

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DESTILACION  
DE  
MADERAS

*TESIS*

DE

SIXTO M. OCHOA G.



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 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.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DESTILACION  
DE  
MADERAS

*TESIS*

DE

SIXTO M. OCHOA



GUADALAJARA, JAL.

AGOSTO DE 1944.

*A mis padres con cariño  
y veneración.*

*A mi querida hermana.*

*Al Sr. Ing. Dn. Alberto Lancaster Jones  
con estimación y agradecimiento.*

*A mis tíos y primos*

*A mis Profesores*

*A mis compañeros*

## P R E A M B U L O

Este modesto trabajo, va encaminado a reunir en lo posible, y seleccionar los mejores sistemas aplicados en el mundo hasta hoy, para la destilación de maderas y sus sub-productos; a más de la experiencia que ha sido posible realizar con los medios de que se dispone, se han tomado o hecho traducciones de tratados especialistas, que ha sido posible conseguir en las bibliotecas de la ciudad de México.

Considero necesario tratar en la parte denominada generalidades, dentro de la que pongo de manifiesto, y en rápida mirada de conjunto, las principales dificultades a vencer, de las que dependen el éxito o fracaso de la industria; fracaso que por lo general se imputa a élla, y no a quien lo ha originado por su falta de estudio o sus errores.

La experiencia y lectura de artículos u obras sobre la materia, nos revelan nuevos métodos de trabajo, que en la generalidad de los casos los industriales reservan siempre para su propio beneficio, pero digámoslo, si ese egoísmo es hasta cierto punto justificado para los industriales, no lo es para mí, que no me considero con derecho a ocultar divulgaciones que creo deben efectuarse para bien del progreso industrial de nuestro país, pues hasta ahora desgraciadamente, los intentos que ha habido para industrializar la destilación de destilación de madera, han sido esporádicos, y sin llegar a ningún resultado práctico, desde el punto de vista de costeabilidad.

En el mencionado capítulo de generalidades, he tratado de concentrar todos los aspectos del problema industrial.

a fin de que rápidamente se pueda tener una idea de plan técnico e industrial, consignando al objeto los planos de la fábrica.

Además de las generalidades, incluiré otros capítulos, que traten: materias primas, diagrama de flujos, separación y purificación de sub-productos, cálculo de equipo, métodos de laboratorio usados en el control de la preparación de productos, y finalmente conclusiones.

## GENERALIDADES

Debido al aumento considerable en el consumo de ácido acético y alcohol metílico en las industrias de colorantes y de productos químicos, éstos productos llegaron a ser el principal objeto de la destilación de maderas. El ácido acético obtenido de la madera, desplazó al de fermentación, que quedó relegado a la fabricación de vinagre para la fabricación de alimentos. Actualmente la síntesis en grande escala de él, y del alcohol metílico, han dejado atrás el beneficio de estos productos, a partir de la destilación, de manera que la obtención del carbón vegetal, vuelve a ser el producto más importante, sin perder de vista los alquitranes, a los que antiguamente no se les concedía casi importancia, y que por ahora, pueden y deben ser base de innumerables industrias, derivadas de los productos de destilación de ellos, y que en un futuro no lejano, darán nacimiento a industrias sintéticas, pues dichos productos abarcan una gran cantidad de cuerpos fácilmente polimerizables; por lo que de la venta del carbón (siendo por ahora el producto más importante), depende el éxito financiero de esta industria; para esta planta que se proyecta construir y que estar a aproximadamente a ciento diez kilómetros de esta ciudad, y contando con una fábrica de la importancia de la de "Carburos, S. A.", los que consumirían la producción total, teniéndose mercado seguro para este producto, por lo que el éxito, sería más fácil.

Además de la economía general de la planta, ya que para esta industria se necesitan grandes cantidades de calor, la economía térmica será uno de los factores más impor-



tantes del proceso, sobre lo que se pueden hacer las siguientes consideraciones: Necesidad de usar gasificadores para combustible, por ser el mejor sistema de calentamiento, pues al ser calentadas las retortas en baño de aire, se da una temperatura interior uniforme y se evita sean destruidas por el contacto prolongado de las llamas, por lo que las ventajas principales serán: Primera. —Regularidad de calefacción con temperatura constante. Segunda. —Regularización de temperatura, desde 600° C. hasta 1000° C, lo que es muy importante desde el punto de vista del rendimiento. Tercera. —Una vez regulados los hornos, no se tiene necesidad de una sobrevigilancia durante la carbonización, y si acaso únicamente sobre el gasógeno. Cuarta. —Economía de combustible al fijarse la temperatura de operación. Quinta. —Conservación de las partes metálicas, porque la temperatura a que están expuestas, es más constante, y no sufrirán los golpes de fuego. Sexta. —Permitir regularizar los quemadores de gas, de manera que pueda detenerse su funcionamiento parcialmente en la descarga y carga de las retortas, economizando combustible.

Además será necesario proveer de una instalación para la combustión de los gases incondensables que se obtienen en la destilación en cantidad aproximadamente de cuatro metros cúbicos por tonelada destilada por hora, a partir de la cuarta hora de operación, pues en las primeras se destila únicamente agua, siendo el gasto de combustible reducido considerablemente, pues teóricamente deberá emplearse aproximadamente un diez por ciento del material destilado. También se economiza bastante si la madera es previamente secada, utilizando para tal fin el calor perdido por los hornos, extrayendo por evaporación un 35% del agua que contiene, y es tanto más necesario cuanto menor sea el poder económico de la empresa que por dicha causa no puede dejar estancado un capital de que a veces no dispone, durante casi dos años, que es el tiempo necesario para que la leña esté completamente seca, descortezada y a la intemperie así mismo la instalación de recuperadores de calor es indis-

pensable, para poder, no solamente secar la leña, sino también para calentar el aire necesario para la combustión, pues los gases de chimenea salen aproximadamente de 450° C a 500° C.

El gas de los gasógenos, en otros países, generalmente es producido por carbón de piedra, pero aquí aparte de la dificultad de ser escaso, como la planta se proyecta ponerla en el monte, y con la dificultad y costo de los fletes, saldría bastante caro, además, parece un contrasentido, que teniendo gran desperdicio de corteza, aserrín y astillas de madera, las cuales se producen en el aserradero en abundancia, y son un estorbo debiendo en ocasiones de quemarse por presentar un peligro constante para iniciar incendios, se pueda necesitar recurrir a un gasógeno a carbón para cubrir las necesidades de combustible; sin embargo, puede estarse seguro, que una planta de gasógenos, produce economía de combustible, importante, tanto que ella misma puede amortizar en poco tiempo los gastos que ocasionaría su instalación. Además, si la cantidad de desechos fuera suficiente para alimentar otra batería de ellos, sería conveniente hacerlo para motores movidos a gas, para generar fuerza motriz o alumbrado en forma económica. El poder calorífico del gas así generado, sería de mil doscientas a mil quinientas calorías por metro cúbico, previa mezcla de combustible con polvo de carbón, del que se tiene gran cantidad como desecho en las plantas.

En resumen son cosas indispensables para la economía de las plantas:

Primero.— Un secador para leña antes de destilarse, utilizando para este fin el calor perdido de las retortas.

Segundo.— Un recuperador de calor que sirva para calentar el aire y los gases incondensables que salen de los aparatos de destilación.

Tercero.— Un sistema de calefacción a gas, bien estudiado y adaptado, y con fácil regulación para calentamiento de las retortas.

Cuarto.— Una batería de gasógenos que pueda proporcionar la cantidad de calor necesaria (que junto con los

gases incondensables se usará como combustible para la destilación completa de la madera).

Los gasógenos deberán ser instalados muy cerca de los hornos de la retorta, a fin de enviar a éstos, el gas lo más caliente que sea posible; de lo contrario perderían éstos una gran parte de sus ventajas en la calefacción.

os-  
de  
ás  
na

## MATERIA PRIMA

Como materia prima se usan todas las partes de los árboles y arbustos, especialmente troncos y ramas que en la vida común y en la industria se conocen por leña. Casi todas las especies de leña tienen empleo para la destilación, escogiéndose las diversas clases según su abundancia y el producto a obtener, que sea más valioso: como en nuestro caso, según lo expuesto lo es el carbón, consideramos el encino (*Quercus Ilex*), y el roble (*Quercus Pedunculata*), como objeto de nuestro trabajo, siendo la diversidad de leñas debido a la estructura anatómica de su tejido celular, y a la composición diferente de los elementos de la savia.

Según sea el estado compacto de dicho tejido, el peso específico de ella, y el grado de resistencia al trabajo mecánico, se distinguen dos clases de leñas: duras y blandas, así como también por su follaje, siendo hojas anchas para las primeras y aciculares o aleznadas las segundas. Además, los productos de destilación de las duras, se encuentran solamente en el tejido celular, y en las blandas tanto en éste como en las hojas.

Los rendimientos en productos químicos dependen en lo absoluto del estado de sequedad de la leña, mientras más sea, más se aproxima dicho rendimiento a la línea teórica, que dan las tablas experimentales, y además, los dispositivos mecánicos que se emplean, tanto para la destilación como para la refrigeración de los productos, juegan un papel muy importante; pues si es fácil controlar todos estos elementos en una experiencia de laboratorio o de una pequeña

instalación de cincuenta a cien kilogramos de capacidad, es absolutamente incomparable la diferencia frente a una instalación que trate de diez a veinte toneladas diarias y permanentemente, es decir, durante todo el año, en que las dificultades y el uso de los aparatos, van reclamando cuidados especiales para evitar las pérdidas en rendimiento efectivo de productos, y que aumentan diariamente; por lo que al examinar tablas como las mencionadas, deberá tenerse en cuenta estos factores para evitar concepciones fantásticas que conducirían al fracaso.

Anatomía de la leña.— Si examinamos de cerca los caracteres externos de un árbol derribado, notamos sobre la sección transversal, las siguientes capas:

En el centro se encuentra la médula, formada por tejido celular fofo, que al agotarse produce las oquedades características de los árboles viejos, y que está rodeada por un cuerpo leñoso, interrumpido solamente por los rayos medulares, y que tiene su origen en la actividad del tejido generador o cambium que se encuentra ubicado entre la madera y el liber; siendo su objeto aumentar el espesor anualmente del cuerpo leñoso colocado a su vez entre la médula y el citado liber; está compuesto de tráqueas, fibras leñosas, parénquima leñosa, y rayos medulares. Dicho cambium no produce de una manera regular las formaciones leñosas, pues los elementos de la madera que se constituyen por la precipitación de los geles conducidos por la savia, y siendo élla más abundante durante la estación de lluvias, en esta época dichas capas serán mayores que en la de secas. Este crecimiento periódico se marca perfectamente en la sección transversal de la madera, bajo la forma denominada capas anuales, las que resultan de cambio brusco de naturaleza de élla, según la estación del año, difiriendo además su espesor debido a la especie, edad y naturaleza del terreno, etc. Las maderas o leñas con capas anuales gruesas, son menos compactas que las de capas delgadas, dependiendo su color de su grado de dureza, o sea por lo general son más oscuras las duras; además, el tronco lo es más que las ramas porque los órganos de él tienen menos

vitalidad, y la acumulación y conducción de materias han disminuido.

El cuerpo leñoso está limitado exteriormente por la epidermis, denominada comunmente corteza, que sirve de envoltura protectora al tronco en vías de desarrollo; entre esta capa y el cambium, se encuentra otra capa de tejido netamente caracterizado anatómicamente, o sea el liber, formado de largas fibras celulósicas, flexibles, usadas industrialmente. La epidermis se compone de la capa suberosa y de un tejido generador, que crece incesantemente, teniendo por objeto detener la afluencia de agua, impedir los cambios bruscos de temperatura dentro del vegetal, y da origen a la masa de tejidos desecado, denominando corteza externa; según el grado de desenvolvimiento de dicho tejido suberoso, los troncos ofrecen diversos tipos de cortezas, lisas, o tejido suberoso delgado (ejemplo el guayabo) o espesa y desquebrajada (ejemplo, el alcornoque).

En general la leña se compone de tres constituyentes principales: La fibra, los extractivos y el agua.

La fibra está constituida de lignocelulosa, la cual no difiere marcadamente en las diferentes especies, excepto en las dos principales divisiones de maderas duras y blandas.

Los extractivos son las substancias solubles en solventes neutros, y pueden consistir: en gomas, resinas, taninos, aceites volátiles, carbo-hidratos o materias colorantes; siendo debido a ellos la mayoría de las principales diferencias en la madera, tales como color y olor, pero la diferencia en densidad podrá deberse a ellos o a la estructura física de las fibras.

El agua es siempre un constitutivo natural de las maderas y está presente en la mayoría de ellas, aún después que han sido extraídas por cualquier método ordinario; no es importante químicamente excepto que es muy variable y la cantidad de ella deberá ser conocida para determinar la cantidad de madera seca que haya en una muestra cualquiera, esto es evidente, pero es un punto frecuentemente olvidado en trabajos industriales y experimentales con ella. Comúnmente se presenta en dos formas: Agua que se encuentra entre las fibras (de interposición), y agua absorbida por la lignocelulosa o de

absorción. La primera actúa como cualquiera otra agua libre y puede ser evaporada por aire no saturado, hasta ser removida totalmente, mientras que la segunda, que ha sufrido una disminución en su presión de vapor, solamente podrá serlo hasta un punto en el que exista un equilibrio entre ella, la temperatura, y la humedad del aire con el que esté en contacto. Esta relación de equilibrio entre la humedad de la madera y la humedad en el aire, es mostrada en la figura adjunta.

La línea de división entre estos constituyentes principales de la madera, es algunas veces difícil de distinguir, como por ejemplo, cuando una cierta goma es un compuesto fácilmente hidrolizable de la lignocelulosa, o cuando es un extractivo, no siendo así, la de división entre el agua y la fibra, que usualmente es tratada a 105° C; aunque a mayores temperaturas pequeñas cantidades de agua pueden ser arrastradas, las cuales podrán no ser estrictamente agua de absorción.

Análisis y composición.— Diversos métodos de análisis han sido hasta hoy usados para determinar cuantitativamente los varios componentes en la madera, y también varios grupos químicos o radicales, los cuales existen agregados a la lignocelulosa; comúnmente dichos componentes no son totalmente identificados y separados, de manera que los resultados no pueden ser aditivos. Algunos de los componentes son muy indefinidos en composición, y algunos son meramente constantes químicos de la lignocelulosa o de la madera total; pero si los métodos por los cuales son determinadas se especifican en detalle. Muy amplias variaciones pueden ser obtenidas por pequeñas modificaciones del método de análisis o de preparación de las muestras, de modo que los resultados obtenidos por distintos analistas, usualmente no pueden ser comparados pues se podrá determinar, que en una cierta especie de madera habrá 65% de celulosa, y otros encontrarán solamente 55%; ésto podrá no ser debido a fallas de los métodos o falta de cuidado, sino solamente a los hechos asentados arriba; hay también una variación en la composición de la madera en los

diferentes árboles de la misma especie, y en las diferentes partes del mismo árbol, así como la composición media de una especie puede no ser exacta si no se tiene debido cuidado de muestreo.

Ya que estos hechos y análisis químicos de la madera han sido iniciados y verificados por los "Forest Products Laboratory" hace algún tiempo, se ha decidido, que los resultados podrían ser tan verdaderos comparativamente para las diferentes especies, como era posible con un número razonable de análisis y seleccionando las muestras con cuidado y con el empleo de los mismos métodos analíticos sin modificaciones, los que han sido adoptados universalmente.

Un resultado típico de un análisis de esta índole, es el siguiente:

	<b>Encino.</b> <b>(Q. Ilex.)</b>	<b>Pino.</b> <b>(P. Leiophilla.)</b>
Cenizas.	0.8 %	0.46 %
Solubles en agua fría.	4.06 %	4.09 %
Solubles en agua caliente.	5.64 %	5.05 %
Solubles en éter.	0.83 %	8.52 %
Solubles en sosa, 1 o/o.	24.02 %	20.30 %
Acido acético.	5.23 %	1.09 %
Metoxyl (CH <sub>3</sub> O).	5.7 %	4.49 %
Pentosanas.	19.5 %	7.35 %
Celulosa.	59. %	57.4 %
Lignina.	24.8 %	26.6 %

Estos resultados están obtenidos de la manera siguiente (y calculados en porcentaje sobre madera seca a 105° C.):

Los solubles en agua fría, caliente y éter, son determinados por maceración, el primero durante diez horas; los otros dos por tratamiento en caliente con refrigerante en reflujo durante ocho horas, después secando las muestras, hasta peso constante. Juntos los tres determinan la casi totalidad de los extractivos, incluyendo los dos primeros las gomas y taninos, y el éter, las resinas y aceites volátiles.



Los solubles en sosa 1%, se determinan macerando cuatro horas en frío, con aproximadamente tres veces el peso de la madera, después calentando a 85° C y digiriendo a esa temperatura, tres horas, y por último desecando hasta peso constante. Estos solubles incluyen la mayoría de los extractivos, así como una parte de las pentosanas y ciertas porciones de la lignina, que no están completamente identificadas.

El ácido acético es determinado por hidrólisis; es el porcentaje de ácido volátil total (calculado como acético), obtenido hirviendo la madera cinco horas con una solución de ácido sulfúrico al dos por ciento (este ácido volátil total contiene generalmente una pequeña porción de ácido fórmico que no fué determinado).

El grupo metoxil, es determinado tratando la madera con ácido yodihídrico, o más bien siguiendo el presente método: Se pone en un matraz provisto de refrigerante de reflujo, bastante largo, en el que se encuentra aserrín o viruta fina, treinta gramos de PI3 de triyoduro de fósforo, y cincuenta centímetros cúbicos de agua. Se deja digerir durante dos horas, teniéndolo bien tapado, y después se destila en baño maría el yoduro etílico formado, el cual se recoge en una probeta graduada con un poco de agua destilada; terminada la destilación, se lava el refrigerante con agua destilada, y se mide a 15° C. cuantos centímetros cúbicos de yoduro se han recogido bajo del agua, y sabiendo que por cada centímetro cúbico de alcohol se producen 1.000 c.c. de yoduro, con lo que se puede calcular el porcentaje de metóxil presente, o bien se puede determinar la cantidad de yodo por cualquier de los métodos comunmente usados de yodometría.

Las pentosanas (que es la forma común de presentarse las pentosas y de las que provienen por hidrólisis ácida), se cuantéan destilado en un matraz, con tapón bihoradado, la madera, al cual va entrando el refrigerante y un embudo de llave, tomándose de muestra, unos cinco gramos de aserrín, con cien c.c. HCl, al 12%, calentando en baño de aceite a 160° C. Se destilan aproximadamente 30 c.c. de líquido cada quince minutos, agregando una

cantidad igual de ácido clorhídrico por el embudo de llave, tantas veces como sea necesario, hasta que el destilado no enrojece un papel de tornasol impregnado de una solución de anilina en ácido acético. Al destilado se le agrega un exceso floroglusina (aproximadamente el doble del furfural que se cree se formará), disuelta en ácido clorhídrico al 12%, y el ácido necesario para completar 400 c.c.; se agita, y después se deja en reposo doce horas, recojiéndose el precipitado en filtro tarado, se lava con 150 c.c. de agua, se deseca cuatro horas a 110° C. y se pesa. El peso del furfural (formado por la acción del ácido sobre las pentosanas), se deduce dividiendo el de la masa pesada por un divisor, que varía con dicha masa, y que depende de la cantidad de floroglusina agregada, y que es de 1.82 a 1.931. La cantidad de furfural, multiplicada por 1.84 da el promedio de las pentosanas.

La celulosa es determinada tratando la madera primeramente con una solución al 10% de sosa, hirviendo suavemente durante media hora, se filtra el vacío en un Buchner, se lava con suficiente agua caliente, se seca con aire caliente, después se burbujea a cloro, se vuelve a filtrar a vacío, y lavar con agua caliente, luego se pasa a un vaso de precipitados, y la mezcla se hierve con solución de hiposulfito sódico al dos por ciento (se puede hacer también con SO<sub>2</sub>), añadiendo 3 c.c. de solución de sosa al 10%; se vuelve a filtrar y lavar, hasta que el lavado salga claro, y se repite todo el proceso hasta blanquear por completo la muestra que por último se lava en agua, después con éter, y finalmente con alcohol, secándose primero lentamente, hasta llegar a 105° C., y a peso constante.

La lignina se obtiene con el residuo de tratar la madera con ácido sulfurico al 70%, lavando secando y pesando.

En general, se puede admitir que la composición media aproximada de la madera es:

	<b>C.</b>	<b>H.</b>	<b>O.</b>	<b>N2.</b>	<b>Cenizas.</b>
Maderas duras.	49.59%	6.22%	44.18%	0.76%	0.25%
Maderas blandas.	50.49%	6.25%	43.25%	0.41%	0.19%

Independientemente del N2 y de las cenizas, los tres primeros.

**EFFECTOS DE LA COMPOSICION SOBRE EL DESTILADO.** No hay una relación directa y cuantitativa, entre la composición y el destilado, es decir, los análisis no dan suficiente información sobre los cuales basar los probables rendimientos en productos destilados. Hay, sin embargo, una relación aparente entre algunos de los valores determinados por análisis y la producción de alcohol metílico y acético; deberá naturalmente esperarse que el grupo metóxil será el único que proporcione alcohol metílico, y que el rendimiento de este producto dependerá de la cantidad de él que esté presente en la madera; lo que es verdadero únicamente hasta cierto punto, porque en realidad sólo una pequeña parte forma alcohol al destilarse. Ha sido notado que generalmente las maderas duras tienen mayores valores para este metóxil, que las blandas, así como también que el rendimiento de alcohol es mayor en éstas; empero, la relación que hay entre estos dos factores, es variable para cada clase de madera, siendo aproximadamente el 4% para algunas duras, y el 7% para las blandas, aunque no hay suficientes datos para saber cuando estas relaciones son exactas para todas las especies. Parece ser además, que el alcohol procede en parte de la lignina únicamente, pues destilada la celulosa se obtiene sólo acético y la lignina produce acético y alcohol, siendo mayor el contenido ácido en los destilados de maderas duras.

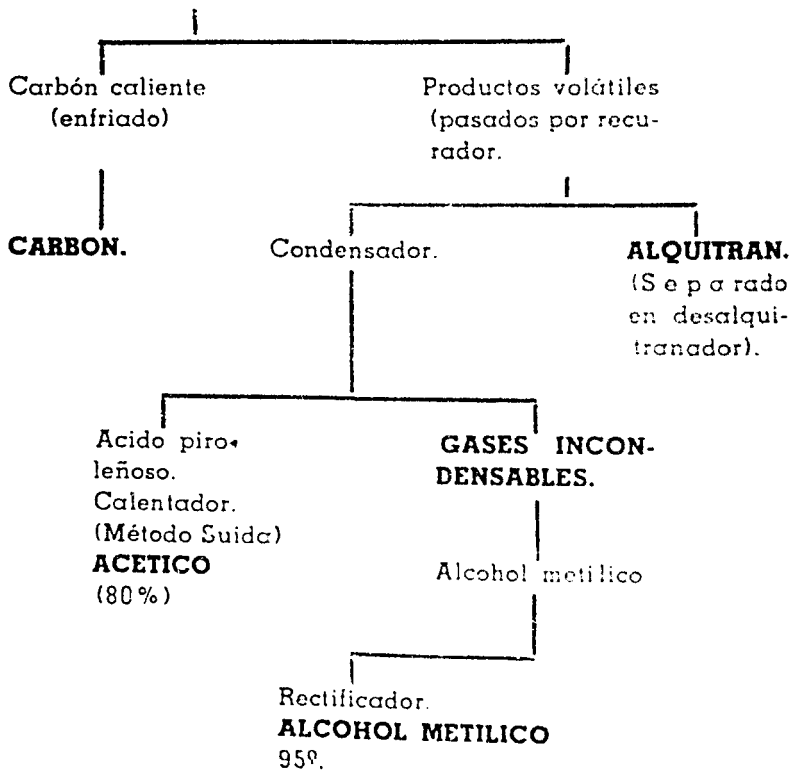
No es conocido suficientemente el efecto que los varios extractivos puedan ejercer en los productos de destilación, excepto en caso de maderas muy resinosas; así como también se ignora el efecto que la mayor cantidad de pentosanas que se encuentran en las maderas duras, pueda ejercer sobre los multicitados productos de destilación.

Por lo expuesto se ve que prácticamente no se puede preveer el resultado y rendimientos de la destilación de maderas, sin llevar a cabo experiencias en una escala más o menos industrial, pues los métodos de laboratorio son aún insuficientes e inseguros para predecir éstos.

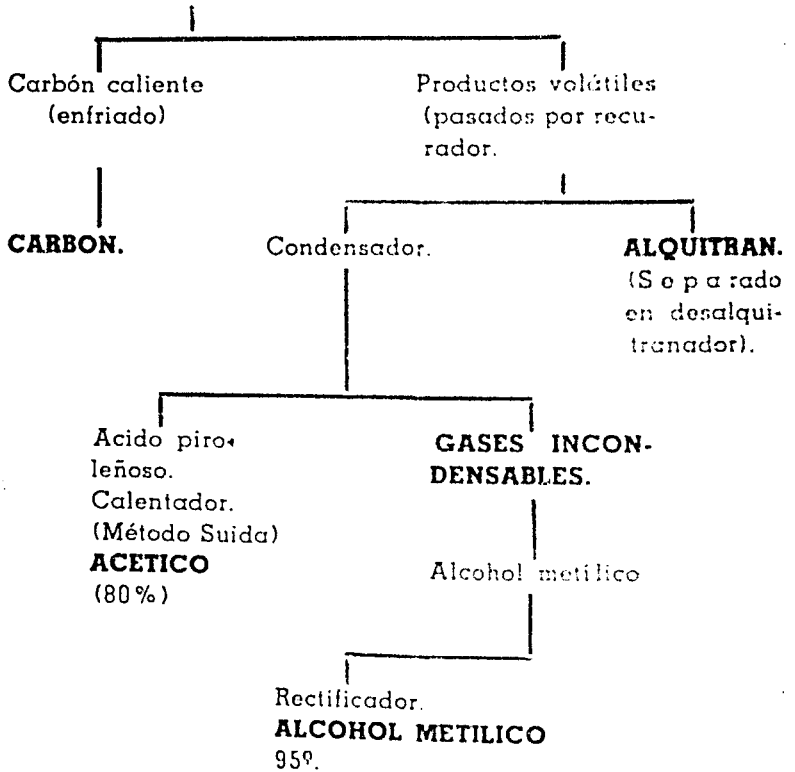
## SINTESIS DEL CALCULO DE LOS ANALISIS PARA LA MADERA DE ENCINO

	HUMEDAD	SOL. AGUA FR.	SOL. AGUA CAL	SOL. ETER	SOL. EN SOSA
Peso inicial	3.0642 gr.	2.6168 gr.	2.7602 gr.	2.4621 gr.	2.5198 gr.
Peso de ma- dera seca	2.8192 „	2.4075 „	2.540 „	2.2651 „	2.2382 „
Peso final	2.8192 „	2.3097 „	2.395 „	2.2465 „	1.7613 „
Diferencia	0.245 „	0.0978 „	0.145 „	0.0186 „	0.5569 „
Porcentaje	7.99%	4.06%	5.64%	0.82%	24.02%
	PESO INICIAL	PESO DE MADERA SECA	PESO FINAL	DIFERENCIA	PORCENTAJE
Acético	2.5551	2.3511	2.146	0.2051x06	5.23%
Celulosa	3.1621	2.9091	1.2218	1.6873	58%
Lignina	3.011	2.7701	2.0831	0.687	24.8%
Yodo	3.4613	3.1844	Yodo total encontrado: 0.3798 que co- rresponde a 0.1815 grs. de $C H_{11} O$ -dando un porcentaje de 5.7%		
Pentosas	8.3176	7.6523	Precipitado encontrado 0.436 grs.:..... 0.436x1.86=0.811 grs. de furfurol x 1.84 = 1.4922 grs. de pentosas = 19.5%		

**DIAGRAMA DE FLUJOS**  
**MADERA.—(DESTILADO EN RETORTAS).**

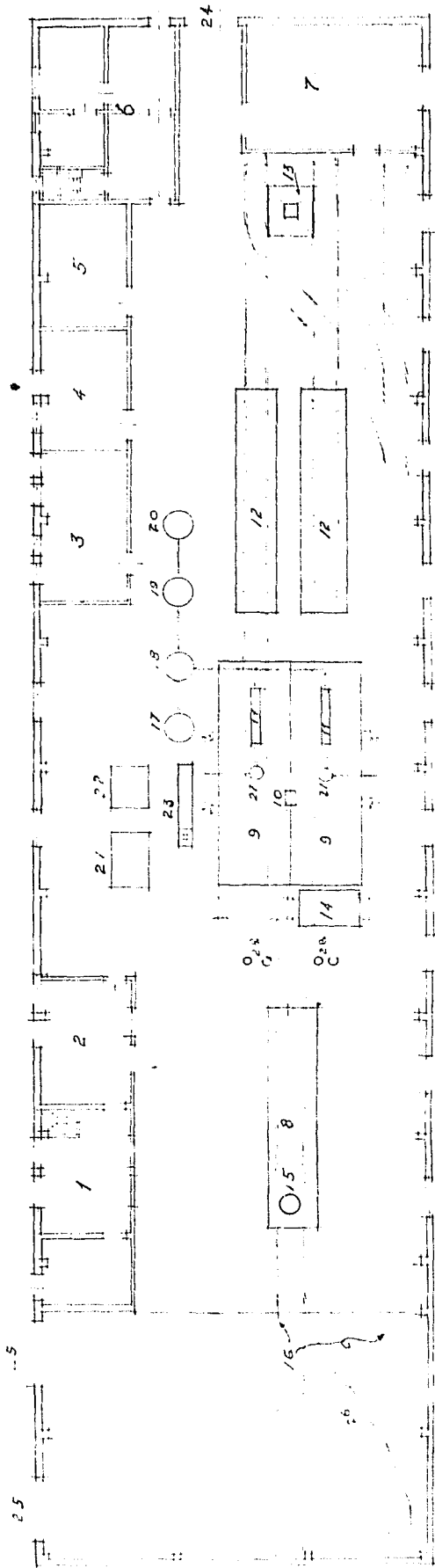


**DIAGRAMA DE FLUJOS**  
**MADERA.—(DESTILADO EN RETORTAS).**



# PLANO DE UNA PLANTA DE DISTILACION DE MADERA

ESCALA 1/200



- |                    |                    |                       |                    |                     |
|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| 1 CUCINA           | 7 RODIGA DE CARBON | 13 TOLVA (MUNICADORA) | 19 COL. DE DISTIL. | 26 VAGONET.         |
| 2 LABORATORIO      | 8 SECADOR          | 14 PLATAFORMA         | 20 SEP. DE ACETICO | 27 DETALQUITEAMFOEA |
| 3 ENVASE           | 9 RETORTAS         | 15 CHIMENIA           | 21 HORNO           | 28 GASOGENOS        |
| 4 BODEGA DE ENL. E | 10 VENTILADOR      | 16 VIAS 96 CM         | 22 BRIGUETEADORA   |                     |
| 5 BODEGA DE PRODS. | 11 CONDENSADOR     | 17 RECT. DE ALCOHOL   | 23 MECLADORA       |                     |
| 6 CASA DEL GUARDA  | 12 ENTRIADORES     | 18 CALENTADOR         | 24 Y 25 ENTRIADAS  |                     |

## CALCULO DEL EQUIPO

Combustible para las retortas.— Como se ignoran diversas partidas de calor, tales como calorías perdidas en gases, calor necesario para descomponer la madera, etc., y no siendo posible determinarlas, para calcular el combustible nos atendremos a los datos que se encontraron ("Destilación de leña y sus derivados", por Juan A. Yantorno), o sea que para cada tonelada de leña destilada, se gastan aproximadamente ciento veinte kilogramos de hulla, o sea para las cinco toneladas que se destilarán diariamente, seiscientos kilogramos; cuyo poder calorífico es de 14,000 B. T.U./lbs., o sean:

$14,000/1.8 = 7778$  Kcal/Kgm., (Kcal-Kgm. = 1.8 B. T. U. /lbs). y siendo 600 kilogramos de hulla los quemados diariamente, tendremos:

$7778 \times 600 = 4'666,800$  Kcal; que como ya se dijo, deberán ser proporcionadas por:

a) Gases incondensables que se producen cuatro metros cúbicos por tonelada por hora, y se comienzan a desprender a las cuatro horas de iniciada la destilación.

b) Gases del gasógeno, resultantes del tratamiento de aserrín, cortezas y astillas de madera.

Gases incondensables.— Se tienen diariamente. . . .  
 $4 \times 5 \times 20 = 400$  M3 (suponiendo que la destilación dure veinticuatro horas, cuyo análisis es:

CO 33%

CO 59%

H 3%

Hidrocarburos 3.5% (como CH<sub>4</sub>)

Acido Piroleñoso 1.5% (como acético)

(Base seca en volúmen)

Por lo tanto, en los 400 M3 habrá:

CO  $33 \times 4 = 132$  M3.

CO<sub>2</sub>  $59 \times 4 = 236$  ..

CH<sub>4</sub>  $3.5 \times 4 = 14$  ..

H<sub>2</sub>  $3 \times 4 = 12$  ..

Acético  $1.5 \times 4 = 6$  ..



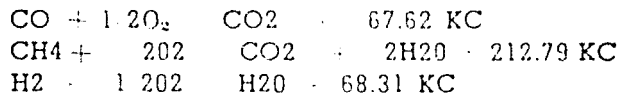
Estos volúmenes de gases son medidos a veinticinco grados centígrados y 760 Mm. Por lo que a condiciones standard ocuparán:

CO	132 x 273.298	120.94	M3.
CO2	236 x 273.298	216.20	..
CH4	14 x 273.298	12.83	..
H2	12 x 273.298	10.99	..
Acético	6 x 273.298	549	..

En los que habrá:

CO	120.94/0.0224	5398.38	mols	gramo.
CO2	216.20/0.0224	9651.6	..	..
CH4	12.83/0.0224	720.83	..	..
H2	10.99/0.0224	490.76	..	..
CH3COOH	49/0.0224	245.38	..	..

Estos gases son pasados por una suspensión de cal, con objeto de privarlos del CO2 y a la vez del piroleñoso, necesitándose 9651.6 mols gramo para el CO2, y 122.69 para el piroleñoso, o sean 9774.29 mols gramo, que pesan 723.3 kilogramos por veinticuatro horas; quedándonos una mezcla de gases con 5398.38 mols. gramo de CO, 720.83 de CH4, y . . 490.76 de H2; que se quemar según las siguientes reacciones:



Como la reacción de combustión, no es cuantitativa (en lo que se refiere al CO, pues tanto el CH4, como el H2, se quemar totalmente), supondremos un factor de combustión de 0.85; por lo que se quemarán: 5,398.38 x 0.85 = 4,588.4 mols. de CO, 720.83 de CH4 y 490.76 de H2, dando respectivamente:

$$\begin{array}{rcl}
 4,588.4 \times 67.62 & 310,285.7 & \text{K. C.} \\
 720.83 \times 212.79 & 153,345.0 & \text{K. C.} \\
 490.76 \times 68.31 & 33,523.8 & \text{K. C.}
 \end{array}$$

Con un total de 497,154.5 K. C.

Gases del Gasógeno.—Según los cálculos hechos anteriormente, se necesitaban 4'666.800 K. C., por lo que la diferencia entre las proporcionadas, por los Gases Incondensables o sean 4'169, 545.5 K. C., que deben ser proporcionadas por los gasógenos diariamente y resultan de gasificar, 556 Kgs. de Leña (o más bien de aserrín, cortezas y astillas de madera), pues como se dijo al tratar de los gasógenos, cada kilo produce 5 M3. de gases que dan 1,500 K. C. c/u.

$$4'169,545.5/7,500 = 556 \text{ Kgs.}$$

El Oxígeno necesario para la combustión es:

Para el CO	5,398.38/2 =	2,699.29 mols. gramo.
„ „ CH	7.20 83x2 =	1,441.66 „ „
„ „ H2	490.76/2 =	245.38 „ „
O sean 4,386.23 Mols gr.		

El Nitrógeno que lo acompañará será:

$$21:4,386.23 :: 79 : x = 16,502.7 \text{ mols. gr.}$$

Para la combustión se usará un 25% de exceso de aire, por lo que realmente el oxígeno y nitrógeno necesarios son:  $4,386.25 \times 1.25 = 5,482.8$  mols gr. de O2.

$$16502.7 \times 1.25 = 20,628.2 \text{ mols gr. de N2}$$

El CO2 originado será:

Del CO	4588.4
Del CH2	7.20.83

De CO saldrán:  $5398.38, - 4588.4 = 809.98$  mols. gr.

Agua resultante:

Del CH4	720.83 x 2 =	1441.66
Del H2		490.76
O sean		1932.42 mols. gr.

Oxígeno sobrante: (Además del 25% de exceso, habrá correspondiente al 15% de CO, que no se quema, o sean:

(5482.8-4386.23)-809.98 : 1501.56 mols gr.

Por lo que los porcentajes de los gases serán:

CO <sub>2</sub>	5309.23	Mols gr.	17.59%
CO	809.98	" "	2.68%
H <sub>2</sub> O	1932.42	" "	6.4 %
O <sub>2</sub>	1501.56	" "	498. %
N <sub>2</sub>	20628.2	" "	68.35%

Estos gases van a ser usados para el secado de la leña, que es indispensable, porque de no efectuarse, sería necesario desalojar el agua contenida en ella, y la que al condensarse, diluiría el piloreñoso con el consiguiente gasto de combustible al separarlo en sus diferentes componentes; a la humedad de estos gases deberá agregarse la del aire de combustión, que es de 0.012 lbs. de agua lb. de aire seco, y siendo dicho aire 26111 mols. gr, cuyo peso molecular es 29 y serán:

0.012 lbs. de agua, son 0.3024 mols. gramo.

1 lb. de aire, es 15.641 mols. gr.

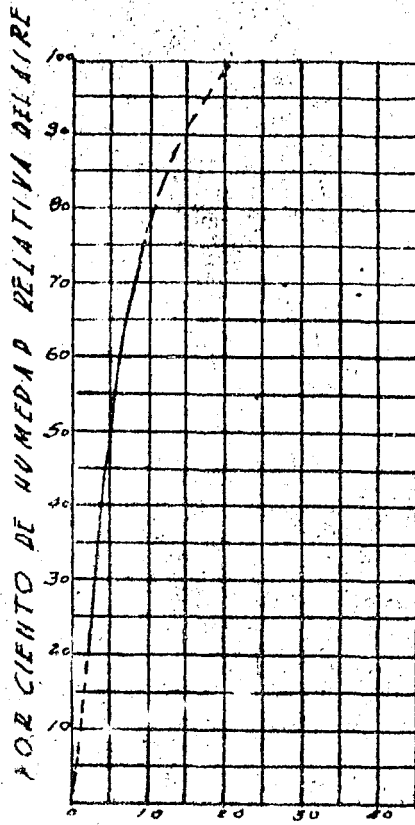
de agua, y aumentando estas mols. grs. al agua inicial tendremos:

1932.42 : 495.3 = 2427.72 mols. gr.

Calculando nuevamente los porcentajes se tiene:

CO <sub>2</sub>	5309.23	mols. gr.	17.31 %
CO	809.98	" "	264. %
H <sub>2</sub> O	2427.72	" "	7.91 %
O <sub>2</sub>	1501.56	" "	4.9 %
N <sub>2</sub>	20628.2	" "	67.24 %

Esta composición de gases, será la que se tome en cuenta para el secado de la leña; para saber hasta qué gra-



POR CIENTO DE HUMEDAD  
 EN LA MADERA BASADA EN  
 PESO SECO

RELACION ENTRE LA HUMEDAD  
 DEL AIRE Y EL CONTENIDO  
 DE HUMEDAD DE LA MADERA

do de humedad es posible secarla (contenido de humedad de equilibrio), nos valdremos de la gráfica adjunta, en la que nos da como ordenadas el por ciento de humedad relativa del aire y en las abscisas, el % de humedad en la madera. (Figura adjunta).

El por ciento de humedad relativa, se calcula, por medio de la siguiente fórmula:  $HR = 100p/ps$ , en la que  $p$  = igual a presión parcial del vapor de agua en el gas.  $ps$  = presión del agua en estado líquido a la temperatura del caso.

La fracción mol del agua en el gas, es:  
 $7.91/92.09 = 0.0859$ .  $0.0859 \times 560 = 48.104$ .

Luego  $HR = 100 \times 48.1/760 = 6.3\%$ , y viendo en la gráfica resulta que con estos gases es posible secar la leña hasta 0.5%; pero como no sería práctico ni necesario efectuarlo, pues al estar en contacto con el aire ambiente tendería a tomar la humedad de equilibrio que es aproximadamente 8%, por lo tanto al efectuar los cálculos de dicho secador, se harán de 43% de humedad inicial, hasta 8%, o sea, será necesario evaporar el 35% del peso de la leña húmeda.

Los gases tienen una humedad inicial de: (en lbs. de agua/lbs. de gas seco, por estar en estas unidades los datos de la carta de humedad, y consideraremos además este gas como aire por no haber datos especiales acerca de él).

Como los datos que tenemos son en mols. gr. y los necesitamos en lbs. multiplicaremos las mols. por el peso molecular, dándonos grs. y dividiendo entre 453.6, tendremos lbs.:

H <sub>2</sub> O	2427.72 x 18	453.6	76.7 lbs.
CO <sub>2</sub>	5209.23 x 44	453.6	522.4 ..
CO	809.98 x 28	453.6	62.9 ..
O <sub>2</sub>	1501.56 x 32	453.6	105.9 ..
N <sub>2</sub>	20628.2 x 28	453.6	1867.4 ..

Por lo que cada 2558.6 lbs. de gas seco, hay 76.7 lbs. de agua.

Luego,  $2558.6 / 76.7 = 33.36$  lbs. de agua. lbs. gas seco, que están a 212 grados F. Estos gases enfriados adic-

báticamente, absorberán agua por saturación, siendo ésta según la carta de humedad del Badger, al tener una humedad de 0.0575 lbs. agua/lbs. de aire seco, y saldrá a 108.5 grados F.; pero como no pueden ser las condiciones del secado tales que el gas salga completamente saturado, supondremos que la temperatura de salida de ellos sea a 113.5 grados F., y tomando la adiabática de 108.5 grados F. hasta donde se encuentra con la vertical correspondiente a los 113.5 grados F., nos da una humedad de 0.055 lbs. de agua/lbs. de gas seco saliendo el gas aproximadamente con una saturación de 85%.

Como se dijo, la leña deberá secarse desde 43% de humedad, hasta 8%, o sea que se debe evaporar un 35% del peso de la leña, necesitándose para darnos las 11,000 lbs. de leña seca a destilar:  $43/57 \times 11,000 = 8299.3$  lbs. de agua iniciales.

$8/92 \times 11,000 = 956.5$  lbs. de agua finales.

Evaporándose 7341.8 lbs. de agua en 16 horas, y al empezar el proceso se tenían 18341.8 lbs. de leña con 43% de humedad.

Cada libra de gas, es apta para remover . . . . . 0.055-0.03 = 0.025 lbs. de agua/lbs. de gas seco, por lo que serán necesarias:

$0.025:1 :: 7341.8 \times \quad = 293,671$  lbs. de gas. Pero como se tienen únicamente 2635.3 mols. de gas, removerán . . . . .  $2635.3 \times 0.025 = 65.88$  lbs. de agua, pero como teníamos que remover 7341.8, faltará de hacerlo con 7275.92 lbs. de agua, por lo que necesitamos usar aire que se calienta por medio de los gases de chimenea, de un recuperador instalado a la salida de los gases de la retorta de 100° F. a que se encuentran y con una humedad de 0.012 lbs. agua/lbs. de aire seco hasta 212° F., y con una temperatura de Bulbo Húmedo de 98° F., y supondremos que saldrán a 103° F., o sea con una saturación aproximada de 84%, y una humedad de 0.039, por lo que cada libra es capaz de remover:  $0.039 - 0.012 = 0.027$  lbs. agua/lbs. de aire seco, necesitándose:  $0.027:1 :: 7275.92 \times \quad = 269,447$  lbs. de aire en dieciseis horas.

Las 2635.3 lbs. de gas, llevan 76.7 lbs. de agua, y las

de aire llevarán 3195 lbs., por lo que en total habrá 3271.7 lbs. de agua en 272,082.3 lbs. de aire, o sea una humedad de:  $272,082.3; 3271.7 :: 1: x$  0.01203 lbs. agua/lbs. aire seco, por lo que los datos para el cálculo del secador, tomaremos como si fuera el puro aire, porque la influencia de la humedad del gas, en virtud de la poca cantidad de él, es casi insignificante.

El volumen específico del aire a 212° F es de 16.9 cuft/lb. de aire seco; a 103° F, es 14.08 cuft/lb. de aire seco, y el volumen saturado es 15.3, y siendo la saturación aproximada del aire de 84% e interpolando se tiene: 15.1 pies cub./lb. de aire seco, por lo que el volumen inicial del aire será por minuto:

$$272,082.3 \times 16.9 / 16 \times 60 = 4,788.7 \text{ cuft.}$$

La entrada de estos gases se efectuará con un ventilador de 5.000 cuft. por minuto.

El volumen final será:

$$272,082.3 \times 15.1 / 16 \times 60 = 4,278.6 \text{ cuft.}$$

La salida de estos gases se efectuará por medio de una chimenea, cuya altura será de:

$$H = \frac{k}{35.2/T_a - 36.9/T_c}$$

H = Altura en metros.

K — Presión del tiro en cm. de agua = 0.01

T<sub>a</sub> — Temperatura absoluta en °K del aire exterior = 288° K.

T<sub>c</sub> — Temperatura absoluta °K del gas de chimenea = 310.7 °K.

Substituyendo:

$$H = \frac{0.01}{35.2/288 - 36.9/310.7}$$

El diámetro de la chimenea serán: calculados por las siguientes fórmulas:

$$SE = 0.015C / 1 H \quad ; \quad d = 1.131 SE / 0.1$$

En las que SE- Sección eficaz de la chimenea en M2.  
C- Potencia total- 108 M3.

H- Altura de la chimenea en mts.

d- Diámetro de la chimenea en mts.

Substituyendo y efectuando las operaciones.

SE- 0.3173 M2 Y d- 0.74 mts. de diámetro.

Por lo que la chimenea será de veinticinco metros de alto y 74 centímetros de diámetro.

**CALCULOS PARA CHECAR EL TIEMPO DE SECADO:-** Para poder calcular el tiempo de secado, es necesario suponer dividido el secador, en dos zonas: La primera deberá secar la leña de 43% al 27% (contenido crítico de humedad, aproximado a las condiciones del problema). La segunda deberá secar del 27% a 8%. El área que deberá estar expuesta al aire para secarse, puede ser calculada para la primera zona por la ecuación:

$$w = Kg' Ac (Hm) (I),$$

en la que: w- peso del agua evaporada por hora.

Kg'- coef de secado en lbs./hora/sqft diferencia unit. de H.

(Hm)- diferencia media logaritmica de Humedad.

En la segunda zona o sea abajo del contenido crítico de Humedad; se calcula por medio de la ecuación:

$$A_f = \frac{F_c}{Kg' (H_s - H_c) D - F_c (G)} \ln \frac{F_c (H_s - H_1)}{F_1 (H_s - H_c)} \quad \text{en la que: (II)}$$

Kg' tiene el mismo valor que en (I).

Hs- humedad de saturación.

Hc- .. crítica.

H1- .. inicial.

H2- .. final.

G-lbs. de aire seco hora.

Af-área de contacto en el período decreciente.

Fc-contenido de humedad libre en el punto crítico.

F1-contenido de humedad libre al comenzar el período decreciente en lbs lb. de sólido seco.

D- peso del material seco en el sólido.



## CALCULO DEL TIEMPO DE CONTACTO EN LA PRIMERA ZONA:

El peso del agua evaporada por hora es:  
7341.8/16 456.9 lbs.

Evaporándose a condiciones externas constantes o sea al llegar al contenido crítico de humedad de 27%:  
 $27/73 \times 458.9 = 169.7$  lbs. de agua, que es el contenido de humedad de la leña, al salir de la primera zona. Siendo la que se ha removido:  $458.9 - 169.7 = 289.2$  lbs. de agua/hora.

El aire usado por hora es:  $272,082.3/26 = 17,000$  lbs. que sale de esta zona con una humedad de 0.039 lbs. de agua/lb. de aire seco; saliendo de la primera Zona su humedad es calculable por un balance de agua:

$$w = G (H_2 - H_c),$$

en la que

$$w = 169.7 \text{ lbs.}$$

$$G = 17,000 \text{ lbs.}$$

$$H_2 = 0.039 \text{ lbs. agua/lb. aire seco.}$$

$$H_c = x = 0.029 \text{ lbs. agua/lb. aire seco.}$$

Sustituyendo:

$$169.7 = 17,000 (0.039 - H_c); H_{ec} = (662.7 - 169.7)/17,000 = 0.029. \text{ Sustitución en la fórmula (I), para el área de la primera Zona:}$$

$$w = 169.7$$

$$Kg' = V_s / (H_2 - H_1) = 0.315 / (0.039 - 0.012) = 11.67 \text{ lbs/ horasqft/dif. unit. de humedad.}$$

$$(H_m) = (H_s - H_c) \div (H_s - H_2) / 2 = 0.0105. \text{ Se toma la media aritmética, por ser la diferencia de ellas muy pequeña}$$

$$V_s = \text{Velocidad de secado } 0.315 \text{ lbs/hora/sqft.}$$

$$H_s = 0.04$$

$$H_1 = 0.012 \quad H_s - H_c = 0.011$$

$$H_c = 0.029 \quad H_s - H_2 = 0.01$$

$$H_2 = 0.039$$

Por lo que sustituyendo:

$$A_c = 169.7 / (11.67 \times 0.0105) = 2,079 \text{ sqft.}$$

Sustitución en la fórmula (II), para el área de secado abajo del contenido crítico de Humedad:

Los valores de Kg', Hs.Hc.HI, y G, es el mismo que en (I)

$$F_c = 27.73 - 0.5/99.5 = 0.36487$$

$$F_I = 8/92 - 0.5/99.5 = 0.08193$$

$$D = 10,120 \text{ Lbs.}$$

$$H_s - H_c = 0.011; H_s - H_I = 0.028$$

Sustituyendo:

$$A_f = \frac{0.36487}{11.67 (0.011 / 10,120 + 0.36487 / 17,000)} + \frac{0.364 \times 0.028}{0.0819 \times 0.011} \quad I_n$$

$$A_f = 6,561 \text{ sqft.}$$

La superficie ofrecida por la leña es de 540 sqft., por lo tanto en la primera sección estará:

$$2,079/540 = 3.85 \text{ horas o sean 3 Hs. 51'}$$

y en la segunda:

$$6,561/540 = 12.15 \text{ Horas o sean 12 hs. 9'}$$

LONGITUD DEL SECADOR.- Se calcula que la fórmula:

$$I = \frac{Ow}{Wa.Wh.A}; \text{ en la que:}$$

O- tiempo de secado- 16 horas

$$w - \text{peso del material húmedo por hora} - 18,341.8/16 = 1,146.41 \text{ lbs.}$$

$$W_a - \text{lbs. de leña seca sqft.} - 10,120/540 = 18.76 \text{ lbs/sqft.}$$

Wh- peso original de una libra de leña seca- 1.45 lbs.

$$A - \text{sqft. de área de contacto pie de longitud} - 23'$$

Sustituyendo:

$$L = 16 \times 1,146.41 \times 1.45 \times 18.76 \times 23 = 29.73' = 30'$$

Cálculo para el Desalquitranador.— Según datos del Yantorno (I) para 40 tons/24 horas, se necesita uno de 5' de diámetro por 6' de alto o sean: 94.2 -/- 19.6 = 113.8 sqft. de superficie interna (sin incluir la tapa), por lo que siendo nuestra producción de 5 tons. diarias se necesita 14.23 sqft.

CONDENSADOR.- La composición del condensador es:

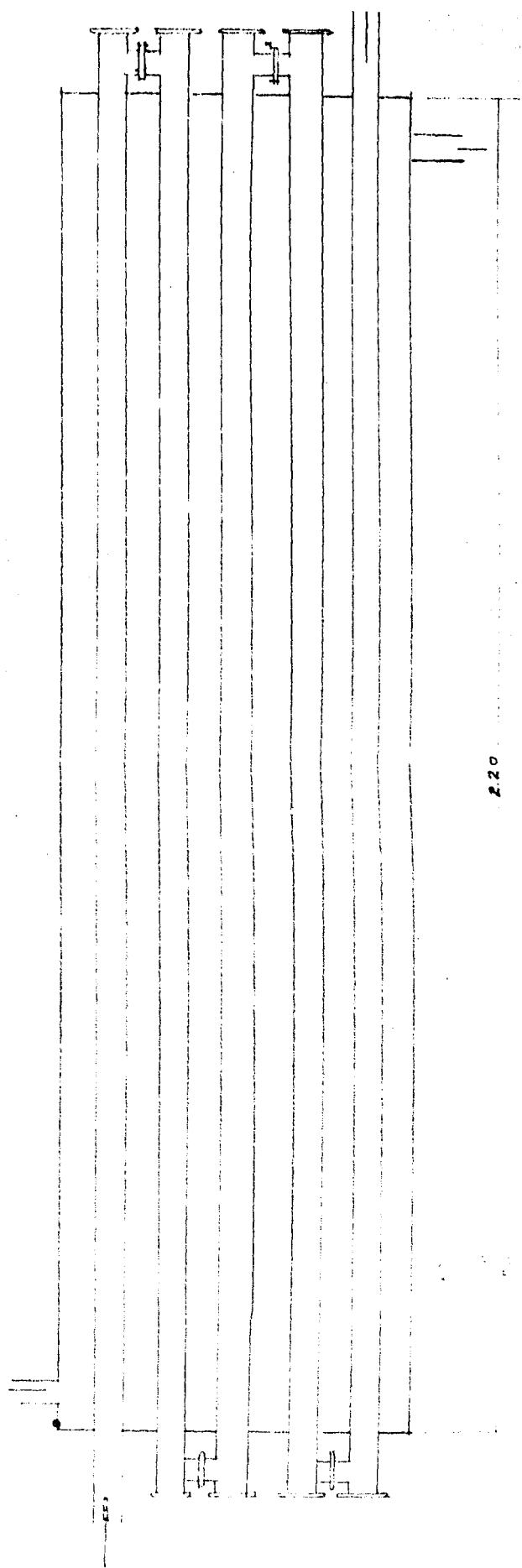
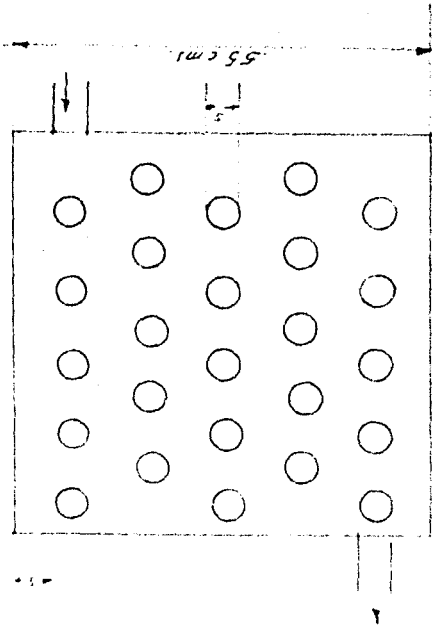
$$\text{Acético} \quad 8.2\%$$

$$\text{Agua y elementos secundarios} \quad 89.3\%$$

(I) Industria de la Destilación de Leña y sus Derivados, por Juan A. Yantorno.

# CONDENSADOR

ESC.  $\frac{1}{10}$



Se sabe que por cada 100 lb. de leña destilada, se obtienen 42 de condensado de la composición anterior, por lo que las 11,000 lbs. nos darán 4,620 lbs. que se compondrán de:

Acético	8.2 x 46.2 =	378.9 lbs. en 24 hs. de P. M.	60
Metílico	2.5 x 46.2 =	115.5 " " " " " " "	32
H <sub>2</sub> O	89.3 x 46.2 =	4125.6 " " " " " " "	18

Que salen de la retorta a 750° F. aproximadamente, y son pasados por un recuperador de que saldrán a 250° F., y como la presión del lugar en que se proyecta poner la planta, es de 560 mm., dichos gases a esta presión y temperatura ocuparán:

Acético	(378.9x359x760x710) / (60x560x492)	4403 cuft.
Metílico	(115.5x359x760x710) / (32x560x432)	2538 "
Agua	(4125.6x359x760x710) / (18x560x492)	161,370 cuft.,

que en total dan 168,311 cuft. 24 horas., y por consiguiente, por hora serán, 7,013 cuft.

De 250° F. deberán ser enfriados a 140, pues el punto de ebullición del que lo tiene más bajo, o sea el alcohol, es a 148° F., y circularán en tubos de cobre de 2" de diámetro externo, y de un B. WG10; cuya área interna es de 2.35 squin. o sean 0.01632 sqft., a una velocidad de 5ft./sec. Dichos tubos estarán colocados en tresbolillo, y a una distancia de 2" cada uno, cubiendo diez en cada pié cuadrado.

El agua fluye en un tanque en el que se encuentran dichos tubos, a la velocidad de 2.8 ft. por segundo, entrando a 70° F por la parte inferior, y saliendo por la superior a 140° F. (Se supone que la eficiencia del contacto entre el agua y los tubos, sea de 0.5.

Número de tubos.— Como dijimos, la velocidad de los gases es de 6 ft./sec., por lo que, por cada tubo pasarán en una hora: 0.01632 x 3600, igual a 293.8 cuft. hora.

Como según cálculos anteriores, deberán pasar 7013 cuft. hora, serán necesarias: 7013 / 293.8 = 24 secciones de tubos; pero para dar un pequeño margen de seguridad, usare-

mos 25, y se necesitarán 2.5 sqft. para acomodarlos, o sea que frente del tanque deberá ser de dimensiones es decir 1'7" de lado.

Los gases, al enfriarse o condensarse, deberán desprender parte de su calor sensible, y el calor latente de condensación, por lo que, las B. T. U. que deberán tomar el agua, serán:

Del Acético	378.9	0.94	(250-140) / 176.2 =	105.920	BT.U.
Del Metílico	115.5	1.06	(250-140) / 493 =	70.350	..
Del agua	4125	0.55	(250-140) / 970.2 =	4252.200	..

O sea un total de 4'428,470 B. T. U. B. 24 horas, por lo que en una hora, será 184,520 B. T. U./hora.

Los calores específicos y latentes, tomados en estos cálculos, son los siguientes para cada gas:

	Específico	Latente
Acético.	0.94 B. T. U. /lb.	176.2 B. T. U. /lb.
Metílico.	1.06 B. T. U. /lb.	493. B. T. U. /lb.
Agua.	0.55 B. T. U. /lb.	970.2 B. T. U. /lb.

Ahora es necesario calcular el área de contacto para en función de los pies cuadrados de superficie del tubo por pie lineal, encontrar longitud de cada una de las veinticinco secciones, para lo que nos valdremos de la fórmula:

$$q = U A \Delta t_m \quad \text{(III)} \quad \text{En la que}$$

q- cantidad de B. T. U. desprendidas por hora

U- Coeficiente over all, calculado por medio de los coeficientes de película del agua de los gases y la conductibilidad térmica de la pared metálica.

A- Area de contacto.

$\Delta t_m$ - diferencia media logarítmica de temperaturas, obtenida por medio de la fórmula:  $\Delta t_m = \frac{t_1 - t_2}{2.303 \lg \frac{t_1}{t_2}}$

En seguida pasamos a calcular los coeficientes de película del gas: puesto que el del agua que fluye en convección natural lo tomaremos para el caso igual a 25.

Por tratarse de un gas condensándose en tubos horizontales, se usará la siguiente ecuación:

$$h = 0.725 \sqrt[4]{k^3 p g \Delta t} \quad \text{(IV)}$$

—Calor latente del gas en B. T. U./lb.—894.6 (medio calculado).

—Densidad del condensado— 60.24 lbs./cuft. (tomada la del agua como media, pues el acético es más denso y el alcohol menos) k- Conductibilidad térmica del vapor condensado igual a 0.35. B. T. U. ft./sqft/hora/° F.

g-Aceleración de la gravedad =  $4.18 \times 10^8$

D-Diámetro externo en piés =  $1.998'' = 0.168'$

—Viscosidad del condensado = 0.315 centipoises  
 $0.315 \times 2.42 = 0.762$  ft./lb/hora.

t-Diferencia de temperatura igual  $250 - 140 = 110^\circ$  F.

Substituyendo en IV) y efectuando las operaciones, encontramos un valor para H1 = 1426.

La conductibilidad térmica de la pared metálica, es 25.2, por tratarse de cobre.

Cálculo del coeficiente over all.— Como en este caso H2 es muy pequeño en relación a H1.; por lo que  $1/H2$  es muy grande en comparación con  $1/H1$ , y  $L/K$  se puede ampliar la fórmula simplificada para su cálculo, o sean:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{H1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{H2}} \quad (V)$$

En la que:

H1 = 1426.

H2 = 25.

L — Grueso de la pared del tubo 0.134.

K = 222

Substituyendo en (V) y efectuando las operaciones, obtenemos:

U = 24.2.

Por lo que, para poder substituir los valores correspondientes en (III) únicamente nos falta encontrar el de  $t_m$ , y así despejando el área encontrar su valor.

$t_1 = 250 - 140 = 110^\circ$  F.

$t_2 = 140 - 70 = 70^\circ$  F.

Substituyendo tenemos:

$t_m = (110 - 70) \cdot 2.303 \lg. \frac{110 - 70}{88.52} = 88.52^\circ$  F.

Despejando de (III) el valor de A, se tiene:

$A = \frac{q}{U \cdot t_m}$ , en la que:

q = 18,520 B. T. U./hora

U = 24.2.

tm = 88.52.

Luego, A = 86.36 sqft.

Cada tubo tiene 0.4534 sqft. de superficie interna por pie lineal, y como veinticinco tubos deben ser usados en paralelo, su longitud será:  $86.37 / (0.454 \times 25 = 7.62' = 7' 7 \frac{1}{2}'$  de largo.

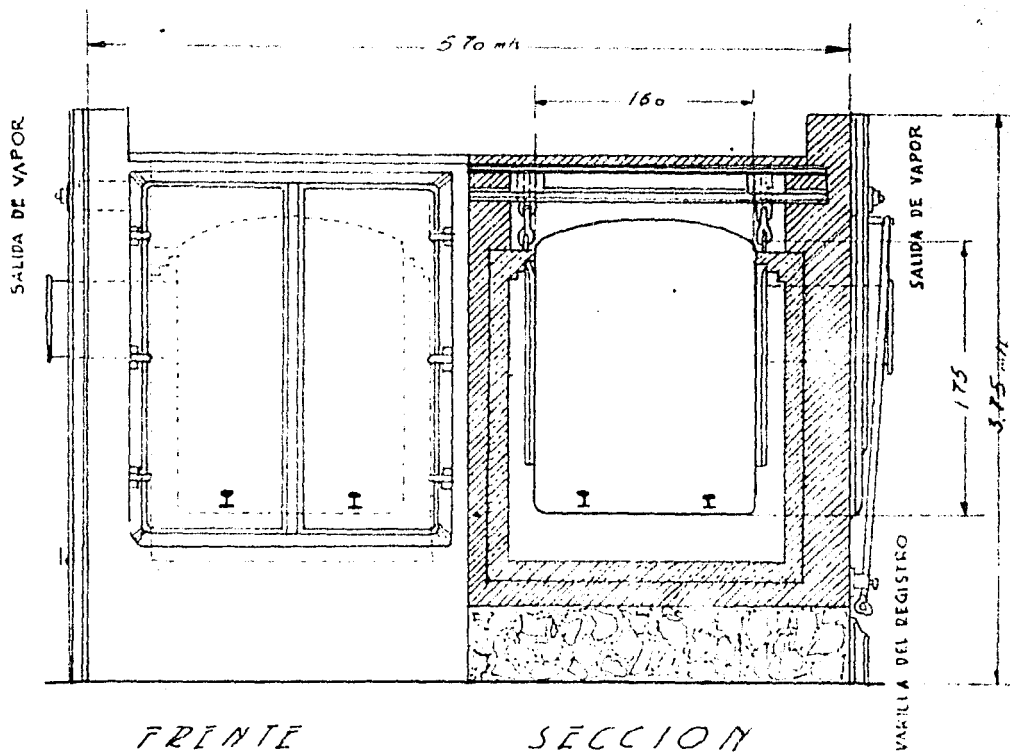
## TIPO DE APARATOS USADOS

RETORTAS.— Hay en uso dos tipos principales de retortas: verticales y horizontales:

Las primeras pueden ser fijas o movibles, siendo éstas las más ventajosas, pues en ellas se facilita grandemente la descarga, izándolas por medio de grúas, que a la vez que tiene por objeto reponer una nueva retorta mientras se enfría la anterior; mientras las fijas se descargan por medio de puertas que se encuentran en la parte inferior, lo que ocasiona que el carbón se desmenuce, por lo que son poco usadas.

Las más empleadas, sobre todo para industrias de una relativa escala, son las horizontales, que se usan de cinco toneladas de leña diarias o para mayor capacidad. Existe un gran número de sistemas de este tipo de retortas. Antiguamente el más generalizado, era el tipo clásico de retorta fija, de hierro fundido, dentro de la cual se introducía la leña para ser carbonizada acomodada en una vagoneta por medio de rieles que al efecto tenía fijos en su interior, teniendo el inconveniente de que la leña se encontraba separada de las paredes calientes de la retorta, por una gran capa de aire, lo cual implicaba el consiguiente gasto y pérdidas de calor. Por ahora las más usadas son del tipo de la figura adjunta, siendo la del caso de 1.60 mts. de ancho por 1.75 mts. de alto, y una longitud de 9 mts., estando suspendida del techo del horno por medio de fuertes ganchos que van empotrados en el cuerpo de ella y fijos en la parte superior en un puente de vigas

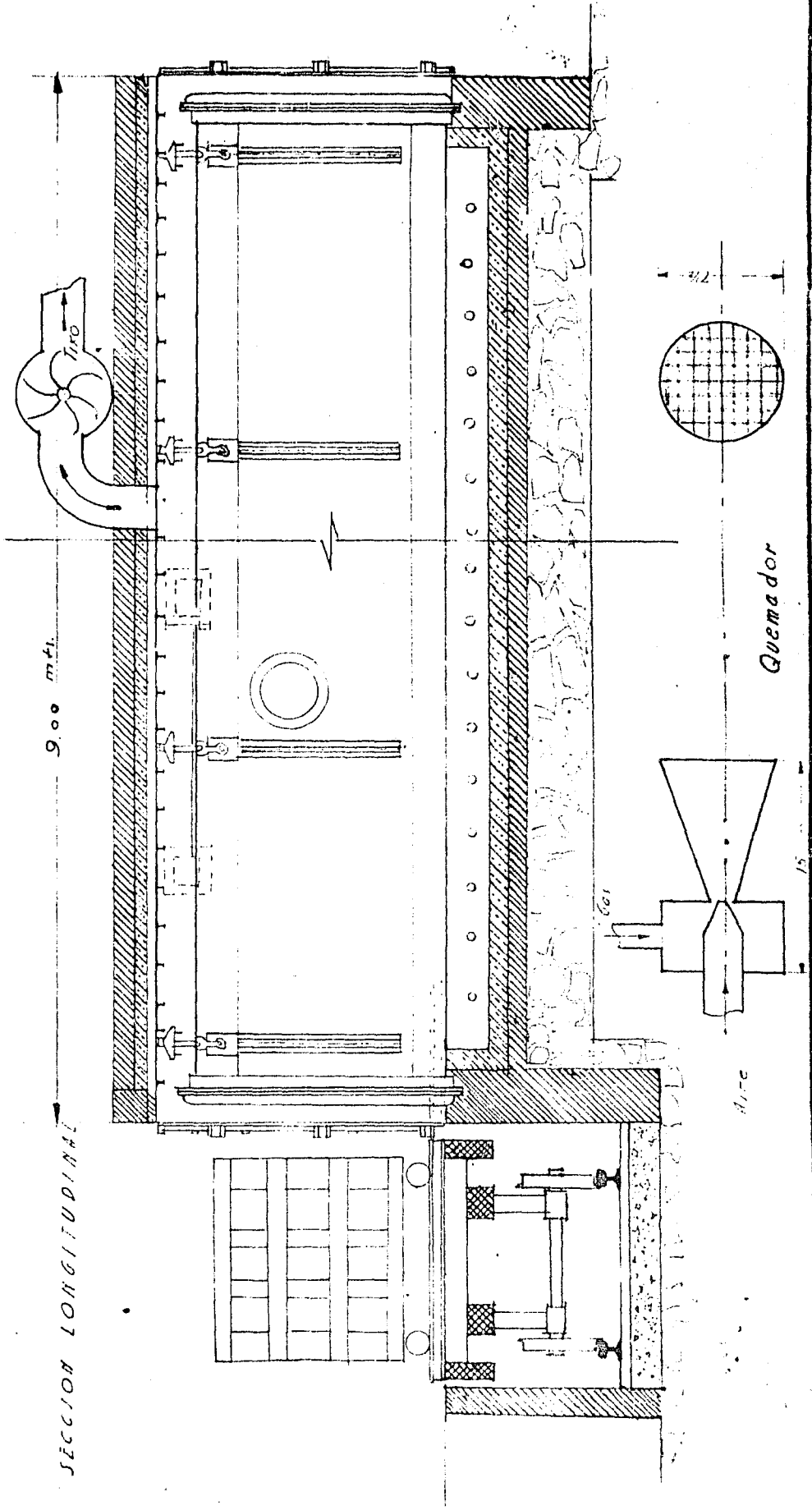
DISPOSITIVO DE UN  
PAR DE RETORTAS PARA  
DESTILACION DE MADERA





DISPOSITIVO DE UN PAR DE  
RETORTAS PARA DESTILACION  
DE MADERA

CAPACIDAD 11,000 LBS. C.U.



de fierro, uno de cuyos extremos se encuentra fijo en la mampostería y el otro libre, con objeto de que al expansionarse con el calor, no destruya el citado horno. Este horno está constituido por una pared de ladrillo refractario, que no es necesario sea de muy buena calidad, dado que la temperatura interna no pasa de 1,000° C., y va recubierta de una capa de ladrillo de construcción ordinario, que sirve tanto de sostén como protección. La salida de los gases del horno se efectuará por medio del ventilador usado en el secador, pasando por un recuperador que servirá para calentar tanto el aire necesario para la combustión, como el suplementario en el citado secador. Estará calentado por quemadores de gas, que estarán distribuidos según el diseño adjunto, en el cual también se muestra la construcción de uno de tales quemadores, cuyas boquillas son de nickel, y en la extremidad, tienen una rejilla formada de placas de nickel de  $1/16^{\circ}$  de pulgada, y que tiene por objeto impedir que la lama pase de dentro a fuera.

Las vagonetas se acomodan dentro de las retortas por medio de cables metálicos, que enganchando en la primera arrastran las demás dentro de élla, extrayéndolas del túnel secador. Una vez terminada la destilación, es suficiente sacar las vagonetas de la retorta por la puerta posterior, para retirar el carbón incandescente, introduciéndolas en un cilindro enfriador instalado frente a éllas, y que tiene exactamente las mismas dimensiones, en el cual son rociadas con agua para evitar se incendien por sí mismas. Están construídas de hierro fundido, siendo la base sólida, con objeto de que no se tire el carbón, y las paredes laterales, construídas de solera de  $3/8$  de pulgada, por una de ancho. Son de cinco piés de ancho, por cinco de alto, y siete de largo (con objeto de acomodar tres trozos de leña de dimensiones comunmente llamadas ferrocarrileras, o sea aproximadamente de sesenta a setenta centímetros cada uno). Se usarán cuatro para cada retorta, que estando instaladas de a dos, necesitarán ocho, cuatro par ael secador, ocho para los enfriadores, y cuatro para el movimiento en el patio de leña.

Las retortas están provistas de dos puertas, una en ca-

da extremo, que generalmente son dobles (según se ve en el dibujo relativo), y que deberán estar herméticamente cerradas durante la operación, completando dicho cierre con un embardnamiento de barro de arcilla, y colocando antes de cerrarlas un empaque de amianto o grafito. Estas puertas, al igual que la retorta, son de hierro fundido, fijas por medio de bisagras, y aseguradas por dos aldabas, situadas aproximadamente a una tercera parte de las dimensiones de dicha puerta.

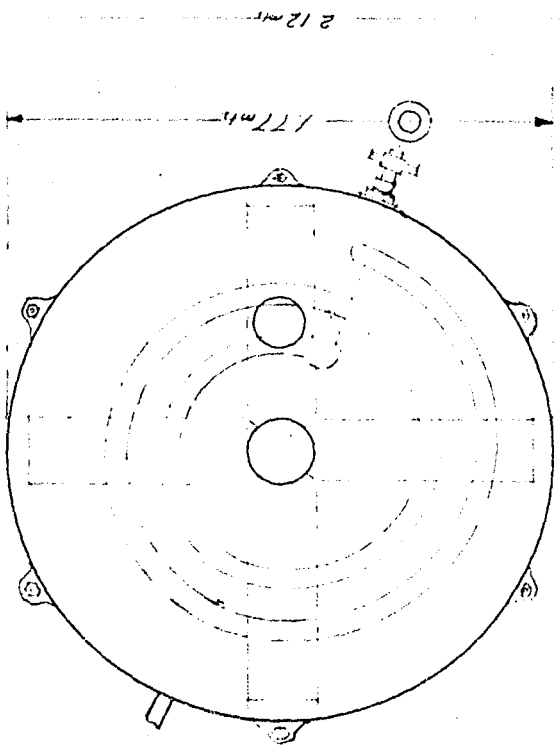
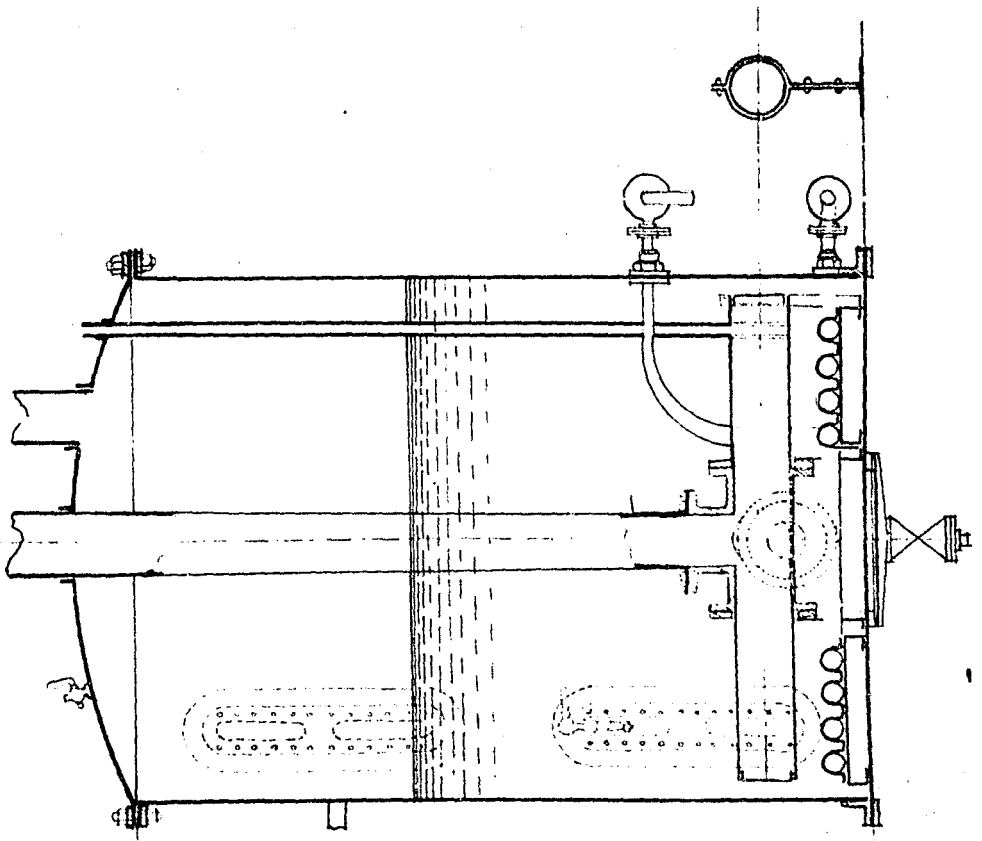
La salida de los vapores se encuentra a un lado de las retortas, teniendo dos para cada una de ellas.

Como ya se dijo, inmediatamente que las vagonetas con el carbón son extraídas de las retortas, se introducen lo más rápido posible por medio del cable al enfriador que posee un sistema de refrigeración con agua, ya sea por medio de una doble pared o de un serpentín. Se construirá de lámina de tres octavos de pulgada, y tendrá como en el caso de la retorta, dos puertas con cierre hermético, con objeto de que al faltar oxígeno o carbón, cesará su combustión. También tiene instalado en su interior su vía correspondiente.

Al salir el carbón, ya frío, pasará por un clasificador con objeto de separar el muy grande, y de quitar la carbonilla o vulgarmente llamado cisco, la que se empleará en parte en los gasificadores.

**DESALQUITRANADOR.**— Inmediato a la salida de los gases, y en la parte superior del horno, se encuentra este aparato, que está compuesto por un cilindro de lámina de cobre, en que sus dimensiones están en la relación de 1:1.2, o sea que generalmente, por cada metro de diámetro, tiene 1.20 metros de altura; uno de los más sencillos, y que es representado en la figura adjunta.

Está compuesto por un cilindro de lámina de cobre, cuya tapa es removible estando fija por medio de tornillos, con objeto de poder asearlo y poder cargar el aparato con alquitrán al empezarse a trabajar. El gas procedente de las retortas, llega al cuerpo de este aparato a través de un tubo de 3", que en la parte inferior tiene una cruz de tubos de una forma especial, o sea la de la figura (b), estando formada por dos



DESALQUITRANADORA

piezas que se unen por medio de tornillos, cuyo fin es permitir separarlas y limpiar el interior rasqueteando; tienen perforaciones de un octavo, estando a 2" de centro a centro, y además tiene una admisión de vapor para poderlas destapar en caso de que se tapen. En la parte inferior del aparato tiene una llave, para descargar el alquitrán cuando sea necesario hacerlo y un serpentín que sirve para calentar dicho alquitrán cuando deba vaciarse. El método de operación de este aparato, consiste en hacer barbotear los gases en alquitrán, del que se encuentra lleno hasta unas tres quintas partes de su altura. La salida de los gases no condensables, o sea los que contienen el agua, el acético y el alcohol metílico, está situado en la parte superior, a la izquierda de la entrada de los gases; el alquitrán es desalojado por una tubuladura lateral que se encuentra aproximadamente a las tres cuartas partes del aparato. Según datos de Yantorno, se ocupan aproximadamente 2.845 sqft. por tonelada de leña destilada en veinticuatro horas, por lo que para nuestro caso necesitarán, como ya dijimos, 14.25 sqft., siendo Ft. de largo y Ft. de alto.

**CONDESADOR.**— Consiste en un tanque de lámina galvanizada, de 1:7" de lado y 7:7" de largo, en el cual van fijos 25 tubos de cobre de 2" de gruesos, y de un B. WG10 que están colocados en tresbolillo, cuyas uniones intermedias son rectas, y se encuentran fuera del tanque, como se puede apreciar en la figura adjunta, teniendo por objeto facilitar la limpieza de ellos. La entrada del agua se encuentra en la parte inferior, en el punto más retirado de la entrada de los gases, se efectúa por medio de un tubo de 2", y saliendo dicha agua por la parte superior.

**TUNEL SECADOR DE LEÑA.**— Como ya se dijo en los cálculos, tendrá un lugar de 30', un ancho de 5' 4" y 5' 10' de alto, estará provisto de dos puertas de lámina de pared doble, con objeto de impedir que la temperatura se pierda por radiación. La entrada de los gases se efectuará, como ya se ha dicho, por un ventilador, que alimente 5.000 cuft/sec. El secado de la madera se efectuará en contracorriente con el aire caliente, o sea que la entrada de la madera húmeda se encon-

trará en el punto de salida de los gases ya humidificados, y que se efectúa por medio de la chimenea de que se habló anteriormente, y que será de veinticinco metros de alta, y 2' 6" de ancho, según se aprecia en la figura respectiva.

## **PURIFICACION Y SEPARACION DE SUBPRODUCTOS**

**ALQUITRAN.**— Como ya se dijo, se separa en el desalquitranador del cual se puede pasar a un aparato en donde sea posible destilarlo al vacío, para hacer una destilación fraccionada de él, y obtener la fracción usada en el método de separación del ácido acético que en seguida se describe, y que es debida al Ingeniero Hermann Suida. O también puede pasarse a un aparato en el cual sufra una evaporación parcial del agua que lo acompaña, para ser empleado mezclado con cisco, para la fabricación de cock que puede servir, tanto para la industria siderúrgica, para la boratorios, para cocinas, etc., previo calentamiento en hornos especiales usados al efecto. Antiguamente se empleaban para impregnar cables y lo nas usadas en la marina. Dada la diversidad de los componentes del alquitrán, y al obtener datos experimentales acerca de los productos de destilación de él, deberá ser base de gran número de industrias, pues la mayoría de sus componentes son polimerizables, y por lo tanto susceptibles de transformarse en innumerables objetos sintéticos que por ahora son tan usados.

**ACIDO ACETICO.**— El ácido acético diluido, no puede ser concentrado por destilación fraccionada a una concentración mayor del 80%, debido a la pequeña diferencia de las tensiones de vapor del agua y la presión de vapor de él. Si se desea evitar la concentración de dicho ácido el difícil y costoso camino que consiste en primero convertirlo y después descomponerlo en sales, principalmente acetato cálcico; lo que implica considerables gastos, tanto por concepto de equipos, como de materias primas y vapor, deberá obtenerse el ácido concentrado por medio de la extracción; todo lo que hasta la fecha se ha publicado acerca de él, se efectúa por extracción

con solventes orgánicos, los cuales son insolubles, o poco solubles en el agua, pero poseen una gran capacidad para disolver el ácido acético y sobre todo tienen un menor punto de ebullición de dicho ácido. La separación del ácido del solvente, es efectuada por destilación fraccionada, siendo destilado el solvente y permaneciendo el acético como residuo.

Se han hecho numerosos ensayos para completar la separación del ácido y del agua durante la extracción por la adición al ácido diluido de sales inorgánicas, las cuales reducen la solubilidad de él en el agua, y esto también se ha encontrado que es imposible evitar que más o menos grandes cantidades de agua pasen en la substancia extraída, de modo que la concentración final del acético que queda como residuo, no es muy satisfactoria; por lo que el Ingeniero Hermann Suida ha presentado un método práctico con el que se logra una gran eficiencia y a un bajo costo, con respecto a los solventes utilizados. Con este nuevo proceso, es posible obtener un ácido 100 por ciento directamente por extracción; pero mientras en el proceso usado antiguamente era imposible eliminar el agua que pasaba en el solvente destilándolo, en este nuevo proceso el tratamiento de la mezcla extractora se realiza por medio de una total eliminación del agua, es decir, logrando una gran concentración del ácido acético. La razón de este fenómeno es que en una mezcla ternaria de ácido acético, agua y solvente de alto punto de ebullición, la tensión del vapor del ácido, es grandemente reducida, mientras que la tensión de vapor de agua, no lo es en un grado perceptible, al mismo tiempo que los vapores de acético son disueltos muy considerablemente. Tales condiciones no existen en la ausencia de un solvente con un alto punto de ebullición, y en el caso de una mezcla homogénea de agua y acético, ya que los vapores de acético, se disuelven en una cantidad considerable en el agua; y el vapor o vapores de agua, se disuelven en gran cantidad en acético.

Los solventes comunmente usados son: Fenoles mono-valentes, excepto el ácido carbónico, tales como cresoles; cetonas alifáticas con alto punto de ebullición, ácidos grasos o

aceites pesados de alquitrán de madera, los que son obtenidos tratando el alquitrán por vapor de agua al vacío con objeto de eliminar los terpenos volátiles, y el residuo se destila al vacío hasta coquificarlo. El método de trabajo a grandes rasgos, es el siguiente: La solución acusa diluida, es calentada a su punto de ebullición en un calentador con alimentación continua de solución diluida, y los vapores generados, pasan a la parte inferior de una columna de destilación que se encuentra a un lado de élla y que puede ser de cualquier tipo de los comunmente usados; al subir dichos vapores a través de la columna, se encuentra con la substancia extractora, que por medio de un pulverizador desciende de la parte superior de dicha columna, y que de preferencia deben estar calientes.

El vapor de agua privado del ácido acético, escapa en la parte superior de la columna, y es condensado en un refrigerador o utilizado. La substancia extractora, la cual ha absorbido el acético de los vapores y que está cargada con éellos, pasa a un caliente de la parte inferior de la columna a través de un sifón, y es usada directamente para la conversión en ácido acético y solvente. La razón por la cual el acético pasa en estado líquido en la substancia extractora, no obstante la temperatura que impera en la columna, es que la tensión de vapor del acético en el líquido en el cual tiene una pequeña capacidad de disolución, y un amayor punto de ebullición que el ácido es considerablemente reducida, mientras que la tensión del vapor de agua no experimenta ninguna reducción material, ya que es prácticamente insoluble en el solvente usado.

**ALCOHOL METILICO.**— El vapor de agua que sale en la parte superior de la columna, y que contiene el alcohol metílico y una pequeña proporción de ácido aproximadamente de 0.25%, es pasado por un tanque con lechada de cal, con el objeto de privarlo de esta pequeña porción de ácido, y después mediando a una columna de rectificación, ordinaria, para su

(1) Para calentar alguna otra substancia o aparato



concentración, de la que se obtiene aproximadamente de 95%.

**INDUSTRIAS DERIVADAS DE LOS PRODUCTOS DE LA DESTILACION.**— Del acético: —Tejidos, vinagres, industrias tintóreas, drogas y productos químicos, colorantes.

Del alcohol metílico: Desnaturalización de alcoholes, industrias tintóreas, barnices, lacas, anilinas, formol, etc.

Del alquitrán, talas y cables para la marina, fenol, ácido cresílico, antisárnicos, creosota, guayacol, brea, asfalto, y como industrias derivadas a su vez de las anteriores, materiales plásticas.

### **METODOS DE LABORATORIO USADOS PARA EL ANALISIS DE LOS PRODUCTOS**

Aunque los productos de la destilación, como ya se ha visto, son: gases, ácido piroleñoso y carbón, se presentarán únicamente los métodos para el análisis del ácido piroleñoso, que como ya se sabe, se compone de ácido acético, alcohol metílico, alquitrán y agua.

**Alquitrán.**— En la práctica comercial, el alquitrán es determinado separándolo mecánicamente, pero el ácido siempre contiene más o menos disuelto o suspendido algo de alquitrán. Se pasa la muestra total y se determina su volumen, se separa mecánicamente todo el alquitrán que sea posible, pesando la cantidad separada. Si se desea, su peso específico puede ser determinado por medio de la balanza de Mohr-Westphal, o por medio de un picnómetro. El alquitrán disuelto, se determina por el método que se describirá después, y se agrega a la cantidad obtenida por separación mecánica.

**Acido acético.**— Se toman 100 c.c.3 de líquido en una retorta tarada o en un matraz de destilación, calentándolos en un baño de aceite y conectados con un condensador de Liebig; se pone un termómetro en el aceite, y se calienta gradualmente el baño hasta 140° C, recogiendo el destilado en un matraz aforado de 250 c.c. La temperatura debe permanecer en 140° C. hasta que cese la destilación. En el matraz deberá ha-

ber cerca del 10% de alquitrán, el cual aún contiene algo de ácido acético; las últimas trazas de ácido, deberán ser arrastradas por una corriente de vapor, poniendo el baño de aceite a 150° C. y recogiendo el destilado en el matraz con el destilado principal. Se afora a 15.5° C. Se toman muestras de 50 c.c. a la misma temperatura y se valoran con sosa normal y fenoftaleína. Los centímetros cúbicos gastados por 0.06003, darán los gramos de acético.

Alquitrán disuelto.— El residuo del matraz después de la destilación del acético representa el alquitrán disuelto. Se enfría y se pesa sumándose a la cantidad de alquitrán anteriormente determinado.

Alcohol metílico.— Se toma un litro de líquido en un matraz de fondo redondo de 1,500 c.c., se coloca el matraz en el baño de aceite, y se conecta a un condensador vertical, se destila hasta recoger 500 c.c. de destilado, se neutraliza éste con sosa, y se destila otra vez en un pequeño matraz hasta destilar el 50%. Este destilado es aún muy diluido para estimar el alcohol exactamente, especialmente si aún contiene acetato de metilo, el cual debido a su alto peso específico, deberá hacer que los resultados sean bajos. Entonces, el destilado deberá otra vez ser neutralizado con sosa, y redestilado, recogiendo 100 c.c. en un matraz aforado; se detiene la destilación cerca de este volumen, se enfría a 15.5° C. y se completa el volumen con agua destilada; se determina el peso específico a 15.5° C. con una balanza de Westphal, o de preferencia con un picnómetro; de peso específico se calcula el porcentaje de alcohol metílico en este destilado, en peso y volumen.

## CONCLUSIONES

Según lo expuesto, se ve que esta industria deberá ser una de las más prósperas en el país, y la que hasta le fecha ha fracasado, debido a dos factores principales: En primer lugar, la falta de preparación de nuestros capitalistas, aún cuando tienen el dinero suficiente para emprender esta industria, tratan de implantar negociaciones de improviso sin emplear el camino lógico de pequeñas plantas que les fueran señalando poco a poco dificultades a vencer, y de esta manera llegar a dominar todos los aspectos de la operación. En segundo término, la falta de técnicos y empleados aptos y capacitados para manejar una planta de esta índole, pues en los intentos esporádicos de la implantación de la destilación de maderas, se han preocupado únicamente en conseguir un técnico como jefe del negocio, pero no contando él de ayudantes que conozcan aunque sea algo de estos asuntos.

Por lo que, para la implantación de industria, sería indispensable, montar una pequeña planta piloto que beneficie como máximo unos cien kilos de leña, y de ahí aumentarla progresivamente hasta llegar a la escala deseada, construyendo, con los datos obtenidos de esta práctica, curvas y tablas que sirvan de poderosos auxiliares de la industria.

Para asegurar el éxito económico de este negocio, se necesitaría tramitar la exención de impuestos por un tiempo bastante largo, así como también de derechos aduanales por la maquinaria que fuera necesaria, y hacer un estudio minucioso del aspecto legal forestal.

Las ventajas de orden inmediato que tendría la economía pública, serían:

a) Abaratamiento del carbón vegetal para consumo familiar.

b) Mayor poder calorífico de este carbón por obtenerse científicamente.

c) Mayor movimiento industrial en toda clase de industrias relacionadas con ella, especialmente productos químicos, combustibles, envases, etc.

d) Cooperación para establecimiento de nuevas industrias locales que están agobiadas por la competencia extranjera, porque se les proporcionaría materias primas a bajo costo, por no tener que pagar fletes y derechos aduanales que recargan su precio.

e) Ocupación de obreros y técnicos en las diferentes industrias que se emplearan.

f) Por último, nacimiento de nuevas industrias que por ahora están en nuestro país sin crearse.

Como se ve, los beneficios de orden general son muy grandes, y sería conveniente que el Gobierno Nacional diera toda clase de apoyo y facilidades para la instalación de esta industria en todas las zonas madereras del país.

## BIBLIOGRAFIA

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| Wood Distillation.                                  | <b>L. F. Hawley.</b>     |
| Industria de la destilación de leña y sus derivados | <b>Juan A. Yantorno.</b> |
| Elements of Chemical Engineering.                   | <b>W. L. Badger, y</b>   |
|   | <b>W. L. Mc. Cabe.</b>   |
| Technical Methods of Analysis.                      | <b>R. C. Griffin.</b>    |
| Industrial Chemical Calculations.                   | <b>O. A. Hougen y</b>    |
|   | <b>K. M. Weston.</b>     |
| Chemical Engineering Hand Book.                     | <b>J. H. Perry.</b>      |
| Enciclopedia Química Industrial.                    | <b>E. Thorpe.</b>        |

## INDICE

	Pág.
Generalidades.....	9
Materia Prima.....	13
Síntesis del Cálculo de los Análisis para la Madera de Encino....	21
Cálculo del Equipo.....	23
Cálculo del Tiempo de Contacto en la Primera Zona.....	31
Tipo de Aparatos usados.....	36
Métodos de Laboratorios usados para el Análisis de los Productos	43
Conclusiones.....	45
Bibliografía.....	47