

24-72



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"DISEÑO Y CALCULO DE UN EQUIPO DESTILADOR  
DE ORUJOS DE UVA"**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO**

**p r e s e n t a**

**JORGE RIOS PEREZ**



**México, D. F. 1987**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**DISEÑO Y CALCULO DE UN EQUIPO DESTILADOR DE ORUJOS.**

**I.- INTRODUCCION:**

Relativo a las Necesidades del Destilador.

**II.- GENERALIDADES:**

- II.- 1 La Uva.
- II.- 2 La Fermentación.
- II.- 3 El Vino.
- II.- 4 El Orujo.

**III.- AGUARDIENTES DE ORUJO.**

- III.- 1 Métodos de Obtención.
- III.- 2 Destilación por arreo de vapor.

**IV.- EXPERIMENTACION:**

- IV.- 1 Aparato Experimental.
- IV.- 2 Técnica.
- IV.- 3 Materia Prima.
- IV.- 4 Análisis Químico de Destilados.
- IV.- 5 Análisis Físico de Datos.

**V.- CALCULO DEL ALAMBIQUE DESTILADOR DE ORUJOS.**

- V.- 1 Condiciones de Funcionamiento.
- V.- 2 Cálculo de la Olla.
  - V.- 2. a Forma de la Olla.
  - V.- 2. b Altura del orujo en la olla.
  - V.- 2. c Area transversal de la olla.
  - V.- 2. d Flujo de destilado esperado.
  - V.- 2. e Volumen de Vinazas.

- V.- 2. f Placa Gradada.
- V.- 2. g Altura del espacio vacío sobre los orujos.
- V.- 2. h Dispersor de Vapor.
- V.- 2. i Sumario.

V.- 3 Cálculo del Condensador - Subenfriador.

- V.- 3. a Pletamiento.
- V.- 3. b Puntos de Surbuje.
- V.- 3. c Balance de Calor.
- V.- 3. d T Balancada.
- V.- 3. e Caraza y Tubos Condensación.
- V.- 3. f Caraza y Tubos Subenfriamiento.
- V.- 3. g Coeficiente Total.
- V.- 3. h Caídas de Presión.
- V.- 3. i Sumario.

VI.- DISEÑO DEL ALAMBIQUE.

- VI.- 1 Diseño de la Olla.
- VI.- 2 Diagrama de Instalación.
- VI.- 3 Equipo de Control.
- VI.- 4 Carga del Orujo.

VII.- CONCLUSIONES.

VIII.- BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION.

La vinificación produce varios subproductos que se pueden utilizar, con el propósito de hacer más eficiente el proceso de la vinificación y agotar la materia prima.

El orujo de uva es el subproducto más importante de la vinificación; y éste proviene de las partes sólidas de la uva. Del orujo pueden obtenerse alcohol, tártaro, vinagre, materias colorantes, aceites, tanino, etc.

También podría ser objeto de aprovechamiento el gas carbónico, del que durante la fermentación alcohólica se producen grandes cantidades que se desperdician.

De los subproductos de la vinificación, en el presente trabajo, considero a el alcohol etílico como el subproducto más interesante para beneficiarse; por lo tanto el objetivo específico de la investigación será calcular y diseñar un aparato para la recuperación del alcohol en cuestión.

La presente investigación tiene como hipótesis, que la recuperación del alcohol que moje los orujos, puede llevarse a cabo por medio de arrastre con vapor.

Los subproductos de la vinificación en México, son desechados sin dárseles aprovechamiento alguno; por lo tanto se pretende desarrollar un método para la recuperación de uno de ellos; - el alcohol etílico.

El hecho de que no exista una investigación sobre el hecho de la factibilidad del beneficio de alguno de estos subproductos

4

me motivé a realizar una investigación sobre la posibilidad de recuperar el alcohol etílico que se desecha como subproducto.

Así podría prepararse un método de recuperación y por lo -- tanto contribuir en algo a convertir el proceso de la vinificación en un proceso más eficiente agotando aún más la materia - prima, la uva.

## II.- GENERALIDADES:

### II-1.- LA UVA.

La tradición de la uva es tan antigua como la del hombre y está asociada con ésta desde tiempos inasecrables. Su remota antigüedad la atestiguan las hojas fósiles y semillas descubiertas en América del Norte y en Europa, en los depósitos del período terciario del tiempo geológico.

El género botánico *Vitis* tiene dos subgéneros; el *Euvitis* y el *Muscadinia*. Existen variedades que pertenecen a una sola especie y producen más del 90 % de las uvas del mundo. Esta especie es la *Vitis Vinifera* y referida a ella comúnmente como la vid europea. Las vides cultivadas extensivamente en Europa y en otras importantes regiones cultivadoras de vid, son de *Vinifera* pura ó de *Vinifera* híbrida con una ó más especies americanas.

Las vides para el comercio se dividen por su uso en cuatro grupos, estos son vides de uva para masa, vides de uva para fabricación de vino, vides de uva para jugos dulces y vides de uva para pasas.

#### UVAS DE VINO.

El uso de las uvas para la fabricación de vino es con mucho el más extendido de todos.

Una uva para vino, es aquella variedad conocida de ser -

capaz de producir en alguna localidad un vino aceptable. Los vinos de esta calidad que sobresalen en bouquet, sabor y balance general son el producto de uvas que poseen características especiales tales como las variedades White Riesling, Chardonnay, Cabernet Sauvignon, Tinta Madeira y Muscat Blanc.

#### UVAS DE MESA.

Las uvas de mesa se dedican para consumo como fruta fresca ó para propósitos decorativos. La apariencia es el factor más importante que gobierna la venta de uvas para mesa a algunas de las principales variedades cultivadas son Cardinal, Emperador, Italia, Ribier, Thompson Seedless y Tokey.

#### UVAS PARA JUGOS DULCES.

Las variedades conocidas como uvas de jugo dulce, son aquellas cuyo jugo produce una bebida aceptable cuando es preservado por medio de la pasteurización, la filtración, prueba de gérmenes ó por otros medios. Las variedades de vinífera utilizadas con este fin, son la Carignane, Concord y Chasselle Doré, principalmente.

#### UVAS DE PASAS.

Estas son uvas que dan un producto seco aceptable, entendiéndose por esto una textura blanda, ausencia de semillas, sabor agradable, tamaño grande ó muy pequeña. Las variedades utilizadas son la Thompson Seedless, Sultana y Red Corinth.



Desde el punto de vista de su estructura aparente el racimo de uva comprende el raspón y los granos.

El raspón constituye del 2 % al 6 % del peso total del racimo en la madurez y difiere de acuerdo con la variedad. La composición química del raspón cambia en pequeñas proporciones según la variedad:

	%
Agua	78-80
Tanino	2-3.5
Materias Acidas	1-2
Materias Minerales	2-3
Materias Nitrogenadas	1-2
Materias Leñosas y No Volátiles	9-14

La piel u hollejo de los granos se lleva del 5 al 12 % del peso total. En la parte externa de ésta se encuentra una materia protectora llamada pruina. La piel y las capas de células inmediatamente abajo de la pruina, contiene la mayor parte del color, el aroma y los constituyentes del sabor de las uvas.

La composición química del hollejo es aproximadamente:

	%
Agua	78-80
Tanino	1-2
Materias Acidas	1-1.5
Materias Minerales	1.5-2.0
Materias Nitrogenadas	1.5-2.0

Las semillas varían de 0 a 4 según la variedad de cepa constituyen hasta el 10 % del peso del fruto. De entre todos los materiales sólidos del racimo de uva, las pepitas son las más ricas en tanino.

La composición química de las semillas es la siguiente:

	%
Agua	36-40
Materias Grasas	10-12
Tanino	7-8
Materias Ácidas	1
Materias Nitrogenadas	5
Materias Minerales	1-2
Materias Hidrocarbonadas	34-36

La pulpa constituye aproximadamente el 82-85 % del peso total -- del racimo; es la parte más importante del grano de uva, puesto que es ella la que después de estrujada la vendimia, da el mosto y éste -- después de la fermentación proporcionará el vino.

La pulpa encierra los siguientes componentes:

	%
Agua	70-78
Azúcares (Glucosa, fructosa)	10-25
Bitartrato Potásico	0.3-1.0
Ácidos Libres (Tartárico, Málico, Cítrico)	0.2-1.0
Materias Minerales (Al, Ca, Cu, Mg, K, P, Fe)	0.2-0.3
Materias Nitrogenadas y Materias Pépticas	0.05-0.01

Examinando la tabla anterior es fácil darse cuenta de que los -- azúcares constituyen el elemento principal del jugo de uva.

## II-2.- LA FERMENTACION.

Una vez estrujada la vendimia por los medios adecuados para obtener el jugo de uva ó mosto, al cabo de varias horas comienza la fermentación. La transformación del mosto (líquido azucarado) en vino (líquido alcohólico) se produce por un fenómeno biológico denominado fermentación alcohólica.

En la fermentación alcohólica el azúcar del mosto se transforma en alcohol y en gas carbónico bajo la acción de ciertos productos segregados por las levaduras que se han multiplicado en el medio.

Se puede apreciar fácilmente éste fenómeno por medio de los siguientes como:

- a.-) Una efervescencia, debida al desprendimiento de anhídrido carbónico.
- b.-) Un aumento de temperatura en el seno de la masa que fermenta.
- c.-) Un cambio de sabor en el líquido puesto en fermentación, que de azucarado toma rápidamente un gusto alcohólico.
- d.-) Una disminución de su densidad que se aproxima a la del agua y después se hace menor.
- e.-) Un aumento de color, cuando está en contacto con hollejos de uvas coloreadas.

A raíz de las reacciones bioquímicas, químicas y físicas que intervienen en la fermentación del mosto, tales cambios aludidos afectan

en particular a los siguientes:

#### AZUCARES:

Existe la transformación total ó parcial de la glucosa y de la levulosa en alcohol etílico, anhídrido carbónico, glicerina, ácido acético, aldehído acético y alcohol metílico. Como consecuencia del desdoblamiento de los azúcares, el agua aparece en el vino con aparente aumento al ascender su porcentaje, mientras que disminuye su peso específico.

#### ACIDOS ORGANICOS FIJOS Y SUS SALES

Existe la formación bioquímica de ácidos grasos, particularmente el acético a expensas de numerosos productos descompuestos por la levadura y las bacterias en general.

#### SUBSTANCIAS PEPTICAS, GOMAS Y MUCILAGOS.

Disminución por precipitación debidas al alcohol y por floculación.

#### SUBSTANCIAS NITROGENADAS.

Disminución casi total de los asimilables (ácidos aminados) por consumo de la levadura y demás microorganismos activos de la flora microorgánica de la fermentación y por transformación bioquímica en ácido succínico y alcoholes superiores.

#### MATERIAS TANNICAS:

Existe una disminución por floculación con los coloides albuminosos.

**MATERIAS COLORANTES.**

Disminución por oxidación y floculación.

**ESTERES, ALDEHIDOS Y ACETALES.**

Formación durante la fermentación y más acentuadamente durante la crianza.

**MATERIAS MINERALES.**

Disminución por precipitación del bitartrato de potasio, del - - tartrato de calcio y consumo de fósforo por la levadura.

Comparando el mosto y el vino en lo que se refiere a su composición, se tiene una idea de las transformaciones realizadas.

**M O S T O :**

Agua

Azúcar (glucosa, levulosa)

Acidos Fijos (Tartárico, Mólico  
Cítrico)

Sales Acidas Bitartrato potásico

Materias Minerales.

Materias Nitrogenadas

Materias Pépticas

**V I N O :**

Agua.

Alcohol etílico, glicerina,  
aldehidos.

Acidos Fijos Tartárico, Mólico.

Cítrico, Acido Succínico y Acido  
Ténico.

Sales Acidas Bitartrato potásico.

Acidos Volátiles Acido Acético.

Materias Minerales.

Materias Nitrogenadas y alcoholes  
superiores.

Materias Pépticas han precipitado  
parcialmente.

Materias Colorantes.

### II-3.- EL VINO.

El vino es un líquido acuoso, alcohólico y ácido procedente de la fermentación alcohólica del mosto ó de la uva estrujada. Los principales componentes del vino son: agua, alcohol, estílico, alcoholes superiores, glicerina, ácidos málico, tartárico, tánico, succínico, carbónico, oxálico y láctico, cremor tartárico, sustancias minerales y sustancias nitrogenadas.

#### AGUA.

El agua es el componente que en mayor proporción se encuentra en el vino, la cuál lleva en disolución los otros componentes.

#### ALCOHOL ETILICO.

El alcohol etílico constituye el elemento fundamental del vino - el que da su espíritu, como que se le denomina espíritu del vino. El contenido de éste en el vino es variable comprendiéndose entre 100 G.L. y 120 G.L. dependiendo del contenido de azúcares del mosto y de la forma que se halla conducido la fermentación.

#### ALCOHOL METILICO.

El vino normal contiene muy ligeras proporciones de alcohol metílico. Los vinos fermentados en presencia del hollejo contienen hasta 0.5 % volumen de alcohol metílico, teniendo una proporción corriente del 0.25 %. Los vinos fermentados sin hollejo prácticamente no lo contienen, alrededor del 0.033 %.

### ALCOHOLES SUPERIORES.

El vino contiene mínimas cantidades de alcoholes superiores, la producción de estos se debe a reacciones bioquímicas secundarias de la fermentación. Estos alcoholes son recuperables al destilar el vino, en el denominado casita de fusel. Este contiene entre 14-24 % de agua, -- 13-45 % de alcohol etílico, 16-40 % de alcohol amílico, 6-24 % de alcohol propílico, de 10-25 % de alcohol isobutílico y vestigios de otros.

### GLICERINA.

Este componente es esencial en el vino por el papel que desempeña en la armonía organoléptica del vino.

El vino contiene entre 4 y 11 gramos por litro.

### ACIDO SUCCINICO.

Es un producto secundario de la fermentación. Su producción es variable hasta un límite cercano a 0.8 %.

### ACIDOS VOLATILES.

En el vino normal, alrededor del 80 % de la acidez volátil es debida al ácido acético y el resto a los ácidos propiónico, butírico normal e isobutírico. La proporción normal de ácidos volátiles al momento del decube es del 0.04 al 0.06 gr./l.

### ALDEHIDOS.

Los aldehidos que integran la composición del vino, debido a --

Los acentuados aromas contribuyen e intensifican la finura del bouquet. Casi la totalidad de la riqueza aldehídica del vino se debe al aldehído acético. La mínima proporción restante es debida al aldehído fórmico.

#### ESTERES.

Los esteres del vino provienen de la combinación de los ácidos con los alcoholes y de reacciones de origen bioquímico. Entre los esteres que posee el vino se encuentran el etil acético, el isobutirato de etilo y el succinato de etilo cuyas propiedades aromáticas acentúan las peculiaridades del vino.



#### II-4.- EL CRUJO.

Después de haber terminado la fermentación del mosto, que se comprueba cuando el aerómetro marca 00 Bx., se lleva a cabo el descube. El descube es la práctica de separar el mosto fermentado de las partes sólidas de la uva llamadas crujos. El descube solo se aplica a los vinos tintos, cuyo mosto fermentó junto con las partes sólidas de la uva, para obtener del hollejo de ésta su color característico.

El descube se practica cuando el líquido no disuelto de la caca la cantidad de color, de tanino y de substancias ápidas necesarias para fijar las características del vino que se elabora. El vino es separado de la cuba de fermentación por simple drenado quedando el crujo dentro de la cuba de fermentación y el vino es conducido a otro recipiente limpio.

Apenas terminado el descube, debe procederse al prensado del crujo para extraer por medio de la presión de la prensa; el vino que emboga el crujo. No conviene retrasar esta operación porque el crujo expuesto al aire puede oxidarse y además pierde mucho color al insolubilizarse la materia colorante debido a oxidaciones que sufre ésta.

El crujo proveniente de vinos tintos contiene siempre vino y por lo tanto alcohol, por muy esmerado que haya sido su prensado. Los crujos constituyen el más importante subproducto del vino y que en una práctica muy común y generalizada no es les de ningún uso en lo absoluto, en México, a excepción de pocas vinícolas que lo venden como materia de desecho a plantas extractoras de tartratos.

El orujo después de bien prensado contiene cerca del 50 % de vino en peso. Por lo tanto contiene alcohol que se puede destilar y cremor tártero que se puede extraer. De ahí que el valor del orujo depende -- principalmente del alcohol y del cremor que contenga.

La composición de los orujos varía entre límites bastante alejados según la naturaleza de las cepas de que provienen, el modo de vinificación y las condiciones atmosféricas que han prevalecido durante la vegetación de la vid y que tiene una influencia considerable sobre la composición de las uvas en el momento de la vendimia.

El peso de los orujos constituye del 15 % al 20 % de la vendimia y del 10 al 12 % cuando el racimo ha sido despallido antes de la vinificación.

\* M. Moris calculó que la materia seca de los orujos se componía en peso alrededor de 74.7 % de granos y 23.3 % de raspones. Estimaba también que 100 Mg. de orujos contendrán 57.5 % de agua, 31.12 % de celulosa, 3 % de alcohol, 2.55 % de cenizas, 925 gr. de  $N_2$  y 4.5 Mg. de materias diversas.

\* Mitz estableció que la composición química de los raspones, de los hollejos y de las pepitas era muy diferente. Los hollejos son muy ricos en materias minerales y contienen hasta el 17 % mientras que los raspones no contienen más que el 7 % y las pepitas el 3.4 %.

Estos al contrario presentan una proporción elevada en materias grasas que alcanzan el 7 %, mientras que no llegan más que al 3.9 en los hollejos y al 1.4 %, en los raspones.

\* Mencionados por E. Nègre, P. Francot.

Las materias nitrogenadas están sobre todo concentradas en los hollejos, con una proporción de 13.3 %, las pepitas no contienen más que el 10.3 % y los raspores el 7.9 %. En cuanto a la celulosa entra en el 42.5 % en la composición de las pepitas, el 19.8 % en la de los raspores y el 13.8 % en la de los hollejos.

El mismo autor estableció que los crujeos tintos contienen por término medio 5 a 60 de alcohol, del 15 al 20 % de materias extractivas y del 8 al 10 % de celulosa.

• Degruilly estima que la proporción media de agua en los crujeos es del 70 % y el de las materias secas del 30 %. En éstas los raspores entrarían en el 28.2 %, los hollejos en el 47.6 % y las pepitas en el 24.2 %, además estarían compuestas en el porcentaje total, del 4 % de materias celulósicas, del 2.9 % de materias minerales, del 3.35 % de materias nitrogenadas, del 2.35 % de materias grasas y del 17.5 % de materias extractivas no nitrogenadas.

Se observa que existen diferencias notables entre las cifras de estos diversos autores, que han sido calculadas según las medias obtenidas de numerosos análisis. Esto demuestra que la composición de los crujeos es esencialmente variable y que estas medias no tienen ningún valor absoluto.

• Mencionados por E. Nègre, P. Francot.

El rendimiento de los crujeos tintos en alcohol es aproximadamente del 5 % en peso.

Se ha podido comprobar que los orujos tintos destilados algún - - tiempo después de la salida de la prensa dan más alcohol que al se destilan a la salida de la cuba.

Esto sucede, sin duda, no solamente a una transformación y a una fermentación lenta del azúcar restante, sino también, probablemente, - el azúcar de las sustancias fermentescibles contenidas en los raspas, pues las pepitas no pueden suministrar nada y la difusión en los hollos es perfecta.

### III.- AGUARDIENTES DE CRUJO.

Los crujos de uva poseen la propiedad de dar, por destilación, - aguardiente de un sabor especial que les hace que sean deseados por - los consumidores.

Este sabor es debido a los aceites esenciales contenidos en las - pepitas y en los hollejos, así como la forma ó método de destilarlos.

Para la obtención de aguardientes de crujo se puede destilar di- - rectamente los crujos, obteniendo así un aguardiente de olor penetran- - te.

También se puede con el crujo fabricar piquetes y destilar luego - este piquete; se obtiene así un aguardiente comparable al del vino que - no tiene ningún gusto a crujo.

La piqueta es el líquido alcohólico obtenido al lavar con agua - los crujos.

La destilación directa de los crujos puede efectuarse a fuego di- - recto, al baño maría y por arrestra de vapor.

### III-1.- METODOS DE OBTENCION.

#### DESTILACION DE ORUJOS A FUEGO DIRECTO.

La destilación se efectúa en un alambique parecido al utilizado para la destilación del vino, sin embargo ésta contiene sobre el fondo de la caldera una plancha de cobre perforada para impedir que las materias sólidas estén en contacto con el fondo y se quemen.

Se ponen los orujos en la caldera con un tercio de su volumen aproximadamente de agua y la destilación se efectúa. Es preferible verter desde un principio la cantidad total de agua y echar los orujos desmenuzados. Se tiene que tener cuidado si se quiere obtener aguardientes de buena calidad, de eliminar las cabezas y las colas. Se procede de la misma manera que para los vinos, es decir, produciendo en la primera destilación un aguardiente de bajo grado que se rectifica por medio de una segunda destilación para llevarlo al grado deseado.

#### DESTILACION DE LOS ORUJOS AL BAÑO MARIA.

La plancha de cobre perforada utilizada en el alambique para destilación de orujos a fuego directo, puede ser reemplazada por un cester metálico colocado en la caldera conteniendo los orujos ó por una segunda caldera que se sumerja en el agua de la primera. La destilación se efectúa entonces al baño maría. Cuando la destilación ha terminado los orujos se sacan mediante basculamiento de la caldera.

**DESTILACION DE LOS ORUJOS POR ARRASTRE DE VAPOR.**

Este tipo de destilación utiliza vapor procedente de un generador. El vapor llega del generador, entra en la caldera, atraviesa el orujo de abajo hacia arriba y arrastra el alcohol a refrigerante. El orujo a destilar se vierte en el recipiente metálico y se cierra - esta herméticamente. La caldera se monta de forma que se puede ver - sior por basculamiento.

El vapor al atravesar de abajo arriba todos los orujos se apodera del alcohol y de otros productos que constituyen el aguardiente y se - condensan finalmente en el refrigerante.

### III-2.- DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR.

Una destilación por arrastre de vapor en lotes es una destilación en la cuál la vaporización de los constituyentes volátiles del material en el lote se efectúa a una temperatura más baja al introducir vapor de agua directamente a la carga. El vapor de agua utilizado de esta manera se le denomina vapor abierto.

El decremento de la presión parcial de los constituyentes volátiles de la carga, obtenida por el uso del vapor abierto, puede ser asegurada por el uso similar de cualquier gas inerte.

El uso de gases ó vapores diferentes al vapor de agua puede en muchos casos causar problemas en la condensación y en la recuperación del destilado, también como en la recuperación del gas. En la mayoría de las plantas en las cuáles es necesario utilizar una destilación de esta naturaleza, se tiene a la mano vapor de agua de baja presión o bajo costo.

Por estas razones el vapor de agua es empleado en la mayoría de los casos.

La destilación por arrastre de vapor en lotes en laboratorios de purificación de compuestos orgánicos, es una valiosa herramienta para los químicos orgánicos. Por medio de la destilación por arrastre de vapor, los líquidos orgánicos volátiles pueden ser separados de impurezas relativamente bajas de manera que la descomposición térmica no ocurra. Este tipo de operación, cuándo se lleva a escala industrial, ventajosamente se emplea la destilación por arrastre de vapor. La purificación de glicerina y de ácidos grasos son ejemplo de este tipo de destilación a escala industrial.



### TEORIA DE LA DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR.

Un componente volátil en solución con un componente líquido no - volátil.

Para mezclas inmiscibles, la presión total del sistema será - - igual a la suma de las presiones de vapor de los componentes.

Suponiendo una mezcla binaria:

$$P_T = P_A + P_B^0 \quad \text{si B no es puro}$$

$$P_T = P_A^0 + P_B^0 X_B$$

$$P_T = P_{H_2O}^0 + P_B^0 X_B$$

$$P_B = (P_B^0) (X_B) (E)$$

$$P_T = P_{H_2O}^0 + P_B^0 X_B E$$

donde E = eficiencia, y si el contacto es bueno  $\therefore E = 1$

La definición de la eficiencia de la destilación por arrastre de vapor (E) será:

$$E = \frac{P_B}{P_B^0 X_B}$$

;

$$E = \frac{P_B}{\left( \frac{L_B}{L_B + L_C} \right) P_B^0}$$

donde:

$E$  = eficiencia de la destilación, que es el cociente de la  $P_B$  y la presión de equilibrio de  $B$ .

$P_B$  = presión parcial del componente volátil.

$L_B$  = moles totales del componente volátil.

$L_C$  = moles totales del componente no volátil de la mezcla, que por lo tanto son constantes.

$P_B^0$  = presión de vapor del componente volátil.

$P_A$  = presión de vapor del vapor de arrastre.

### ECUACIONES DE DISEÑO.

1.- Destilación por arrastre de vapor de un componente volátil en disolución con un componente no volátil en gran cantidad.

Mediante relaciones matemáticas tenemos:

$$\frac{-dV}{dL_B} = \frac{P_B}{P_T}$$

$$\frac{-dV}{dL_B} = \frac{P_T - P_B^0}{P_T}$$

$$\frac{-dV}{dL_B} = \frac{P_T - E X_B P_B^0}{E X_B P_B^0}$$

$$\frac{d \tilde{V}}{d \tilde{L}_B} = \frac{P_T}{E P_B} \frac{d \tilde{L}_B}{\tilde{L}_C + \tilde{L}_B} - 1$$

$$d \tilde{V} = - \frac{P_T}{E P_B} \frac{d \tilde{L}_B}{\frac{\tilde{L}_B}{\tilde{L}_B + \tilde{L}_C}} + d \tilde{L}_B$$

$$d \tilde{V} = - \left[ \frac{P_T}{E P_B} - 1 \right] d \tilde{L}_B - \frac{P_T \tilde{L}_C}{E P_B \tilde{L}_B} d \tilde{L}_B$$

Integrada:

$$\tilde{V}_{\text{arrastra}} = \left[ \frac{P_T}{E P_B} - 1 \right] \tilde{L}_{B1} - \tilde{L}_{B2} + \frac{P_T \tilde{L}_C}{E P_B} \ln \frac{\tilde{L}_{B1}}{\tilde{L}_{B2}}$$

en donde:

$\tilde{V}_{\text{arrastra}}$  = moles totales de vapor ahogado requerido.

$\tilde{L}_C$  = moles totales del componente no volátil constante.

$\tilde{L}_{B1}$  = moles iniciales del componente volátil.

$\tilde{L}_{B2}$  = moles finales del componente volátil.

$P_T$  = presión total.

$E$  = eficiencia de la destilación.

- 2.- Destilación de un componente volátil por arrastre de vapor de una cantidad relativamente pequeña del componente no volátil en disolución.

Bajo estas condiciones  $\tilde{L}_C$  es pequeña en comparación con  $L_B$ , por lo tanto  $\tilde{L}_C \rightarrow 0$  y las moles totales de vapor sobreelevado requerido serán:

$$\tilde{V}_{\text{arrastre}} = \left[ \frac{P_T}{E P_{B0}} - 1 \right] \left[ \tilde{L}_B - 1 - \tilde{L}_B 2 \right]$$

**Eficiencia de la Vaporización en la Destilación por arrastre de vapor.**

En una destilación por arrastre de vapor, las burbujas se elevan a través de la carga líquida dando una concentración del componente volátil gobernada por la presión parcial del vapor del componente volátil en la carga. Ha sido reconocido que la presión parcial del material volátil en el vapor proveniente de la caldera es en la mayoría de los casos menor que la presión parcial representada en equilibrio con el constituyente en la carga.

La eficiencia de vaporización definida por la ecuación.

$$E = \frac{\tilde{P}_A}{\left[ \frac{\tilde{L}_B}{\tilde{L}_B + \tilde{L}_C} \right] P_{A0}}$$

ha sido empleada como un factor empírico de seguridad para permitir la vaporización en las condiciones de equilibrio.

Valores de 0.6 a 0.7 han sido utilizados.

Carey Sc. D. Tesis Mass. Inst. Tech. 1930, ha demostrado que la eficiencia de vaporización está relacionada al tipo de sustancia destilada, la profundidad del líquido a través del cual las burbujas de vapor pasan, y el tamaño de las burbujas individuales de vapor de agua por medio de la siguiente expresión.

$$E_v = \frac{P}{P^0} = 1 - e^{-K \frac{L}{D}}$$

en la cual:

- $E_v$  = es la eficiencia de la evaporación.
- $P$  = es la presión parcial del material volátil en el vapor.
- $P^0$  = presión parcial del componente volátil el cual estará en equilibrio con la carga líquida.
- $L$  = es la profundidad de la carga del líquido a través del cual el vapor es elevado.
- $D$  = es el diámetro de las burbujas de vapor.
- $K$  = es una constante característica de la sustancia destilada determinada por su velocidad de difusión en la fase vapor.

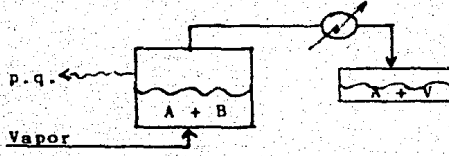
Para obtener altos valores de eficiencia de evaporación, el vapor deberá ser introducido a la carga por medio de un gran número de orificios y a una profundidad apreciable debajo de la superficie del líquido.

Con los orificios del vapor de 1/4 de pulgada de diámetro y profundidades de un pie ó más, se probable obtener valores de eficiencia de vaporización mucho más altos; por ejemplo 0.9 a 0.95 que en vez de 0.6 a 0.7; cuando se trabaja con compuestos orgánicos con un peso molecular menor a 100. En destilación de aceites lubricantes ( P M = 250 ) los cálculos con datos de refinerías muestran eficiencias de evaporización de un promedio de 0.5.

### VAPOR TOTAL NECESARIO.

En una destilación por arrastre de vapor, todo el vapor que se utiliza durante la misma no es el que se recoge a la salida del condensador. La cantidad total de agua a la salida del condensador es menor que la cantidad total de vapor vivo utilizado ya que el vapor vivo que entra a la caldera tiene como función no solamente servir de medio de evaporización, sino también la de calentar la carga hasta su temperatura de ebullición y compensar las pérdidas de calor.

El siguiente diagrama nos muestra el sistema de destilación:



Efectuando un balance de calor en el sistema nos encontramos con

lo siguientes:

$$\begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{líquido entrante} \\
 \text{al proceso}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{vapor entrante} \\
 \text{al proceso}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{líquido volátil} \\
 \text{destilado.}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{vapor de} \\
 \text{arrastre}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{líquido residual.} \\
 \text{destil.}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Entalpia del} \\
 \text{agua residual.} \\
 \text{destil.}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{Calor} \\
 \text{Perdido.}
 \end{array}$$

El balance anterior expresado como ecuación nos dará:

$$L_{B1} M_{B1} + M_V V_T = (L_{B1} - L_{B2}) M_D + V_A M_A + L_{B2} M_{B2} + V_R M_{V_R} + p.q.$$

Donde:

$L_{B1}$  = moles iniciales del componente volátil.

$M_{B1}$  = entalpia inicial del componente volátil.

$M_V$  = entalpia del vapor entrante al proceso.

$V_T$  = moles del vapor entrante al proceso.

$L_{B2}$  = moles finales del componente volátil.

$M_D$  = entalpia del componente volátil destilado.

$V_A$  = moles de vapor de arrastre.

$M_A$  = entalpia del vapor de arrastre.

$M_{B2}$  = entalpia del componente volátil final.

$V_R$  = moles del agua residual.

$M_{V_R}$  = entalpia del agua residual.

$p.q.$  = pérdidas de calor.

En el balance anterior tenemos que:

$$M_{B1} = C_p (T_1 - T_0)$$

$$M_D = C_p (T_D - T_0) + \lambda \text{ del líquido volátil que se destila.}$$



### EFFECTO DE LA PRESENCIA DE AGUA LIQUIDA EN LA CALDERA.

El efecto del agua líquida en la carga durante una destilación por arrastre de vapor se puede analizar con la aplicación de la regla de las fases.

Si se tuviere un componente no miscible con agua, que contuviera una cantidad pequeña de impurezas no volátiles y en ausencia de agua líquida se destilará por arrastre de vapor, estarían presentes dos componentes y dos fases lo que daría dos grados de libertad.

Ambas la temperatura y la presión pueden ser independientemente variables. En este caso para reducir el consumo de vapor de agua se destilaría a la mayor temperatura posible, fijada por la temperatura de descomposición del destilado y reduciendo la presión de operación.

Por otro lado si el agua está presente como fase líquida, el número de fases sería tres, con dos componentes que darían un solo grado de libertad.

Por lo tanto fijando la temperatura ó la presión se fija el estado del sistema.

### USO DE UNA FUENTE EXTERNA DE CALOR.

La desabilidad de destilar por arrastre de vapor a la temperatura más alta permitida por la descomposición del producto y la ausencia de agua líquida como fase extra, no solamente son importantes para el ahorro de vapor de agua. También es deseable disminuir la cantidad de vapor de agua en el destilado, de manera que la cantidad de calor removida en el condensador, la superficie de condensación y el agua de enfriamiento sean reducidas.

Por estas razones un medio de proveer calor a la carga otra que la condensación de una porción del vapor abierto, es comunmente recomendable.

La fuente de calor externa puede ser proporcionada condensando vapor en un serpentín inmerso en la carga, ó por medio de una chaqueta de vapor que cubra la caldera exteriormente.

En la estimación de los requerimientos de calor y en el diseño de las superficies de calentamiento se debe considerar.

a.-) El tiempo requerido para calentar la carga fría hasta su temperatura de destilación.

b.-) El calor que se necesita proporcionar para satisfacer el calor latente de vaporización durante un proceso discontinuo.

Al considerar el primer punto, es deseable proporcionar una superficie suficiente de modo que la carga se lleve a su punto de ebullición en un tiempo que esté bien balanceado con respecto al tiempo requerido para el ciclo de destilado completo.

La segunda consideración estará gobernada por el régimen al cuál se desea destilar el lote.

#### IV.- EXPERIMENTACION.

##### IV.- 1.- APARATO EXPERIMENTAL.

Para poder tener una idea muy cercana a lo que sería una destilación de crujos por arrastre de vapor a escala industrial, se llevaron a cabo varias destilaciones a escala experimental en laboratorio.

A estas destilaciones se les fueron cambiando las condiciones de operación y se registraron cuidadosamente los efectos de dichos cambios de operación.

Las destilaciones se llevaron a cabo en un aparato marca: " Brighton Cooper Works, Inc. " propiedad del laboratorio de Ingeniería Química, de la Facultad de Química de la UNAM en Ciudad Universitaria.

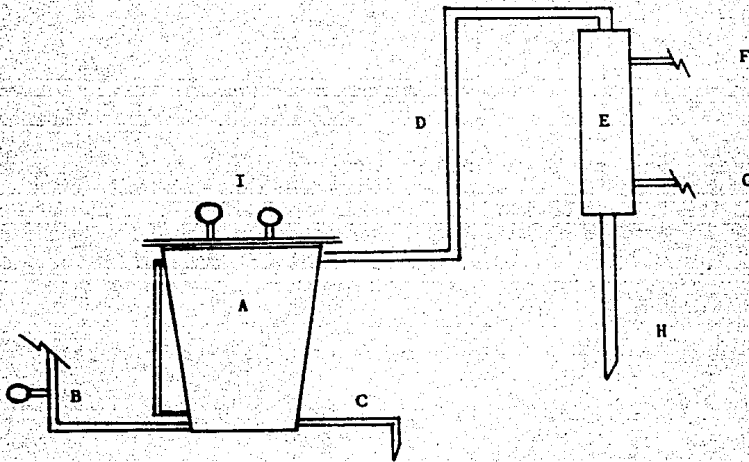
El aparato consiste en una olla de cobre de forma de cono truncado con tapa superior.

Tiene una chaqueta de vapor, la cuál no se utilizó en el experimento. La entrada del vapor de arrastre se lleva a cabo por la parte inferior del aparato y la salida del mismo es por la parte superior.

A la salida del destilado existe un tubo que conduce a los vapores provenientes de la destilación por arrastre a un condensador de tubo vertical, en el cuál finalmente los vapores son condensados y recuperados a la salida de éste.

El condensador funciona a base de agua a temperatura ambiente -- que entra al condensador a contracorriente.

El aparato también cuenta con una salida para los condensados - dentro de la olla que no pudieron ser evaporados y que se formaron - al ceder su calor latente calentando los arujos y por las pérdidas - de calor al medio ambiente.



- Diagrama del Aparato Experimental -

- A.- Alambique de Arrastre por Vapor.  
 B.- Entrada del Vapor de arrastre.  
 C.- Salida de Vinazas.  
 D.- Tubo conductor de vapores alcohólicos.  
 E.- Condensador.  
 F,G.- Salida y Entrada del agua del condensador respectivamente.  
 H.- Salida del Destilado.  
 I.- Termómetro y Manómetro de la olla.

Marca " Brighton Cooper Works, Inc. "

Area transversal medio de la olla:	0.049 m <sup>2</sup>
Area exterior de la olla:	0.638 m <sup>2</sup>
Altura de la olla:	0.75 m
Area del tubo conductor de vapores:	0.1728 m <sup>2</sup>

#### IV.- 2.- TECNICA.

El experimento se llevó a cabo de la siguiente manera:

##### PRIMERA PARTE:

Se cargaron en la olla 5.0 Kg. de orujo de uva fresco, por fresco se entiende no acetificado ó no picado como comunmente se le llama.

El orujo se cargó dentro de la olla desmenuzando para provocar un flujo de vapor uniforme en todo el orujo. Además se colocaron en el fondo de la olla pedacitos de tubo para provocar un hueco en el fondo y que el vapor de arrastre tuviera la misma libertad de circular por donde fuere; evitando así el máximo las condensaciones del vapor.

##### SEGUNDA PARTE:

Se cerró herméticamente la olla a fin de que no escapara vapor. Se cerró la salida de vinazas y se abrió el flujo del agua al condensador.

##### TERCERA PARTE:

Entonces se fijó una presión de entrada del vapor de arrastre por medio de la válvula y de la lectura en el manómetro que ambos se encuentran colocados en la línea de vapor.

Las presiones utilizadas fueron desde 1.0 psig. a 8.0 psig.

##### CUARTA PARTE:

Al empezar a salir el destilado, éste se fué midiendo volumetri-

comenta y constantemente se estaba revisando su grado alcohólico.

El grado alcohólico se estaba revisando con un aerómetro Gay - - Lussac. Durante la destilación se tomaba nota de la temperatura dentro de la olla.

Cuando el grado alcohólico del destilado era cero, se detenía la destilación y se tomaba nota de lo siguiente:

- 4.1 El volumen total de destilado.
- 4.2 Una muestra representativa del destilado para posterior análisis.
- 4.3 El volumen de las vinazas.
- 4.4 El peso de los orujos ya destilados.
- 4.5 El tiempo de duración de la destilación.



**IV.- 3.- LA MATERIA PRIMA DEL EXPERIMENTO.**

El orujo utilizado en el experimento es proveniente de Uva Ruby - Red. Este orujo fue previamente despallado durante la molienda y posteriormente fue prensado hidráulicamente al término de su fermentación y decube.

El vino proveniente de esta uva tenía las siguientes características:

- 1.- Un grado alcohólico de 9.80 G.L.
- 2.- Una acidez volátil de 0.6 gr./ l. Ac. Acético.
- 3.- Una acidez fija de 6.6 gr./ l. Ac. Acético.
- 4.- Una acidez total de 10.0 gr./ l. Ac. Tartárico.

El orujo fue analizado y se encontraron los siguientes resultados:

- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 1.- Humedad:               | 62.4 % en peso.           |
| 2.- Densidad (desmenzado): | 690 kg./ m <sup>3</sup> . |
| 3.- Contenido de Etanol:   | 4.83 % en peso.           |

#### IV.- 4.- ANALISIS QUIMICO DE LOS DESTILADOS:

Las muestras tomadas de los destilados fueron sometidas a varios análisis cuantitativos para determinarles su composición.

Los compuestos cuantificados son los de mayor importancia en los aguardientes y estos son invariablemente verificados en todos los - - aguardientes producidos en las vinícolas mexicanas; tales componentes son: etanol, metanol, alcoholes superiores, furfural, ésteres, aldehídos y la acidez total.

Los métodos de análisis con los cuales se llevaron a cabo estas - cuantificaciones, son los métodos oficiales mexicanos señalados por la Dirección de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Los resultados de tales análisis se dan tabulados a continuación.

Debe recordar que las muestras analizadas son flemas de un grado alcohólico muy bajo y que tendrán que ser redestiladas para obtener un grado alcohólico mayor y en esta redestilación se perderán gran cantidad de impurezas como cabezas y colas.

Es importante indicar también que la redestilación tendrá que ser diferente a las efectuadas con vino, ya que las flemas de orujo por estar más contaminadas tendrán que recibir un tratamiento más riguroso, el cuál por supuesto dará como consecuencia un mayor volumen de merma.

De la tabla siguiente podemos observar que las destilaciones en - las cuales se utilizó un mayor volumen de vapor de arrastre, se encuentran más contaminadas que en las que se utilizó una cantidad menor.

## RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS A LOS DESTILADOS.

No de Corrida:	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>C O N C E P T O :</b>								
Grado alcohólico (G.L.)	7.5	5.5	4.9	3.8	3.5	3.2	3.1	2.90
Acidez Total. mg. ácido acético/100 cm <sup>3</sup> alcohol anhidro.	778.8	916.3	1,224.4	1,263.1	1,131.4	1,387.5	1,316.1	1,406.8
Aldehidos. mg. acetaldéhid/100 cm <sup>3</sup> alcohol anhidro.	212.7	192	267	222.9	110.0	117.3	89.49	72.069
Esteres. mg. acetato de etilo/100 cm <sup>3</sup> alcohol anhidro.	880	896	915.9	1,141.6	1,118.8	1,188.0	1,163.0	1,198.0
Metanol. mg./100 cm <sup>3</sup> alcohol anhidro.	466.9	527	535.9	396.0	317.6	179.3	223.16	107.4
Furfural. mg./litro alcohol anhidro.	20.52	9.0	10.2	13.5	14.4	16.6	16.78	17.26
Alcoholes Superiores. mg./100 cm <sup>3</sup> alcohol anhidro.	132.4	181.8	102.04	285.7	405.4	857.1	916.6	941.17

#### IV.- 5.- ANALISIS FISICO DE LOS DATOS.

Con los datos tomados durante y al final de la destilación, se fogó una tabla de datos técnicos la cuál contiene indicados las presiones, tiempos, volúmenes, flujos y rendimientos porcentuales de cada una de las destilaciones.

Para poder hacer un escalamiento para un aparato destilador a nivel industrial, se necesita escoger el flujo de vapor más adecuado; basado en criterios relacionados con la operación y el destilado.

Criterios para escoger el flujo de vapor más adecuado: de los presentados en la tabla de datos siguiente:

El flujo de vapor más adecuado deberá ajustarse a los siguientes puntos:

- 1.- La destilación deberá llevarse a cabo en el menor tiempo posible para economizar mano de obra y destilar la mayor cantidad de cargas por temporada.
- 2.- La destilación deberá utilizar la menor cantidad de vapor de gresastre, para obtener una economía del mismo; además de evitar los gastos excesivos en la operación de condensación de destilados.
- 3.- El destilado deberá tener el grado alcohólico más alto posible para evitar el manejo de volúmenes grandes y por lo tanto evitar la necesidad de recipientes de grandes dimensiones.
- 4.- El destilado deberá contener la menor cantidad de impurezas, para efectuar una rectificación más sencilla y con menor cantidad de etapas.

TABLA DE DATOS EXPERIMENTALES:

No de Corrida:	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>C O N C E P T O :</b>								
Temperatura Destilación (°C)	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5
Presión Manométrica (Pelig)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Carga de Orujo (Kg)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de Destilación (minutos)	43	37	36	34	34	31	31	19
Volumen de Destilado (litros)	3.870	5.210	6.000	7.400	8.210	8.780	9.110	10.000
Volumen de Vinezas (litros)	2.760	2.030	1.520	1.560	1.632	1.490	1.405	1.325
Reflujo (litros / hora)	0.930	0.933	0.934	0.933	0.933	0.934	0.935	0.937
Porcentaje de Reflujo.	19.4	15.19	13.47	11.20	10.21	9.62	9.32	8.57
Total de Vapor utilizado (litros)	6.630	7.240	7.520	8.960	9.842	10.270	10.215	11.325
Flujo de Vapor (litros / minuto)	0.1541	0.1956	0.2088	0.2635	0.2894	0.3312	0.3290	0.5960
Flujo de Destilado (litros / minuto)	0.090	0.1408	0.1666	0.2176	0.2414	0.2832	0.2935	0.5263
Porcentaje peso vapor/orujo ( % )	133	145	150	179	197	205	204	227
Porcentaje peso alcohol/orujo ( % )	4.61	4.521	4.63	4.437	4.53	4.833	4.456	4.576
Grados Recuperados.	29.21	28.65	29.4	28.12	28.7	28.04	28.27	29.0
Recuperación de alcohol (%)	95.45	93.62	96.07	91.88	93.79	91.79	92.27	94.77
Grados de alcohol / Kg. de orujo	5.842	5.73	5.88	5.624	5.74	5.608	5.654	5.80

Tomando en cuenta la necesidad de escoger el mejor flujo de los -  
datos en cuestión, se realiza una tabla de Decisiones la cuál contiene  
cada uno de los criterios anteriores en cierta escala según su impor-  
tancia, y a cada corrida se le asigna un valor de acuerdo a sus carac-  
terísticas con respecto a dicho criterio.

Recibirá cierta corrida un valor más alto en tanto más se apeque  
el criterio en cuestión, y de la misma manera recibirá un valor bajo  
el sijares del criterio calificado.

Al finalizar de calificar todas las corridas con respecto a todos  
los criterios expuestos, se lleva a cabo una suma de cada una de las -  
calificaciones.

Entonces se comparan las cantidades resultantes, y se elige como  
destilación más adecuada aquella que tenga el valor de la suma más --  
alta.

A continuación se muestra la tabla de Decisiones:

Corrida.		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Criterios:</b>	<b>Rango</b>								
Tiempo Destilación. menor 5; mayor 8	8 - 5	8	1.2	1.4	2.0	1.8	2.5	2.5	5
Volumen de Vapor de Arrastre. menor 7; mayor 8	8 - 7	7	6.0	5.6	3.5	2.2	1.5	1.6	0
Grado Alcohólico Destilado. menor 8; mayor 10	8 - 10	10	5.6	4.3	1.9	1.3	0.6	0.4	0
Cantidad de Impu- rezas. menor 8; mayor 8	8 - 8	8.0	7.9	7.7	6.3	5.3	1.4	0.7	0
		25	20.7	19.0	13.7	10.6	6.0	5.7	5

La tabla de Decisiones nos muestra que el flujo más adecuado para la destilación es el menor de ellos, ya que con este flujo se obtiene el grado OG.L. más alto, se usa el menor volumen de vapor de arrastre, y se obtiene un destilado con una cantidad baja de impurezas.

En este análisis está implícito el concepto del costo de operación en el volumen del vapor de arrastre utilizado, así como en el tiempo de operación.

V.- CALCULO DEL ALAMBIQUE DESTILADOR DE CRUJOS.

V.- 1.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

Con las conclusiones de los datos experimentales se pretende diseñar y calcular el aparato destilador.

Se necesita primero plantear las condiciones a las que el aparato funcionará.

- 1.- El aparato tendrá un funcionamiento discontinuo.
- 2.- La carga procesada será de 3,000 kilos de crujo; en cada carga.
- 3.- La destilación se realizará por arrastre con vapor, según las conclusiones obtenidas de la investigación realizada.



**V.- 2.- CALCULO DE LA OLLA.**

Para este propósito se necesitan definir los siguientes puntos:

- a) La forma que tendrá la olla.
- b) La altura de la carga de orujo en la olla.
- c) El área transversal de la olla.
- d) El flujo de destilado esperado.
- e) La altura a la que llegarán las vinazas, producidas por condensación del vapor.
- f) Pieza horadada que soportará el orujo y su área de contacto, con el orujo.
- g) La altura del espacio vacío sobre los orujos.
- h) La forma del dispersor de vapor.



V.- 2.- c) AREA TRANSVERSAL DE LA OLLA.

Para realizar este cálculo contamos con que la carga del orujo será de 3,000 kilos y que la altura a la que llegará en la olla será de 1.22 m.

Entonces el volumen de la olla será:

$$3,000 \text{ Kgs.} \times \frac{1}{690 \text{ Kg.}} = 4.347 \text{ m}^3$$

$$\frac{4.347 \text{ m}^3}{1.22 \text{ m.}} = 3.563 \text{ m}^2 \text{ de área transversal}$$

lo que nos lleva a un diámetro de 2 m.

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ | \text{ Diámetro} = 2 \text{ m.} | \\ \text{---} \end{array}$$

La razón entre la altura del orujo y el diámetro de la olla del cálculo es 0.576, que comparada con la del experimento ( 0.58 ), es nota que son prácticamente iguales.

V - 2.- d) FLUJO DE DESTILADO ESPERADO.

Una vez encontrado el flujo de destilado adecuado en el alambique experimental, éste se expresa en volumen de destilado por unidades de área y tiempo.

$$\text{Flujo de destilado seleccionado: } 1.50 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}$$

$$\text{Área transversal del alambique experimental: } 0.0449966 \text{ m}^2$$

$$\text{Flujo de destilado} = 1.50 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}} \times \frac{1}{0.0449966 \text{ m}^2}$$

$$\text{Flujo de destilado} = 3.333 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3 \text{ de destilado}}{\text{seg. m}^2}$$

(seleccionado)

Flujo esperado para la olla:

(Flujo seleccionado) x (Área de la Olla)

$$3.333 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg. m}^2} \times 3.564 \text{ m}^2 = 1.188 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Flujo = 428 litros destilado.  
hora.

#### V- 2.- e) VOLUMEN DE VINAZAS.

Es importante calcular que cantidad de vinazas se obtendrán en cada carga, para prevenir el espacio que ocuparán en la olla. Estas vinazas provienen del vapor que se condensa al ceder su calor para calentar el orujo a la temperatura de operación de la destilación y además del que se condensa para calentar el cuerpo del alambique y

y el que repona las pérdidas de calor al medio ambiente.

El calor necesario para calentar el orujo es el siguiente:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = (3,000 \text{ Kg.}) \left( 2,495.7 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg.}^\circ\text{C}} \right) (97 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 591'480,900 \text{ Joules}$$

Calor necesario para calentar el cuerpo del alambique:

$$Q = m C_p \Delta T$$

masa alambique = Area del cuerpo x espesor de la pared  
x densidad del material.

$$\text{masa cuerpo} = (30,1932 \text{ m}^2) (0.006 \text{ m}) \left( 8,882.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^3} \right) = 1,609.11 \text{ Kg.}$$

$$\text{masa placa} = ( 2.60 \text{ m}^2 ) (0.01 \text{ m}) \left( 8,882.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^3} \right) = \frac{249.20 \text{ Kg.}}{1,858.31 \text{ Kg.}}$$

$$Q = (1,858.31 \text{ Kg.}) \left( 669.96 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg.}^\circ\text{C}} \right) (97 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 98'351,540 \text{ Joules}$$

Pérdidas de calor al medio ambiente.

Las pérdidas de calor se llevan a cabo en la superficie del alambique por medio de convección natural al aire y por medio de radiación.

Coefficientes de convección natural al aire:

Para Placas Verticales:

$$h_c = 0.3 \Delta T^{0.25}$$

$$h_c = 1.038 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ OF}} = 21,235 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ OC}}$$

Placas Horizontales:

$$h_c = 0.38 \Delta T^{0.25}$$

$$h_c = 1.315 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ OF}}$$

$$= 26,904 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ OC}}$$

Coefficiente de radiación:

$$(0.78) (0.173) \left[ \frac{668}{143.6} \right]^4 - \left[ \frac{524.4}{143.6} \right]^4$$

$$h_r = \frac{\quad}{143.6}$$

$$h_r = 0.273 \frac{\text{BTU}}{\text{hr. pie}^2 \text{ OF}} = 5,584 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ OC}}$$

Sumando ambos coeficientes:

Placas Verticales:  $h_{cr} = 26,819 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ OC}}$

Placas Horizontales:  $h_{cr} = 32,485 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ OC}}$

Suponiendo que la destilación durará cerca de cuatro horas tendremos:

Pérdidas de calor en placas verticales:

$$PQ = A \times hcr \times \Delta T$$

$$PQ = (14.618 \text{ m}^2) (26,819 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}) (79) \text{ } ^\circ\text{C} (4 \text{ hr.})$$

$$PQ = 123'884,684 \text{ Joules}$$

Pérdidas de calor en placas horizontales:

$$PQ = A \times hcr \times \Delta T$$

$$PQ = (8.55 \text{ m}^2) (32,485 \frac{\text{Joules}}{\text{hr. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}) (79) \text{ } ^\circ\text{C} (4 \text{ hr.})$$

$$PQ = 87'767,972 \text{ Joules}$$

Entonces las pérdidas de calor al medio ambiente serán:

211'652,656 Joules y el total de calor cedido para la formación de vinosa será de: 870'513,925 Joules, lo que equivale a:

1,157 Kgs. de agua que ocupan un volumen de 1.207 m<sup>3</sup>

-----  
 ' Volumen de Vinosa 1.207 m<sup>3</sup> '  
 -----

V - 2.- ?) PLACA HORADADA.

Este placa se calculará como un plato horadado en una torre de destilación, entonces se necesita encontrar el área de contacto (área total de los orificios) que existirá entre el vapor de arrastre y los orujos.

Existe la siguiente relación para calcular la velocidad límite del vapor por los orificios.

$$U_c = K_v \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}}$$

es. 19-72 Ref. Mc. Cabe Unit Operations of Chemical Engineering.

en donde:

$U_c$  = máxima velocidad permisible del vapor, basada en el área de los orificios.

$K_v$  = constante empírica.

$\rho_l$ ,  $\rho_v$  = densidades del líquido y vapor respectivamente.

En términos de masa velocidad, la ecuación puede ser escrita como:

$$U_c \rho_v = K_v \sqrt{\rho_v (\rho_L - \rho_v)}$$

y como  $\rho_v$  es despreciable frente a  $\rho_l$ , y como la densidad de los líquidos es de un modo no muy estricto, la misma para la mayoría de los líquidos.



la ecuación anterior nos quedará como:

$$U_0 \sqrt{\rho V} = K_v \sqrt{\rho L} = F_0$$

en donde  $U_0$ , está en pies por segundo y las densidades en libras por pie cúbico.

El Factor  $F_0$  fluctúa entre 0 y 2.0, según la gráfica 18-31 Ref. Perry . R. Biblioteca del Ingeniero Químico.

Esta gráfica nos muestra que para un valor  $F = 0.7$  la eficiencia de Murphree es máxima. Ya que para las destilaciones de arrastre con vapor, no se obtienen eficiencias muy altas según la literatura, se usará una eficiencia conservadora del 70 %.

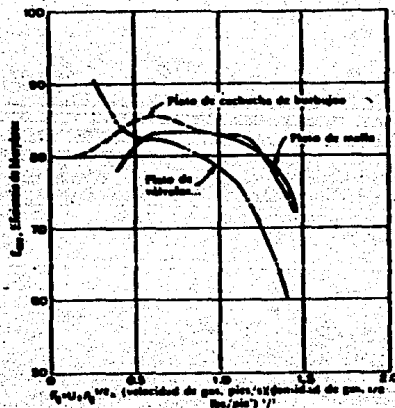


Fig. 18-31. Eficiencias de platos, etanol-agua (Kirschbaum, *Drucklos-Reaktionsverfahren*, 4a. ed., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1969).

Para una eficiencia del 70 %, la gráfica nos indica un valor:

$F_g = 0.2$ , podemos obtener así un valor para  $U_c$ :

$$U_c = \frac{0.2}{\sqrt{0.01675}} = 1.54 \frac{\text{pies}}{\text{segundo}} = \frac{0.46 \text{ m}}{\text{segundo}}$$

$$\sqrt{0.01675}$$

Teniendo los metros cúbicos por segundo de vapor necesario, y teniendo los metros por segundo a los cuáles pasa el vapor por los orificios, podemos obtener, en consecuencia, el área de los orificios:

$$\text{Área orificios:} = \frac{(3.93 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ destilado / seg.})}{0.46 \text{ m / seg.}}$$

$$\text{Área orificios} = (8.543 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

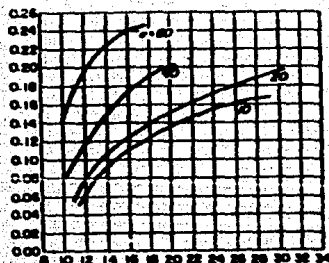
Entonces proponiendo hacer orificios de 0.004 m de diámetro, para evitar atascamientos, obtenemos un total de 70 orificios en la placa, - los cuáles deberán espaciarse adecuadamente sobre la placa a una distancia de 0.036 m a 0.05 m de centro a centro. Los orificios no deberán colocarse a una distancia menor de 0.05 m de la pared de la cila.

V- 2.- g) ALTURA DE ESPACIO VACIO SOBRE LOS CRUJOS.

A este espacio, se le calcula como la distancia entre dos platos en una columna de destilación.

Existe una gráfica (figura 19-32 Ref. Mc Cabe - Smith Unit Operations of Chemical Engineering) la cuál nos relaciona el espacio entre platos con el factor  $K_v$ , de la ecuación utilizada en el inciso próximo anterior:

$$F = U_c \sqrt{\rho v} = K_v \sqrt{\rho l}$$



Espacio entre platos, pulgadas.

Por lo tanto, teniendo un valor de  $K_v = 0.09$ , de la gráfica podemos obtener un valor para el espacio entre platos de 0.365 m. que será tomado como el espacio vacío sobre los crujeos en el elevador.

! Espacio vacío = 0.365 m. !

V- 2.- N) DISPERSOR DE VAPOR.

La principal función del dispersor de vapor es la de provocar un flujo homogéneo del mismo, en toda el área -- transversal de la olla.

Este se colocará inmediatamente debajo de la placa -- orredada que soporte el orujo, y consistirá de un tubo de 0.0508 mts. de diámetro, de tal manera quedará espaciado a 0.30 mts. de la pared del recipiente.

Para poder calcular el número y tamaño de los orificios en el dispersor, podemos tomar como base del cálculo, la velocidad recomendada para vapor de 0.46 m./seg.

Entonces, si se tiene un flujo de destilado de:  $3.9305 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{seg.}$  de destilado en fase de vapor, y relacionando este último dato con la velocidad recomendada obtenemos el área necesaria para los orificios.

Tenemos entonces:

$$A = \frac{3.93 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{segundo}}{0.46 \text{ m./segundo}}$$

$$\text{Área de los orificios} = 8.544 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Entonces proponiendo un diámetro de orificios de -- 0.003 m. para evitar la formación de tapones en los orificios, por las semillas del orujo ó por la piel del grano;

**datos en resumen:**

**Tubo.** 0.0508 m. diámetro.

**Circulo.** 1.505 m. diámetro.

**Orificios.** 121, con 0.003 m. de diámetro,  
distanciados de centro a centro por  
0.0390 m. localizador en la cara  
superior del tubo.

## V- 2.- I S U M A R I O :

C O N C E P T O :	DIMENSION O CARACTERISTICA:
Forma de la Olla.	Cilíndrica.
Carga de orujo.	3,000 Hgs.
Altura del orujo en la olla.	1.22 m.
Diámetro de la Olla.	2 m.
Flujo de destilado separado.	$1.168 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{seg.}$
Volumen de Vinazas.	$1.207 \text{ m}^3$
Altura del espacio vacío sobre orujo.	0.365 m.
Placa de Soporte Gradada	
Diámetro.	2 m.
Área Orificios	$6.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
No. de Orificios.	70
Dispersor de Vapor.	
Diámetro del Tubo.	0.0508 m.
Diámetro del Círculo.	1.5 m.
Diámetro y No. de Orificios.	0.003 m. , 121
Distancia de centro a centro de orificios.	0.039 m.

**V.-3. a .- CALCULO DEL CONDENSADOR - SUBENFRIADOR.**

Se necesita condensar, 0.11677 Kg./segundo de la mezcla - alcohol - agua, el 7.5 % en volumen, que saldrán de la olla de arresto a su temperatura de ebullición. Este vapor se condensará y deberá subenfriarse hasta la temperatura de 20 °C para almacenarse para su posterior rectificación.

El enfriamiento se efectuará con agua de 17 °C calentándose hasta 35 °C. Debe considerarse un factor de obstrucción de 0.003.

Para este servicio se propondrá un intercambiador vertical de 0.254 m. de diámetro interno con 120 tubos de 0.019 m. de diámetro exterior, 16 mm de 1.73 m. de largo y arreglados en cuadro. El haz de tubo está arreglado para 4 pases y los deflectores colocados a 0.127 m.

### V.-3. b.- PUNTOS DE BURBUJA.

Existe un rango de condensación para éstos destilados, ya que, al comienzo de la destilación el producto es más rico en alcohol y después será más pobre; hasta que al final la proporción de alcohol sea nula.

Entonces es prudente para los cálculos obtener tres -- puntos de burbuja, que mencionados en orden ascendente serán:

- 1.- Cuando el destilado sea más rico en alcohol.
- 2.- Considerando un destilado de grado promedio.
- 3.- Cuando el destilado no contenga alcohol.

### 1.- AGUARDIENTE RICO EN ALCOHOL.

Tomando 60 OG.L. como grado máximo de riqueza alcohólica, se hacen los siguientes cálculos:

	Alcohol.	Agua.
Volumen m <sup>3</sup>	0.60	0.40
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	787.84	1,000.2
Masa Kg.	472.7	400.08
P. M Kg/Kg mol.	46.07	18.0
Kg mol.	10.26	22.22
Fracción mol.	0.316	0.684



$P_T = 1.1037 \text{ Kg/cm}^2$  Haciendo el cálculo para  $T = 89.4^\circ \text{C}$

	$\bar{x}$	$P_p$	$P = P_p$
Agua.	0.684	0.717	0.4904
Alcohol.	0.316	1.940	<u>0.6133</u>
			1.1037

Punto de Burbuje =  $89.4^\circ \text{C}$ .

2.- DESTILADO DE GRADO PROMEDIO.

Este grado es el de 7.5 OG.L., y de la misma manera que el cálculo anterior, obtenemos un punto de burbuja - de  $97.7^\circ \text{C}$ .

3.- DESTILADO SIN CONTENIDO DE ALCOHOL.

Se tomará  $100^\circ \text{C}$  en punto de burbuja.

V.-). c .- BALANCE DE CALOR:

CONDENSACION:

- Rango de condensación: (88.4 °C a 100 °C)

$\Delta H$  de condensación promedio = 2'215,579.8 Joules/Kg.

CALOR DE CONDENSACION:

$q_c = 0.11877 \text{ Kg.} \times 2'215,579.8 \text{ Joules / Kg.}$   
seg.

$q_c = 263,144.4 \text{ Joules / seg.}$

SUBENFRIAMIENTO:

- Rango de Subenfriamiento ( 100 °C a 20 °C )

Calor de Subenfriamiento:

$q_s = 0.11877 \text{ Kg.} \times \frac{(4,182.96 \text{ Joules}) (100 - 20)^\circ\text{C}}{\text{Kg. } ^\circ\text{C}}$

$q_s = 39,744.8 \text{ Joules / seg.}$

CALOR TOTAL:

$Q_T = q_s + q_c = 302,889.2 \text{ Joules / seg.}$

Agua necesaria para el servicio:

$m = 302,889.2 \text{ Joules / } 4,182.96 \text{ Joule (35-20) }^\circ\text{C}$   
seg. Kg. °C

$m = 4,827 \text{ Kg. / seg.}$

U.-3. d. - AT BALANCEADA.

Durante la condensación la AT del agua será:

$$1,514,651 \frac{\text{BTU}}{\text{hr.}} / 64,571 \frac{\text{lb agua}}{\text{hr.}} = 23.4^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 13^{\circ}\text{C}$$

Condensación  $\Delta t_c$

F. Caliente		F. Frío	Diferencia
100 $^{\circ}\text{C}$	Alta Temp.	35 $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$
89.4 $^{\circ}\text{C}$	Baja Temp.	22 $^{\circ}\text{C}$	67.4 $^{\circ}\text{C}$
			2.4 $^{\circ}\text{C}$

$$\text{MLTD} = 66.19^{\circ}\text{C}$$

Subenfriamiento  $\Delta t_s$

F. Caliente		F. Frío	Diferencia
89.4 $^{\circ}\text{C}$	Alta Temp.	22 $^{\circ}\text{C}$	67.4 $^{\circ}\text{C}$
20 $^{\circ}\text{C}$	Baja Temp.	17.7 $^{\circ}\text{C}$	2.3 $^{\circ}\text{C}$
			65.1 $^{\circ}\text{C}$

$$\text{MLTD} = 19.11^{\circ}\text{C}$$

$$q_c / \Delta t_c = 3,975.6 \text{ Joule / seg. } ^{\circ}\text{C}$$

$$q_s / \Delta t_s = \frac{2,079.8}{6,055.4} \text{ Joule / seg. } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{q_T}{a/\Delta t} = 50.0^\circ\text{C}$$

Coraza

Tubos

F. Caliente (Vapores)

F. Frio (Agua)

V.-3. = .- CONDENSACION:

$$D_o = 0.01905 \text{ m.}$$

$$a't = 1.9482 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a't = Nt \ a't/n$$

$$G' = W / T - nt \ D_o$$

$$a't = 130 \times 1.9482 \times 10^{-4} / 4$$

$$a't = 0.0063316 \text{ m}^2$$

$$= 0.11877 / 3.14 \times 130 \times 0.01905$$

$$G' = 0.01526 \text{ Kg / seg. m. lineal}$$

Suponiendo

$$G't = W / at$$

$$G't = 4.827 / 0.00633$$

$$h = h_o = 1,500$$

$$G't = 762.56 \text{ Kg/hr. m}^2$$

Temperatura promedio del

vapor condensante:

$$T_v = (89.4 + 100) / 2 = 94.7^\circ\text{C}$$

$$v = G't \ / \rho$$

$$t_w = t_a + \frac{h_o}{h_{ic} + h_o} (T_v - t_a)$$

$$v = 762.56 / 1,000$$

$$v = 0.762 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$t_w = 61.16^\circ\text{C}$$

De la fig. 25 Ref. (Kern)

$$t_f = (T_v + t_w) / 2 = 85.9^\circ\text{C}$$

$$h_i = 1,110 \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}}$$

De tabla 4 (Kern)

$$K_f = 0.2099 \frac{\text{Joules}}{\text{hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$h_i = 6,244.57 \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$SF = 0.976$$

$$h_{10} = h_1 \times ID / OD$$

$$M = 2.79 \times 10^{-5} \text{ Kg/seg. m}$$

$$h_{10} = 5,159.8 \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ OC}}$$

De Fig. 12.9 Ref (Mern)

$$h_0 = 1,500$$

Coeficiente Total limpio de condensación,  $U_c$

$$U_c = \frac{h_{10} h_0}{h_{10} h_0} = 3,231.0 \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ OC}}$$

Superficie requerida para condensación,  $A_c$

$$A_c = \frac{QC}{U_c (\Delta T)_c} = 1.23 \text{ m}^2$$

## V.-3. f -- SUBENFRIAMIENTO-

$$es = ID \times C^2 / Pa$$

$$es = 0.00644 \text{ m}^2$$

$$Gs = 0.11877 \text{ Kg/seg} / 0.00644 \text{ m}^2$$

$$Gs = 18.38 \frac{\text{Kg}}{\text{seg m}^2}$$

$$t_s = 94.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0.0004963 \frac{\text{Kg}}{\text{m seg}}$$

$$De = 0.02413 \text{ m}$$

$$Re = De Gs /$$

$$Re = 894.12$$

De fig. 2B Ref. (Kern)

$$J_H = 16$$

$$\frac{C}{K} \quad 1/3 = 1.489$$

$$ho = JH \frac{K}{De} \frac{C}{K} \quad 1/3$$

$$ho = 649.2 \frac{\text{Joules}}{\text{seg m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$hie = 5,159.8 \frac{\text{Joules}}{\text{seg m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Coeficiente total limpio para subenfriamiento:  $U_s$ 

$$U_s = \frac{hie \cdot ho}{hie + ho} = \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Superficie requerida para subenfriamiento,  $A_s$ 

$$A_s = \frac{qs}{U_s (\Delta t)} = 3.604 \text{ m}^2$$

$$U_s (\Delta t) =$$

Superficie total limpia requerida:  $A_t$ 

$$A_t = A_c + A_s = 4.835 \text{ m}^2$$

V.-3. 9.- Coeficiente total limpio requerido,  $U_c$ .

$$U_c = \frac{U_c A_c + U_s A_s}{A_T} = 862.47 \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Coeficiente Total de diseño,  $U_D$

$$s^* = 0.05981 \text{ m}^2 / \text{m}$$

$$\text{Superficie total} = 120 \times 0.05981 \times 1.73 = 12.41 \text{ m}^2$$

$$U_D = \frac{Q_T}{A \Delta T} = 488.21 \frac{\text{Joules}}{\text{seg. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Factor de obstrucción:

$$R_D = \frac{U_c - U_D}{U_c U_D} = 0.00504 \frac{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_D = 0.000688 \frac{\text{seg. m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Joule}}$$

Altura de zona de condensación:

$$L_c = L A_c / A_T$$

$$L_c = 0.44 \text{ m}$$

V.-3. h. -- CAIDA DE PRESION.

## CORAZA

$$T_v = 94.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 1.199 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{seg. m}}$$

$$R_{es} = 0.8 \text{ Ge}/\mu$$

$$R_{es} = 36,900$$

De fig. 29 Ref. 3

$$f = 0.0016$$

$$\overline{M} = 18.68 \text{ Kg / Kg mol.}$$

$$\rho_v = 0.83218 \text{ Kg / m}^3$$

$$S = 0.0006521$$

$$\begin{aligned} \text{No cruces} &= N + 1 = 12 L + 8 \\ &= 12 \times 2.13/4 = 7 \end{aligned}$$

$$D_s = 0.2538 \text{ m}$$

$$\Delta P = \frac{1/2 f \rho_v^2 D_s (N + 1)}{5.22 \times 10^{-10} D_s s}$$

$$\Delta P = 0.0225 \text{ Kg / cm}^2$$

## TUBOS

$$R_{et} = 0 \text{ GT/}$$

$$s T = 27.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 9.0 \times 10^{-6} \text{ Kg/seg. m}$$

$$D = 0.157 \text{ m}$$

$$R_{et} = 13,366$$

De fig. 26 Ref. (Kern)

$$f = 0.00025$$

$$\Delta P_t = \frac{f G t^2 L_n}{5.22 \times 10^{-10} D_s t}$$

$$\Delta P_t = 0.0512 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta P_r = (4n/s) (V^2 / 2 g')$$

De fig. 27 Ref. (Kern)

$$(V^2/2g) = 0.12$$

$$\Delta P_r = 0.0496 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\Delta P_T = 0.1008 \text{ Kg / cm}^2$$

V.-3. i

## S U M A R I O :

$$\text{Joules/seg m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

U o

U D

R d Calculado

R d Requerido

$$0.0225 \text{ Kg/cm}^2$$

h interior

$$5,159.8 \text{ Joules/m}^2 \text{ seg } ^\circ\text{C}$$

$$662.47 \text{ Joules/seg m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$488.21 \text{ Joules/seg m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$0.000888 \text{ m}^2 \text{ seg } ^\circ\text{C/Joules}$$

$$0.000528 \text{ m}^2 \text{ seg } ^\circ\text{C/Joules}$$

 $\Delta P$  Calculado

$$0.09.16 \text{ Kg/cm}^2$$



## VI.- DISEÑO DEL ALAMBIQUE.

Para llevar a cabo el diseño de la olla, se tomaron en cuenta - las siguientes condiciones de funcionamiento de la olla, además de - las observaciones realizadas en alambiques para vino ya instalados - en funcionamiento.

- 1.- El aparato deberá cumplir con una fácil carga y descarga - de orujo.
- 2.- El material del aparato necesita ser resistente a la corrosión.
- 3.- La limpieza deberá ser tarea fácil y rápida.

**VI.- 1.- DISEÑO DE LA OLLA.**

La olla quedó finalmente diseñada como muestra el plano no 1. El porqué de su forma y la operación de la misma se explican a continuación.

**A. Plano 1.- TAPA DE ALIMENTACION:**

Esta tapa se abre para permitir la entrada de orujo a la olla. Este cierre hermeticamente y es de fácil y sencilla operación. Su forma es circular y su diámetro de 0.46 m. es de tamaño adecuado para permitir: una carga rápida de la olla, el acomodo homogéneo del orujo y permite la entrada para un hombre para corregir cualquier imprevisto.

**B. Plano 1.- CUERPO DE LA OLLA.**

Aquí es donde se alojan los 3,000 Kgs. de orujo para su destilación.

**C. Plano 1.- PLACA SOPORTE:**

Esta placa circular es la que soporta el peso del orujo y permite por medio de sus orificios un flujo homogéneo de vapor a través del orujo.

**D. Plano 1.- TUBO DISPERSION DE VAPOR:**

Este permite que se tenga una distribución adecuada del vapor debajo de la placa soportes, para que éste pase homoginamente a través de todo el orujo.

**E. Plano 1.- CUELLO DE DESTILADOS:**

Por medio de éste salen los vapores alcohólicos hacia el condensador y se produce el cambio de fase del producto destilado.

**F. Plano 1.- VALVULA DE VINAZAS:**

Por medio de esta válvula se dispondrá la salida de las vinazas acumuladas al fondo de la olla, para evitar que el operador sufriera quemaduras al abrir la tapa inferior G, y las vinazas le salpicarán por no haber sido evacuadas con anticipación. Antes de abrir esta válvula, el operador deberá invariablemente abrir la Tapa A, para evitar la formación de vacío dentro de la olla, provocado por la salida de las vinazas, porque éste vacío puede dañar la olla provocándola aboyaduras.

**G. Plano 1.- PUERTA DE LAMINAS DE DESCARGA:**

Esta puerta se abre para permitir el deslizamiento de las láminas de descarga a, b, c, d. La puerta cierra herméticamente.

**a, b, c, d. Plano 2.- LAMINAS DESLIZABLES DE DESCARGA:**

Estas láminas se deslizan hacia fuera de la olla para permitir que el orujo pase al cono de descarga I. Estas láminas podrán ser desplazadas manualmente por el operador, teniendo cuidado de no sufrir alguna quemadura. Las láminas deberán ser regresadas a su lugar cuando la descarga se completa.

**H. Plano 1.- PUERTA AUXILIAR:**

La función de esta puerta será de facilitar al operador la descarga de la olla, ya que quedará algo de orujo depositado en los extremos de la placa soporte en donde no existen láminas deslizables, por lo tanto el operador tendrá que realizar esta tarea manualmente ayudado de un bieldo.

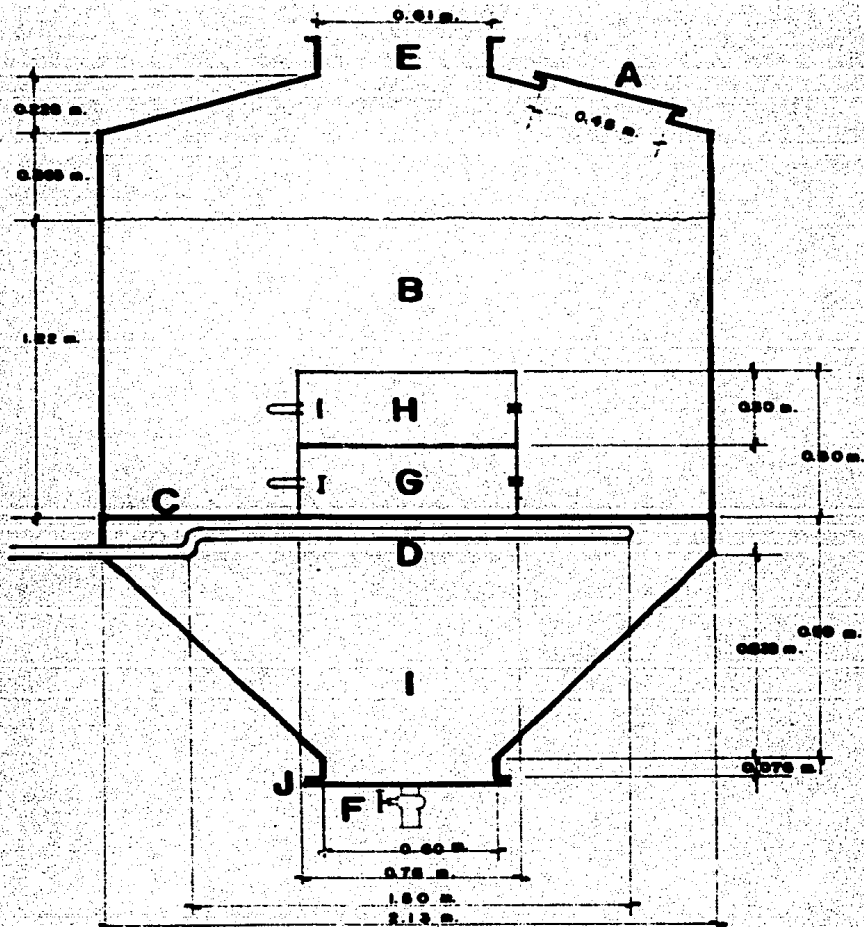
**I. Plano 1.- CONO DE DESCARGA:**

La función de este cono, será la de conducir el orujo que va cayendo en él, hacia la puerta de descarga de la olla J. Este cono tiene la suficiente inclinación para permitir que el orujo resbale fácilmente por sus paredes.

### 3. Plano 1.- TAPA DE LA DESCARGA DE CRUJOS:

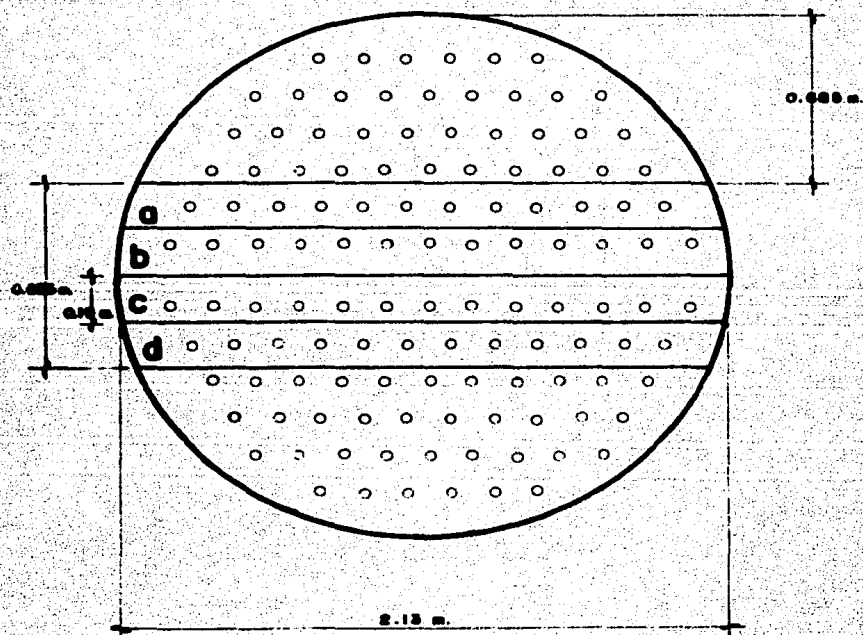
Esta tapa que cierra herméticamente, y que es de  $f_1$  al operación, se abre para proveer una salida de escape a los crujos y estos al pasar a través de ella directamente caerán sobre un recipiente móvil que los retirará del lugar.

# ALAMBIQUE DE ORUJOS

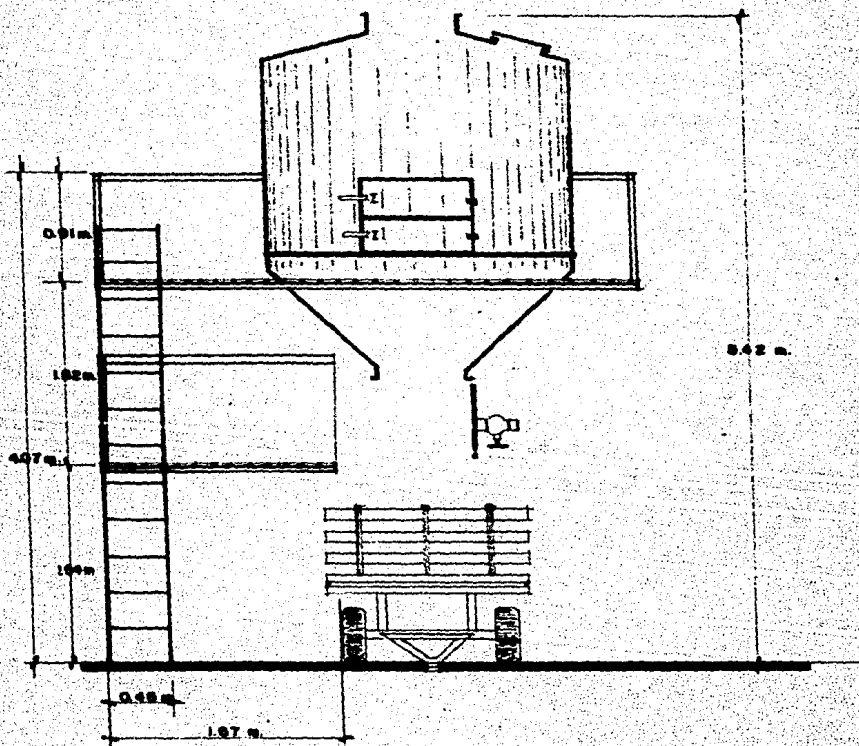


15

# PLACA SOPORTE



# INSTALACION





**VI.- 2.- DIAGRAMA DE INSTALACION:**

El Diagrama de instalación se muestra en el Plano 3. La instalación propuesta como se observa en dicho plano, es una estructura de dos niveles sobre el del piso. El alambique se encuentra colocado en el segundo nivel junto con un andamio para que el operador pueda desarrollar las tareas necesarias por medio de las puertas del alambique, además de abrir y cerrar la puerta de alimentación del mismo.

El andamio del primer nivel, dará apoyo al operador para que pueda abrir y cerrar la puerta de descarga de orujo, además de poder operar la válvula de descarga de las vírezas.

A nivel del piso se encuentra un remolque de rodillos, sobre el cuál caerá directamente la descarga de orujo del alambique. Una vez terminada la operación de descarga, el orujo será retirado del lugar por medio del remolque.

**VI.- 3.- EQUIPO DE CONTROL.**

El equipo necesario para controlar el alambique durante su operación es el siguiente:

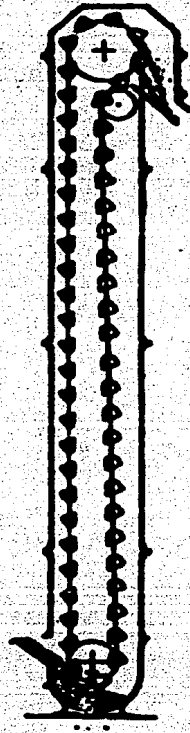
- A.- Se necesitará un manómetro colocado, en el tubo que alimenta de vapor al dispercor; para poder conocer a qué presión se está alimentando el vapor dentro del alambique.
- B.- Se tendrá una válvula para controlar el flujo de vapor que entra al alambique por medio del dispercor. Esta se colocará antes del manómetro mencionado anteriormente. Es decir, el manómetro quedará entre el alambique y la válvula que controle el flujo de vapor.
- C.- Para conocer la temperatura a la que trabaja el alambique en todo momento, se colocará un termómetro en el cuerpo del alambique a la altura del espacio vacío sobre los cruces.
- D.- A la salida del condensador se necesitarán colocar un rotámetro para conocer el flujo de destilado y así poder controlarlo; se tendrá una probeta para colocar un alcoholómetro graduado en grados GAY LUSAC para así poder conocer el grado alcohólico del destilado. Además de un termómetro que registre la temperatura del destilado, para así controlarlo y evitar mermas por evaporación.

## VI.- 4.- CARGA DEL CRUJO:

La carga del crujo el alambique, podrá ser llevada a cabo fácilmente por medio de un elevador de cangilones agrietados y de descarga positiva ya que estas unidades se diseñan especialmente para materiales pegajosos ó que tienen tendencia a apelmazarse y el impacto ligero de la cadena, asentada sobre la rueda dentada, en combinación con la inversión completa de los cangilones, es suficiente para vaciar por completo los cubos.

Se propone utilizar un elevador de las siguientes características:

Tamaño del Cangilón	0.35 X 0.17 X 0.15 m. ancho X proyección X profundidad
Capacidad	10,000 Kg./hora.
Velocidad de Cangilones	0.313 m/seg.
Eje principal	10 r.p.m.
Potencia necesaria en Eje Principal	483.2 Watts.
Espaciamiento de Cangilones	0.40 m.
Diámetro de Poleas	0.60 m.



**Elevador de Cangilones Especiales y de  
Descarga Positiva**

## VII.- CONCLUSIONES.

Al finalizar la presente investigación, se pudo corroborar la viabilidad de la recuperación del alcohol contenido en los orujos, por medio de arrastre con vapor.

Este hecho de al proceso de la vinificación la ventaja de utilizar uno de sus subproductos importantes que anteriormente se desperdiciaba, y en consecuencia, hace más eficiente el proceso de la vinificación a la vez de reportar beneficios económicos para los vinícolas.

También se tuvo factibilidad de calcular y diseñar el aparato para destilar los orujos; basándose los cálculos en los datos obtenidos en la investigación.

Como observación adicional, puedo señalar que es posible recuperar cremor tártaro de las vinazas provenientes de la orujilla, mediante unas cubas de cristalización y una purificación adecuada.

También sería muy interesante, en un futuro realizar una investigación acerca de los aguardientes obtenidos de diferentes variedades de orujos, de mezclas de ellos, y de diferentes regiones vitícolas del país.

Resta solamente mencionar mi satisfacción por contribuir al estudio del proceso de la vinificación en México.

**VIII.- BIBLIOGRAFIA.**

**Donald Q. Kern.**

**Procesos de Transferencia de Calor.**

**CECSA.**

**Walker, Lewis, Mc. Adams, Gilliland.**

**Principles of Chemical Engineering.**

**Mc Graw Hill Book Co. Tercera Edición.**

**Foust, Wenzel, Clump, Maus, Anderson.**

**Principios de Operaciones Unitarias.**

**CECSA.**

**Robert E. Treybal.**

**Operaciones de Transferencia de Masa.**

**Mc Graw Hill de México Segunda Edición.**

**Robert H. Perry Cecil M. Chilton.**

**Biblioteca del Ingeniero Químico.**

**Mc Graw Hill de México Quinta Edición.**

**Dr. F. Antonio Sannino.**

**Tratado de Enología.**

**Ediciones G. Gill, S. A. Tercera Edición.**

**Gaudencio Magistocchi.**

**Tratado de Enología.**

**Editorial El Ateneo.**

**José María Xandri Taguena.**

**Elaboración de Aguardientes simples, compuestos y Licores.**

**Selvet Editores, S. A. Primera Edición.**

**Hernán Palano Llanes**

**Fabricación de Alcohol.**

**Selvet Editores, S. A. Primera Edición.**

**E. Négre, P. Franquet.**

**Manual Práctico de Vinificación y Conservación de los Vinos.**

**José Montañó Editor.**

**Warren L. McCabe, Julián C. Smith.**

**Unit Operations of Chemical Engineering.**

**Mc Graw Hill Book Co. Segunda Edición.**