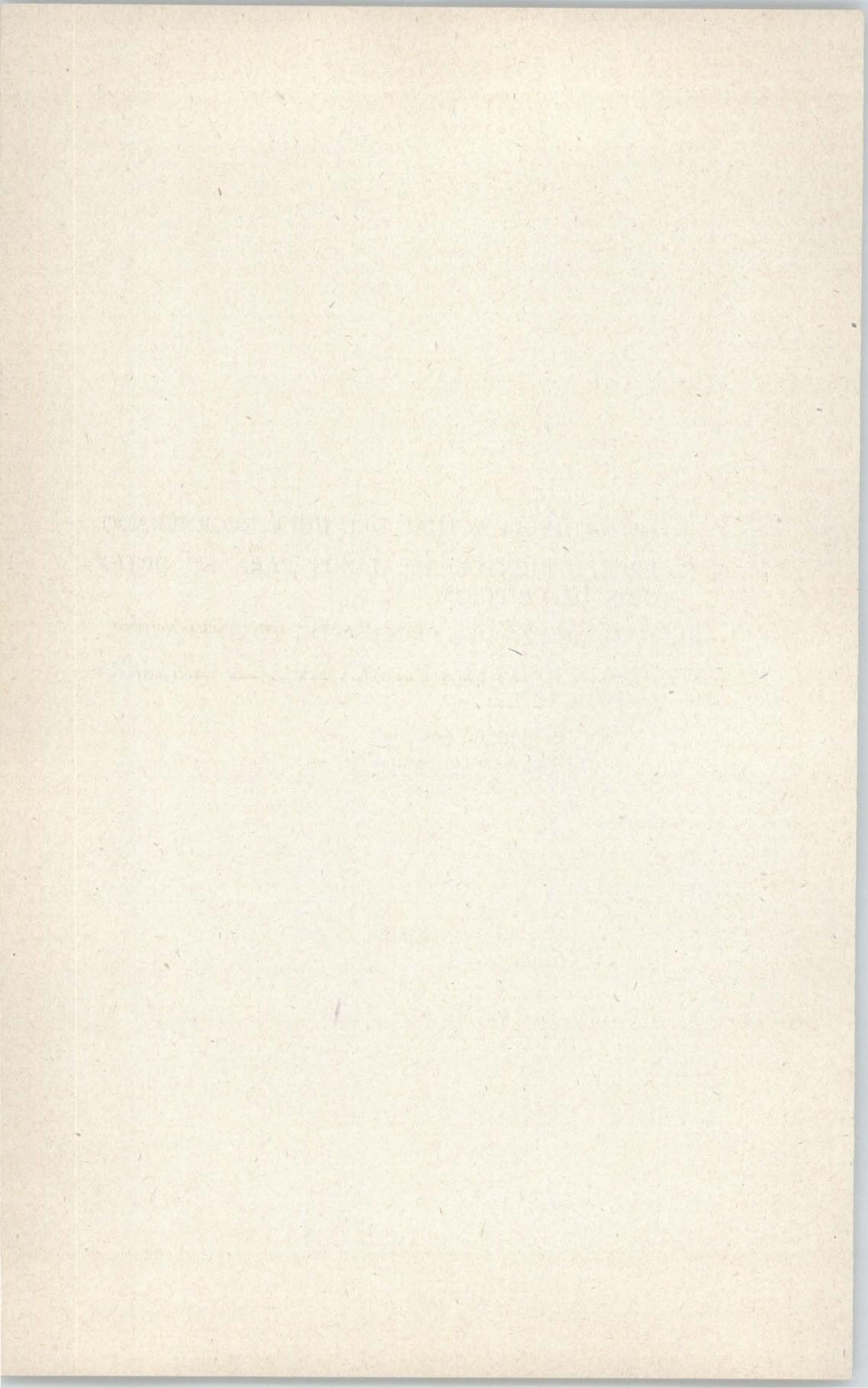
Pero el hule regenerado, se puede decir que es un hule "degradado", que no puede sustituir enteramente al hule natural; y debido a esto, no puede constituir el único recurso a que se apele en la presente escasez.

En el desarrollo del tema presento primero la situación del hule regenerado y de los demás recursos que pueden sustituir completa o parcialmente al hule natural; considero luego al hule regenerado desde los puntos de vista técnico e industrial; y por último, proyecto una planta para la regeneración de hule, incluyendo en esta parte el problema que menciono al principio.



- I. IMPORTANCIA ACTUAL DEL HULE REGENERADO.
- II. PROCEDIMIENTOS ALCALINOS PARA SU OBTEN-
CION. DESCRIPCION.
- III. NATURALEZA DEL PROCESO DE REGENERACION.
- IV. PROYECTO DE UNA PLANTA PARA LA REGENERA-
CION DE HULE.
 - a) Producción mensual.
 - b) Proyecto del equipo.
 - c) Costo del equipo.

I. IMPORTANCIA ACTUAL DEL "HULE REGENERADO".



Debido a la suspensión del abastecimiento de hule proveniente de las plantaciones del Asia Oriental, hule que ha constituido el 97% del total que se consumía hasta fines de 1941, han sido implantadas medidas que tienden a restringir su consumo y a obtener un aprovechamiento máximo de él.

Actualmente existen recursos que pueden aliviar la situación en lo que respecta a las necesidades fundamentales; tales recursos son: 1o. el hule obtenido sintéticamente, 2o. el guayule, 3o. los hules silvestres, 4o. el "hule regenerado", 5o. los sustitutos del hule.

Cada uno de los recursos anteriores reviste en sí una importancia especial y constituye un problema independiente y distinto a cada uno de los otros, en lo que se refiere a su obtención y a su producción, pero cuya solución, junto con la de los demás, ha de servir para remediar los perjuicios ocasionados por la interrupción del abastecimiento del hule de las plantaciones.

La situación y probabilidades de estos recursos están expuestas someramente a continuación:

Hule Sintético.—Fué obtenido por primera vez en Alemania en el año de 1914 y usado extensamente durante la guerra anterior. Este hule sintético fué de propiedades inferiores a las del natural y su obtención suspendida después de terminada la guerra. Sin embargo, después de algunos años se volvió a ocupar de él, y desde entonces se ha tratado de obtener un producto lo más análogo posible al hule natural. Se han producido diversos tipos de hule sintético de acuerdo con la materia prima de que se parte y del proceso químico que se sigue, que ya presentan características muy cercanas, aunque de propiedades algo diferentes a las del natural. Los que más aplicación tienen son los del tipo "butadieno" y los del tipo "neopreno"; los primeros tienen como ma-

teria prima al petróleo, al gas natural, y los segundos al acetileno. Se han construido llantas usando estos hules sintéticos, y los resultados que de pruebas de ellas se han obtenido, han sido muy satisfactorios.

En ciertos aspectos, el hule sintético tiene ventajas sobre el natural, como por ejemplo, posee mayor resistencia a la acción de los aceites y de los agentes atmosféricos, redundando esto en una mayor duración; pero en otros tiene desventajas, así por ejemplo, presenta dificultades en el proceso de manufactura de artículos, y sobre todo, tiene un costo de obtención tan alto, que si se tuviera que emplear en objetos que se hacen con hule crudo, muchos de estos dejarían de usarse, o bien se tendrían que substituir por otros de materiales diferentes.

Sin embargo, se espera obtener hule sintético del tipo butadieno en gran escala y a un precio bajo, ya que se tienen grandes provisiones de su materia prima y también a un precio bajo.

Guayule.—Constituye una especie de hule de una calidad inferior, debido a su alto contenido de resinas (20%). Ha sido usado casi exclusivamente para impartir ciertas propiedades plásticas en los compuestos de hule en los que se le incluye. En la actualidad su importancia ha crecido enormemente y ha sido objeto de atenciones muy especiales, como son: la intensificación de las plantaciones del arbusto de que proviene tanto en México (país de su origen) como en el Sur de los Estados Unidos; y también, los trabajos tendientes a desproveerlo de gran parte de las resinas que le acompañan. Es de esperarse que pronto se disponga de un guayule que pueda usarse ventajosamente en artículos de una cierta calidad.

Hules Silvestres.—Han constituido el 3% de hule crudo consumido. Estos hules existen en gran cantidad en varias regiones de América y Africa, y provienen de diferentes especies botánicas como: Hevea, Castilloa elastica, Ficus elastica y algunas otras menos conocidas

La variedad de composición química que presentan estas especies entre unas y otras, y aún en diferentes lotes de una misma especie, ha sido la causa de que estos hules silvestres hayan tenido un uso tan extremadamente limitado. Las variaciones de composición química afectan grandemente el proceso de la vulcanización, haciendo difícil su control. Presentan además otro inconveniente y es el que están contaminados con materias extrañas, como piedras, arena, astillas, etc. Pero

dada la situación actual, la explotación de estos hules silvestres se llevará a cabo más cuidadosamente bajo un control determinado que permita obtener un producto de composición menos variada y no contaminado. Además, se intensificarán las plantaciones, aunque los beneficios que de éstas resulten, no sean inmediatos.

Hule Regenerado.—Es el producto que se obtiene sometiendo artículos de hule vulcanizado de desperdicio, a un proceso de “regeneración”. Constituye un gran recurso para obtener economías tanto en el consumo de hule crudo como en el costo de los artículos que se manufacturan. Es además un material que posee propiedades muy características que favorecen algunas operaciones de proceso; propiedades que no se encuentran en otros materiales que se usan en la industria del hule.

Por medio de la “regeneración”, se obtiene un material plástico susceptible de ser procesado y el cual se incluye en los compuestos de hule en proporciones determinadas.

El desperdicio principal lo constituyen las llantas viejas, con las que se obtiene un regenerado de gran uniformidad en su composición, y que es debida a que se usan cientos de llantas para obtener dicho “regenerado”. La uniformidad es una cualidad apreciable y que da al hule regenerado cierta ventaja sobre el hule crudo, en el cual es más o menos variable.

Ocupando el segundo lugar entre los desperdicios, se tiene a las cámaras viejas; y por último a los artefactos de hule; zapatos, botas, mangueras, etc.

En la actualidad existen numerosos tipos de hule regenerado que se obtienen de acuerdo con especificaciones fijadas y con el uso a que se destinan. El empleo de ellos está bastante extendido en la fabricación de varios artefactos: tacones, suelas, mangueras, artículos eléctricos, productos de hule duro, algunos de los cuales están hechos exclusivamente a partir de hule regenerado, sin incluir hule crudo. En llantas y cámaras de alta calidad, a veces se incluye en pequeña proporción. En llantas de automóviles su uso está generalizado.

La producción y consumo de hule regenerado en los Estados Unidos en los últimos tres años, ha sido aproximadamente de 200,000 toneladas anuales, que representan el 30% del hule crudo consumido en

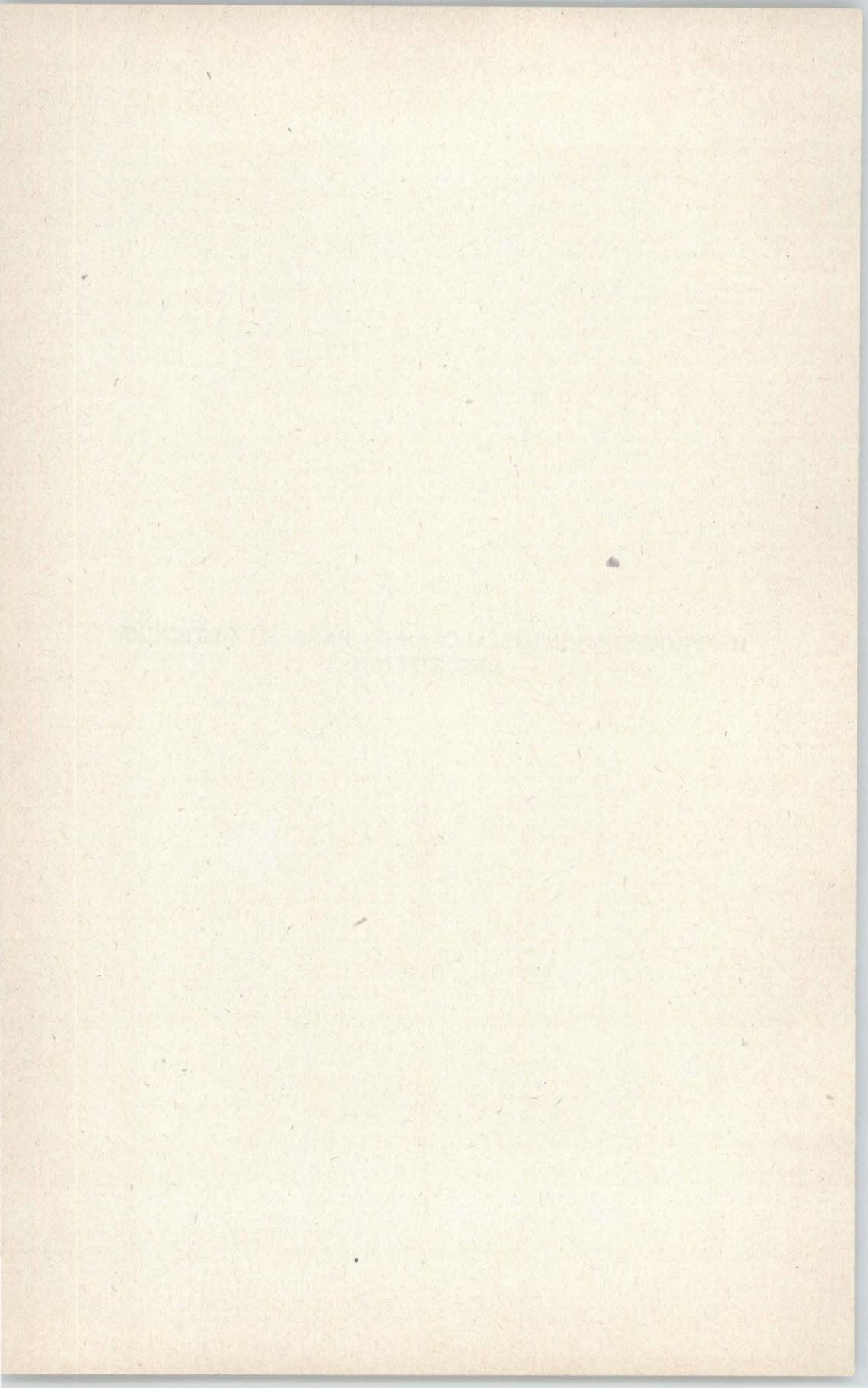
el mismo país. En los últimos meses dicha producción ha experimentado un aumento agudo, pues ya en octubre del año próximo pasado alcanzó un porcentaje de 45.

La producción y consumo de hule regenerado en México está reducida a una proporción ínfima; y es necesario, por lo tanto producir hule regenerado para obtener los beneficios económicos que con su empleo se tienen.

Sustitutos del Hule.—Son productos de una semejanza superficial al hule natural; son coloides-geles más o menos rígidos que se obtienen tratando aceites vegetales con azufre o cloruro de azufre. También ciertos materiales bituminosos elásticos, derivados del petróleo, llamados “hule mineral”, poseen una mera semejanza al hule natural.

Estas sustancias han sustituido hasta el 10% del hule natural en algunos compuestos. Su empleo en las circunstancias presentes, será únicamente con el objeto de economizar parte del hule natural mediante sustitución en los productos en los cuales no hay objeción alguna a su presencia, pero aún así dicho empleo será limitado.

**II. PROCEDIMIENTOS ALCALINOS PARA SU OBTENCION
DESCRIPCION**



Ha habido varios procedimientos para regenerar hule, pero de todos ellos, sólo los procedimientos conocidos como "procesos alcalinos" son los que emplea la industria moderna. Existe además un procedimiento "ácido", pero aparte de ser anticuado, sólo se usa en raras ocasiones, dando el regenerado ácido obtenido a partir de zapatos, botas mangueras, etc.

Los procedimientos o "procesos alcalinos" son dos:

- el proceso de "digestión" y
- el proceso de "vapor abierto" o de "charolas".

El primero se utiliza para obtener hule regenerado a partir de desperdicios que contienen fibras textiles; y el segundo, para obtenerlo a partir de desperdicios libres de ellas o para obtener regenerados baratos en los que no interesa la eliminación de dichas fibras.

Estos procedimientos son generales, pues mediante ellos se pueden obtener diferentes tipos de "regenerado" de acuerdo con las especificaciones que se exigen y del uso a que se destinen.

En los Estados Unidos la producción de hule regenerado se encuentra repartida en la siguiente forma: 85% se obtiene por el procedimiento de "digestión", 12% por el de "charolas" y 3% por el proceso "ácido".

Los dos tipos principales de hule regenerado son:

- 1o. Hule regenerado obtenido de llantas y que se obtiene por el proceso de "digestión".

2o. Hule regenerado obtenido de cámaras y que se obtiene por el proceso de "charolas".

Entre estos dos procesos alcalinos no existe una gran diferenciación pues de todas las operaciones que se ejecutan, solamente la "devulcanización" se lleva a cabo en forma diferente.

Los procesos alcalinos consisten en total en someter a los desperdicios a las tres acciones siguientes:

acción del calor,
acción de los agentes ablandadores y plastecedores. y de
sosa cáustica en solución,
acción mecánica.

Las dos primeras acciones se llevan a cabo simultáneamente durante la operación de devulcanización; y la tercera en la última parte del proceso durante la operación de refinación.

Las operaciones que se siguen en ambos procedimientos se pueden dividir en dos: las que tienen por objeto preparar los materiales para regenerarlos, y las que se pueden llamar de "acondicionamiento" para usarlos.

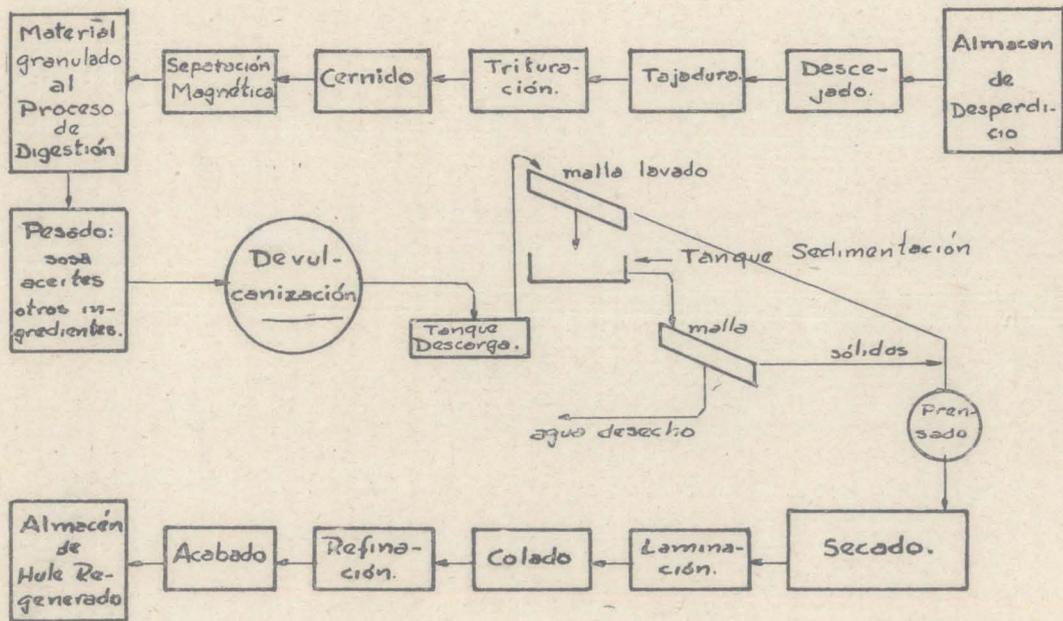
Dicho lo anterior y que es la base de ambos procedimientos paso a hacer la descripción de cada uno de ellos.

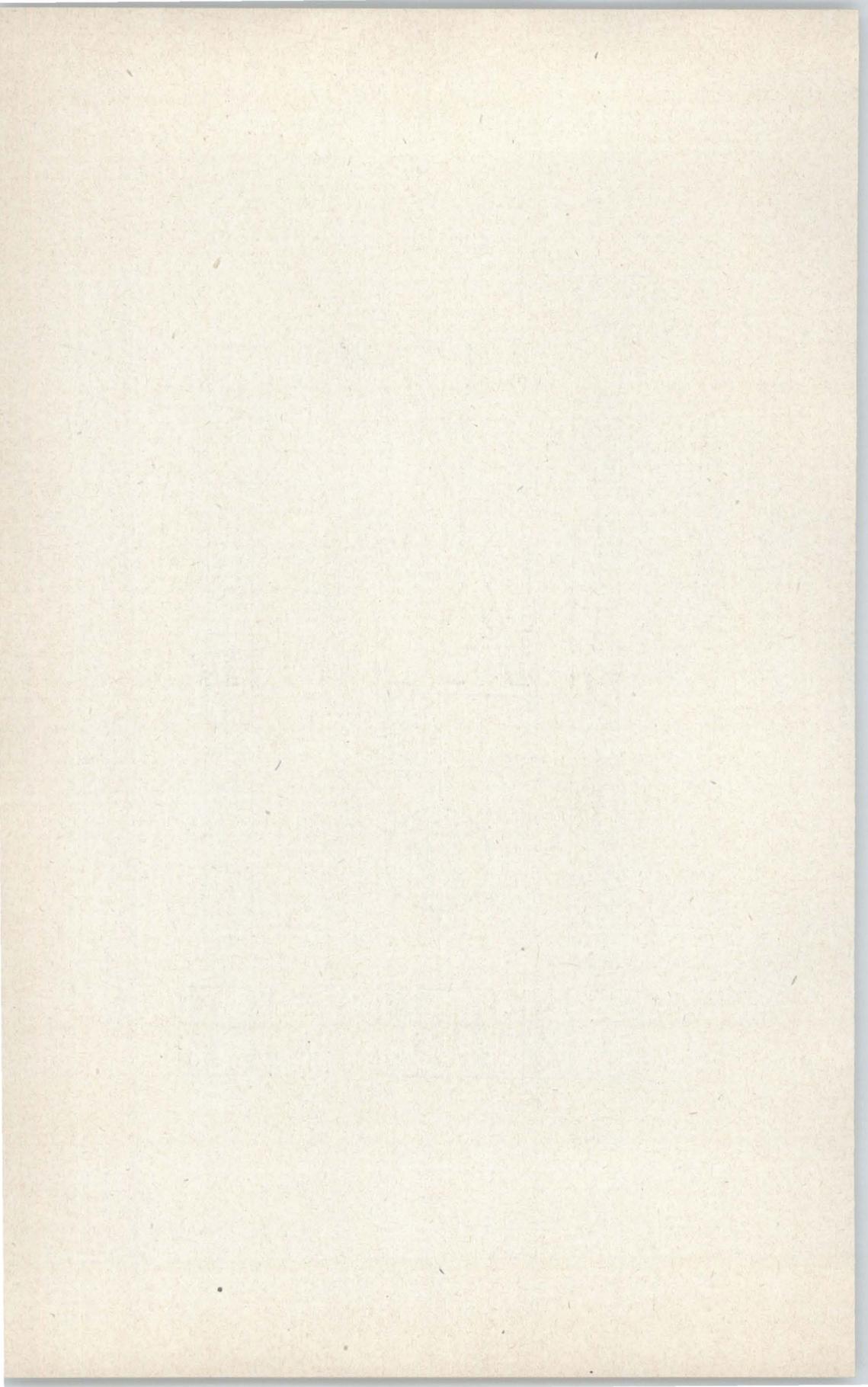
PROCESO DE "DIGESTION ALCALINA".

(Regenerado de llantas).

El proceso de "digestión alcalina" se lleva a cabo mediante operaciones que se siguen en determinado orden, representadas gráficamente en el diagrama que sigue. Tales operaciones son:

Descejado.—Las llantas son desprovistas de sus cejas, las que son cortadas y desechadas. El descejado se hace mediante cuchillos en forma de discos circulares de máquinas descejadoras. El desperdicio que resulta constituye del 17 al 22% del material inicial.





Tajadura.—Las llantas son tajadas pasándolas a través de una tajadora rotativa con objeto de obtener pedazos de 3 a 10 ctm. que puedan ser fáciles de triturar.

Trituración y Cernido.—Los pedazos anteriores se Trituran hasta un grado más o menos fino pasándolos a través de rodillos cilíndricos de molinos trituradores. Los rodillos son corrugados con objeto de facilitar la operación. Un transportador de banda acarrea el material después de su paso por el molino, a un cernidor que se agita mediante un sistema de banda y polea excéntrica. El cernidor lo constituye una malla de alambre con aberturas de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Es así como se va separando el material triturado y granulado finamente del material aún no granulado. Este último se regresa al molino triturador para continuar su trituración y luego su cernido y así sucesivamente, efectuándose estas operaciones de una manera simultánea y continua.

Separación Magnética.—El material granulado se alimenta uniformemente a una banda sin fin que pasa por una polea magnética. Aquí todo lo de metal es removido. Del extremo de la banda se recoge el material en tambores y luego se transporta al devulcanizador

Pesado.—El material es pesado en los mismos tambores, o bien determinado su peso por volumen ocupado. Igualmente se pesan los aceites ablandadores y es preparada una solución de sosa concentrada que luego se diluirá en el devulcanizador.

Devulcanización.—La devulcanización es una operación por la cual el hule vulcanizado se convierte en una masa plástica susceptible de ser procesada. Como se había dicho, la devulcanización consiste en someter el material a la acción simultánea del calor, aceites ablandadores y de una solución acuosa de sosa cáustica de una concentración que puede variar del 4 al 8%, dependiendo de la cantidad de cuerdas presentes y de la temperatura y duración de la digestión. Los aceites que sirven para ablandar y dar plasticidad al material son generalmente alquitranes, aceites vegetales, asfaltos naturales, que se usan de acuerdo con la clase de regenerado que se quiere obtener.

La devulcanización se lleva a cabo en el devulcanizador. Este es un recipiente cerrado, cilíndrico y casi siempre horizontal, provisto de una chaqueta de vapor. Esta chaqueta envuelve a todo el devulcanizador menos por los extremos. Existe un mecanismo de agitación dentro del devulcanizador, que consta de un eje horizontal con paletas situadas en el centro y a lo largo de él y que gira al rededor de dos revoluciones por minuto cuando está cargado. Las paletas están insertadas alternativamente a cada lado del eje, y se extienden hasta algunos centímetros de distancia de la pared cilíndrica. El tamaño del devulcanizador es aproximadamente 6 m. de largo y 1.70 m. de diámetro; tiene un orificio superior para la carga y otro inferior situado en el centro para la descarga. La capacidad para este tamaño es de 2 000 a 3 500 Kg. de llanta molida y de 4 500 a 5 500 Kg. de solución de sosa.

La operación se lleva a cabo agregando primero toda el agua necesaria para diluir la solución de sosa hasta la concentración deseada y luego la solución de sosa preparada. Se empieza la agitación con las paletas, se agrega el material de llanta molida y en seguida los aceites. Se cierra el devulcanizador inyectando luego vapor a una presión y un tiempo necesarios. La presión que se usa varía de 150 a 200 lb/pulg. cuad. y el tiempo varía de 6 a 18 horas, dependiendo del tipo y condición del material y de las propiedades que se deseen en el producto. Terminada la digestión, se suspende la alimentación de vapor y el contenido se descarga a un tanque en donde se agrega bastante agua con el fin de que se pueda bombear.

Lavado.—El material se bombea a una malla fina e inclinada, situada a una cierta altura, a la que recorre recibiendo de unas espreas chorros continuos de agua. El agua que pasa la malla y que contiene sosa cáustica cae a un tanque de sedimentación para sedimentar todo el hule fino que pudiera haber arrastrado. Esta agua de lavado sirve para remover la hidrocélulosa, el azufre disuelto en la sosa, y eliminar casi toda la alcalinidad al material. El agua de lavado del tanque anterior se hace pasar por otra malla para la recuperación de finos, los que se incorporan al resto del material antes de que éste entre al secador.

Prensado.—El hule regenerado se hace pasar luego a través de un

exprimidor o prensa de tornillo, el cual elimina el exceso de agua. El hule aun después de prensado retiene aproximadamente 40% de humedad.

Secado.—El secado del material se lleva a cabo en secadores de túnel, en los que el material se hace pasar por una banda sin fin de tela de alambre. Aire caliente es el agente usado para secar. El secado reduce la humedad de 40% a más o menos 6%. Es conveniente dejar un 6% de humedad, con objeto de evitar que el hule se vuelva pegajoso durante la operación de refinación. Esta humedad es eliminada en el curso de dicha operación.

Laminación.—El hule proveniente del secador se lleva primero a un molino grande, en donde se le transforma de la forma granular a una forma de masa laminada. Algunas veces se agregan en este molino aceites y pigmentos con objeto de dar al material ciertas propiedades que faciliten su refinación.

Colado.—Se efectúa mediante un colador que fuerza al hule mediante un tornillo sin fin a pasar a través de una malla coladora, la cual retiene materias extrañas que aún no han sido eliminadas tales como partículas metálicas, fibras residuales, etc.

Refinación.—Primeramente se da al hule una refinación ligera en un primer molino refinador cuyos rodillos están algo separados. Por último, el hule se lleva a un segundo molino refinador cuyos rodillos están apenas separados y en el cual se efectúa la refinación final y el acabado.

Acabado.—La lámina delgada que se va obteniendo al final de la refinación se enrolla en tambores cilíndricos hasta obtener una lámina gruesa del espesor regular. Se corta, enfría y se manda al cuarto de almacenamiento.

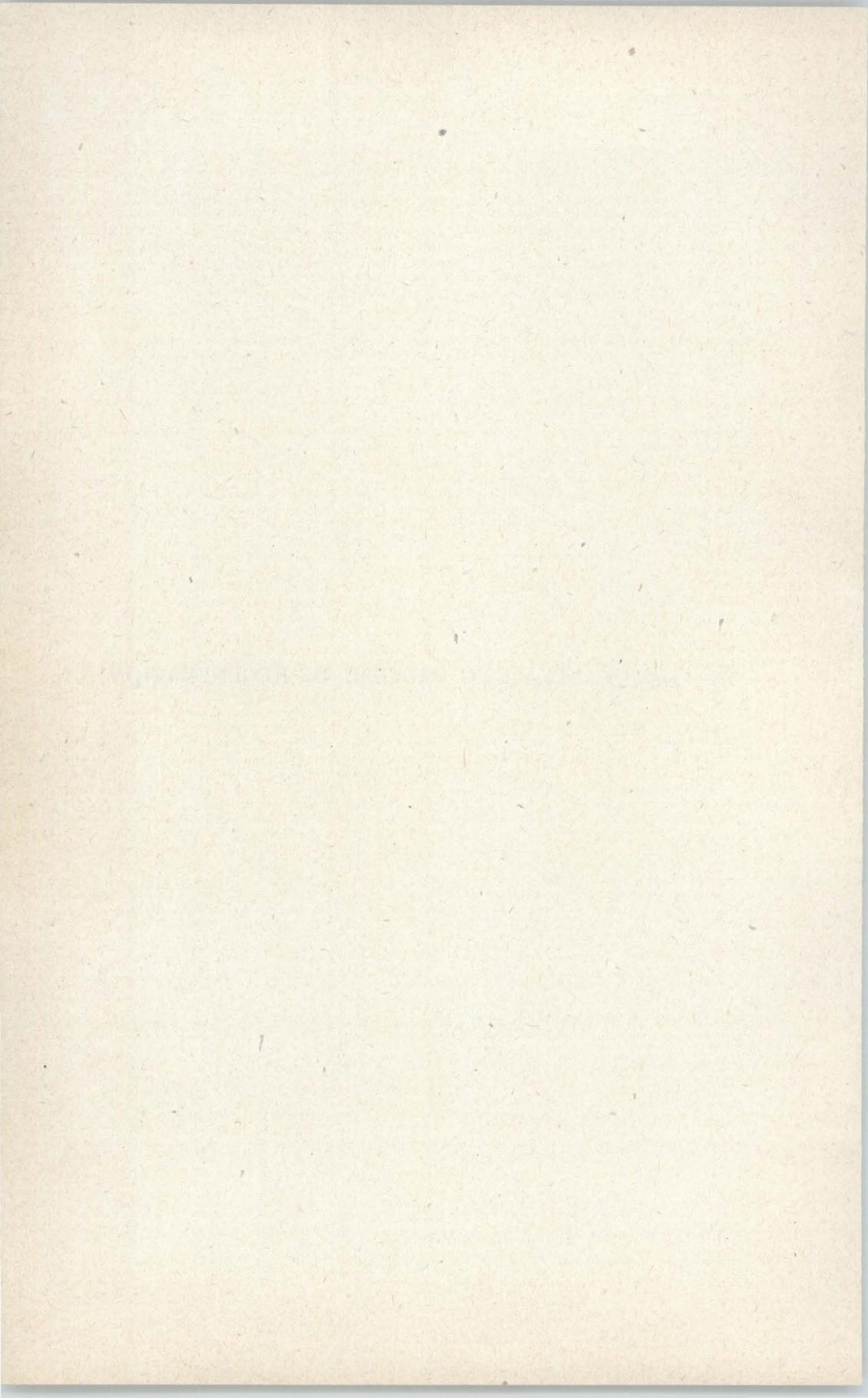
PROCESO DE CHAROLAS

(Regenerado se cámaras).

El desperdicio es triturado a un grado más fino que el de las llantas. Se mezcla luego con agentes ablandadores y que imparten plasti-

cidad como los mencionados antes. Una pequeña proporción de solución de sosa cáustica concentrada se agrega. Después que todas estas substancias están distribuidas en el desperdicio, se cargan charolas hasta un espesor determinado. Las charolas con el desperdicio se ponen en un calentador de vapor, y se inyecta vapor a una presión que puede variar de 50 a 200 lb/pulg. cuad., durante un tiempo que varía de 8 a 20 horas, según las cualidades deseadas. Después de esto, el desperdicio se remueve de las charolas, se lava y seca. A partir de aquí, lo demás es igual que en el proceso de digestión, es decir, las operaciones de laminación, colado, refinación y acabado.

III. NATURALEZA DEL PROCESO DE REGENERACION



En esta industria, el significado de "regeneración" no es riguroso, pues mediante ella no se recupera al hule natural con todas sus propiedades iniciales; sino que se obtiene un hule que presenta "degradadas" tales propiedades y por lo tanto constituye un producto de calidad inferior.

El hule vulcanizado, después de ser sometido en el devulcanizador a la acción del calor, de los aceites y de la solución de sosa cáustica, se encuentra aún en la misma forma granulada que tiene antes de ser introducido a él, pero ya todos los granos se encuentran plastecidos, o por decirlo así "regenerados", pues han desaparecido las características de dureza y elasticidad del hule vulcanizado y aparecido las de blandura, plasticidad y adhesividad que presenta un hule compuesto antes de ser vulcanizado. La naturaleza de estos cambios físicos provocados por fenómenos de reversión o de regreso al estado inicial, no está completamente explicada. Se han propuesto diversas teorías que tratan de explicarla, las que se basan en el hecho siguiente:

Cuando una mezcla de hule y sus ingredientes de vulcanización es sometida a la acción del calor, se observan los siguientes efectos causados por la sucesión de fenómenos que ocurren durante el calentamiento: primero, la mezcla que es una masa plástica, blanda y extensible, va volviéndose gradualmente menos plástica, más dura y más elástica hasta alcanzar cada una de estas propiedades un máximo. Todos estos cambios son los que ocurren durante la vulcanización. Si el calentamiento se prolonga más y más, la mezcla vuelve gradualmente a presentar las características primeras, es decir, se vuelve más y más blanda, plástica, extensible y adhesiva. Debido a esto se ha pensado que los fenómenos durante la regeneración del hule, son de la misma naturaleza de los que ocurren cuando el calentamiento de una mezcla de hule y sus ingredientes de vulcanización se lleva más allá de su vulcanización óptima.

La primera teoría que se expuso, fue la "Desulfuración". Debióse ella a que anteriormente se consideraba que el fenómeno total de la vulcanización debíase exclusivamente a la combinación química del hule y el azufre, de tal manera que se presumía que quitando el azufre al hule por medio de la desulfuración debería producir una desvulcanización o devulcanización. A esta teoría se debe el término "devulcanización" que se ha aceptado erróneamente en la industria para designar a la operación de regeneración. Esta teoría se encuentra desechada debido: primero, a que la reacción del azufre con el hule se ha encontrado que es irreversible, y segundo, a que en el fenómeno de la vulcanización ocurren aparte de la reacción del hule y el azufre, una serie de reacciones químicas de polimerización de moléculas de hule, siendo estas reacciones de una magnitud mucho más grande que la de la reacción en que toma parte el azufre.

En la actualidad los compuestos de hule pueden vulcanizarse con apenas 0.75% de azufre basado en hule. Y es por esto, a que con cantidad tan pequeña de azufre es posible vulcanizar una cantidad tan grande de hule en relación al azufre, que se ha pensado que algunas moléculas de hule se polimerizan en presencia del azufre sin combinarse directamente con él, y que son éstas las que se depolimerizan durante la regeneración.

La depolimerización es lo que más se ha aceptado para explicar la reversión; pero debe haber un agente que la provoque. Se atribuye al oxígeno tal acción y se exponen algunas razones como:

- 1o. Los desperdicios viejos que se encuentran más oxidados se regeneran más fácilmente que los desperdicios nuevos del mismo tipo.
- 2o. Los compuestos de hule que contienen alguno de los agentes anti-oxidantes proporcionan desperdicios más resistentes a la oxidación y requieren modificaciones en el procedimiento para regenerarlos.
- 3o. Experiencias se han hecho usando el procedimiento de digestión alcalina, en los cuales se ha eliminado al oxígeno, y no se han obtenido regenerados satisfactorios.

IV PROYECTO DE UNA PLANTA PARA LA REGENE- RACION DE HULE.

- a) **Producción mensual.**
- b) **Proyecto del equipo.**
- c) **Costo del equipo.**

a) PRODUCCION MENSUAL

La estipulación de la producción mensual de hule regenerado de la planta se ha basado:

- 1o. en una relación entre el hule regenerado que se debe consumir y el hule crudo que actualmente se consume en el país; y
- 2o. en la cantidad disponible en México de los principales desperdicios que son las llantas y las cámaras viejas.

En los Estados Unidos la relación a que se ha hecho referencia es de 30%, la que representa una producción de 200 000 toneladas anuales de hule regenerado. Esta relación de 30% se puede adoptar también para México debido a que en las principales fábricas de llantas y cámaras se sigue técnica norteamericana. El 30% viene a convertirse aquí en México en 23%, ya que el hule regenerado va a remplazar al hule crudo en donde no se le usaba.

Los siguientes datos se refieren al consumo de hule crudo en el país en los años de 1939, 1940, y parte de 1941. Datos más recientes no se pudieron obtener debido a la reserva que acerca de ellos guarda la Secretaría de la Economía Nacional. Junto a estos datos están las cantidades de hule regenerado correspondientes a la relación de 23%:

Año	Kilogramos	23% (Producción anual de hule regenerado)	Producción mensual media:
1939	5 106 581	1 185 000 Kg.	99 000 Kg.
1940	3 494 971	803 000 Kg.	67 000 Kg.
1941 (Ene. a Jul.)	3 082 071	—————	102 000 Kg.

Con los datos que corresponderían a la producción mensual en los últimos tres años, se deduce una producción mensual media necesaria, de 89 000 Kg.

La cantidad de desperdicio de llanta y cámara disponible, dedúcese de los datos de producción anual de tales artículos:

Año	Producción de Llantas	Producción Cámaras
1939	255 091 piezas.	171 353 piezas.
1940	228 118 piezas.	152 677 piezas.

Para convertir los datos de producción dados en piezas nuevas, en Kgs. de piezas usadas, recurrese a una serie de suposiciones, y además a los datos concretos que, con respecto a esta producción, se consiguieron de la Compañía Hulera Euzkadi, S. A.

Los datos de piezas de llantas producidas, se refieren tanto a llantas de automóviles como a llantas de camión, siendo estas últimas de mayor peso que las primeras. Hay que determinar aproximadamente el número que de cada clase se fabrica, y luego multiplicarlo por un peso medio correspondiente a la llanta ya usada. En la misma forma, se determinará el número de cámaras correspondiente a cada clase que se multiplicará por un peso medio respectivo, que en este caso se puede tomar igual al de las piezas nuevas debido a que propiamente no sufren desgaste.

Se tienen los siguientes pesos promedios:

Llanta camión:	29.3 Kg. con un "piso"* de 10 Kg.
Llanta automóvil:	12.9 Kg. con un "piso" de 5 Kg.
Cámara camión:	2.8 Kg.
Cámara automóvil:	1.6 Kg.

En las llantas usadas, se supone que el 85% del piso ha desaparecido, por lo tanto el peso de las llantas usadas será:

Llanta automóvil	$12.9 - 0.85 \times 5 = 8.65$ Kg.
Llanta camión:	$29.3 - 0.85 \times 10 = 20.8$ Kg.

En el proceso de regeneración, las llantas deben estar desprovistas

* Se denomina "piso" la parte de la llanta expuesta al desgaste.

de sus cejas. Debido a esto, un 20% del peso de la llanta usada deja de aprovecharse, y entonces se tendrán disponibles para regenerar:

Llanta camión: $20.8 - 0.20 \times 20.8 = 16.64$ ó 17 Kg.
 Llanta automóvil: $8.65 - 0.20 \times 8.65 = 6.92$ ó 7 Kg.

El número de llantas que de cada clase se produjeron en los años de 1939 y 1940, se determina de una manera aproximada aplicando un criterio general. Este criterio consiste en considerar que el porcentaje de llantas de camión y automóvil producidas, fue el mismo en todas las fábricas.

Los porcentajes tenidos para los años citados son:

	1939	1940
Llanta camión:	41%	41%
Llanta automóvil:	59%	59%

Así mismo para las cámaras se tienen los siguientes porcentajes:

	1939	1940
Cámara camión:	36%	41%
Cámara automóvil:	64%	59%

Con los datos anteriores, se determina para cada año el peso de las piezas usadas, teniéndose por concepto de:

L l a n t a s

Año	Producción	Piezas de cada clase:	Kg. pzas. usadas:
1939	255 091 pzas.	de camión 104 587	1 780 000
		de automóvil 150 504	1 053 000
		TOTAL	2 833 000 Kg.
1940	288 118 pzas.	de camión 93 528	1 590 000
		de automóvil 134 590	941 000
		TOTAL	2 531 000 Kg.

C á m a r a s

1939	171 353 pzas.	de camión 61 687	172 000
		de automóvil 109 666	175 000
		TOTAL	347 000 Kg.

1940	152 677 pzas.	de camión 62 597	175 000
		de automóvil 90 080	144 000
		TOTAL	319 000 Kg.

El total de desperdicio en los años 1939 y 1940, resulta:

	1939	1940
De llantas usadas	2 833 000 Kg.	2 531 000 Kg.
De cámaras usadas	347 000 Kg.	319 000 Kg.
TOTAL	3 180 000 Kg.	2 850 000 Kg.

Promedio: 3 015 000 Kg. anuales.

Si se supone por último, que de esta cantidad de desperdicio existente, sólo el 60% es disponible, se tendrán entonces:

$$0.60 \times 3\,015\,000 = 1\,810\,000 \text{ Kg. por año.}$$

$$\text{ó } 151\,000 \text{ Kg. por mes.}$$

Esta cantidad asegura el aprovisionamiento para la producción necesaria de hule regenerado que habíase determinado ser de 89 000 Kg.

Ahora bien, como la planta que proyecto no va a producir la totalidad del hule regenerado considerado como necesario, he optado por una producción mensual de 50 000 Kg., que es una cantidad que satisfará las primeras necesidades del mercado.

La planta para la regeneración de hule, se localizaría en la Capital de la República debido a las siguientes razones:

- A que la Capital es el mercado único para el hule regenerado, ya que en ella se encuentran establecidas las principales fábricas de artículos de hule.
- A que es también, el lugar en donde se puede contar con un mayor abastecimiento, debido a que en ella es donde se tiene un alto porcentaje de los vehículos existentes en el país.
- A que es el centro al que convergen las principales vías de comunicación mediante las cuales se podría contar con otros lugares de aprovisionamiento de desperdicio y para extender el mercado de hule regenerado.

b) PROYECTO DEL EQUIPO.

El equipo para una planta de regeneración de hule debe constar de todas las máquinas y unidades requeridas para efectuar las operaciones fundamentales y secundarias del proceso; además de los motores eléctricos para mover las máquinas, de una caldera para proporcionar el vapor que se consume en el devulcanizador y en el sistema de calentamiento del secador, así como de lo necesario para la subestación de la planta.

El equipo que a continuación proyecto, lo considero suficiente para la producción de 50 toneladas mensuales. Con este mismo equipo se podría elevar tal producción en un 100%; claro es que teniendo que hacerle modificaciones, que no serían radicales, y haciéndose también modificaciones a la organización del trabajo.

La mayoría de las operaciones que se ejecutan durante el proceso son de índole mecánica, y para cada una de ellas se tiene ya diseñada y construída una máquina que tiende a dar las mejores condiciones de trabajo; de tal manera que para esas operaciones sólo haré una descripción de las máquinas y de su funcionamiento.

De acuerdo con el orden que se sigue en las operaciones del proceso, se requiere lo siguiente:

Descejado.—Se requiere para esta operación una máquina descejadora que consta de dos cuchillos circulares que giran uno en un sentido y el otro en el inverso, en medio de los cuales se pone la ceja de la llanta. Por medio del movimiento rotativo de los cuchillos las cejas son removidas del resto de la llanta. Un motor eléctrico de 5 HP se requiere para el funcionamiento de esta máquina.

Tajadura.—Una máquina tajadora. Consiste en un tambor cilíndrico horizontal que es hecho girar a gran velocidad, provisto de cuchillos ajustables de un largo igual a la altura del cilindro y dispuestos a

lo largo y a distancias iguales en la parte exterior de la pared cilíndrica del tambor. Enfrente del tambor existe una plancha horizontal por la que se desliza la llanta ya descejada. Un rodillo dentado y giratorio colocado encima de la plancha, empuja a la llanta hacia el tambor que gira a gran velocidad, el cual, mediante sus cuchillos, convierte a la llanta en pedazos pequeños que pueden triturarse fácilmente. Esta máquina requiere un motor eléctrico de 60 HP.

Trituración, Cernido y Separación Magnética.—Para la trituración se requiere un molino triturador, el cual consiste en dos rodillos cilíndricos y horizontales situados uno frente al otro y que giran en sentido contrario y a diferentes velocidades. El rodillo que gira a mayor velocidad, posee en cada uno de sus extremos un engrane, siendo uno de ellos de un diámetro bastante mayor que el del rodillo, y a través del cual se transmite el movimiento de rotación del motor. El otro engrane sirve para mover al otro rodillo a una velocidad menor. Es por esto, que al primero se le llama rodillo motriz y al segundo rodillo receptor.

La superficie de los rodillos es corrugada con objeto de facilitar y hacer más eficiente la operación. El tamaño y las velocidades a que giran los rodillos son:

rodillo motriz: diámetro 20", longitud 27", 28 r.p.m.

rodillo receptor: diámetro 17", longitud 27", 17 r.p.m.

Los rodillos por su movimiento de rotación contrario y de diferente velocidad, desgarran, Trituran y convierten en granos a los pedazos de llanta que provienen de la tajadora.

El molino triturador está provisto de dos grandes tornillos que sirven para ajustar la distancia de separación de los rodillos y de acuerdo con ésta se logran diferentes tamaños de los granos.

Agua que circula por el interior de los rodillos, elimina el calor que se desarrolla por la trituración del material.

El triturador requiere para su funcionamiento un motor de 105 HP.

Para el cernido se necesita un cernidor de tela de alambre con aberturas de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Una malla de 2.5 m. por 1 m. es de un tamaño suficiente para el objeto de la operación. La agitación puede hacerse por medio de un motor de 1 HP que transmita su movimiento de rotación por medio de una banda a una polea en cuyo eje esté también

otra polea excéntrica que sea la que proporcione el movimiento de agitación.

Para el acarreo de material: del molino triturador al cernidor, del cernidor a los tambores de descarga, y del mismo cernidor al triturador para el retorno del material a trituraciones sucesivas, se necesitan tres transportadores de banda movidos cada uno por un motor de 2 HP

Para la separación magnética de las partículas metálicas, una polea magnética, colocada en el extremo de descarga de la banda que conduce el material cernido a los tambores, cumple eficientemente con el fin de esta operación.

Para el transporte de los tambores del lugar de descarga de la banda al devulcanizador, lo más conveniente en un monorriel o riel del techo de ida y regreso.

Devulcanización.—Para la devulcanización, se requiere un devulcanizador el cual ya ha sido descrito con amplitud en el punto relativo a la descripción del proceso de digestión. Su tamaño exacto es de 20 pies de largo por 5.5 pies de diámetro. Se requiere además un motor de 15 HP para el sistema de agitación interior.

Para el proceso de charolas, se necesita de un calentador de vapor para efectuar la devulcanización. Este es también cilíndrico y horizontal, uno de sus extremos está cerrado y el otro lo constituye una puerta que abarca toda su sección circular y que cierra herméticamente. No posee chaqueta, sino que el vapor se introduce directamente a su interior. Sus dimensiones son: largo 11 pies y diámetro 4 pies.

Como complemento del devulcanizador del proceso de digestión se requieren: un tanque de descarga de 20 metros cúbicos de capacidad y una bomba centrífuga con su motor.

Lavado.—Se requiere una malla fina de aproximadamente 2 m. por 1 m. y de 62 aberturas por pulgada, acondicionada para soportar el material que resbala por ella. Se requieren tubos con espreas para distribuir el agua de lavado, tubos de desagüe, tanque para la sedimentación de finos. Además, una segunda malla para la recuperación de estos últimos.

Prensado.—Un exprimidor o prensa de tornillo para eliminar por simple presión el exceso de agua. Requiere un motor de 32 HP.

La operación que sigue es el secado, para la cual he diseñado un secador que deberá trabajar eficientemente; pero antes de entrar en la consideración de su diseño, quiero acabar de mencionar las máquinas que se requieren en las operaciones finales: laminación, colado y refinación.

Laminación.—Para la laminación se requiere un molino destinado a efectuar sólo esta operación, pero dada la producción mensual que se fija a la planta, este molino puede efectuar la primera parte de la operación de refinación, que consiste en una refinación ligera conseguida mediante una separación adecuada de los rodillos. El molino está constituido también de dos rodillos que giran a diferentes velocidades y en sentido contrario; uno es el motriz, más rápido, y el otro el receptor, más lento. En este caso, los rodillos son de superficies lisas, de distancia de separación ajustable mediante dos grandes tornillos. Agua que se hace circular por el interior de los rodillos, elimina el calor desarrollado durante la operación.

Las características de los rodillos son:

rodillo motriz: diámetro 23.5", longitud 36", 32 r.p.m.

rodillo receptor: diámetro 19.5", longitud 36", 16 r.p.m.

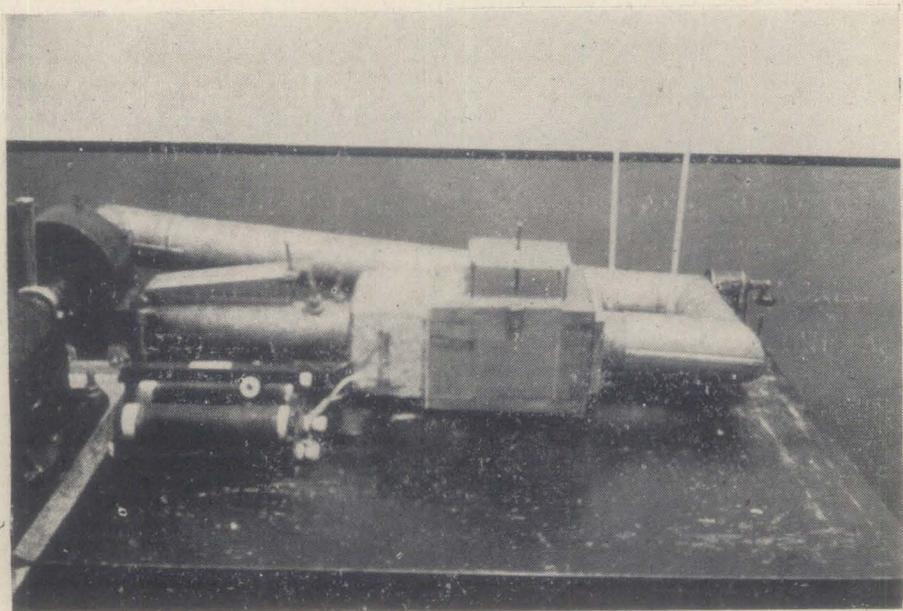
Requiere un motor de 110 HP.

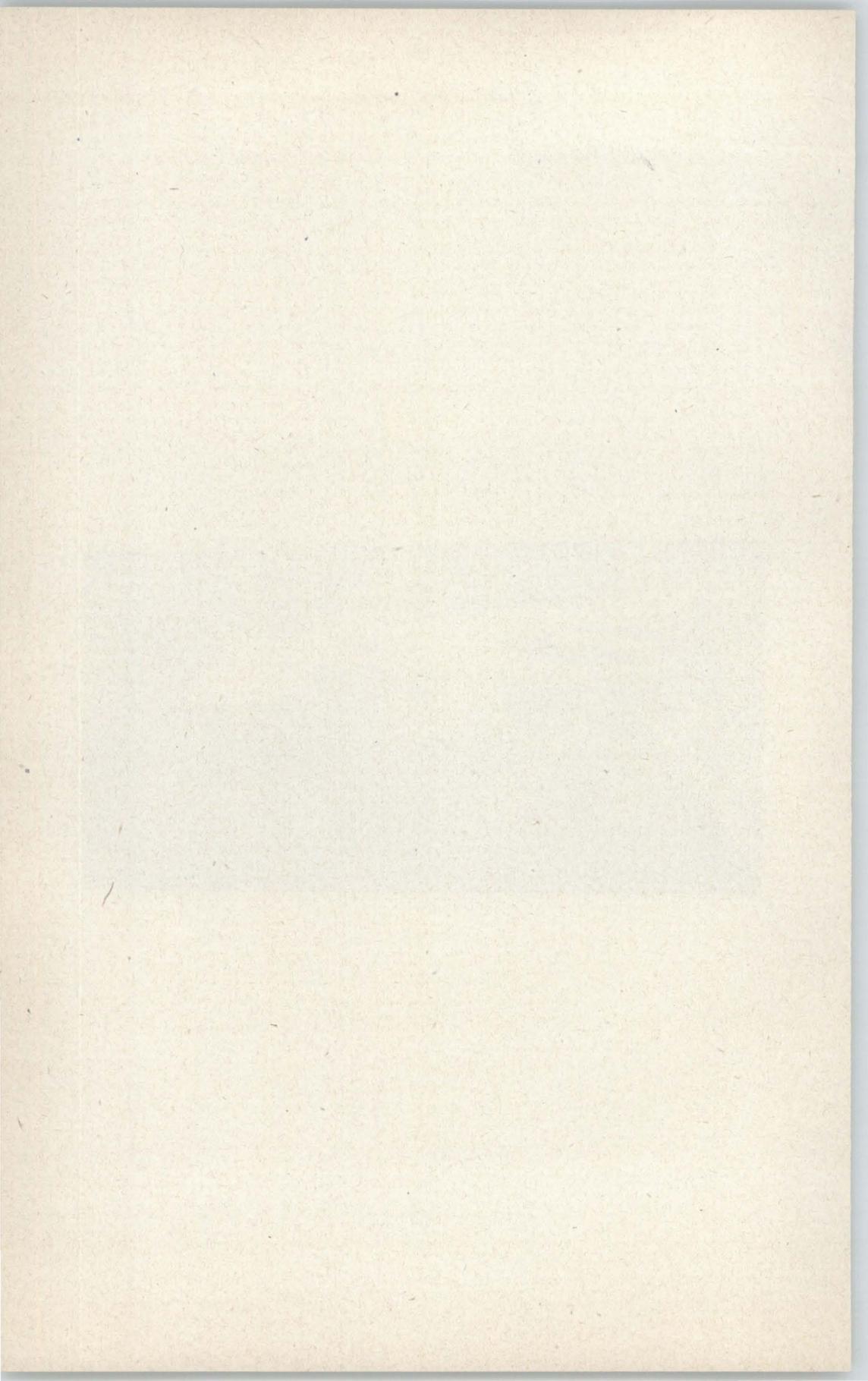
Colado.—Se requiere una coladora, la cual consiste en un tornillo sin fin, que funciona como transportador de tornillo y que fuerza al hule a pasar a través de una malla coladora. El tornillo está situado en el interior de una cavidad cilíndrica la cual tiene una abertura o bocanera por la que se alimenta el material. Se requiere además, un motor de 23 HP.

Refinación.—Un molino refinador del todo igual al descrito arriba, provisto además de los aditamentos necesarios para colocar los tambores en los que se enrolla la lámina delgada que sale de entre los rodillos.

DISEÑO DEL SECADOR.

Para el diseño del secador tuve necesidad de construir un pequeño secador experimental con objeto de conocer el mecanismo de secado del material y determinar asimismo, el tiempo de secado.





El secador experimental consta, como puede apreciarse en el grabado: de un ventilador, de un motor para mover el ventilador, de un precalentador, del propio secador y de los conductos de salida del ventilador, del secador y de los de retorno al ventilador. El ventilador y la cubierta del mismo los construí a dimensiones tales, para que, de acuerdo con las características del motor, se tuviera dentro del secador una velocidad de aire aproximadamente de 10 pies/seg.

El precalentador consiste en una caja metálica con sus paredes aisladas, en cuyo interior está colocada una resistencia eléctrica. Un reóstato conectado en serie con la resistencia permite controlar la cantidad de corriente que pasa por esta última, y por ende, la temperatura del aire que fluye.

El secador es una simple caja de madera provista de una puerta para permitir meter y sacar las muestras. Es de sección interior cuadrangular de 10 cm. de lado. Está provisto además, de un pequeño elevador formado por tres láminas planas, rectangulares y en posición horizontal, de las cuales sólo una es exterior; cuatro barras las unen por sus ángulos, y a la vez, permiten su ascenso o descenso. Esto se hizo con objeto de poder repartir la sección libre entre las muestras de diferente espesor que se colocan en el interior.

Para hacer las experiencias, el material se introduce en tres pequeñas charolas que dan los espesores de 1 cm., 2 cm., 3cm., de acuerdo con la altura de la pared de cada una.

En el conducto de salida del ventilador está dispuesto un manómetro diferencial, el que consiste en un tubo de vidrio doblado en U y de cuyos extremos parten dos conexiones, una para la toma de presión total (Pitot) y otra para la toma de presión estática. La lectura en el manómetro da directamente la presión de velocidad de la que puede deducirse la velocidad, en este caso aproximada, del aire que fluye.

En el conducto de salida del secador e inmediatamente después de éste, está colocado el termómetro de bulbo seco, y algo más lejos, el de temperatura de bulbo húmedo.

Los conductos tienen dos ventanillas que pueden abrirse o cerrarse mediante una tapa corrediza. Están colocadas, una enfrente de la entrada del ventilador y la otra enfrente de la salida del secador; y permiten respectivamente la admisión de aire fresco y la expulsión de aire humedecido. Existe una mariposa situada en la primera vuelta del con-

ducto que hace las veces de válvula, y cuando está cerrada no permite el regreso de aire humedecido al ventilador.

Terminada la construcción del secador experimental me dispuse a hacer las experiencias básicas necesarias para el estudio del mecanismo del secado.

La ecuación general del secado es:

$$\ln \frac{W_0}{W_1} = K\Theta$$

en la que:

W_0 = humedad inicial del material.

W_1 = humedad final del material.

K = constante que depende de las condiciones prevalentes de secado.

Θ = tiempo de secado.

El caso particular del secado de hule regenerado, es uno en el que se tiene a un cuerpo sólido que se desea secar por vaporización desde un contenido de humedad de 45% hasta uno de 6% (ambos base seca) usando aire como agente de secado. Es decir, se tiene:

$$W_0 = 45$$

$$W_1 = 6$$

De la inspección de la ecuación anterior, resulta que se tiene al primer término siempre constante e independiente de la forma en que se lleve a cabo el secado. En el segundo término aparece el tiempo de secado (Θ) cuyo valor se tiene que determinar.

La determinación del tiempo de secado no depende sino del conocimiento y determinación del valor de K . Como se había dicho, K es una constante que depende de las condiciones de secado que prevalecen. Las condiciones de secado están dadas por: temperatura, humedad y velocidad del aire que seca, la forma en que está dispuesto el material, y por el calor que por conducción o radiación se transmita al material debido a superficies secas adjuntas.

Debido a la forma como construí el aparato, el calor que por conducción o radiación reciben las muestras del material, se puede considerar igual al que pueda recibir por las mismas causas el material en el secador que se proyecta. Además, por la disposición del material dentro del secador experimental, fijé de antemano la forma en que deberá

estar el material dentro del secador industrial y también la forma en que circule el aire.

Quedan entonces por fijar: el espesor del material y la temperatura, velocidad y humedad del aire, es decir, se tendrá a K en función de las cuatro variables:

$$K = f(e, t, V, H)$$

De acuerdo con esto, procedí a hacer las experiencias que me permitieran apreciar la variación de K para los diversos valores de las variables.

Efectúe experiencias variando temperaturas, velocidades y humedades, usando simultáneamente en cada una de ellas tres espesores de material.

De seis experiencias se obtuvieron los siguientes datos, haciendo determinaciones cada quince minutos de la humedad del aire y de la pérdida de agua en las muestras.

1a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado mediante aire fresco calentado a 90°C, a una velocidad constante de aproximadamente 9.3 pies por segundo y a una humedad de 0.012.

AIRE.

Tiempo	Temp. bulbo seco.		Temp. bulbo húmedo		Humedad absoluta:
	°C	°F	°C	°F	
0 min.	90	194	31.6	89	0.012
15	"	"	34	93.2	0.0185
30	"	"	33.4	92.1	0.017
45	"	"	33.4	92.1	0.017
60	"	"	33.4	92.1	0.017
75	"	"	33.2	91.8	0.017
90	"	"	33	91.4	0.016
105	"	"	32.8	91	0.0155
120	"	"	32.8	91	0.0155
135	"	"	32.8	91	0.0155
150	"	"	32.8	91	0.0155
165	"	"	32.8	91	0.0155
180	"	"	32.6	90.7	0.0145
195	"	"	32.2	89	0.0135
210	"	"	32.2	89	0.0135

La humedad media durante la operación es 0.014. Está obtenida promediando la humedad del aire fresco y la humedad promedio resultante de las lecturas tomadas durante el secado de las muestras.

Las lecturas de humedad se hicieron en una carta de humedad construída para la Ciudad de México (586 mm de Hg.).

MATERIAL.

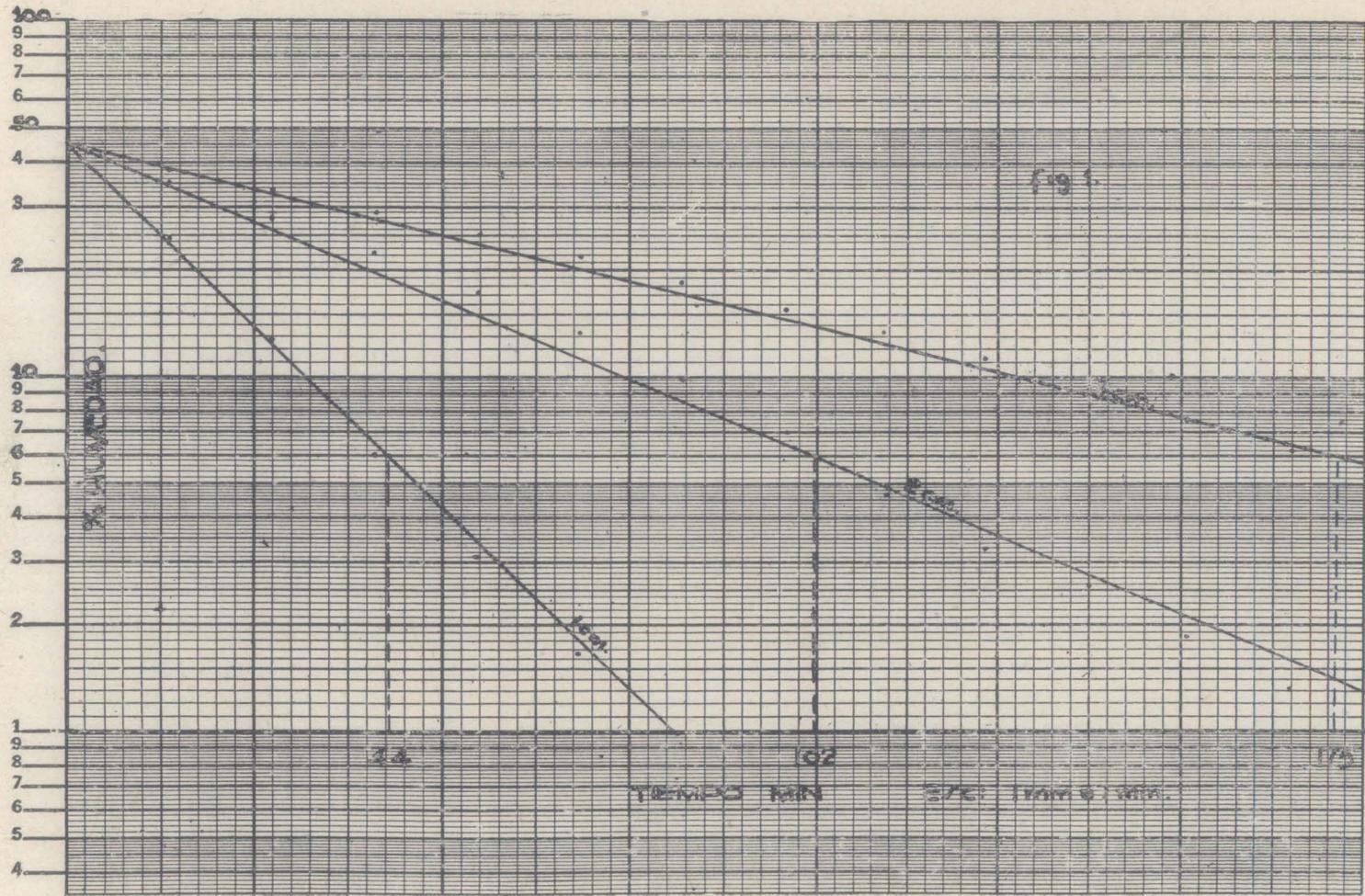
Las muestras usadas en esta experiencia tenían una humedad inicial de 44.9% base seca.

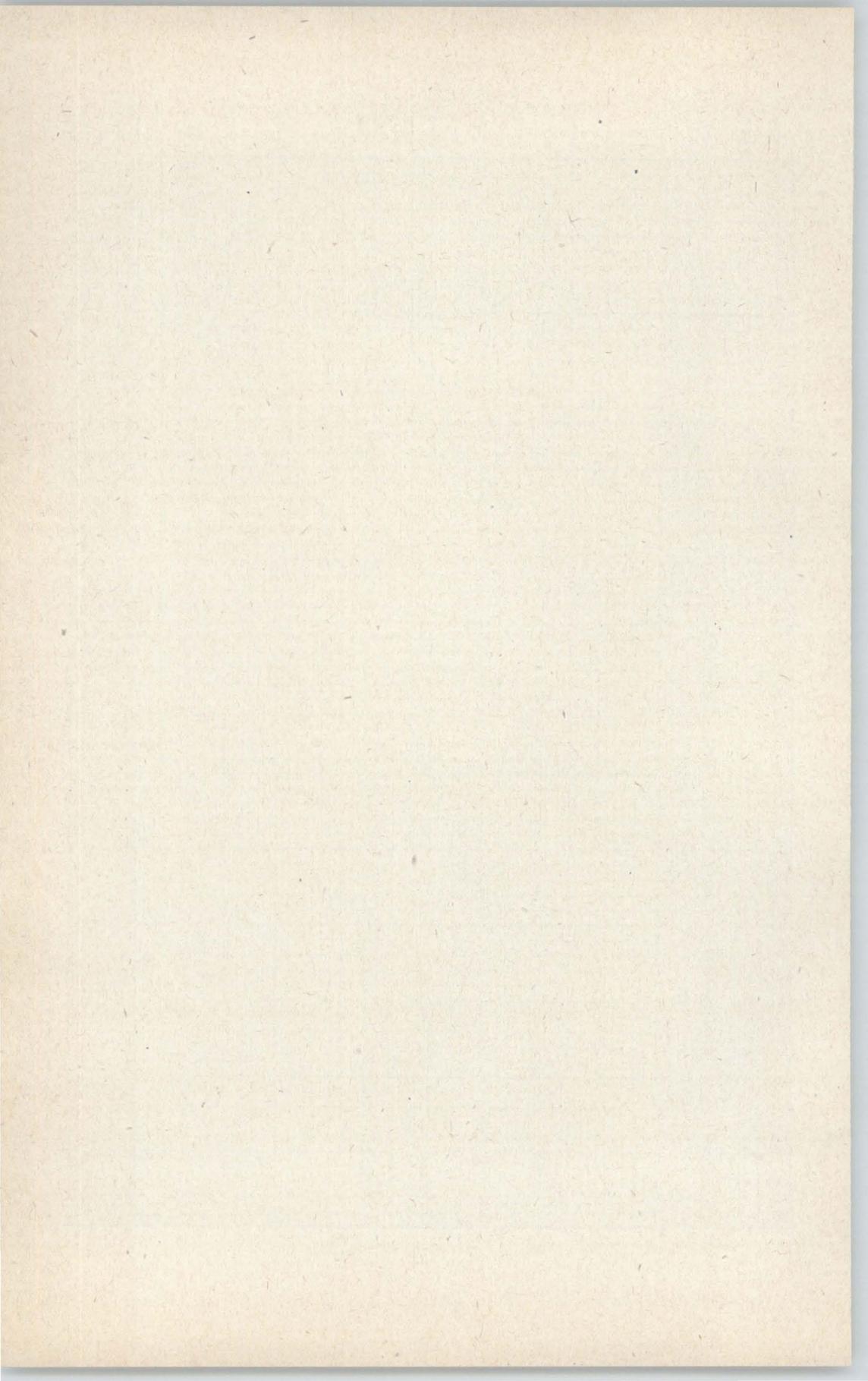
Tiempo:	1 cm.		2 cm.		3 cm.	
	Agua. evap:	Humedad % B. S.	Agua evap:	Humedad % B. S.	Agua evap:	Humedad % B. S.
0 min.	0 gr.	44.9	0 gr.	44.9	0 gr.	44.9
14	5.6	24.7	5.5	35.13	5.7	38.2
28	3.3	12.8	4.	28.	4.	33.4
42	1.9	5.98	3.1	22.5	3.7	29.
56	.8	3.1	2.9	17.32	3.3	25.1
70	.4	1.66	2.3	13.2	2.7	21.9
84	.2	.94	1.9	9.9	2.7	18.6
98			1.6	7.	2.5	15.6
112			1.3	4.7	2.	13.3
126			.8	3.26	1.7	11.3
140			.4	2.55	1.7	9.1
154			.4	1.83	1.3	7.6
168			.3	1.3	1.2	6.2
182					.9	5.1
195					.9	4.03

La columna de tiempo está de 14 en 14 minutos, debido a que de cada 15 minutos, uno se empleó en pesar la muestra.

Los datos de la tabla correspondiente al material, los he graficado en papel semilogarítmico dándome puntos que corresponden aproximadamente a tres rectas, una para cada espesor de material (fig. 1). Con la ordenada de 6% de contenido de humedad, se determinan los tiempos de secado para cada caso; resultan ser los siguientes:

- para 1 cm. 44 min.
- para 2 cm. 102 min.
- para 3 cm. 175 min.





Para las siguientes experiencias se tomaron los datos del aire y del material en la misma forma que en la experiencia primera, los cuales he tabulado, graficado los correspondientes al material y obtenido los tiempos de secado; pero me abstengo de presentarlos por razón de espacio. Hago una excepción con la 6a. experiencia cuyos datos considero algo más interesantes.

2a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado mediante aire fresco calentado a 70°C, a una velocidad de 9.3 pies/seg. y a una humedad de 0.0135.

Se obtuvieron los siguientes datos:

Humedad promedio en el aire durante la experiencia:

$$H_m = 0.014 \qquad \begin{array}{l} H_{\min} = 0.0135 \\ H_{\max} = 0.0165 \end{array}$$

Tiempos de secado:

1 cm.	72 min.
2 cm.	164 min.
3 cm.	312 min.

3a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado mediante aire fresco calentado a 50°C, a una velocidad de 9.3 pies/seg. y a una humedad de 0.011.

$$H_m = 0.0115 \qquad \begin{array}{l} H_{\min} = 0.011 \\ H_{\max} = 0.0125 \end{array}$$

Tiempos de secado:

1 cm.	159 min.
2 cm.	370 min.
3 cm.	535 min.

4a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado efectuado en estufa de laboratorio, con aire calentado a 90°C, a una velocidad prácticamente cero y humedad constante (aproximadamente igual a la del aire ambiente).

Tiempos de secado:

1 cm.	124 min.
2 cm.	247 min.
3 cm.	310 min.

5a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado con aire calentado a 90°C, inyectando vapor de agua proveniente de un matraz con agua en ebullición. Velocidad del aire: 9.3 pies/seg.

$$H_m = 0.022 \quad \begin{array}{l} H_{\max} = 0.0265 \\ H_{\min} = 0.0205 \end{array}$$

Tiempos de secado:

1 cm.	45 min.
2 cm.	105 min.
3 cm.	187 min.

6a. EXPERIENCIA.

Condiciones: Secado con aire calentado a 90°C, inyectando más vapor que en la experiencia quinta. Velocidad del aire 9.3 pies/seg.

AIRE

Temperatura bulbo seco = 90°C = 194°F.

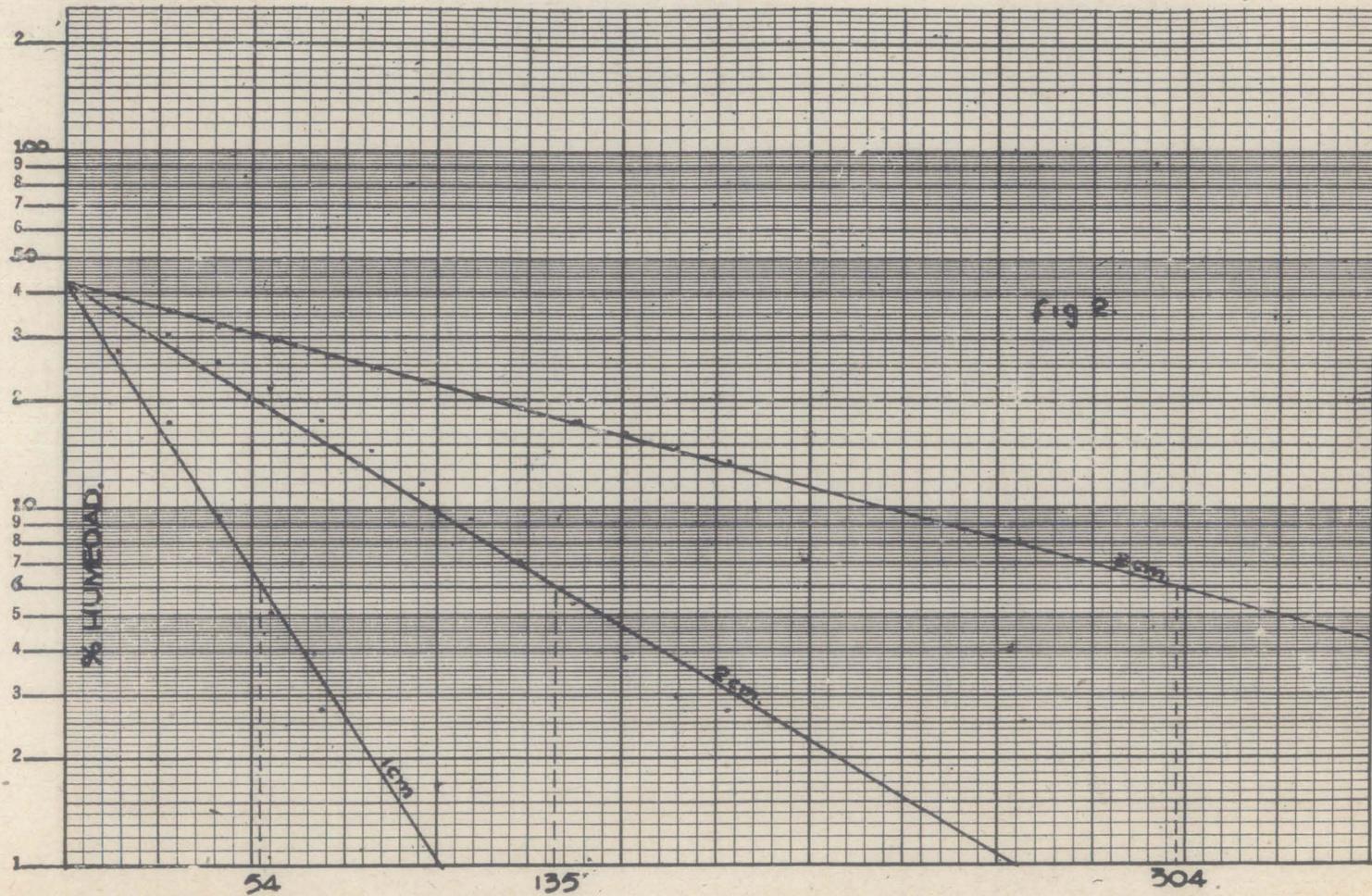
Tiempo	Temp.	bulbo húmedo	Humedad absoluta:
	°C	°F	
0 min			
15	51.6	124.9	0.1095
30	51.4	124.5	0.1075
45	51.2	124.2	0.106
60	50.6	123.1	0.1015
75	50.	122	0.0975
90	52.8	127	0.1195
105	53.2	127.8	0.122
120	53.6	128.5	0.126
180	52.	125.6	0.113
135	52	125.6	0.113
150	52	125.6	0.113
165	52	125.6	0.113
195	52	125.6	0.113

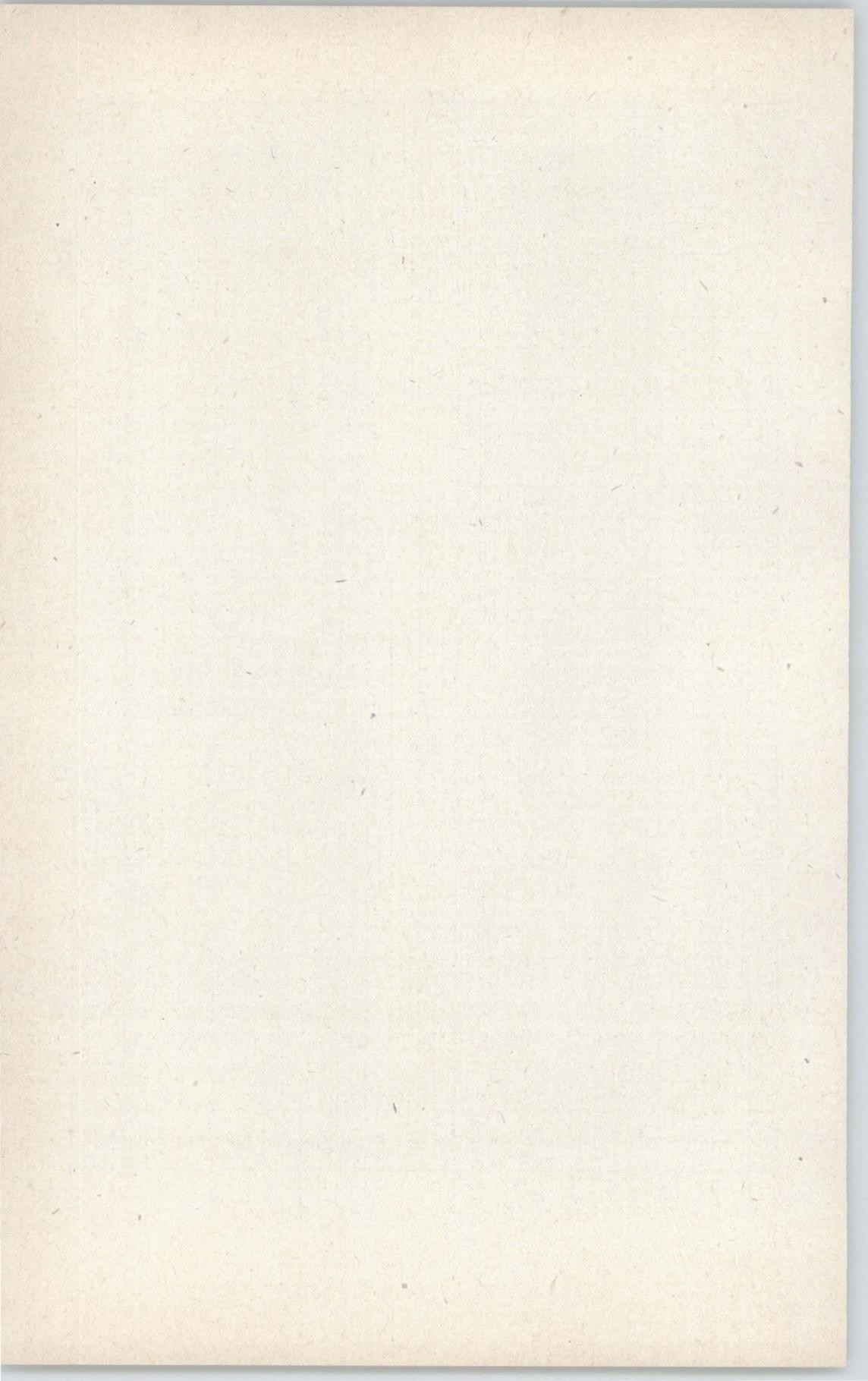
La humedad media resultante es: $H_m = 0.112$

La fuente de vapor fue una tubería con vapor de caldera. Esta es la causa por la que se tienen valores de la humedad del aire que aparentemente no son lógicos.

MATERIAL

Las muestras usadas en esta experiencia tenían una humedad inicial de 42.6%, base seca.





Tiempo:	1 cm.		2 cm.		3 cm.	
	Agua. evap.	Humedad % B. S.	Agua evap.	Humedad % B. S.	Agua evap.	Humedad % B. S.
	0 min	0 gr.	42.6	0 gr.	42.6	0
14	4.3	27.9	3.8	36.7	3.5	39.
28	3.1	17.3	3.8	30.7	3.3	35.3
42	2.3	9.5	3.1	25.8	2.9	32.
56	1.3	5.1	2.6	21.7	2.7	29.
70	.7	2.72	2.5	17.7	2.2	26.5
84	.2	2.03	2.	14.5	2.	24.3
98			1.8	11.7	1.7	22.4
112			1.5	9.33	1.5	20.5
126			1.4	7.11	1.5	19
140			1.1	5.38	1.4	17.4
154			1.	3.8	1.2	16.1
168			.5	3.	1.5	14.4
182			.2	2.69	1.	13.3

Los datos de la tabla se encuentran graficados en la figura 2. De la lectura del tiempo de secado resulta:

1 cm. = 54 min.

2 cm. = 135 min.

3 cm. = 304 min.

En resumen, se tienen los siguientes tiempos de secado en cada una de las experiencias de acuerdo con el espesor del material.

Espesor:	Tiempo de secado en minutos:					
	1a.	2a.	3a.	4a.	5a.	6a.
1 cm.	44	72	159	124	45	54
2 cm.	102	164	370	247	105	135
3 cm.	175	312	535	310	187	304

Debido a la falta de tiempo no pude continuar haciendo otras experiencias que sirvieran para determinar las condiciones de trabajo más ventajosas para el secador. Sin embargo, las seis experiencias me han proporcionado datos para calcular un secador, que si no es el más ventajoso, si es en cambio un secador que trabaja eficientemente.

De las experiencias deduje los siguientes datos:

“Espesor de la capa del material que resulta ser el más conveniente”.

El espesor citado es el que satisfaga la condición de:

$$\frac{e}{\Theta} = \text{máximo}$$

e = espesor del material
 Θ = tiempo de secado

Así se tiene que en la:

1a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 90^{\circ}\text{C.} \\ H_m &= 0.014 \\ V &= 9.3 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{44} = 0.0227$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{102} = 0.0196$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{175} = 0.01716$$

El espesor de 1 cm. dá la mayor capacidad que es:

$$\frac{0.0227}{0.0196} = 1.16 \text{ veces mayor que la capacidad resultante usando 2 cm.}$$

$$\frac{0.0227}{0.01716} = 1.32 \text{ veces mayor que la capacidad resultante usando 3 cm.}$$

2a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 70^{\circ}\text{C.} \\ H_m &= 0.014 \\ V &= 9.3 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{72} = 0.0139$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{164} = 0.0122$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{312} = 0.0096$$

El espesor de 1 cm. dá una capacidad a las condiciones arriba mencionadas que es:

$$\frac{0.0139}{0.0122} = 1.14 \text{ veces la capacidad resultante usando un espesor de 2 cm.}$$

$$\frac{0.0139}{0.0096} = 1.45 \text{ veces, la capacidad resultante usando un espesor de 3 cm.}$$

3a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 50^{\circ}\text{C.} \\ H_m &= 0.0115 \\ V &= 9.3 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{159} = 0.0063$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{370} = 0.00541$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{535} = 0.0056$$

El espesor de 1 cm. dá para estas condiciones de aire, una capacidad:

$$\frac{0.0063}{0.00541} = 1.163 \text{ veces la correspondiente a 2 cm.}$$

$$\frac{0.0063}{0.0056} = 1.124 \text{ veces que la correspondiente a 3 cm.}$$

4a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 90^{\circ}\text{C.} \\ H &= \text{ambiente} \\ V &= 0 \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{124} = 0.00808$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{247} = 0.00808$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{310} = 0.00968$$

El espesor de 3 cm. dá mayor capacidad que es:

$$\frac{0.00968}{0.00808} = 1.2 \text{ veces que la correspondiente a cada uno de los otros espesores.}$$

5a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 90^{\circ}\text{C.} \\ H_m &= 0.022 \\ V &= 9.3 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{45} = 0.0222$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{105} = 0.019$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{187} = 0.016$$

El espesor de 1 cm. da una capacidad que es:

$$\frac{0.0222}{0.0190} = 1.17 \text{ y } \frac{0.0222}{0.0160} = 1.39 \text{ veces mayor respectivamente, que usando capas de 2 y 3 cm.}$$

6a. Experiencia.

$$\begin{aligned} t &= 90^{\circ}\text{C.} \\ H_m &= 0.112 \\ V &= 9.3 \text{ ft/seg.} \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 1 cm.} = \frac{1}{54} = 0.0185$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 2 cm.} = \frac{2}{135} = 0.0148$$

$$\frac{e}{\Theta} \text{ para 3 cm.} = \frac{3}{304} = 0.0099$$

El espesor de 1 cm. dá una capacidad:

$$\frac{0.0185}{0.0148} = 1.25 \text{ veces mayor que la correspondiente a 2 cm.}$$

$$\frac{0.0185}{0.0099} = 1.865 \text{ veces mayor que la correspondiente a 3 cm.}$$

De esta serie de experiencias se concluye que el espesor de 1 cm. es el más conveniente, excepto cuando la velocidad del aire es cero. Probablemente algún otro espesor menor de 1 cm resultaría ser el más conveniente; pero no se ha tenido en cuenta debido a la dificultad que seguramente se presentaría en la práctica para conseguirlo.

“Temperatura más conveniente del aire”

Se tienen tres experiencias con tres temperaturas diferentes: 50°C, 70°C y 90°C, para las cuales se encontraron respectivamente los siguien-

tes valores para e/Θ , correspondientes al espesor más conveniente de 1 cm.:

$$\text{para } 50^{\circ}\text{C} \quad \frac{e}{\Theta} = 0.0063$$

$$\text{para } 70^{\circ}\text{C} \quad \frac{e}{\Theta} = 0.0139$$

$$\text{para } 90^{\circ}\text{C} \quad \frac{e}{\Theta} = 0.0227$$

De los que resulta que usando una temperatura del aire de 90°C se tiene una capacidad que es:

1.63 veces mayor que usando una temperatura de 70°C .

3.6 veces mayor que usando una temperatura de 50°C .

Velocidad del aire.

La velocidad del aire que prevaleció durante las experiencias fue de 9.3 ft/seg. aproximadamente. De los resultados de las experiencias primera y cuarta, se sacarán datos para determinar en qué forma varía el secado en el caso de que se use una velocidad de aire diferente.

Humedad del aire.

Se tienen tres experiencias con humedades del aire diferentes de las que no se va a determinar la humedad más conveniente; sino que con los datos que de ellas se han obtenido, se va a determinar la forma en que varía el secado al variar la humedad del aire.

En resumen:

1 cm. es el espesor práctico más conveniente que resulta para la capa del material.

90°C es la temperatura que indican las experiencias como la que resulta ser más conveniente.

VARIACION DE LA CONSTANTE K DE SECADO EN FUNCION DE LAS VARIABLES DE QUE DEPENDE

De la ecuación general de secado resulta:

$$K = \frac{2.3 \log. \frac{W_0}{W_1}}{\Theta}$$

a) Variación de K con el espesor.

Temperatura del aire constante = 90°C.

Los valores de K correspondientes a los diferentes espesores, son:

para 1 cm.	K = 0.0456
para 2 cm.	K = 0.0197
para 3 cm.	K = 0.01146

La curva representativa de estos valores está trazada en la fig. 3.

b) Variación de K con la temperatura:

Espesor del material = 1 cm.

para 50°C	K = 0.0125
para 70°C	K = 0.0279
para 90°C	K = 0.0456

La curva correspondiente a estos valores está trazada en la fig. 4.

c) Variación de K con la velocidad:

Temperatura del aire = 90°C.

Espesores de 1, 2, 3 cm.

para V = 9.3 ft/seg.	e = 1 cm.	K = 0.0456
	e = 2 cm.	K = 0.0197
	e = 3 cm.	K = 0.01146
para V = 0	e = 1 cm.	K = 0.0158
	e = 2 cm.	K = 0.00796
	e = 3 cm.	K = 0.0063

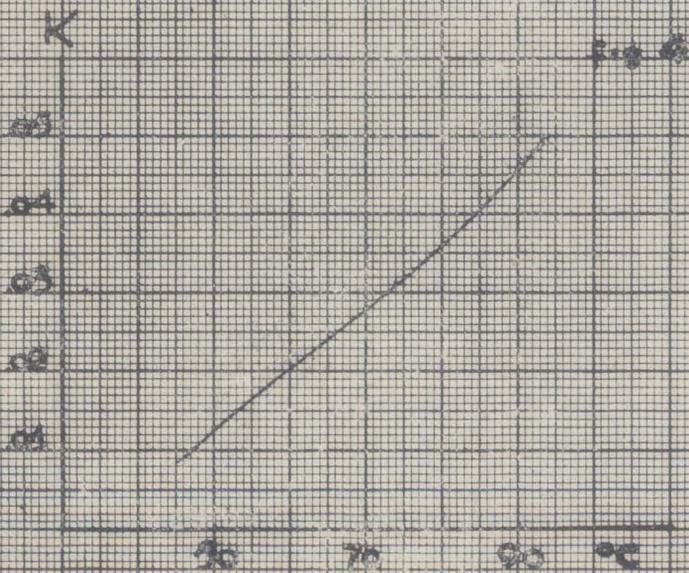
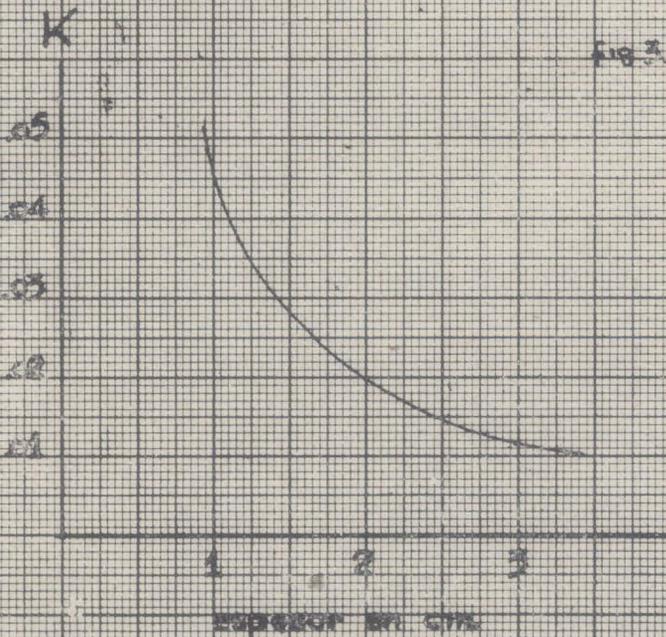
Como sólo se tienen dos puntos para el trazo de cada curva, las líneas punteadas muestran la variación probable de K en la fig. 5.

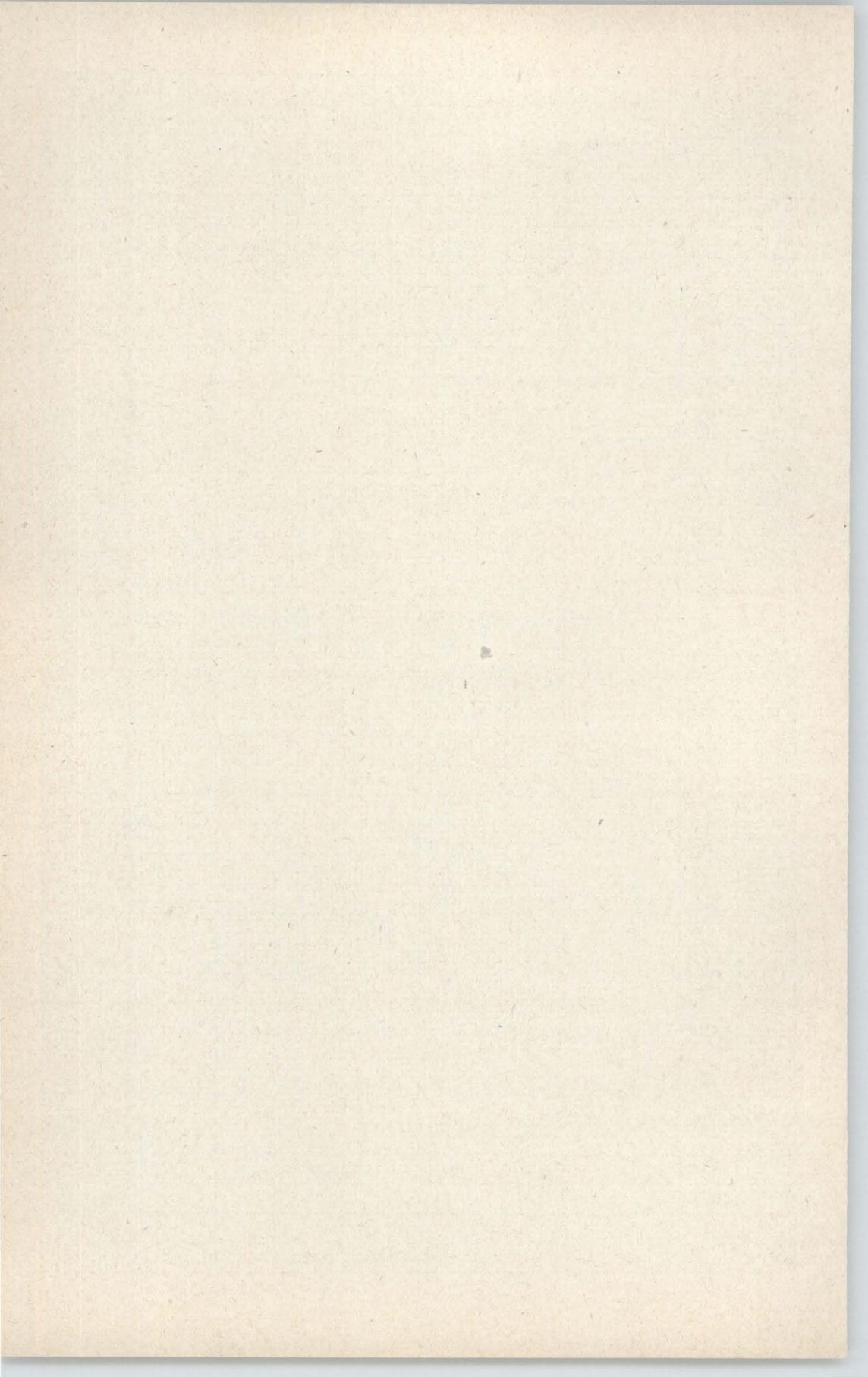
d) Variación de K con la humedad.

Temperatura del aire = 90°C.

Espesores de 1, 2 y 3 cm.

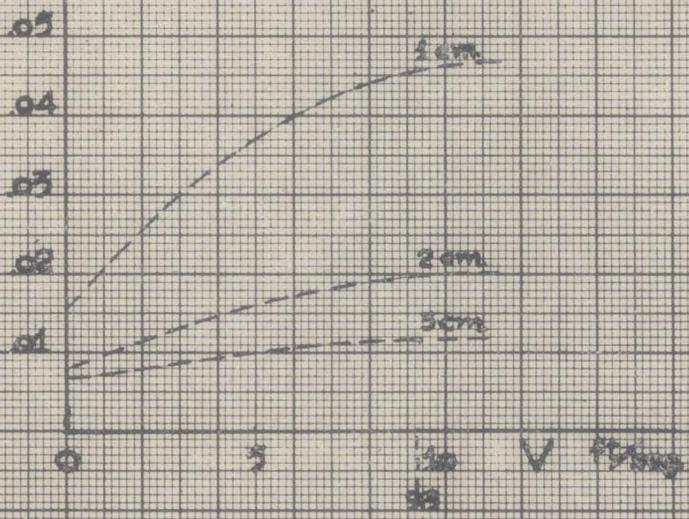
para H = 0.014	e = 1 cm.	K = 0.0456
	e = 2 cm.	K = 0.0197
	e = 3 cm.	K = 0.01146





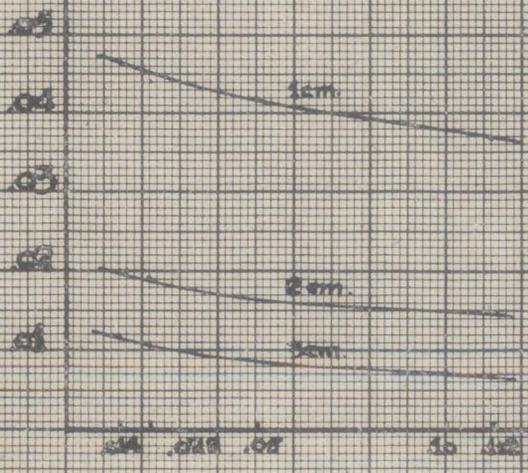
K

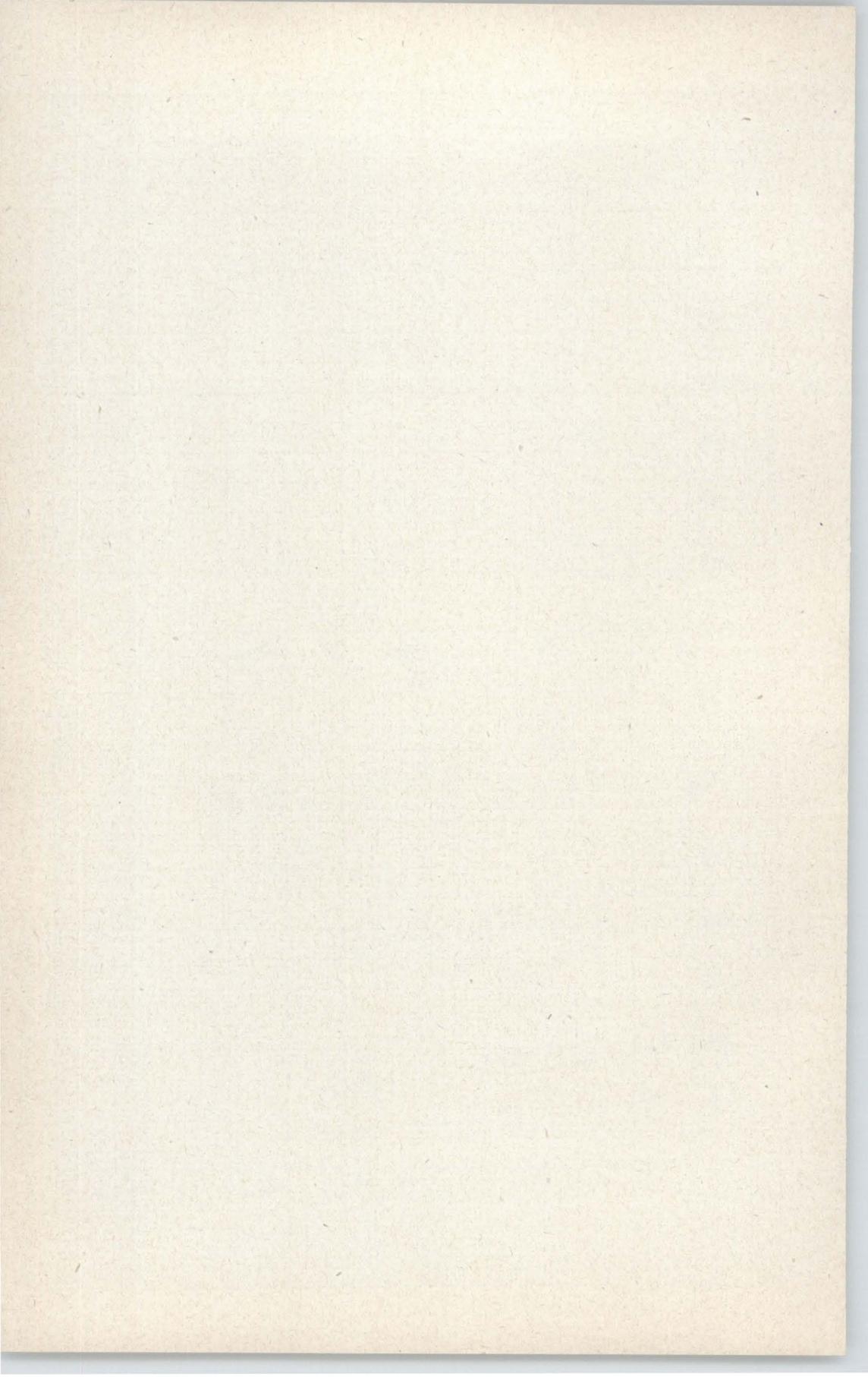
Fig 5.



K

Fig 6.





para H = 0.022	y	e = 1 cm.	K = 0.0439
		e = 2 cm.	K = 0.0192
		e = 3 cm.	K = 0.0105
para H = 0.112	y	e = 1 cm.	K = 0.0364
		e = 2 cm.	K = 0.0145
		e = 3 cm.	K = 0.0065

Las curvas correspondientes a estos valores están trazadas en la fig. 6.

Para el cálculo del secador, asumo las siguientes condiciones debidas a la consideración de los resultados de las experiencias:

espesor del material	e = 1 cm.
temperatura del aire	t = 90°C.
humedad del aire	V = 10 ft/seg.
velocidad del aire	H = 0.10 lb. vapor agua/lb. aire seco.

CALCULO DEL SECADOR

El secador que calculo, es un secador continuo de bandas de tela de alambre, de temperatura constante, de humedad también constante en el cual la circulación de aire va a ser a través de las superficies del material. Va a secar 50 000 Kg. por mes de hule regenerado, desde un contenido de humedad de 45% hasta un contenido de 6%, ambos base seca. Con los datos de las condiciones de secado asumidas se encuentra en la gráfica de la fig. 6, un valor de $K = 0.0377$, al que corresponde un tiempo de secado de:

$$\Theta = \frac{2.3 \log. \frac{45}{6}}{0.0377} = 53.3 \text{ min.}$$

Considero 26 días de trabajo al mes, de aquí que se tenga una producción de:

$$\frac{50\,000}{26} = 1920 \text{ Kg/24hr. igual en números redondos}$$

a 2000 Kg/24hr. de material seco.

Cantidad de material en el secador:

2000 Kg. de material seco más el 45% de agua que los acompañan, dan:

$$2000 \times 1.45 = 2900 \text{ Kg/24 hr. de material húmedo.}$$

Material en el secador: $2900 \frac{53.3}{24 \times 60} = 107.5 \text{ Kg.}$

Superficie de bandas necesaria:

Calcularé primero el peso de material por decímetro cuadrado de superficie a un espesor de 1 cm.

En el secador experimental se tiene un promedio de 40 gr. en la charola de 1 cm. de espesor, teniendo ésta 86.5 cm².

$$40 \frac{100}{86.5} = 46.3 \text{ gr/dm}^2$$

o sean 0.0463 Kg/dm²

$$\text{Superficie efectiva bandas} = \frac{107.5}{0.0463} = 2330 \text{ dm}^2$$

o sean 23.3 m²

Asumiendo un ancho de la banda de 1.50 m (escogido de acuerdo al tamaño de mallas de alambre de acero que se consigue en el mercado), la longitud efectiva de la banda es:

$$L = \frac{23.3}{1.5} = 15.5 \text{ m.}$$

Para 3 bandas, la longitud de cada una resulta de 5.2 m.

Cálculo de la cantidad de aire:

El agua que se evapora (ΔW) está dada por la ecuación:

$$S(W_0 - W_1) = \Delta W$$

S = cantidad de material seco en lb/min.

$$W_0 = 0.45$$

$$W_1 = 0.06$$

$$S = \frac{2000}{0.453 \times 24 \times 60} = 3.06 \text{ lb/min.}$$

$$3.06 (.45 - .06) = 1.194 \text{ lb/min. de agua que se evapora}$$

De la ecuación: $G(H_1 - H_0) = \Delta W$

G = cantidad de aire en lb/min.

H₁ = humedad final del aire = 0.10.

H₀ = humedad inicial del aire. Tomo el valor más alto encontrado durante las experiencias = 0.014.

$$G = \frac{1.194}{0.10 - 0.014} = 13.9 \text{ lb/min.}$$

Volumen húmedo (v_h) para $H = .10$ y $t = 90^\circ\text{C} = 194^\circ\text{F}$.

$$v_h = (0.730t + 335.7) (1/29 + H/18) \frac{760}{585}$$

$v_h = 24.8 \text{ ft}^3/\text{lb}$. Este volumen húmedo va a servir para determinar la cantidad de aire en el interior del secador.

El secador puede tener las dimensiones que se muestran en la fig. 7.

Según esas dimensiones resulta una sección de 0.9 m^2 o 9.7 ft^2 , por la que debe circular normalmente aire a una velocidad de 10 ft/seg . De acuerdo con la sección y con la velocidad del aire, se necesita una cantidad de aire dentro del secador (G_1) que es igual a:

$$9.7 \times 10 \times 60 = 5820 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$\text{o } G_1 = \frac{5820}{24.8} = 234 \text{ lb/min. de aire a una humedad de } 0.10.$$

Esta cantidad de aire debe ser suministrada por un ventilador, cuya selección, debido a que no es asunto de Ingeniería Química, debe ponerse en manos de los manufactureros, quienes especifican el ventilador que ejecute el trabajo eficiente y económicamente.

Calor necesario para la operación de secado:

El calor está dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{\Theta} = G s_o(t_1 - t_o) + S C_s(T_1 - T_o) + S(W_o - W_1) (T_m - T_o) + S(W_o - W_1) r_{T_m} + S W_1(T_1 - T_o) + S(W_o - W_1) (t_1 - T_m) \times 0.48 + \text{pérdidas}$$

cuyos términos representan:

$\frac{Q}{\Theta}$ calor necesario para la operación de secado.

$G s_o(t_1 - t_o)$ calor sensible necesario para calentar el aire desde su temperatura inicial t_o a la final t_1 .

$S C_s(T_1 - T_o)$ calor sensible necesario para calentar el material desde su temperatura inicial T_o a la final T_1 .

$S(W_o - W_1) (T_m - T_o)$ calor sensible para calentar el agua que se evapora desde la temperatura inicial T_o a la temperatura de vaporización T_m

$S(W_o - W_1) r_{T_m}$ calor para evaporar el agua a la temperatura T_m .

$W_1 S(T_1 - T_o)$ calor sensible para calentar el agua que no se evapora de T_o a T_1 .

$S(W_o - W_1) (t_1 - T_m) \times 0.48$ calor para calentar el agua evaporada desde su temperatura de vaporización T_m hasta la temperatura final del aire t_1 .

pérdidas calor que se pierde por convección y radiación al exterior del secador.

El calor necesario para la operación de secado se divide en dos:

- 1o. el que es necesario suministrar por un precalentador.
- 2o. el que es necesario suministrar por serpentines colocados en el interior del secador.

Calor suministrado por el precalentador:

Es en realidad únicamente el calor necesario para calentar el aire fresco que se introduce al secador, y es:

$$q_1 = G s_o (t_1 - t_o)$$

q_1 = calor necesario en Btu/min

G = cantidad de aire fresco = 13.9 lb/min.

s_o = calor húmedo del aire a la humedad inicial

$H_o = 0.014$; s_o de la carta de humedad = 0.247

Btu/lb y por °F.

$t_1 = 90^\circ\text{C} = 194^\circ\text{F}$

$t_o = 70^\circ\text{F}$

$$q_1 = 13.9 \times 0.247(194 - 70)$$

$$= 426 \text{ Btu/min.}$$

Calor suministrado por el serpentín.

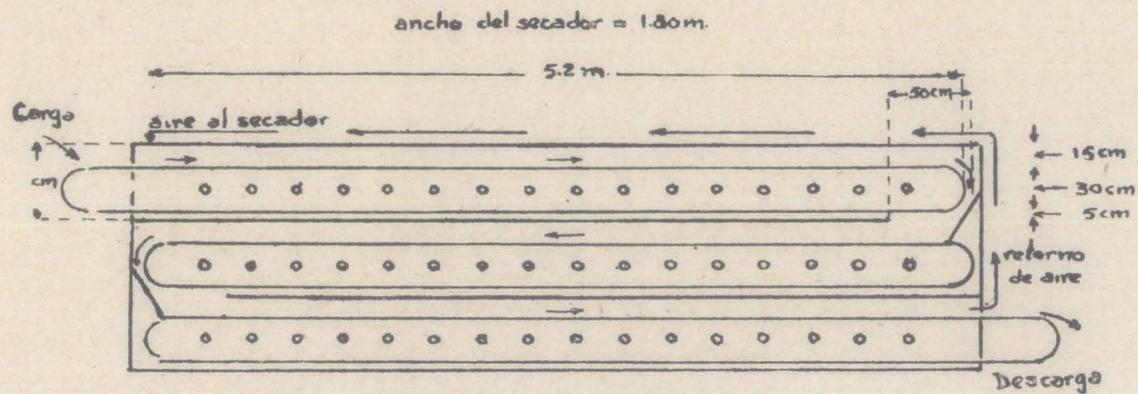
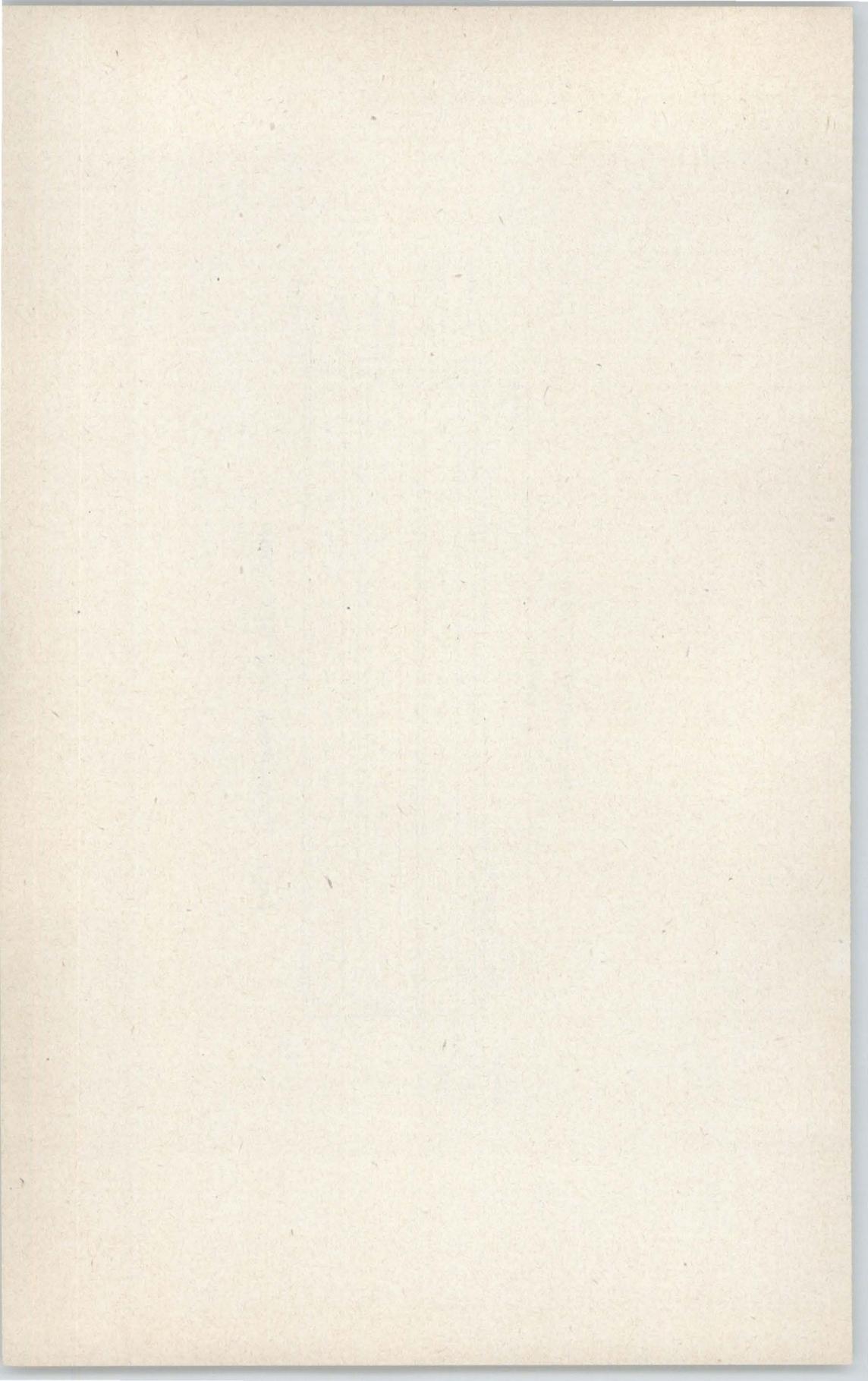


fig 7 ESQUEMA DEL SECADOR.



Es la suma de los demás colores:

$$q_2 = SC_s(T_1 - T_0)$$

S = cantidad de material seco = 3.06 lb/min

C_s = calor específico del material = 0.415 Btu/lb °F

T_0 = 70°F

T_1 = asumida 45°F arriba de la temperatura del bulbo húmedo del aire. De la tabla de la experiencia sexta, se toma la temperatura media del bulbo húmedo: $t_w = 125^\circ\text{F}$.

$T_1 = 125 + 45 = 170^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned} q_2 &= 3.06 \times 0.415 (170 - 70) \\ &= 102 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

$$q_3 = S(W_0 - W_1)r_{Tm}$$

r_{Tm} = calor latente de vaporización a la temperatura T_m considerada aquí igual a t_w . Es igual a 1023 Btu/lb de agua.

$$\begin{aligned} q_3 &= 3.06 \times (.45 - .06) \times 1023 \\ &= 1\,222 \text{ Btu/min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_4 &= S(W_0 - W_1) (T_m - T_0) \\ &= 3.06 (.45 - .06) (125 - 70) \\ &= 65.6 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_5 &= W_1 S (T_1 - T_0) \\ &= 0.06 \times 3.06 (170 - 70) \\ &= 18.4 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_6 &= S(W_0 - W_1) (t_1 - T_m) \times 0.48 \\ &= 39.6 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

q_7 = pérdidas de calor hacia los alrededores que se fijan en un 15% del calor total.

$$\begin{aligned} q_7 &= 0.15 (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7) \\ &= 0.176 (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \\ &= 330 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

$$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 = 1777.6 \text{ Btu/min}$$

$$\frac{Q}{\Theta} = 426 + 102 + 1222 + 65.6 + 18.4 + 39.6 + 330 = 2203.6$$

Btu/min.

En toda operación de secado, sólo el calor de vaporización se le considera como calor útil, de tal manera que la relación de esta cantidad total de calor que se requiere en la operación, nos da la eficiencia de ésta:

$$\text{Eficiencia del secador} = \frac{S(W_o - W_i)r_{Tm}}{\frac{Q}{\Theta}} = \frac{1222}{2203.6} = 55.6\%$$

CALCULO DEL PRECALENTADOR.

Dentro del secador se deben tener circulando 234 lb/min., de las cuales se están cambiando 13.9 lb/min de aire humedecido, por la misma cantidad de aire fresco. Las 13.9 lb/min de aire fresco se supone que se admiten en la sección de succión del ventilador, de tal manera que al precalentador, que asimismo supongo colocado después del ventilador, llega un aire que está a la temperatura resultante de la mezcla de las 13.9 lb/min de aire fresco y de las 220.1 lb/min que se recirculan.

Asumiendo una temperatura del aire que se recircula de 180°F, se tiene la siguiente temperatura media:

$$\begin{array}{r} 220.1 \times 180 = 39600 \\ 13.9 \times 70 = \quad 973 \\ \hline 40573 \\ \hline \frac{40573}{234} = 174^{\circ}\text{F} \end{array}$$

El precalentador más conveniente es el que resulta de los valores más económicos determinados para la velocidad a que circula el aire dentro del precalentador y para los diámetros de los tubos que se usen.

Tales valores se determinan mediante un balance económico. Dos razones tuve para no intentar hacer dicho balance: primera, el tiempo que dispuse para terminar la tesis no permitió ocuparme de él; segunda, habiendo dicho que el secador diseñado no es el más conveniente, resultaría vano intentar el cálculo del precalentador más económico; además, dada la situación actual, podría suceder que el calentador calculado como el más económico, dejara de serlo más tarde.

Debido a lo anterior, opté por escoger valores que en la práctica resultan estar entre los más convenientes, y que son: 10 ft/seg de velocidad del aire dentro del precalentador, y 1½ pulgadas de diámetro de los tubos.

Para calentar el aire se cuenta con vapor a 200 lb/pulg. cuad. manométricas, al que corresponde una temperatura de 387°F.

Con estas condiciones, el cálculo del precalentador se reduce al cálculo del área de calentamiento de la ecuación de transmisión de calor aplicado a este caso:

$$q = U A (T-t)_m$$

en la que:

$$q = \text{cantidad de calor transmitida por hora} = 426 \times 60 = 25\ 600 \text{ Btu/hr.}$$

$(T-t)_m$ = diferencia media de temperaturas entre el fluido que calienta y el fluido calentado. En este caso, se puede tomar la medida aritmética, ya que:

$$\frac{387 - 174}{387 - 194} = \frac{213}{193} = 1.1 \text{ menor que } 2.$$

$$(T-t)_m = \frac{213 + 193}{2} = 203$$

A = área de calentamiento.

U = coeficiente total de transmisión de calor, que en este caso asumimos igual al coeficiente de transmisión de calor de la película del aire **h**.

Para la determinación del valor del coeficiente h, me valgo de la curva JK de la fig. de Walker que se aplica para calentadores con tubos en tres bolillo. En la figura están graficados los siguientes grupos:

$$\frac{h}{C_p G_{\max}} \left(\frac{C_p \mu_r}{k_f} \right)^{2/3} = Y$$

$$\frac{D G_{\max}}{\mu_r} = X$$

en los que:

$$D = \text{diámetro exterior de los tubos en ft} = 0.158 \text{ ft}$$

h = coeficiente de transmisión de calor de la película del aire en Btu/hr ft² °F, y cuyo valor se va a determinar.

C_p = calor específico del aire entre las temperaturas 194°F y 174°F ($t_m = 184^\circ\text{F}$) para aire húmedo a una humedad promedio:

$$\begin{aligned} \frac{220.7 \times 0.10}{13.9 \times 0.014} &= \frac{22.01}{.195} \\ &= \frac{22.205}{22.205} \\ H_m &= \frac{22.205}{234} = 0.095 \end{aligned}$$

$$C_p = 0.283 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

G_{\max} = velocidad masa del aire a través de la mínima sección libre que resulta entre los tubos y que es normal al flujo del aire, en lb/hr. ft².

La sección mínima del precalentador resulta ser igual a la sección del secador, ya que se tiene en ambos igual velocidad de aire de 10 ft/seg. La sección es: 9.7 ft².

$$G_{\max} = \frac{234 \times 60}{9.7} = 1450 \text{ lb/hr ft}^2$$

μ_r = viscosidad del aire en la película entre las temperaturas 387°F y 174°F ($t_m = 280^\circ\text{F}$) en lb/hr ft.

$$\mu_r = 0.023 \times 2.42 = 0.0558 \text{ lb/hr ft.}$$

k_r = conductividad térmica del aire de la película a la temperatura media aritmética de 387°F y 174°F, en Btu/hr. ft² (°F ft.).

De las tablas se tiene k_o (a 0°C) = 0.0129, y para corregir por la temperatura se tiene:

$$k_r = k_o \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{273} \right)^{1/2}$$

C = constante de Sutherland = 125.

T = temperatura del aire en °C absolutos.

$$280^\circ\text{F} = 138^\circ\text{C} = 138 + 273 = 411^\circ\text{C abs.}$$

$$k_r = 0.0171$$

Sustituyendo los valores encontrados, se tiene:

$$X = \frac{D G_{\max}}{\mu_r} = \frac{0.158 \times 1450}{0.0558} = 4130$$

$$Y = \frac{h}{0.283 \times 1450} \left(\frac{0.283 \times 0.0558}{0.0171} \right)^{2/3} = 0.00231 h$$

De la curva JK se encuentra que para:

$$X = 4130 \quad Y = 0.012$$

$$h = \frac{0.012}{0.00231} = 5.2 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Area del precalentador:

$$A = \frac{q}{h (T-t)_m} = \frac{25600}{5.2 \times 203} = 24.3 \text{ ft}^2$$

Longitud total (L_T) de tubos:

$$\text{Circunferencia de los tubos} = 3.14 \times 0.158 = 0.496 \text{ ft.}$$

$$L_T = \frac{24.3}{.496} = 49 \text{ ft.}$$

CALCULO DEL SERPENTIN.

Para el serpentín pueden usarse tubos también de $1\frac{1}{2}$ pulgadas. Se dispone asimismo, de vapor a 200 lb/pulg. cuad. manométricas

Determinación del coeficiente de transmisión de calor (h).

Si los tubos del serpentín se colocan a lo ancho del secador, de tal manera que el aire fluya normalmente a ellos, se puede aplicar la siguiente fórmula que da el valor de h, en el caso de aire fluyendo a un ángulo recto a un cilindro calentado:

$$\frac{h_m D_o}{k_r} = 0.45 + 0.33 \left(\frac{D_o G}{\mu_r} \right)^{0.56}$$

D_o = diámetro exterior en ft. = 0.158 ft.

k_r = conductividad térmica del aire considerada entre las temperaturas 387°F y 180°F asumida para el aire dentro del secador. Esta temperatura la asumo más baja de lo que es, con

objeto de tener un valor más bajo de h y por lo tanto de más seguridad.

$$k_r(284^\circ\text{F}) = 0.017 \text{ Btu/hr ft}^2 (\text{ }^\circ\text{F ft}),$$

$$G = 1\,450 \text{ lb/hr ft}^2$$

μ_r = viscosidad del aire entre las mismas temperaturas asumidas para k_r .

$$\mu_r = 0.023 \times 2.42 = 0.0558 \text{ lb/hr ft.}$$

Sustituyendo se encuentra: $h = 3.81$

$$A = \frac{q}{h (T-t)_m}$$

$$q = 1\,777.6 \times 60 = 106\,000 \text{ Btu/hr.}$$

$(T-t)_m$ = diferencia media (en este caso aritmética) de temperaturas del vapor y del aire:

$$387 - \frac{104 + 180}{2} = 200$$

$$A = \frac{106\,000}{3.81 \times 200} = 135 \text{ ft}^2$$

Número de tubos:

$$\text{circunferencia} = 0.496 \text{ ft.}$$

$$\text{longitud total} = \frac{135}{0.496} = 272 \text{ ft.}$$

siendo el ancho del secador = 1.80 m. = 5.9 ft.

$$\text{número de tubos} = \frac{272}{5.9} = 46$$

Como son 3 secciones en el secador, se pondrán 16 tubos en cada una y separados:

$$\frac{5.9}{16} = 0.33 \text{ m.}$$

Con esto queda terminado el cálculo del secador, sólo resta mencionar la forma como se debe disponer la circulación del aire, y la forma como se alimenta el secador con el material.

Circulación del aire. Debe ser paralelamente al material, para lo

cual el aire entrará por una abertura situada a un lado del extremo de carga del secador, con objeto de que se distribuya uniformemente arriba y abajo de la banda; y saldrá por el extremo de descarga. El retorno lo hará a través de un conducto situado en este mismo extremo y que abarque toda la sección del secador, para continuar a través de otro conducto, de sección cuadrangular, que termine en la entrada del ventilador. Del ventilador pasará al precalentador, y de éste nuevamente al secador por la abertura mencionada.

Alimentación. Se puede efectuar mediante un alimentador de "sacudimiento" calculado para una capacidad tal, que alimente la banda con material a un espesor de 1 cm.

Este tipo de alimentador consiste en una lámina inclinada, situada debajo de la tolva, y a un ángulo tal, para que el material no resbale cuando la lámina esté estacionada. Mediante un dispositivo de agitación, que puede consistir en una o varias varillas conectadas por un extremo a la lámina, y por el otro al eje de una polea excéntrica, se hace avanzar al material hasta el extremo de la lámina, de donde pasa a la banda del secador.

Queda por proyectar a la caldera que se necesita en la planta, y lo necesario para la subestación de misma.

Proyecto de la Caldera.

El calor que tiene que suministrar la caldera es la suma de los calores requeridos en el devulcanizador y en el secador.

Calor requerido en el devulcanizador:

La carga tiene que calentarse desde 70°F hasta aproximadamente 387°F. Aplicando la ecuación:

$$Q = WC_p(T-t)$$

Q = calor sensible para calentar la carga.

W = peso de la carga = 16 360 lb.

C_p = calor específico medio de la carga = 0.72

T = 387°F

t = 70°F

$$Q = 16\,360 \times 0.72(387 - 70) = 3\,730\,000 \text{ Btu.}$$

El tiempo requerido por la carga para calentarse hasta 387°F es de 6 horas.

$$\frac{Q}{\theta} = \frac{3\ 730\ 000}{6} = 621\ 000 \text{ Btu/hr.}$$

Estimando que en el devulcanizador y tuberías se tiene una pérdida de calor por radiación igual al 10% del calor sensible necesario para calentar la carga, resulta que:

$621\ 000 + 62\ 100 = 683\ 100$ Btu/hr. se requieren en el devulcanizador.

Calor necesario en el secador:

Se encontró ser de 2 203.6 Btu/min. igual en números redondos a 2 500 Btu/min. ó 150 000 Btu/hr.

Calor utilizado en las operaciones de devulcanización y secado = $683\ 100 + 150\ 000 = 833\ 100$ Btu/hr.

Este calor es obtenido a expensas del calor latente del vapor que está a la presión de 200 lb/pulg².

A esta presión se tienen los siguientes calores:

Calor total del vapor = 1 199 Btu/lb vapor

Calor latente del vapor = 837 Btu/lb vapor

Además, el contenido de calor del agua a 70°F es de 38 Btu/lb

Calor necesario para producir una libra de vapor:

$$1199 - 38 = 1\ 161 \text{ Btu/hr.}$$

Calor que tiene que suministrar la caldera:

$$833\ 100 \times \frac{1\ 161}{837} = 1\ 225\ 000 \text{ Btu/hr.}$$

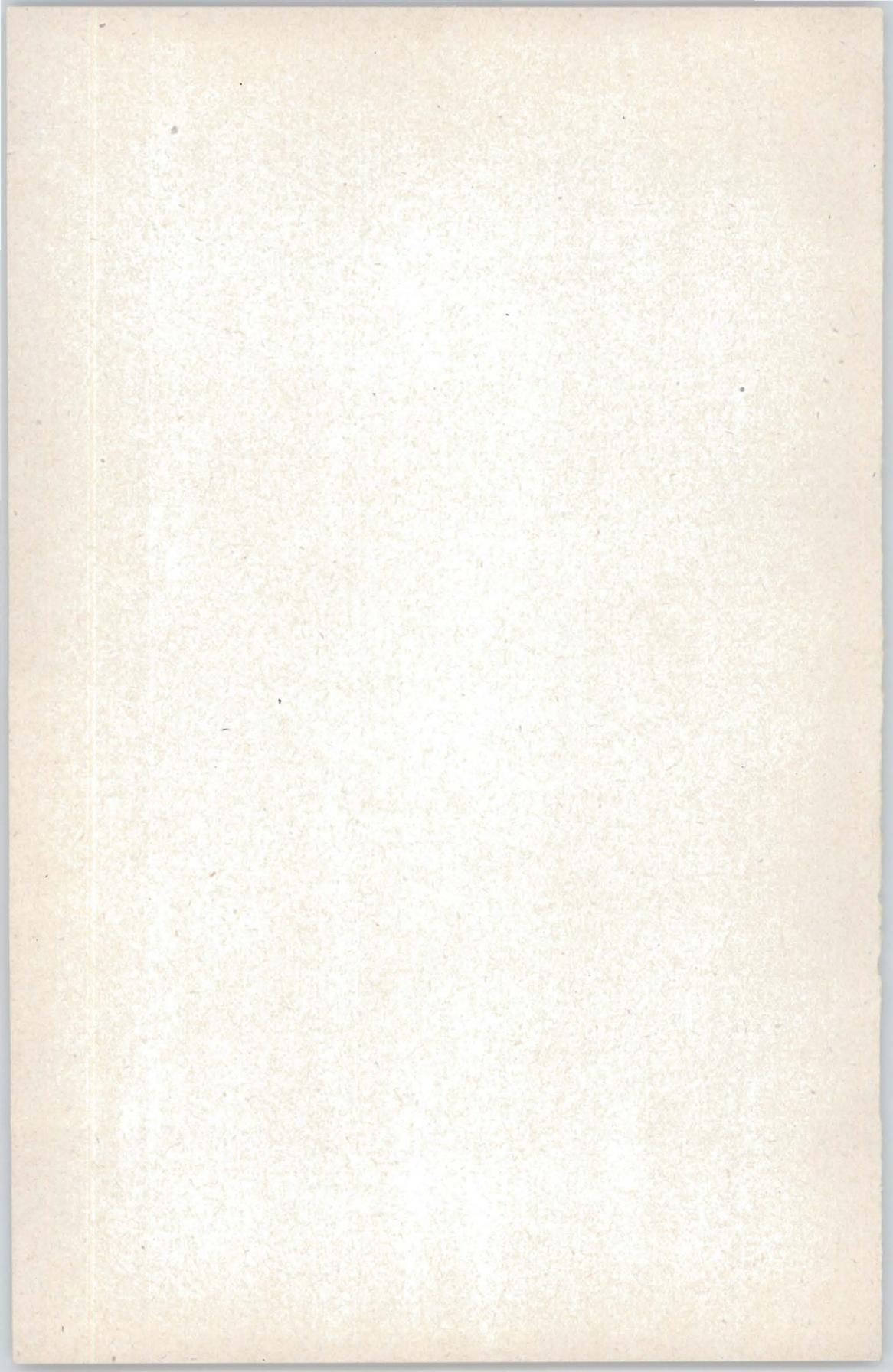
Potencia de la caldera:

$$\frac{1\ 225\ 000}{33\ 500} = 35 \text{ HP.}$$

La caldera necesita de un depósito de petróleo con su bomba. El depósito de agua para la caldera no lo incluyo entre el equipo para ella. debido a que considero aparte, un depósito general para el abastecimiento de agua de la planta. Pero en cambio, necesita de una bomba con su motor, para bombear el agua que se evapora.

La planta requiere un depósito para almacenar el agua requerida en cuatro horas de trabajo y que es de 62 000 litros. Además, una bomba con su motor.

La sub-estación requiere: Un transformador de 700 KVA para transformar corriente alterna de 6 000 Volts a 220 Volts; interruptor de aceite y un switch.



c) COSTO DEL EQUIPO.

Estando en los presentes días los precios de cualquier clase de maquinaria sujetos a cambios imprevistos, presento la siguiente lista de precios de las máquinas, unidades y motores necesarios en la planta de regeneración de hule. No pretendo que sean exactos, sino más bien, quiero dar una idea del costo del equipo que se requiere en esta industria.

De acuerdo con el orden de las operaciones, se tiene:

Descejado:

Máquina descejadora con motor de 5 HP. \$ 5 000.00

Tajadura:

Máquinaria tajadora con motor de 60 HP. 7 100.00

Trituración:

Molino triturador 6 000.00

Motor 105 HP. 4 350 00

Cernido y transporte:

Cernidor, transportadores de banda, motores, polea magnética, monorriel, etc. 6 400.00

Devulcanización:

Devulcanizador y tanque de descarga 13 000.00

Motor 15 HP. 875.00

Bomba centrífuga 430.00

Motor bomba 800.00

Lavado:

Sistema de lavado total compuesto de ma-
llas, espreas, tanque de sedimentación 2 600.00

Prensado:

Prensa o exprimidor 8 500.00
Motor 32 HP. 1 200.00

Secado:

Secador de aire caliente, con recircula-
ción, calentador, ventilador, motor venti-
lador, motor bandas 9 000.00

Colado:

Máquina coladora 6 700.00
Motor 23-HP. 1 050.00

Refinación y acabado:

2 Molinos refinadores: 49 800.00
2 Motores 110 HP. 9 600.00

Calentador de vapor para la devulcaniza-
ción por el proceso de charolas 3 200.00

Sub-estación:

Transformador 700 KVA 6000/220V C.A.,
interruptor, switch: 11 000.00

Caldera de 35 HP 7 000.00

Bomba y motor para caldera 1 200.00

Depósito petróleo y bomba 2 060.00

Tanque almacenamiento de agua de 62
metros cúbicos de capacidad: 8 800.00

Bomba y motor 2 400.00

TOTAL \$ 168 065.00

BIBLIOGRAFIA

Chemistry and Technology of Rubber.—Carrol C. Davis-John T. Blake.
Editores.

The Vanderbilt Rubber Hand book.—W. C. Russel, editor.

Principles of Chemical Engineering.—Walker, Lewis, McAdams and
Gilliland.

Elements of Chemical Engineering.—Badger and McCabe.

Chemical Engineers Handbook.—John H. Perry. Editor.

Mechanical Engineers Handbook.—Lionel S. Marks. Editor.

India Rubber World.—Enero de 1942.

Literatura de la Cía. Hulera Euzkadi S. A.

FE DE ERRATAS

Página :	Párrafo :	Renglón	Dice :	Debe decir :
11	primero	4o. y 5o.	aprovechamientoto	aprovechamiento.
23	Sub-título		Regenerado se cámaras	Regenerado de cámaras.
51	tercero	2o.	condiicones	condiciones
61	tercero	3o.	V = 10 ft/seg.	H = 0.10 lb vapor etc.
		4o.	H = 0.10 lb vapor etc.	V = 10 ft/seg.
61	cuarto	3o.	a través	a lo largo.
63	tercero	3o.	espcifican	especifican
67		28o.	$q_r = 0.15 (q_1 + \dots + q_r)$	$q_r = 0.15 (q_1 + \dots + q_r)$
68	primero	2o.	la relación de esta cantidad total de calor	la relación de esta cantidad de calor a la cantidad total de calor.
69	primero	3o.	aplicado	aplicada
69	cuarto	2o.	de la fig. de Walker	de la fig. 40 del Walker
70	ecuación		$k_r = \dots \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2}$	$k_r = \dots \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2}$
71	sexto	3o.	fluyendo a un ángulo	fluyendo en ángulo
72	operación		$387 - \frac{104 + 180}{2} = 200$	$387 - \frac{104 + 180}{2} = 200$

Tesis: **“La Industria del Hule Regenerado”**. Fernando Santín.