

OBTENCIÓN DE PISCO EN UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DISCONTINUA EMPACADA

M. Otiniano C.^a, P. Romero^b, E. Vicuña^b, R. Robles^b, A. Garrido^a, T. Linares^d

RESUMEN

Se presentan los resultados de las corridas experimentales realizadas para la obtención de pisco en la columna de destilación discontinua empacada de acero inoxidable a partir de vino fermentado de uva Quebranta.

Palabras Claves: Pisco, Destilación Discontinua, Columna empacada.

ABSTRACT

We present the results of experimental runs performed for obtaining pisco in batch distillation column packed stainless steel from fermented wine of grape Quebranta.

Keywords: Pisco, Batch distillation, Packed column.

a motinianoc@unmsm.edu.pe. Departamento de Operaciones Unitarias, FQIQ, UNMSM.

b Departamento de Análisis y Diseño de Procesos, FQIQ, UNMSM.

c Departamento de Química Orgánica, FQIQ, UNMSM.

I. INTRODUCCIÓN

El pisco es una denominación que se reserva para la bebida alcohólica perteneciente a una variedad de aguardiente de uvas (brandy) que es producida en el Perú desde finales del siglo XVI. Es considerada la bebida destilada típica del Perú que es elaborada a partir de la uva y es uno de los productos bandera peruanos.

La primera identificación del aguardiente con el lugar, habría sido realizada en 1630 por el español peninsular Francisco López de Caravantes, quien expuso que existía un llamado "aguardiente Pisco", y mencionaba que es uno de los licores más exquisitos que se bebe en el mundo. Posteriormente el cronista Bernabé Cobo, en la "Historia del Nuevo Mundo", en 1719, describe que los indios de la sierra y de la costa aprecian un aguardiente que se destila en el valle de Pisco, del que toma su nombre. Por otro lado, el alemán Johann Takob Von Tschudi, en Testimonio del Perú, explica en 1838 que el aguardiente tenía el nombre de "aguardiente de Pisco" y que era exquisito, con el cual se aprovisionaban todo el Perú y gran parte de Chile.[1]

A mediados del siglo XIX en el Perú había sembradas alrededor de 150 mil hectáreas de vid destinadas a la producción de pisco. Este nivel de producción fue disminuyendo paulatinamente hasta llegar a las 11.500 hectáreas cultivadas en el año 2002, por falta de incentivos. A principios de 2003, el Gobierno peruano decidió promocionar el incremento de las áreas de cultivo y su exportación, dictando medidas especiales para cumplir este objetivo. El resultado comprobado hasta ahora es que el nivel de área de cosecha se ha incrementado substancialmente pasando de una producción en el 2001 de 1.64 millones de litros de pisco a 7 millones de litros en el 2012 [2]. En cuanto a exportaciones el Perú se ha convertido en el primer exportador de pisco siendo los principales destinos de exportación Estados Unidos con tres millones de dólares, seguido de Chile con 797 mil dólares, y luego Colombia con 177 mil dólares.

Tabla N° 1. Producción Nacional de Pisco

Año	Volumen (Millones de Litros)
2000	1.64
2001	1.83
2002	1.50
2003	2.36
2004	2.90
2005	3.96
2006	5.00
2007	6.13
2008	6.59
2009	6.67F
2010	6.30
2011	6.30
2012	7.10

Fuente: CONAPISCO

MARCO TEÓRICO

Según el Reglamento de la Denominación de Origen del Pisco [3], define al pisco como el producto obtenido exclusivamente por destilación de mostos frescos de "uvas pisqueras" recientemente fermentados, utilizando métodos que mantengan los principios tradicionales de calidad; y producido en la costa de los departamentos de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y los Valles de Locumba, Sama y Caplina del Departamento de Tacna.

Se reconocen los siguientes tipos de pisco de acuerdo al Reglamento de denominación de origen del pisco:

Pisco puro: es el pisco obtenido exclusivamente de una sola variedad de uva pisquera.

Pisco mosto verde: es el pisco obtenido de la destilación de mostos frescos de uvas pisqueras con fermentación interrumpida.

Pisco acholado: es el pisco obtenido de la mezcla de:

Uvas pisqueras, aromáticas y/o no aromáticas.

Mostos de uvas pisqueras aromáticas y/o no aromáticas.

Mostos frescos completamente fermentados (vinos frescos) de uvas pisqueras aromáticas y/o no aromáticas.

Piscos provenientes de uvas pisqueras aromáticas y/o no aromáticas.

De acuerdo al Reglamento de la Denominación del Origen del Pisco, en la elaboración de pisco se tendrá en cuenta lo siguiente:

Variedades de uvas pisqueras:

El pisco debe ser elaborado exclusivamente utilizando las denominadas "uvas pisqueras" cultivadas en las zonas de producción reconocidas. Las uvas pisqueras son ocho (8) y son las siguientes:

Tabla N°2. Variedades de uva pisquera

UVA PISQUERA	ESPECIE
Quebranta	Vitis Vinífera L
Negra Criolla	Vitis Vinífera L
Mollar	Vitis Vinífera L
Italia	Vitis Vinífera L
Moscatel	Vitis Vinífera L
Albilla	Vitis Vinífera L
Torontel	Vitis Vinífera L
Uvina	Vitis aestivalis M.- Cinerea E. x Vitis vinífera L

Son uvas no aromáticas las uvas Quebranta, Negra Criolla, Mollar y Uvina. Se consideran uvas aromáticas las uvas Italia, Moscatel, Albilla y Torontel.

El proceso de fermentación puede realizarse sin maceración o con maceración parcial o completa de orujos de uvas pisqueras, controlando la temperatura y el proceso de degradación de los azúcares del mosto.

El inicio de la destilación de los mostos fermentados debe realizarse inmediatamente

después de concluida su fermentación, a excepción del Pisco mosto verde, que se destila antes de concluida la fermentación de los mostos.

El pisco debe tener un reposo mínimo de tres meses en recipientes de vidrio, acero inoxidable o cualquier otro material que no altere sus características físicas, químicas y organolépticas antes de su envasado y comercialización con el fin de promover la evolución de los componentes alcohólicos y mejora de las propiedades del producto final. El Pisco debe estar exento de coloraciones, olores y sabores extraños causados por agentes contaminantes o artificiales, o elementos extraños que no sean propios de la materia prima utilizada. El Pisco no debe contener impurezas de metales tóxicos o sustancias que causen daño al consumidor.

Presentamos los principales requisitos fisicoquímicos y organolépticos del pisco⁽³⁾ en la tabla N° 3 y N° 4 respectivamente. La variedad Italia utilizada es considerada una uva aromática.

Tabla N° 3. Requisitos fisicoquímicos del pisco

Requisitos	Mínimo	Máximo
Grado alcohólico volumétrico a 20/20°C (%)	38.0	48.0
Alcohol metílico (mg/100 mL A.A.)		
1)Pisco puro y mosto de verde de uvas no aromáticas.	4.0	100.0
2)Pisco puro y mosto verde uvas aromáticas y Pisco acholado	4.0	150.0
Total componentes volátiles y congéneres (mg/100 mL A.A.)	150.	750.0

Se consideran componentes volátiles y congéneres del pisco, las siguientes sustancias: ésteres, furfural, ácido acético, aldehídos, alcoholes superiores y alcohol metílico.

Tabla N° 4. Requisitos organolépticos del pisco de uvas aromáticas

Requisitos	Pisco
Aspecto	Claro, límpido y brillante
Color	incoloro
Olor	Ligeramente alcoholizado recuerda a la materia prima de la cual procede, frutas maduras o sobre maduras, intenso, amplio, perfume fino, estructura y equilibrio, exento de cualquier elemento extraño.
Sabor	Ligeramente alcoholizado, sabor que recuerda a la materia prima de la cual procede, intenso, con estructura y equilibrio, exento de cualquier elemento extraño

Sobre los equipos a utilizar el Reglamento de la Denominación del Origen del Pisco señala que la elaboración de pisco será por destilación directa y discontinua, separando las cabezas y colas para seleccionar únicamente la fracción central del producto llamado cuerpo o corazón. Los equipos serán fabricados de cobre o estaño; aunque se pueden utilizar pailas de acero inoxidable

Entre los equipos que se pueden utilizar está:

FALCA: consta de una olla, paila o caldero donde se calienta el mosto recientemente fermentado, por un largo tubo llamado "Cañón" por donde recorre el destilado, que va angostándose e inclinándose a medida que se aleja de la paila y pasa por un medio frío, generalmente agua, que actúa como refrigerante. A nivel de su base está conectado un caño o llave para descargar las vinazas o residuos de la destilación. Se permite también el uso de un serpentín sumergido en la misma alberca o un segundo tanque con agua de renovación continua conectando con el extremo del "Cañón".

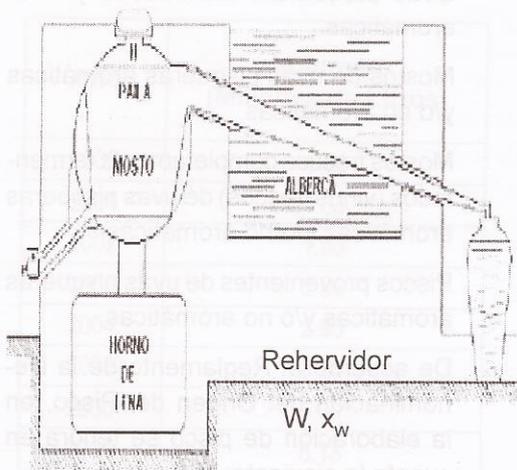


Figura N°1. Falca

ALAMBIQUE: consta de una olla, paila o caldero, donde se calienta el mosto recientemente fermentado, los vapores se elevan a un capitel, cachimba o sombrero de moro para luego pasar a través de un conducto llamado "Cuello de cisne" llegando finalmente a un serpentón o condensado cubierto por un medio refrigerante generalmente agua.

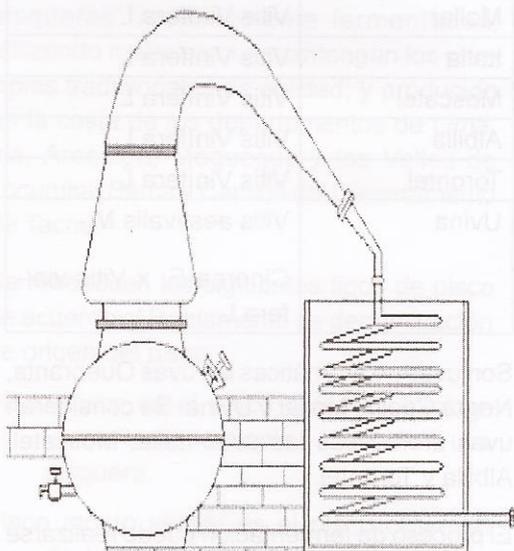


Figura N°2. Alambique

CALIENTA VINOS: además de las partes que constituyen el alambique, lleva un recipiente de la capacidad de la paila, conocido como "Calentador", instalado entre ésta y el serpentín. Calienta previamente al mosto con el calor de los vapores que vienen de la paila y que pasan por el calentador a través de un serpentín instalado en su interior por donde circulan los vapores provenientes del cuello de cisne intercambiando calor con el mosto allí depositado y continúan al serpentín de condensación

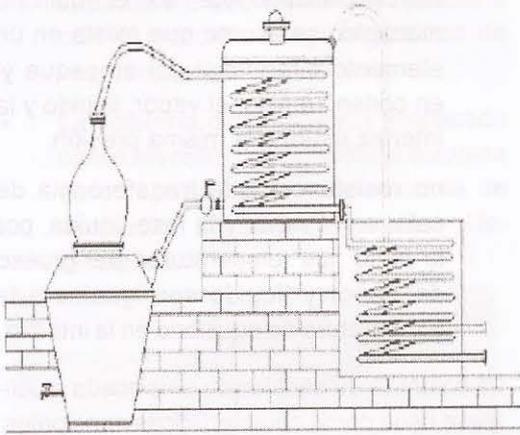


Figura N°3. Calienta vinos

MODELO TEÓRICO

Para simular el comportamiento del mosto de la uva con el cual se obtendrá el pisco haremos uso de la destilación diferencial o destilación discontinua simple, la cual presenta las siguientes características:

No hay reflujo.

- En cualquier instante, el vapor que deja el rehervidor con una composición basado en el componente más volátil y_D se asume que está en equilibrio con la carga líquida perfectamente mezclada que está en el rehervidor.
- La composición del destilado recolectado varía con el tiempo.
- La composición del producto destilado es un promedio de los componentes recolectados.

- La composición del residuo que queda en el rehervidor varía con el tiempo.
- La temperatura del rehervidor varía con el tiempo.
- Hay una sola etapa de equilibrio que se da en el rehervidor.
- Mezcla perfecta para ambas fases líquida y vapor.
- Un tanque colector de destilado inicialmente vacío.
- Una velocidad constante de ebullición.

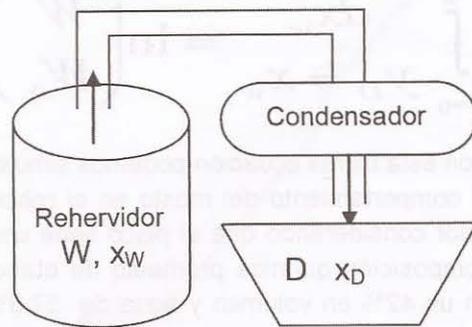


Figura N° 4 .Esquema de la destilación simple.

Se carga una mezcla inicial W_0 en moles de composición x_{w_0} en el rehervidor. Se comienza a calentar la mezcla la cual se va vaporizando, el vapor que sale del rehervidor tiene una composición y_D . El vapor se condensa al pasar por el condensador y se recolecta el destilado líquido D en moles con una composición y_D . En el rehervidor va quedando la mezcla líquida W en moles con una composición x_w .

Para cualquier componente en la mezcla la velocidad instantánea de salida o de destilado es igual a la velocidad de agotamiento en el rehervidor por lo que un balance de materia en cualquier instante en el sistema:

$$\frac{d}{dt} (Wx_w) = -Dy_D$$

Esta es la llamada Ecuación de Rayleigh que se aplica a la destilación discontinua simple. Si esta ecuación se aplica a una mezcla binaria:

$$Wdw + x_w dW = y_D (-Ddt)$$

$$y_D (-Ddt) = y_D dW$$

$$\int_{x_{w0}}^{x_w} \frac{dx_w}{y_D - x_w} = \int_{W_0}^W \frac{dW}{W}$$

Integrando:

$$\int_{x_{w0}}^{x_w} \frac{dx_w}{y_D - x_w} = \ln \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Con esta última ecuación podemos simular el comportamiento del mosto en el rehervidor considerando que el pisco tiene una composición química promedio de etanol en un 42% en volumen y agua de 57.8% en volumen siendo el resto de componentes minoritarios. Por lo que lo consideraremos como una mezcla binaria compuesta principalmente de agua y etanol.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Columna Empacada

Las columnas empacadas son los más adecuados para destilar el vino en alambiques por lotes, ya que tienen una gama más amplia de operaciones de estabilidad hidráulica. Un objetivo del estudio en estos sistemas es establecer las estrategias operativas para reducir el contenido de metanol en el destilado.

Teniendo en cuenta los principales fenómenos y las características específicas de las columnas pequeñas empacadas, los siguientes supuestos buscan lograr un buen compromiso entre la exactitud y la eficiencia:

- El vino se puede modelar como una mezcla binaria de etanol, y agua.
- la dinámica de la columna es muy rápida en comparación con la dinámica de la

caldera, por lo tanto las derivadas respecto al tiempo en los balances hechos en la columna son despreciados;

- la columna opera a presión atmosférica, por lo tanto, la fase vapor se supone ideal.
- el flujo pistón fue asumido para el vapor y la fase líquida, por lo tanto, los gradientes de temperatura y composición radial no fueron considerados;
- la caída de presión a través de la columna es muy pequeña, por lo que fue despreciado. Además, el equilibrio mecánico se asume que exista en un elemento diferencial del empaque y, en consecuencia, el vapor, líquido y la interfaz están a la misma presión;
- no resistencia a la transferencia de calor en el vapor y la fase líquida, por lo tanto, las temperaturas del grueso del vapor y líquido son iguales a la temperatura de equilibrio en la interfaz.

La columna de destilación empacada a utilizarse tiene como características principales:

- El rehervidor está hecho de acero inoxidable y tiene una capacidad de 30 litros. Cuenta con una resistencia de 2000 W colocada en su interior para el calentamiento de las mezclas.
- La columna empacada en sí tiene unas dimensiones de un metro y treinta centímetros de altura y un diámetro de quince centímetros. Dentro de la columna se rellena todo con anillos Raschig también de acero inoxidable.
- Se cuenta también con un condensador total hecho de acero inoxidable que permite condensar el vapor que pase por la columna empacada. Este condensador está ubicado encima de la columna y tiene conexiones para que entre agua de enfriamiento para que se cumpla su objetivo de condensar el vapor.
- Encima de la columna está el sistema de reflujo que está conectado con válvulas que permite el paso del líquido

condensado ya sea hacia la misma columna o sale como destilado, que para el caso de la obtención del pisco no fue utilizado el sistema de reflujo.

- En el rehervidor se colocó una termocupla que permitió hacer el seguimiento de la temperatura durante la operación.
- Toda la columna incluyendo el rehervidor, la misma columna y el condensador mide en total cerca de dos metros y cuarenta centímetros.
- Toda la columna está hecha de acero inoxidable lo que impide que reaccione con la mezcla o tenga algún tipo de intervención en la destilación.
- La columna de destilación empacada operó sin reflujo por lo tanto la columna se comportó como una columna de destilación discontinua simple o diferencial.

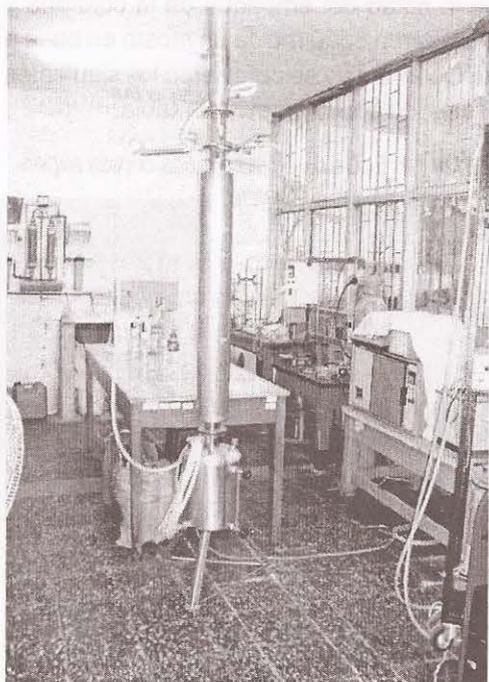


Figura N°5. Columna de destilación discontinua empacada

- Para las corridas experimentales se utilizaron:
- Vinos fermentados de la variedad de uva Quebranta procedentes de Cañete. La fermentación se hizo con levaduras especiales para vino (Lalvin) de origen

canadiense, las cuales dan un alto contenido de alcohol conservando el aroma de la fruta.

- Para medir el grado alcohólico de las muestras de destilado que se obtuvieron se utilizó un alcoholímetro de vidrio que permite determinar directamente el porcentaje en volumen de alcohol en una mezcla hidroalcohólica.



Figura N°6. Alcoholímetro de vidrio

- Para la toma de la temperatura en el rehervidor se utilizó una termocupla unida a un instrumento marca COLE PARMER para la visualización de la temperatura en °C.
- Los piscos obtenidos fueron analizados por Cromatografía de gases- FID en el Laboratorio de USAQ de la Facultad para determinar el contenido de etanol y metanol.

RESULTADOS

La primera corrida experimental se hizo sin empaque con mosto de uva Italia en una cantidad de 7300 mL. Los primeros 200 mL fueron desechados ya se considera que tienen un alto contenido de metanol con un grado alcohólico de 68 °. Los resultados de la destilación se muestran a continuación en la Tabla N° 5 donde en una columna se tienen los tiempos en que se tomaron las

muestras de destilado, el correspondiente valor del grado alcohólico y en la tercera columna se tienen los datos de la temperatura del rehervidor tomadas con la termocupla correspondiente.

De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla se obtuvo un total de 1000 mL de pisco con un promedio final de grado alcohólico de 49°. Se desechó tanto el resto del destilado ya que tenía un grado alcohólico por debajo del requerido, así como el resto del mosto del rehervidor ya que tenía 0° de alcohol.

Tabla N° 5. Datos de primera corrida experimental

Tiempo (min)	Grado alcohólico	Temperatura rehervidor (°C)
0		92.0
3	62	93.0
4	60	93.3
8	56	94.0
12.30	51	94.7
17.35	44	95.6
23.10	38	96.4
28.35	30	97.2
34.16	16	97.8

En la figura N° 6 se puede ver como va disminuyendo el grado alcohólico de las muestras de destilado obtenidas con respecto al tiempo. En la figura N° 7 se puede ver una muestra del pisco obtenido en la primera corrida experimental.

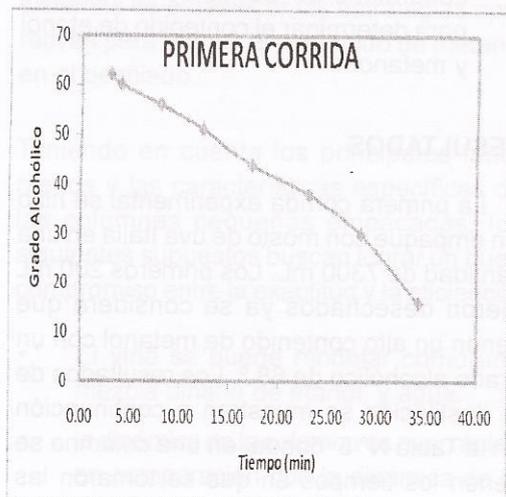


Figura N° 7. Grado alcohólico del destilado versus tiempo

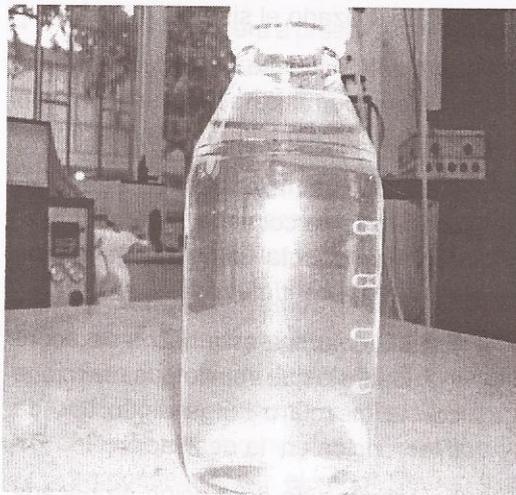


Figura N° 8. Pisco obtenido en la primera corrida experimental.

La segunda corrida experimental se realizó con la mitad del empaque de la columna y se utilizaron 8500 mL de un mosto en base a uva Quebranta y se obtuvieron los siguientes resultados como muestra la tabla.

Tabla N° 6. Datos de la segunda corrida experimental

Tiempo (min)	Grado alcohólico	Temperatura rehervidor(°C)
0		89.7
5.20	82	92.0
8.50	66	92.8
14.50	61	93.8
20.30	56	94.6
27.05	50	95.8
33.05	41	96.8
39.47	35	98.8

Se despreciaron los primeros 250 mL del destilado con un grado alcohólico de 85°. Se obtuvieron finalmente 1250 mL de pisco con un grado alcohólico de 55°. Se terminó de destilar cuando comenzó a bajar el grado alcohólico del destilado debido a que el mosto en el rehervidor mostraba un grado alcohólico cercano a cero.

En la figura N° 8 se puede apreciar la variación del grado alcohólico de las muestras de destilado que se fueron obteniendo en los tiempos señalados en la tabla N°6, por lo que se alcanza finalmente un grado alcohólico de 35° a los 39.47 minutos. En la figura N° 9 se observa una muestra del pisco obtenido en esta segunda corrida experimental.

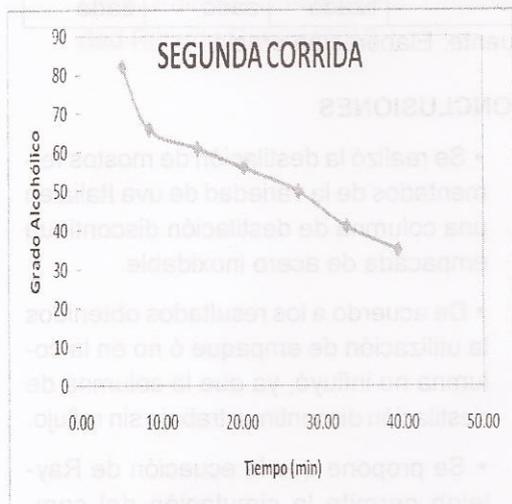


Figura N° 9. Grado alcohólico del destilado versus tiempo.

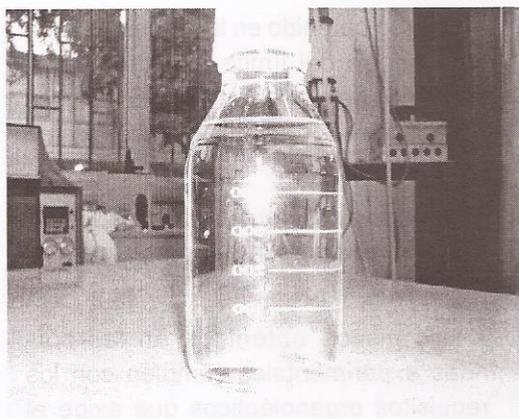


Figura N° 10. Pisco obtenido en la segunda corrida experimental.

En la tercera corrida experimental se realizó con todo el empaque de la columna. Se utilizaron 9000 mL de mosto de uva Quebranta. Los resultados de la corrida se muestran en la tabla N° 7.

Tabla N° 7. Datos de la tercera corrida experimental

Tiempo (min)	Grado alcohólico	Temperatura re-hervidor (°C)
0		91.9
5	72	93.3
11	62	94.4
17	54	95.4
24	45	96.5
31	31	97.6
39	26	98.48
44	14	98.9
54	11	99.2
62	7	99.5

Se desecharon los primeros 170 mL de destilado con un grado alcohólico de 72°. Finalmente se obtuvieron 1460 mL de pisco con un grado alcohólico promedio de 53°.

En la figura N° 10 se observa el comportamiento de los destilados obtenidos en esta tercera corrida con respecto a su grado alcohólico conforme varía el tiempo. Se logró destilar hasta los 62 minutos obteniéndose un destilado de solamente 7°.

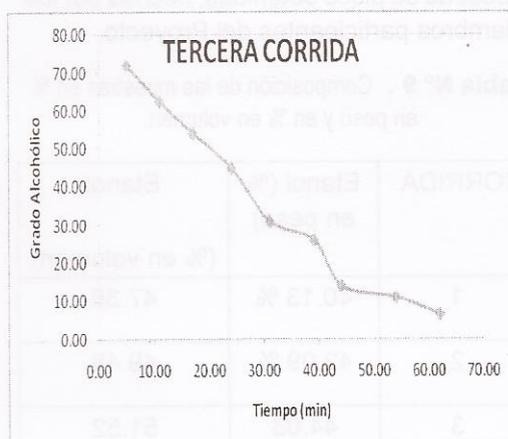


Figura N° 11. Grado alcohólico del destilado versus tiempo.

Las muestras de pisco obtenidas en las tres corridas experimentales fueron sometidas al análisis por cromatografía de gases en el Laboratorio USAQ de la Facultad de Química, para determinar sus contenidos de etanol y metanol. Los referidos resultados se muestran en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8 . Resultados de la GC-FID

CORRIDA	Metanol (% en peso)	Etanol (% en peso)
1	0.10 %	40.13 %
2	N.D.	42.09 %
3	N.D.	44.03

N.D.: no detectable siendo el límite de detección de la técnica utilizada de 50 ppm.

Los resultados de etanol de las tres muestras analizadas como se aprecia en la Tabla N°8 están reportadas en porcentaje en peso. Tales resultados fueron convertidas a % en volumen a 20 °C ó grado alcohólico volumétrico a 20 °C [7] que es lo que pide el Reglamento de Denominación de Origen del Pisco y se muestran en la Tabla N° 9.

En la tabla N° 10 se muestran los resultados organolépticos hechos a las tres muestras de pisco obtenidas, hechas por los miembros participantes del Proyecto.

Tabla N° 9 . Composición de las muestras en % en peso y en % en volumen.

CORRIDA	Etanol (% en peso)	Etanol (% en volumen)
1	40.13 %	47.38
2	42.09 %	49.48
3	44.03	51.52

Tabla N° 10. Resultados organolépticos del pisco obtenido.

Corrida	1	2	3
Aspecto	Claro	Claro	Claro

Color	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Sabor	Ligera- mente alcoholi- zado	Ligera- mente alcoholi- zado	Ligera- mente alcoholi- zado
Olor	Ligera- mente alcoholi- zado	Ligera- mente alcoholi- zado	Ligera- mente alcoholi- zado

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Se realizó la destilación de mostos fermentados de la variedad de uva Italia en una columna de destilación discontinua empacada de acero inoxidable.
- De acuerdo a los resultados obtenidos la utilización de empaque ó no en la columna no influyó, ya que la columna de destilación discontinua trabajo sin reflujo.
- Se propone que la ecuación de Rayleigh permite la simulación del comportamiento del destilado del pisco al considerar como mayoritariamente una mezcla de agua y etanol.
- El pisco obtenido en la primera corrida está dentro del límite exigido para el contenido de etanol, en cambio los otros dos piscos superan dicho límite exigido por el Reglamento.
- Los tres piscos obtenidos no superan el contenido máximo exigido para el metanol.
- Los piscos obtenidos en las corridas experimentales cumplen con los requisitos organolépticos que exige el Reglamento.

REFERENCIAS

- [1] Wikipedia. "El Pisco del Perú". Página web: es.wikipedia.org/wiki/el_pisco_del_Perú. Consultada el día primero de setiembre del 2013.
- [2] Conapisco. "El Pisco". Web : www.conapisco.org.pe/pisco.htm consultada el día primero de setiembre del 2013.

- [3] Reglamento de la Denominación de Origen del Pisco. Lima: Indecopi 2012.
- [4] Centro de Innovación tecnológica vitivinícola (CITEVID). "La uva y el Pisco". Lima: Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD); 2004.
- [5] Huertas L. Cronología de la Producción del Vino y del Pisco, Perú 1548-2010. Lima: Editorial Universitaria. Universidad Ricardo Palma; 2012.
- [6] Aleixandre Benavent J.L., Aleixandre Tudó J.L. Manual de Vinos y Bebidas. México: Editorial Limusa; 2011.
- [7] Pérez O., Díaz J., Zumalacárregui L., Evaluación de propiedades físicas de mezclas de etanol-agua (II), Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia 2010; 52; 62 - 74.