

**CAPÍTULO 1**  
**MARCO TEÓRICO**

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### **1.1 Materia Prima**

El retentato, es una solución que se obtiene luego de realizar la filtración tangencial de vino preparado en la Bodega Aranjuez del Departamento de Tarija, este retenido es descartado por los poros de la membrana del filtro, debido al peso nominal del mismo y la excesiva turbidez que presenta, luego de realizarse la microfiltración necesaria.

### **1.2 Filtración Tangencial (Obtención de la Materia Prima)**

La Filtración Tangencial es un procedimiento que se empezó a aplicar en la enología a principios de los años ochenta, donde la filosofía de la filtración o de la separación de sólidos o sustancias cambia respecto de los sistemas tradicionales, pudiendo permitirse una amplia gama de beneficios, que abarcan desde una simple retención de turbios y de microorganismos, hasta llegar a una ósmosis inversa donde se llegan a separar los solutos de las soluciones moleculares simplemente utilizando en el equipo una membrana de porosidad adecuada, y además sin que ésta llegue a colmatarse, por muy turbio que el líquido a tratar acceda a la instalación. (José Hidalgo Togores, 2013)

Entre los tipos de filtración que se puede realizar mediante la filtración tangencial se observan los siguientes:

TABLA I-1

## Tipos de filtración a realizar mediante un Filtro Tangencial

Modalidad	Tamaño del poro (Micras)	Masa molecular (Dalton)	Presión aplicada (Bar)	Retención
Microfiltración:	10 a 0,1		1 a 7	Materias en suspensión
Ultrafiltración:	0,1 a 0,001	103 a 106	1 a 10	Macro-moléculas (proteínas, Polímeros)
Nanofiltración	< 0,001	< 1.500	3 a 14	Sales polivalentes: Solutos de > 400 Dalton
Osmosis inversa:	0,001 a 0,0001	< 500	14 a 70	Iones sales y ácidos (Azúcares)

**Fuente:** Tratado de Enología (José Hidalgo Togores), 2013.

La experiencia ha demostrado que vinos con niveles de turbidez de hasta 1.000 NTU han sido filtrados mediante un Filtro Tangencial, hasta lograr valores por debajo de 1 NTU. Esto hace pensar en un importante ahorro de tiempo, energía, mano de obra y sobre todo movimientos innecesarios en el vino. (Pablo Ponce, 2016)

Este nivel tan alto de eficiencia suplanta, las filtraciones por tierra, la cascada de placas más el cartucho esterilizante. Razón por la que esta técnica protege al vino y lo esteriliza en un solo paso al poseer una porosidad de membranas de 0,2 micrones nominal, dejándolo listo para el fraccionamiento. (Pablo Ponce, 2016)

TABLA I-2

**Diferencias y Ventajas entre Filtración Tradicional y Filtración Tangencial**

<b>FILTRACIÓN TRADICIONAL</b>	<b>FILTRACIÓN TANGENCIAL</b>
Perdidas de vinos variables debido a la absorción de lecho filtrante (Tierra, placa).	Perdidas mínimas por absorción.
Varias filtraciones para lograr esterilidad.	Esterilidad en un solo paso, con condiciones de entrada muy variables.
Necesidad de mano de obra importante.	Mano de obra muy reducida.
Volumen de almacén necesario por acúmulo de coadyuvantes de filtración.	Ningún coadyuvante de filtración.
Eliminación de desechos problemática.	No tiene residuos sólidos, por tanto, hay ahorro en la gestión de residuos. (Contenedores, etc.)
Aumento de presión para mantener caudal.	Presiones reducidas durante toda la operación.

**Fuente:** Pablo Ponce, 2016.

### **1.3 Composición del Retentato**

En el siguiente cuadro se observa algunas características del retentato, similares a las del vino como ser el grado alcohólico, motivo por el cual es posible obtener un buen destilado a partir del mismo, y de esta manera dar paso a posteriores beneficios, que le den un valor agregado al retenido actualmente descartado.

**TABLA I-3****Composición del Retentato de Manera General**

Grado Alcohólico	12 °GL
Acidez Total	5,4 g/l
Acidez Volátil	0,39 g/l
SO <sub>2</sub> Libre	51,36 mg/l
SO <sub>2</sub> Total	112 mg/l
Oxígeno Disuelto	2,21 mg/l
pH	3,58
Turbidez	216 NTU
Azúcar Disuelta en el Líquido	8,3 °Brix
Ceniza	0,18 %
Fibra	0,08 %
Grasa	0,04 %
Hidratos de Carbono	3,18 %
Humedad	95,98 %
Proteína Total	0,54 %
Sólidos Totales	4,02 %

**Fuente:** CEANID, 2017

## **1.4 Aguardiente**

El aguardiente es una bebida alcohólica (Rto. CEE/1576/89), destilada de un fermentado alcohólico y se obtiene por destilación del vino o extracción de algunas sustancias orgánicas agrícolas como ser: cereales, frutas o semillas como centeno, cebada, bayas de enebro, cereza, uvas y el anís, entre otros. Estos productos son provenientes de multitud de plantas ricas en sacarosa, que es elemento esencial en la elaboración de la bebida, ya que a partir de esta surge el etanol, siendo en principio el Aguardiente, alcohol diluido en agua.

Toma así el aguardiente su nombre de «Aqua» y «Ardiente» del latín «Ardens», lexema «Ardie», refiriéndose a su baja inflamabilidad, o también se dice debido a la sensación propia de la sustancia líquida alcohólica al ser ingerida.

Aguardiente puede referirse prácticamente a cualquier bebida alcohólica obtenida por destilación, pero se le aplica mayormente a aquellas que poseen, entre 29° y 40° GL, este tipo de bebidas pueden ser ingeridas, ya sea puras, añejadas, aromatizadas o mezcladas.

## **1.5 Tipos de Aguardiente**

### **1.5.1 Aguardientes simples**

Los más significativos del mundo occidental son cuatro:

#### **1.5.1.1 Ron**

Elaborado a partir de la caña de azúcar por fermentación, y que posteriormente puede o no estar sometido a procesos de añejamiento, generalmente en barricas de roble. En ocasiones es llamado «Aguardiente de caña» y el «ron de melazas».

#### **1.5.1.2 Brandy**

El brandy es un aguardiente obtenido a través de la destilación del vino, casi siempre con un 36 a 40% (hasta un 60%) de volumen de alcohol, al ser expedido al mercado. Existe además el brandy de Cognac y Armagnac (Francia), el de Jerez (España), California (Estados Unidos) y el pisco (Chile y Perú).

### **1.5.1.3 Whisky**

El whisky es una bebida alcohólica obtenida por la destilación de la malta fermentada de cereales como cebada, trigo, centeno y maíz, y su posterior envejecimiento en barriles de madera, tradicionalmente de roble blanco. Esta bebida alcohólica se comercializa con un contenido alcohólico de entre 40 y 62 % de volumen.

Entre los más sobresalientes están, los de Escocia, los de Irlanda, el llamado “bourbon” basado en el maíz, los de Canadá que son muy suaves, etc.

### **1.5.1.4 Tequila**

El tequila es un destilado que se elabora a partir de la fermentación del jugo extraído del agave, en particular el llamado agave azul (Agave tequilana). Es quizás la bebida más conocida y representativa de México en el mundo. La pureza de un tequila consiste en estar hecho completamente a partir del agave.

### **1.5.2 Aguardientes compuestos**

Son aquéllos que reciben una significativa adición de sabores provenientes de sustancias que no generan alcohol, como hierbas, semillas de anís, etc. (Juan D. Velez Monsalve, 2014)

La costumbre de anisar en algunos casos obedecía al deseo de disimular o sustituir su sabor. Como por ejemplo el llamado “sol y sombra”: mezcla de anís y brandy, hecha en el propio vaso o copa. También ha sido costumbre inducirles otros sabores o quitar su mal sabor mediante la adición de hierbas y aromas. La fórmula de esos licores de hierbas suele incluir algo de anís, aunque apenas perceptible. Un conocido ejemplo de aguardientes compuestos es el de los raki turcos y búlgaros que consisten en un aguardiente de vino anisado, o también los licores Benedictinos, que presentan dos versiones de su bebida, una mezclada con Cognac por lo que se llama (B.B) Benedictino con Brandy, y otra que se llama simplemente Benedictino.

Actualmente para inducir sabores, no se suele utilizar como base un aguardiente, sino alcohol puro e insípido; comúnmente llamado “vodka para cócteles”, que no pretende comunicar sabor alguno, salvo los propios del agua y del etanol.

Todos los licores cuyo origen es anterior al siglo XIX, fueron aguardientes compuestos, esto debido a que antiguamente no había manera de obtener alcohol puro e insípido, sólo se podía utilizar un aguardiente base del licor.

En la actualidad la elaboración de aguardientes compuestos es escasa y va desapareciendo con el pasar del tiempo, razón que se debe al invento de la destilación continúa en el siglo XIX.

### **1.6 Características del Aguardiente**

El aguardiente debe conservar algunas características peculiares como ser:

**Olor y sabor:** Aroma suave, bien definido y balanceado de la materia prima usada y posteriormente destilada.

**Aspecto:** Líquido brillante y transparente, libre de sólidos en suspensión y sedimentos.

**Especificaciones físicas y químicas:** Debe poseer una graduación alcohólica de entre 29 y 40 °GL.

**Acidez total:** 2,00 – 8,5 g de ácido acético por 100 L de alcohol absoluto.

**Grado Alcohólico:** En algunos casos, especialmente donde se utiliza el Alambique de cobre tradicional para la destilación de aguardientes, el destilado sale con graduaciones muy elevadas, en torno a los 80 °GL aproximadamente y como la venta de bebidas alcohólicas de tan alta graduación está prohibida, se debe añadir agua, para expedirlo al consumo humano.

Las legislaciones y costumbres fijan un máximo y un mínimo de graduación alcohólica para cada aguardiente. La banda oscila entre los 35 y los 45 °GL, aunque se permiten excepciones. Generalmente el volumen alcohólico figura en la etiqueta. (Juan Aban, 2011)



**TABLA I-4**  
**Composición del Aguardiente**

<b>Composición detallada por cada 100 g de bebida (Aguardiente)</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	g	67,00
Alcohol	g	34,00
Colesterol	mg	0,00
Carbohidratos	g	0,00
Fibra	g	0,00
Grasa	g	0,00
Calorías	kcal	222,000
Azúcares	g	0,00
Proteína	g	0,00
<b>Minerales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Sodio (Na)	mg	0,00
Hierro (Fe)	mg	0,00
Calcio (Ca)	mg	1,00
Zinc (Zn)	µg	0,00
Magnesio (Mg)	µg	0,00
<b>Vitaminas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Vitamina A	µg	0,00
Vitamina C	mg	0,00
Vitamina B12	µg	0,00
Vitamina B3	mg	0,00
Vitamina E	µg	1,00

**Fuente:** Tablas de Composición Nutricional de Alimentos, 2007

El Aguardiente boliviano con mayor reconocimiento e importancia a nivel mundial y regional es el Singani, razón por la cual, en este trabajo de investigación se ve por conveniente realizar una explicación breve del mismo.

### **1.7 Singani**

El Singani es un aguardiente boliviano de origen vínico, obtenido exclusivamente por la destilación de vinos que provienen de la fermentación alcohólica de la variedad de uva Moscatel de Alejandría. (Lau Malbec, 2017)

La Ley N° 1334, Ley de 4 de mayo de 1992, “Denominación de Origen”, fija las normas sobre la producción, elaboración y comercialización del Singani y establece el reglamento de Denominación de Origen de la bebida nacional; en ella se indica el área de producción permitida que comprende valles de los departamentos de Tarija, Chuquisaca, La Paz y Potosí. (Lau Malbec, 2017)

Además, define al Singani como “Aguardiente obtenido por la destilación de vinos naturales de uva fresca producida, destilada y embotellada en las zonas de producción de origen” (Artículo 10). También señala que el Singani elaborado con materias primas diferentes a la uva Moscatel de Alejandría, inclusive utilizando las prácticas enológicas recomendadas para tal efecto, no contará con derecho a la utilización de la D.O. (Denominación de Origen). (Lau Malbec, 2017)

Para observar más a detalle La Ley N° 1334, Ley de 4 de mayo de 1992, “Denominación de Origen”, revisar el (ANEXO K).

Existen 3 tipos de singani:

- Singani de Altura / Gran Singani

Bebida alcohólica obtenida por destilación de vino 100% natural proveniente exclusivamente de la fermentación alcohólica de la uva variedad Moscatel de Alejandría producidos en una altura de 1600 m.s.n.m. elaborados, destilados, embotellados y/o añejados en barricas de roble francés en las zonas de denominación de origen.

- Singani de Primera

Es la bebida alcohólica obtenida por destilación de vinos provenientes de la fermentación alcohólica de varias variedades de uvas blancas, producidas en una altura mínima de 1600 m.s.n.m. elaborados, destilados, embotellados en las zonas de denominación de origen.

- Singani de Segunda

Es la bebida alcohólica de vinos provenientes de la fermentación alcohólica de orujos no prensados, de una o varias variedades *Vitis vinífera*, producidos, destilados y embotellados en las zonas de denominación de origen.

### **1.7.1 Requisitos para la elaboración de Singani**

En el año 2007 la Norma Boliviana NB 324001/2015 establece, entre otros, los requisitos organolépticos y fisico-químicos que debe presentar un Singani.

#### **1.7.1.1 Requisitos Generales**

Las uvas destinadas para la elaboración de vinos para singanis, deben poseer condiciones fitosanitarias aptas y extentas de cualquier contaminante, como residuos químicos tóxicos y microorganismos patógenos.

#### **1.7.1.2 Requisitos Organolépticos**

El singani debe presentar los siguientes requisitos organolépticos mostrados a continuación en la siguiente tabla:

**TABLA I-5**

### Requisitos Organolépticos del Singani

Requisitos Organolépticos	Singani		
	Singani de Altura	Singani de Primera	Singani de Segunda
Descripción			
Aspecto	Limpio y/o brillante	Claro, limpio y/o brillante	Claro, limpio y/o brillante
Color	Incoloro (Ámbar, si es añejado)	Incoloro	Incoloro
Olor	Predomina el aroma a la Moscatel de Alejandría (Terpenos), si es añejado aromas típicos a la madera utilizada	Intensidad aromática media o ligera	Intensidad aromática media o ligera
Sabor	Fino, suave , aterciopelado, con estructura equilibrada	Intenso bien definidos	De gusto agradable

Fuente: IBNORCA, 2015

#### 1.7.1.3 Requisitos Físico-químicos

El singani debe cumplir con los requisitos de calidad que se establecen en la tabla mostrada a continuación:

**TABLA I-6**  
**Requisitos Físico-químicos del Singani**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Densidad	g/ml	De acuerdo al Singani	
Alcohol (Singani de Altura)	% (V/V)	37,0	45,0
Alcohol (Singani de Primera, Singani de Segunda)	% (V/V)	35,0	42,0
Extracto Seco Total	g/l	De acuerdo al Singani	
Cobre	mg/l	0,0	6,00
pH	Unidad de pH	3,5	6,00
Anhídrido Sulfuroso Total	mg/l	0,0	10,00
Acidez Volátil (Ácido Acético)	mg/l	0,0	1000,0
Metanol	mg/l	0,0	750,0
Fulfural	mg/l	0,0	50,0
Esteres	mg/l	10,0	2000,0
Aldehídos	mg/l	20,0	600,0
Alcoholes Superiores	mg/l	150,0	1200,0
Plomo	mg/l	0,0	0,3

**Fuente: IBNORCA, 2015**

## **1.8 Destilación alcohólica de Vino**

### **1.8.1 Destilación**

La destilación es el proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. El proceso de destilación es una técnica de separación más extendida en la obtención de bebidas alcohólicas y en el refinado del petróleo.

#### **1.8.1.1 Destilación Fraccionada**

Este proceso, también conocido como rectificación, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo.

La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujan a través del líquido. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que puede producirse espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. (Todobodega, 2011)

#### **1.8.1.2 Destilación por Arrastre de Vapor**

La destilación por arrastre de vapor posibilita la purificación o el aislamiento de compuestos de punto de ebullición elevado mediante una destilación a baja temperatura (siempre inferior a 100 °C). Es una técnica de destilación muy útil para sustancias de punto de ebullición muy superior a 100 °C y que se descomponen antes o al alcanzar la temperatura de su punto de ebullición.

La destilación por arrastre de vapor es una técnica de destilación que permite la separación de sustancias insolubles en H<sub>2</sub>O y ligeramente volátiles de otros productos no volátiles. A la mezcla que contiene el producto que se pretende separar, se le adiciona un exceso de agua y el conjunto se somete a destilación. (Todobodega, 2011)

### **1.8.1.3 Destilación al Vacío**

Debido a que muchas sustancias, que se desean separar por destilación, no pueden calentarse ni siquiera a temperaturas próximas a sus puntos normales de ebullición (a una atmósfera de presión), porque se descompondrían químicamente, o bien, otras sustancias con puntos de ebullición muy elevados demandarían gran cantidad de energía para su destilación a la presión ordinaria, se emplea el método de destilación al vacío o a presión reducida. El cual consiste en reducir la presión de operación para obtener la ebullición a temperaturas bajas, ya que un líquido empieza a hervir cuando su presión de vapor iguala la presión de operación. (Marco A. Núñez, 2008)

Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables.

### **1.8.1.4 Destilación Destructiva**

Se llama destilación destructiva al proceso donde se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndose en varios productos valiosos, y esos productos se separan por fraccionamiento en la misma operación.

Las aplicaciones más importantes de este proceso son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol. (Marco A. Núñez, 2008)

## **1.9 Factores a controlar para la Destilación**

Los factores más importantes durante la destilación son:

### **1.9.1 Temperatura**

El efecto de un aumento de la temperatura, suele disminuir las diferencias relativas de las volatilidades entre los componentes de una mezcla dada; de igual modo, un descenso de la temperatura de vaporización aumenta corrientemente las diferencias de las volatilidades.

### **1.9.2 Presión de vapor**

La presión o tensión de vapor de un líquido aumenta exponencialmente con la temperatura. Los compuestos que tienen una presión de vapor alta se conocen como compuestos volátiles.

Al aumentar la temperatura, la presión de vapor aumenta. Cuando la presión del gas en equilibrio con el líquido se iguala a la presión externa, la evaporación ya no tiene lugar sólo en la superficie del líquido, sino que todas las moléculas de éste tienen energía cinética para pasar al estado gaseoso. Este proceso recibe el nombre de ebullición. (Laboratorio de Química, 2008)

La presión en columnas de destilación normalmente se mantiene en el mínimo valor posible. Típicamente en las refinerías se opera a la máxima transferencia de calor en el condensador, esto implica la mínima presión y por tanto la máxima volatilidad relativa. (Hurowitz, 2003)

### **1.9.3 Grado alcohólico**

La graduación alcohólica o grado alcohólico volumétrico de una bebida alcohólica es la expresión en grados del volumen de alcohol (etanol) contenidos en 100 ml del producto, medidos a la temperatura de 20 °C. Se trata de una medida de concentración porcentual en volumen. (Bodega10, 2016)

A cada unidad de porcentaje de alcohol en el volumen total le corresponde un grado de graduación alcohólica. Así, se habla de un vino con una graduación de 13,5 °GL cuando tiene un 13,5% de alcohol, o sea, 135 ml de etanol por litro.

Los métodos de determinación del Grado alcohólico se basan en la destilación del alcohol etílico y otros componentes volátiles (metanol, alcohol isopropílico, aldehídos, esterés), el enrase a un volumen determinado y la medida de la densidad con el alcoholómetro, así también cuando la cantidad de destilado no es el suficiente se puede utilizar el índice de refracción.



### **1.9.4 Relación de Reflujo**

Se llama así a la relación entre el caudal del líquido que se devuelve a la columna como reflujo y el que se extrae como destilado.

La columna rectifica gracias al reflujo que permite el enriquecimiento del vapor que asciende. Es lógico que al aumentar la relación de reflujo sea mayor el contacto íntimo entre las dos fases y por lo tanto más fácil es la separación. (Universidad de Granada, 2010)

La relación de reflujo es muy importante en la destilación puesto que, si no se toma en cuenta, resultaría más difícil conseguir una concentración en el producto de cabeza mayor que en la alimentación. (Portillo, 2011)

## **1.10 Métodos de Elaboración de Aguardiente**

### **1.10.1 Destilación de Aguardiente**

#### **1.10.1.1 Método Continuo**

Se realiza en modernas columnas de platos de modo que con una sola destilación se consigue pasar de un vino de 9-10% a 70% de alcohol. Se llama continuo porque no hay interrupción del proceso.

El vino va entrando en la columna por un conducto y a la vez se van sacando las vinazas (residuos agotados en alcohol).

Cuanto más larga sea la columna y más platos tenga, el destilado será más rico, porque la rectificación o purificación es mayor. Este método resulta más económico (menor gasto energético) y más rápido. Sin embargo, el destilado obtenido contendrá muchas impurezas de otros compuestos volátiles. (Verema, 2012)

#### **1.10.1.2 Método Discontinuo**

Se denomina así porque se lleva a cabo una doble destilación con alquitaras o alambiques.

Este método utiliza dos destilaciones con el fin de conseguir destilados más puros y de mayor calidad, a pesar de que el proceso es más largo, más caro y requiere una gran experiencia por parte de quien lo controla. (Verema, 2012)

El destilado obtenido se recoge en las diferentes porciones:

- **Cabeza:** Es la primera fracción que sale al inicio de la destilación, en ella deberían salir los alcoholes menores y más volátiles que el etanol (METANOL), ésta es descartada porque contiene aromas extraños y sustancias no deseables en el destilado.
- **Cuerpo o Corazón:** Es la parte central de la destilación, formados por todos los componentes que tienen un punto de ebullición entre los 78,4 y 100°C. La graduación alcohólica de esta fracción está entre el 70 y 45 %vol.
- **Cola:** Es la tercera y última fracción recogida en la destilación. Tiene un elevado contenido de agua, razón por la que es desechada. La graduación alcohólica de ésta se encuentra menos del 45 %vol.

Para el método de destilación discontinua, se utilizan dos clases de equipos:

#### **1.10.1.2.1 Alambique Tradicional**

En el alambique tradicional el vino se deposita en una caldera, sobre la que se aplica fuego directo de leña u otra fuente de calor para hacerlo hervir. Algunos vapores condensan en el Capitel y Cuello de Cisne para retornar a la caldera, mientras que el resto es conducido por un Serpentín refrigerado por agua fría, donde se produce la condensación y recogido del destilado. No todo el producto destilado es aprovechable para la obtención de Aguardiente: Las primeras fracciones obtenidas al comenzar la destilación, llamadas “Cabezas” y las últimas llamadas “Colas”, son separadas, utilizándose solo la parte central llamada “Corazón”, con una graduación de 65-70 °GL.

**Figura 1-1****Alambique Tradicional**

**Fuente:** Jesús Bernard, 2014

**1.10.1.2.2 Alambique de Columna**

El alambique de columna es fabricado en cobre, también de funcionamiento continuo. Es el indicado para la destilación de aceites esenciales y plantas. Esto es debido a que el agua no toca en ningún momento al producto a destilar, lo que le da una gran pureza al destilado.

El alambique de columna está dividido en cuatro partes:

- Pota: Es la parte del alambique donde se coloca el agua.
- Capucha: Es la parte superior del alambique por donde sale el vapor. Ésta se sella con una masa de agua con harina para evitar que salga el vapor.
- Columna: Es la parte del alambique donde se coloca el elemento a destilar.
- Bidón de serpentín: En este cubo es donde se condensa el vapor y sale el elemento a destilar del alambique. (La Despensa del Jabón, 2017)

Los alambiques de columna emplean la técnica de destilación a vapor para destilar alcohol o extraer aceites esenciales e hidrolatos. La materia para ser destilada se

coloca en la columna y el pote simplemente funciona como generador de vapor. Este tipo de alambiques son ideales para realizar destilaciones a vapor, siendo especialmente recomendados para destilar componentes muy sensibles a altas temperaturas, que normalmente se descomponen cuando son sometidos a procesos de destilación simple. (AL-AMBIQ, 2017)

**Figura 1-2**

**Alambique de Columna**



**Fuente:** Comercial Rellán, 2012

## **1.11 Descripción del Proceso de Elaboración de Aguardiente a partir de Vino**

### **1.11.1 Molienda y Despalillado**

Luego de la cosecha de la uva en cajas pequeñas para evitar cualquier maltrato, la descarga se realiza sobre la tolva de recepción, que irá acumulando la uva sobre una cinta de previa selección que la transportará a la estrujadora.

Durante el despalillado las uvas pasan a una máquina que separa los granos del escobajo o raspón (parte verde del racimo) para que durante la maceración no se transmitan olores y sabores herbáceos desagradables. Esta operación es

imprescindible para la consecución de vinos tintos de calidad. (Centro Campillo, 2008)

Los granos casi enteros pasan a una prensa neumática que los “estruja” suavemente (no los muele) para que liberen el jugo o mosto y la pulpa. Se debe, por lo tanto, respetar en la medida de lo posible la integridad de los hollejos y las pepitas. El estrujado debe ser suave, pues simplemente basta con liberar mosto. La uva prensada y su jugo son llevados a vasijas de acero inoxidable, madera o cemento. (Centro Campillo, 2008)

### **1.11.2 Fermentación**

La fermentación alcohólica (dura 4 a 10 días), proceso que se produce por las levaduras que naturalmente trae la uva, las que se alimentan de los azúcares y los transforman en alcohol.

Esta fermentación alcohólica o primaria es producida por levaduras, principalmente del género *Saccharomyces*. La temperatura ideal para este proceso es entre 17° y 24° grados centígrados para vinos jóvenes y entre 23° y 30° para vinos de crianza, es importante que la temperatura no pase nunca de los 30°, ya que a partir de esa temperatura vuelven a tomar actividad las bacterias que avinagran el vino. (Centro Campillo, 2008)

La fermentación se desarrolla en 4 fases: una fase de demora, crecimiento exponencial, fase estacionaria y finalmente la fase declinante, este proceso dura aproximadamente 10 a 15 días.

### **1.11.3 Prensado**

La función principal del prensado es extraer el mosto de uva fresca, o el vino de los orujos de la uva fermentada. Su misión es limitar la producción de fangos, limitar las roturas de pepitas y limitar el daño a los raspones en el caso de vendimias no despalladas. El momento del prensado y su intensidad dependen y varían según el tipo o estilo de vino que se persiga.

#### **1.11.4 Destilación**

El objetivo de la destilación es la separación del alcohol y los compuestos aromáticos mediante un aporte controlado de calor, tratando en la medida de lo posible de favorecer la presencia de unos compuestos y eliminar otros, en el producto obtenido. (Rodríguez, 2008).

En la destilación, el vino base se hace ebullicir y los componentes más livianos de éste ascienden hasta la parte superior del destilador donde se condensan, mientras que los componentes más pesados, retornan al vino en ebullición. El etanol, componente mayoritario del Aguardiente, es evaporado junto con compuestos minoritarios, denominados "aromas". Estos compuestos volátiles destilan según su punto de ebullición, su afinidad con el alcohol y el agua, y la variación del contenido del alcohol en el vapor durante el proceso. (Domenech, 2006)

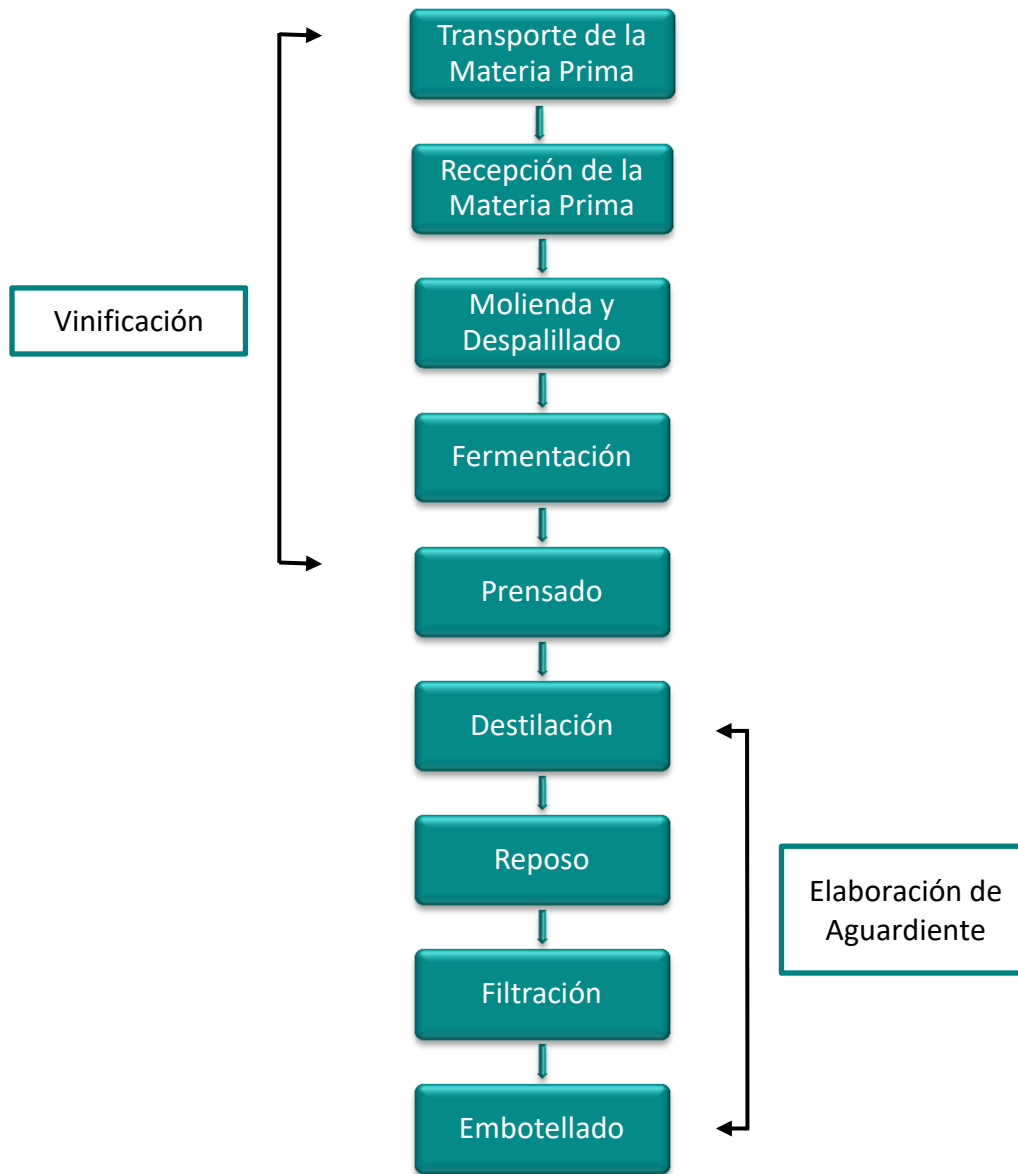
#### **1.11.5 Reposo**

El Aguardiente puede almacenarse 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.

### 1.11.6 Diagrama de Bloques de la Elaboración de Aguardiente a Partir de Vino

Figura 1-3

#### Diagrama de Bloques de la Elaboración de Aguardiente a Partir de Vino



Fuente: Elaboración Propia, 2017

**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**



## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Parte Experimental del Proyecto de Investigación

La parte experimental de presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), el cual depende del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (DPIBA) de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El retentato utilizado para la elaboración de este Proyecto fue obtenido en las instalaciones de Bodega y Viñedos MILCAST CORP. S.R.L. – Aranjuez, institución que se caracteriza por ser independiente y una empresa destacable en la producción de vinos de altura de la región, la empresa se encuentra ubicada en la provincia Cercado, capital del Departamento de Tarija, perteneciente al presente país Bolivia, cuya dirección es Av. Dr. Ángel Baldivieso No. E-1976 – B/Aranjuez Tarija, Bolivia.

El análisis correspondiente de la materia prima (Retentato), arrojó las siguientes características y resultados:

**TABLA II-1**

**Composición del Retentato (Materia Prima)**

<b>Determinación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma</b>
Alcohol	% V/V	10,00	15,00	11,6	NB - 322002
Acidez Total	g/l	3,50	9,75	5,14	NB - 322002
Acidez Volátil	g/l	0,1	1,00	0,56	NB - 322002
SO <sub>2</sub> Total	mg/l	0,00	300,0	105,6	NB - 322002
SO <sub>2</sub> Libre	mg/l	0,00	75,00	47,36	NB - 322002

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Como la tabla II-1 muestra, todos los parámetros se encuentran entre los rangos permitidos por la Norma Boliviana, (NB - 322002/2015) Vinos – Requisitos.

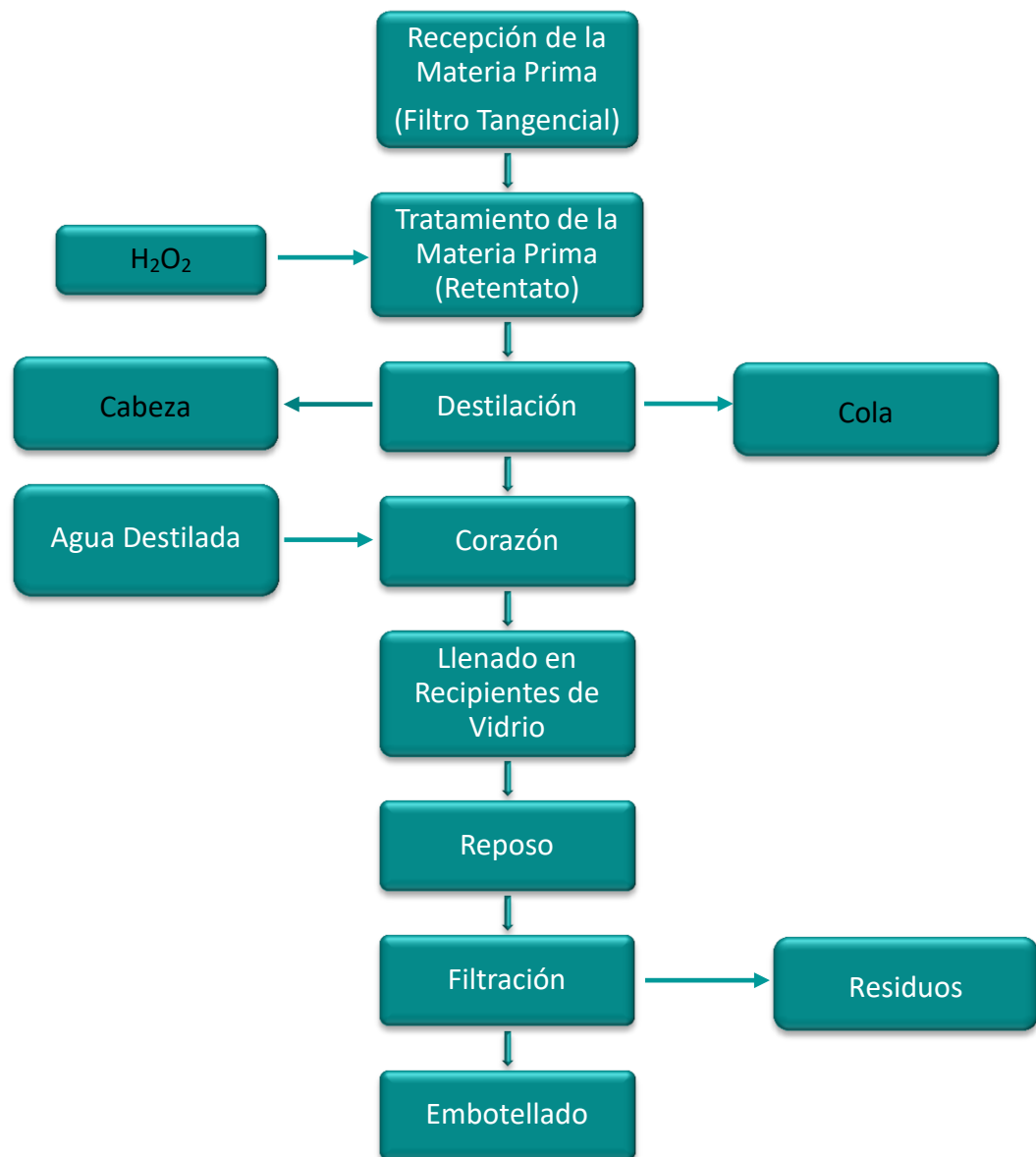
(Ver ANEXO L).

## **2.2 Obtención de Aguardiente a Escala de Laboratorio**

En la siguiente figura (Figura 2-1), se observa cada una de las etapas a seguir en el proceso para la obtención de Aguardiente a partir del retentado generado como subproducto de la filtración tangencial de vinos en la bodega Aranjuez de Tarija.

**Figura 2-1**

**Diagrama de Bloques de la Elaboración Aguardiente a partir del Retentato generado como Subproducto de la Filtración Tangencial de Vinos en la Bodega Aranjuez de Tarija**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

### **2.3 Descripción de la Materia Prima**

La materia prima utilizada en el presente proyecto, fue el Retentato que resulta de la filtración tangencial de vino elaborado con uva Moscatel de Alejandría, es decir, vino blanco “Gran Vino” hecho bajo el procedimiento industrial en la Bodega Aranjuez de Tarija.

### **2.4 Proceso de Elaboración de Aguardiente a partir del Retentato generado como Subproducto de la Filtración Tangencial de Vinos en la Bodega Aranjuez de Tarija**

#### **2.4.1 Recepción y Selección de la Materia Prima**

El Retentato obtenido luego de la Filtración Tangencial de Vinos en la Bodega Aranjuez, presenta un aroma suave y bien definido además de sabores característicos de la materia prima utilizada durante su elaboración.

Para corroborar que la materia prima (Retentato), se encuentre dentro de los requerimientos deseados fue sometido a diversos análisis experimentales en el laboratorio de la Bodega Aranjuez.

#### **2.4.2 Tratamiento de la Materia Prima**

##### **2.4.2.1 Eliminación de SO<sub>2</sub> libre**

Se procedió a neutralizar la muestra antes de someterla al proceso de destilación, con la adición de una solución de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%, esta acción realizada con el fin de disminuir los niveles de SO<sub>2</sub> libre en la materia prima.

El material utilizado para esta operación, fue micropipetas graduadas y reguladas con escala de (10-100) , (100-500), (500-1000) microlitros (μl), debido a que la cantidad a agregar de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en volumen es bastante pequeña.

Puesto como ejemplo que para 1,00 litro de muestra con (SO<sub>2</sub> libre) = 26,56 mg/l como contenido inicial, se utilizó 25,0 μl = 0,025 ml de Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para llevar a cabo su respectiva neutralización.

El material volumétrico empleado para esta operación se encontró disponible en el laboratorio de la misma Bodega.

El comportamiento de este parámetro importante ( $\text{SO}_2$  libre), se caracteriza por tener una ligera variación con respecto al tiempo, razón por la cual para realizar la neutralización de la materia prima se vio conveniente emplear un Ajuste Lineal que permita aproximar la relación de dependencia entre la concentración de anhídrido libre [ $\text{SO}_2 l$ ] y la adición en volumen de Peróxido de Hidrógeno [ $\text{Vol. H}_2\text{O}_2$ ], en la neutralización de la materia prima.

La aplicación del modelo matemático se muestra en el ANEXO H.

#### **2.4.2.2 Medición de $\text{SO}_2$ libre**

Una vez neutralizada la muestra se realizó nuevamente el análisis de determinación de  $\text{SO}_2$  libre, para corroborar que los resultados logrados se encuentren dentro de los rangos permitidos por la Norma Boliviana (NB - 322002/2015) Vinos – Requisitos. (Revisar ANEXO L).

#### **2.4.3 Destilación**

La destilación se llevó a cabo en la Columna de Destilación en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Se realizó de la siguiente manera:

#### **2.4.4 Carga al Tanque de Alimentación (Reboiler)**

Se cargó la cantidad de 7,00 litros de retentato proveniente del Filtrado Tangencial de Vino Blanco preparado (Gran Vino), al tanque de alimentación, previamente realizado los análisis experimentales correspondientes.

La energía suministrada para arrancar el funcionamiento de la Columna de Destilación, fue una potencia constante de 0,70 a 0,80 kW, según requería la muestra conforme al diseño experimental realizado.

Una vez establecida la potencia, se dejó que la columna trabaje con reflujo total hasta que la mezcla alcance su punto de ebullición, al momento de la ebullición se

programó un reflujo constante de 3:1 (que retorna cada 7,50 min.) y 4:1 (que retorna cada 6,70 min.) según se requería en la muestra conforme al diseño experimental realizado.

**Figura 2-2**

### **Controlador de la Columna de Destilación**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

**Figura 2-3**

### **Tanque de Alimentación de la Columna de Destilación (Reboiler)**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

## **2.4.5 Separación**

### **2.4.5.1 Cabeza**

La primera fracción recogida de destilado se denomina cabeza y comprende alrededor del 3% del total de la carga. Esta fracción es separada debido a su contenido de alcoholes menores y volátiles, además que se considera una fracción que posee malos olores y sabores que dañan el producto final.

El grado alcohólico de la cabeza se midió con un alcoholómetro con rango de medición de 0-100 grados Gay Lussac, acondicionando la muestra a 20 °C, debido a que el alcoholómetro está calibrado a esta temperatura. El grado alcohólico de la cabeza durante las destilaciones realizadas osciló entre 65° GL y 70 °GL.

### **2.4.5.2 Corazón**

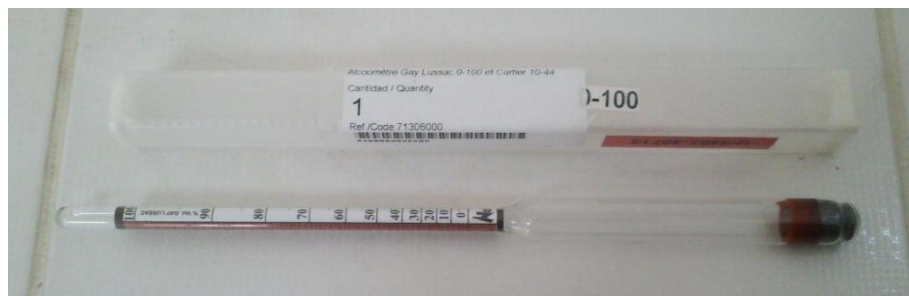
El corazón es la fracción central del proceso de destilación, éste se recogió posteriormente a la separación de la cabeza, hasta que el destilado alcanzó a medir aproximadamente 40 a 42 °GL. Para esta operación se tomó muestras cada 15 minutos, para determinar el grado alcohólico utilizando el alcoholómetro.

En algunos casos no se contó con la suficiente cantidad de destilado obtenido para medir con el alcoholómetro, por lo que entonces se realizó la medición del Índice de Refracción de cada muestra para luego convertirlo en grados Gay Lussac. (Ver ANEXO A)

### **2.4.5.3 Cola**

Es la tercera y última parte del destilado en recogerse, para su obtención se tomó muestras cada 10 a 15 minutos para determinar el grado alcohólico, deteniendo su recolección al llegar a los 19 a 21 °GL.

En algunos casos no se contaba con la suficiente cantidad de destilado para medir con el alcoholómetro, por lo que se realizó la medida del Índice de Refracción de cada muestra para luego convertirlo en grados Gay Lussac. (Véase ANEXO A)

**Figura 2-4****Alcohómetro con escala de 0-100 °GL**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

**Figura 2-5****Refractómetro IVYMEN**

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

**2.4.6 Llenado en Recipientes de Vidrio**

Las cantidades de Aguardiente obtenidas en la destilación fueron pequeñas, por lo que éstas se depositaron en recipientes de vidrio transparente (Botellas), previamente



lavadas y esterilizadas en la maquina lavadora de botellas de la Bodega Aranjuez, proceso en el que se utiliza Soda Caustica al 2% como detergente principal.

Estas botellas utilizadas para el llenado y posterior reposo, fueron obtenidas en la Bodega Aranjuez de Tarija, mismas que son utilizadas para el embotellado de vinos varietales como "DUO y TANNAT y tienen una capacidad de 750 ml cada una.

#### **2.4.7 Reposo**

Las muestras de Aguardiente, se mantuvieron en reposo en botellas de vidrio, por el lapso de 10 meses hasta la fecha actual, para lograr conseguir un sabor cautivador y equilibrado en el producto final.

Para reducir el grado alcohólico a un grado comercial de 40° GL, se agregó previamente al reposo, agua destilada a las 8 muestras.

**Figura 2-6**

#### **Botellas de Vidrio Transparente con Destilado**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

TABLA II-2

**Volumen de Agua Destilada para Bajar a Grado Alcohólico Comercial**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen de Agua Destilada (ml)</b>
1	333,45
2	332,2
3	387,2
4	321,1
5	319,5
6	358,15
7	296,7
8	280,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

En la anterior tabla, se observa el volumen de agua destilada agregado a cada una de las muestras de destilado obtenido luego de ser realizada la destilación correspondiente, esta acción se efectuó con el fin de reducir el grado alcohólico final de las muestras de Aguardiente.

Para comprender más detalladamente el procedimiento y cálculo de la adición de agua destilada a las muestras, revisar el ANEXO B.

## **2.5 Descripción de los Equipos Utilizados en la Elaboración de Aguardiente**

### **2.5.1 Columna de Destilación Marca ARMFIELD UOP3BM**

Este equipo de destilación se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

- La columna consta de 8 platos perforados, con un diámetro de 50 mm cada uno de ellos, la altura total de la unidad de proceso no supera los 2.5m y su temperatura máxima de operación es de 130°C, además cuenta con:
- Una Consola: es un controlador donde se opera la torre de destilación, en ésta se puede monitorear, observar y controlar manualmente la potencia eléctrica entregada a los calefactores en kW, cuya conexión a red es de un consumo máximo de 3,00 kW protegida por un disyuntor diferencial, la consola realiza el ajuste de la relación de reflujo a la que trabajará la columna, y tiene la capacidad de revisar y controlar la temperatura en diferentes puntos donde se encuentran los sensores de la torre de destilación.
- Un Tanque de Alimentación (Reboiler): construido de material 316 Stainless Steel (Acero Inoxidable) que incluye el acoplamiento de una resistencia, que sirve para calentar la mezcla a destilar, la capacidad máxima de este tanque es de 10 litros.
- Un Condensador: el mismo que se encuentra revestido con un material aislante, y con una capacidad máxima de 4400 cm<sup>3</sup>/min de flujo de agua.
- Un Decantador o Vesícula: es un recipiente de vidrio donde el destilado condensado se recoge y es en este lugar donde actúa el reflujo, dependiendo del tiempo establecido en la consola, parte del destilado obtenido pasa a la recepción del producto final, mientras que la otra parte vuelve a la columna.
- Un manómetro diferencial: conectado entre el tope y la base de la columna, para observar la caída de presión en ésta.

- Trece Sensores de Temperatura: colocados en cada plato de la columna y en otros puntos estratégicos, estos se encuentran conectados a la consola de la columna.
- Quince Válvulas: las mismas que se hallan distribuidas por todo el Equipo de Destilación.

**Figura 2-7**

**Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Figura 2-8

### Consola de la Columna de Destilación



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

La Columna de Destilación ARMFIELD UOP3BM, es una instalación de destilación autónoma con instrumentación completa que utiliza circuitos básicamente seguros y aislados galvánicamente para permitir la destilación exitosa de diferentes mezclas.

La consola de control de banco es una unidad propia de este equipo, donde se puede monitorear, visualizar y hacer el ajuste manual de dos factores:

- La potencia eléctrica suministrada al calentador del calderín.
- El ajuste de la relación de reflujo

Al tratarse de un ajuste manejable, práctico y sencillo, se optó por seleccionar a los parámetros anteriormente nombrados, como variables de proceso o variables independientes, durante realización del Diseño Factorial del proyecto.

Análisis e investigación que se muestra con mayor detalle a continuación.

## 2.6 Diseño Factorial

El diseño factorial, como estructura e investigación, es la combinación de dos o más diseños simples (o unifactoriales), es decir, éste requiere la manipulación simultánea de dos o más variables independientes (llamados factores) en un mismo experimento.

Un diseño factorial con dos factores consiste en experimentar con todos los tratamientos que se obtienen al combinar cada nivel de un factor con los niveles del otro. (Peña. D, 2002)

El diseño factorial para la destilación es de dos factores, a dos niveles cada uno de los factores, con dos repeticiones. Por lo que entonces, se tendrá un número de experimentos de:

$$N^F = 2^2 = 4 * 2 \text{ repeticiones} = 8 \text{ Experimentos}$$

Donde:

N: son los niveles

F: son los Factores o variables

Las variables identificadas son las siguientes, Potencia suministrada a la Columna de Destilación expresada en kW y la Relación de Reflujo. Los niveles de estas variables se muestran a continuación:

**TABLA II-3**

**Niveles de las Variables para la Destilación**

<b>Nivel</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación de Reflujo</b>
Inferior	0,70	3:1
Superior	0,80	4:1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

En la siguiente tabla se muestra las combinaciones de las variables en sus 2 niveles a realizar, para cada una de las muestras correspondientes.

**TABLA II-4**  
**Combinación de las Variables de la Destilación**

Nº Muestra	P <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Respuesta I (°GL)	Respuesta II (°GL)	Respuesta IV (Vol)	Respuesta IV (Vol)
1	-	-	P <sub>11</sub> R <sub>11</sub>	P <sub>12</sub> R <sub>12</sub>	P' <sub>11</sub> R' <sub>11</sub>	P' <sub>12</sub> R' <sub>12</sub>
2	-	+	P <sub>21</sub> R <sub>11</sub>	P <sub>22</sub> R <sub>12</sub>	P' <sub>21</sub> R' <sub>11</sub>	P' <sub>22</sub> R' <sub>12</sub>
3	+	+	P <sub>11</sub> R <sub>21</sub>	P <sub>12</sub> R <sub>22</sub>	P' <sub>11</sub> R' <sub>21</sub>	P' <sub>12</sub> R' <sub>22</sub>
4	+	-	P <sub>21</sub> R <sub>21</sub>	P <sub>22</sub> R <sub>22</sub>	P' <sub>21</sub> R' <sub>21</sub>	P' <sub>22</sub> R' <sub>22</sub>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Donde:

i= Nivel

j= Repetición

P= Potencia (kW)

R= Relación de Reflujo

°GL= Concentración de Alcohol (°GL), Primer variable respuesta

Vol= Volumen del destilado (ml), Segunda variable respuesta

### **Hipótesis Nula**

$$H_0 = P_{11} = P_{21} = P_{12} = P_{22} = 0$$

$$H_0 = R_{11} = R_{21} = R_{12} = R_{22} = 0$$

$$H_0 = P_{11}R_{11} = P_{21}R_{11} = P_{11}R_{21} = P_{21}R_{21} = P_{12}R_{12} = P_{22}R_{12} = P_{12}R_{22} = P_{22}R_{22} = 0$$

$$H'_0 = P'_{11} = P'_{21} = P'_{12} = P'_{22} = 0$$

$$H'_0 = R'_{11} = R'_{21} = R'_{12} = R'_{22} = 0$$

$$H'_0 = P'_{11}R'_{11} = P'_{21}R'_{11} = P'_{11}R'_{21} = P'_{21}R'_{21} = P'_{12}R'_{12} = P'_{22}R'_{12} = P'_{12}R'_{22} = P'_{22}R'_{22} = 0$$

### **Hipótesis Experimental**

$H_1$ :  $P_{11} \neq P_{21} \neq P_{12} \neq P_{22}$ , no todas las  $P_{ij}$  son 0.

$H_1$ :  $R_{11} \neq R_{21} \neq R_{12} \neq R_{22}$ , no todas las  $R_{ij}$  son 0.

$H_1$ :  $P_{11}R_{11} \neq P_{21}R_{11} \neq P_{11}R_{21} \neq P_{21}R_{21} \neq P_{12}R_{12} \neq P_{22}R_{12} \neq P_{12}R_{22} \neq P_{22}R_{22}$ , no todas las iteraciones  $P_{ij}R_{ij}$  son 0.

$H'_1$ :  $P'_{11} \neq P'_{21} \neq P'_{12} \neq P'_{22}$ , no todas las  $P'_{ij}$  son 0.

$H'_1$ :  $R'_{11} \neq R'_{21} \neq R'_{12} \neq R'_{22}$ , no todas las  $R'_{ij}$  son 0.

$H'_1$ :  $P'_{11}R'_{11} \neq P'_{21}R'_{11} \neq P'_{11}R'_{21} \neq P'_{21}R'_{21} \neq P'_{12}R'_{12} \neq P'_{22}R'_{12} \neq P'_{12}R'_{22} \neq P'_{22}R'_{22}$ , no todas las iteraciones  $P'_{ij}R'_{ij}$  son 0.

**Hipótesis:** La temperatura y la relación de reflujo influyen de manera positiva en el Grado alcohólico ( $^{\circ}$  GL) y el Volumen (Vol) del destilado obtenido.

### **2.7 Análisis de las Muestras Obtenidas**

El análisis del alcohol probable en el destilado como el índice de refracción, se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química, con los equipos e instrumentos necesarios, los mismos que se realizaron de la siguiente manera.

Los análisis fisicoquímicos del Aguardiente obtenido, fueron realizados en el laboratorio de la Bodega Aranjuez.



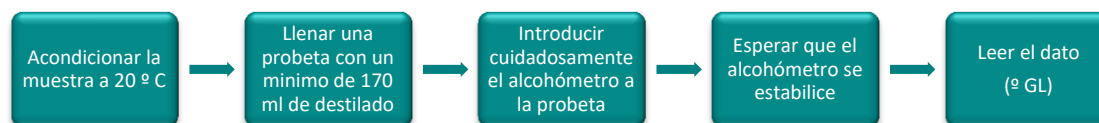
## 2.7.1 Análisis Fisicoquímicos realizados en el LOU

### 2.7.1.1 Alcohol Probable

El alcohol probable de cada una de las muestras obtenidas durante la destilación de las mismas se determinó con ayuda de un alcoholómetro. Este análisis se realizó con muestras de hasta 170 ml de volumen. El procedimiento seguido se muestra en la siguiente figura:

**Figura 2-9**

#### **Determinación de Alcohol Probable**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

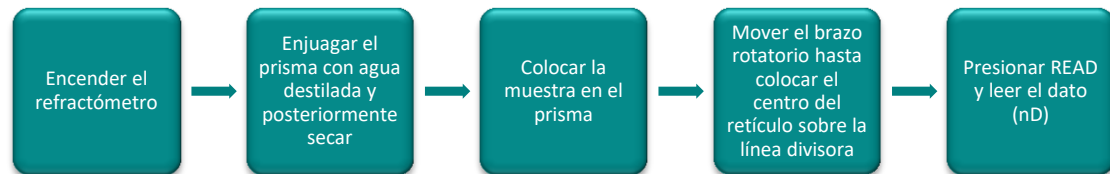
### 2.7.1.2 Determinación del Índice de Refracción

El índice de refracción se determinó por medio de un método refractométrico. Las mediciones se realizaron con una alícuota de la muestra obtenida en el Refractómetro de Abbe, de marca IVYMEN.

El procedimiento seguido se muestra en la siguiente figura:

Figura 2-10

### Determinación del Índice de Refracción



**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

#### 2.7.2 Análisis Físicoquímicos realizados en la Bodega Aranjuez

Los análisis físicoquímicos de las muestras obtenidas se realizaron en el laboratorio de la Bodega Aranjuez y fueron los siguientes:

- Anhídrido Sulfuroso Total (SO<sub>2</sub>T)
- Anhídrido Sulfuroso Libre (SO<sub>2</sub>L)
- Grado alcohólico (°GL)
- Acidez Total (Como ácido tartárico)
- Acidez Volátil (Como ácido acético)
- pH
- Metanol

#### 2.8 Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial

Según Nora Barda (2011), Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial, es el análisis estrictamente normalizado de los alimentos que se realiza con los sentidos. Se emplea la palabra "normalizado", porque implica el uso de técnicas específicas perfectamente estandarizadas, con el objeto de disminuir la subjetividad en las respuestas. Las empresas lo usan para el control de calidad de sus productos, ya sea durante la etapa del desarrollo o durante el proceso de rutina. Por ejemplo, si cambian un insumo es

necesario verificar si esto afecta las características sensoriales del producto y por ende su calidad.

Detrás de cada alimento que nos llevamos a la boca existen múltiples procedimientos para hacerlos apetecibles y de buena calidad para el consumo. Uno de estos aspectos es el Análisis Sensorial, que consiste en evaluar las propiedades organolépticas de los productos, es decir, todo lo que se puede percibir por los sentidos y determinar su aceptación por el consumidor.

En el análisis sensorial de los alimentos se puede realizar a través de diferentes pruebas, según la finalidad para la que estén diseñados. A grandes rasgos se habla de tres grandes grupos:

- Análisis Descriptivo
- Análisis Discriminativo
- Análisis del Consumidor o Test Hedónico

### **Análisis Descriptivo**

Consiste en la descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). Para la primera etapa se trata de ver a qué recuerda y cómo se describe cada olor (por lo general se utiliza sustancias químicas). A medida que transcurre el entrenamiento, la persona reconoce ese olor e inmediatamente lo describe. Es decir, se agiliza el proceso mental "Estímulo-respuesta", en esa fase se comienza a trabajar con el producto que será objeto de la evaluación, y se desarrolla un vocabulario de ocho a quince palabras para describirlo. En tanto, la segunda parte está basada en aprender a medir, es aquí donde empieza el entrenamiento con escalas.

El tiempo necesario para entrenar al panel de degustación en este tipo de análisis es seis a ocho sesiones, hasta que cada evaluador aprende el vocabulario y la escala.

### **Análisis Discriminativo**

Es utilizado para comprobar si hay diferencias entre productos, y la consulta al panel es cuánto difiere de un control o producto típico, pero no sus propiedades o atributos.

"Se hace un juicio global donde dos son iguales y una tercera es diferente, cuál es distinta".

Por ejemplo, ante una muestra A y una B, se pregunta cuál es la más dulce, o ante A, B y C.

Este tipo de análisis se caracteriza por ser más rápido que el análisis descriptivo, ya que no es necesario un gran entrenamiento.

### **Test del consumidor o Test Hedónico**

En este caso se trabaja con evaluadores no entrenados, y la pregunta es si les agrada o no el producto. El consumidor debe actuar como tal, pero lo que sí se requiere, según la circunstancia, es que sea consumidor habitual del producto que está en evaluación.

Contrariamente, a los evaluadores que realizan control de calidad nunca se les consulta si el producto es de su agrado.

Este tipo de test no demanda entrenamiento, porque es espontáneo.

#### **2.8.1 Análisis Sensorial o Evaluación Sensorial Elegida**

Para llevar a cabo la Evaluación Sensorial o degustación respectiva, se eligió utilizar el Test del consumidor o Test Hedónico, basado en la escala hedónica de 7 puntos de evaluación, con un panel de degustación conformado por 6 jueces con experiencia en el ámbito enológico.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico para definir los descriptores organolépticos más representativos del Aguardiente adquirido.

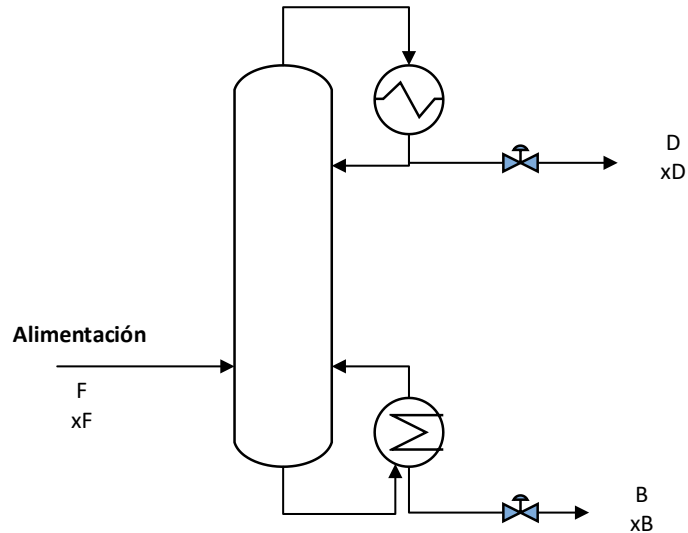
### **2.9 Balance de Materia y Energía en el Proceso de Destilación**

Para la realización de los balances de materia y energía, se utilizó la Muestra 2 (Potencia = 0,70 kW, Relación de Reflujo = 3:1), debido a que es la muestra que presentó mayor rendimiento en cuanto a volumen se refiere.

### 2.9.1 Balance de Materia

**Figura 2-11**

#### **Balance de Materia en la Torre de Destilación**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Balance Global

$$F = D + B \quad (\text{Ec. 2-9.1.1})$$

Balance por Componente

$$F * x_f = D * x_d + B * x_b \quad (\text{Ec. 2-9.1.2})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
F	Caudal de alimentación de Retentato	6,97 kg/día
D	Destilado Final	1,19 kg/día
B	Producto de Fondo	

xf	Fracción molar de Etanol en la alimentación de Retentato.	0,116
xd	Fracción molar de Etanol en el Destilado Final	0,51
xb	Fracción molar en el producto de fondo	

Utilizando la Ec. 2-9.1.1, se obtiene:

$$6,97 \frac{kg}{día} = 1,19 \frac{kg}{día} + B$$

$$B = 5,78 \frac{kg}{día}$$

Empleando la Ec. 2-9.1.2, se obtiene:

$$\left(6,97 \frac{kg}{día} * 0,116\right) = \left(1,19 \frac{kg}{día} * 0,51\right) + 5,78 \frac{kg}{día} * xb$$

$$xb = 0,035$$

Se calculó de manera experimental que el 21.98 % del destilado total, retorna como reflujo a la columna para enriquecer el producto final en el proceso de destilación. (Ver ANEXO G.1).

Por lo tanto, el balance de materia para el reflujo será:

$$R = 0,22 * D \quad (\text{Ec. 2-9.1.3})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
D	Destilado Final	1,19 kg/día
R	Reflujo	

Utilizando la Ec. 2-9.1.3, se obtiene:

$$R = 0,22 * 1,19 \frac{kg}{día}$$

$$R = 0,26 \frac{kg}{día}$$

## 2.9.2 Balance de Energía

### 2.9.2.1 Calor Necesario Para Calentar la Muestra (Calor Sensible)

$$Q_2 = dH = Masa_{retentato} = \int_{t_o}^{t_d} C_{p_{retentato}} dT \quad (\text{Ec. 2-9.2.1.1})$$

Donde:

Término	Definición	Datos
$Q_2$	Calor requerido para calentar la Muestra	
m retentato	Masa de retentato	6,97 kg/día
$C_p$ retentato	Capacidad calorífica del vino blanco	4,2 kJ/Kg*día
$T_o$	Temperatura inicial	22,7 °C
$T_d$	Temperatura de destilación	86,4 °C

Utilizando la Ec. 2-9.2.1.1, se obtiene:

$$Q_2 = dH = 6,97 \frac{kg}{día} * 4,2 \frac{kJ}{kg °C} * (86,4 - 22,7) °C$$

$$Q_2 = 1864,75 kJ$$

### 2.9.2.2 Calor para el Cambio de Fase (Calor Latente)

#### 2.9.2.2.1 Para el Etanol

$$\frac{\Delta H_n}{RT_n} = \frac{1,092 * [\ln(P_c - 1,013)]}{0,930 - T_{rn}} \quad (\text{Ec. 2-9.2.2.1.1})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$\Delta H_n$	Calor latente molar de vaporización a $T_n$	
R	Constante general de los gases	83,14 cm <sup>3</sup> bar/mol °K
$T_n$	Punto de ebullición normal	359,5 °K
$P_c$	Presión crítica	63,82 bar
$T_{r_n}$	Temperatura reducida a la Temperatura de operación $T_n$	0,699

Entonces de la Ec. 2-9.2.2.1.1 se obtiene:

$$\Delta H_n = \frac{1,092 * [\ln(63,82 - 1,013)]}{0,930 - 0,699} * 83,14 \frac{cm^3 bar}{mol^\circ K} * 359,5^\circ K * \frac{100 \frac{KN}{m^2}}{1 bar} * \frac{1m^3}{100^3 cm^3}$$

$$\Delta H_n = 58,50 \frac{kJ}{mol}$$



Para determinar el Calor latente molar de vaporización durante todo el proceso de destilación de la Muestra 2, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta H_i}{\Delta H_1} = \left( \frac{1-T_{ri}}{1-T_{r1}} \right)^{0,38} \quad (\text{Ec. 2-9.2.2.1.2})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
$\Delta H_1 = \Delta H_n$	Calor latente molar de vaporización a $T_n$	58,50 kJ/mol
$\Delta H_i$	Calor latente molar de vaporización a $T_i$	
$T_{r1} = T_m$	Temperatura reducida a la Temperatura de operación $T_n$	0,699
$T_{ri}$	Temperatura reducida a $T_i$	

Para esto se deberá sumar los distintos valores, de Calor latente molar de vaporización obtenidos para cada toma de muestra durante todo el proceso de destilación.

Como la destilación registra en la consola de la columna, una variación de la temperatura de ebullición, se debe tomara tomar en cuenta este factor al momento de realizar los cálculos correspondientes.

Para revisar los cálculos y operaciones auxiliares realizadas a diferentes temperaturas de ebullición, revisar (ANEXO G.2.1.1).

Aplicando la ecuación anterior, Ec. 2-9.2.2.1.2 se obtiene:

**TABLA II-5**

**$\Delta H_i$  Etanol**

<b>i</b>	<b>Ti (°K)</b>	<b>Tri</b>	<b><math>\Delta H_i</math> Etanol Puro (kJ/mol)</b>	<b>ni (mol)</b>	<b><math>\Delta H_i</math> (Kj)</b>
1	363,75	0,708	57,83	21,73	1256,64
2	365,55	0,711	57,60	20,44	1177,34
3	366,85	0,714	57,37	17,85	1024,05
4	367,45	0,715	57,30	16,30	993,99
<b>Total</b>					4452,02

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Tabla II-5, se observa que el Calor latente molar de vaporización ( $\Delta H_i$ ) calculado con la Ec. 2-9.2.2.1.2 se encuentra en forma pura, razón por la cual se debe multiplicar este valor por el número de moles obtenidos ( $n_i$ ) en cada toma de muestra durante la destilación.

Para observar el cálculo de número de moles de etanol, revisar el ANEXO G.2.1.2.

Por lo tanto, resumida la anterior tabla se tiene que:

$$\Delta H_i(\text{Etanol}) = 4452,02 \text{ kJ}$$

#### **2.9.2.2.2 Para el Agua**

Para el cálculo de la  $\Delta H_i$  (Agua), se encuentra el valor de la Entalpía en fase de evaporación en tablas de propiedades de Agua Saturada SI, en el libro de "Termodinámica" (Yunus A. Çengel – Michael A. Boles), 6ta Edición, la cual está en función de la temperatura ( $T_i$ ).

Como las unidades de la Entalpía en las tablas se encuentran en kJ/kg, se deberá multiplicar estos valores por la masa de agua conseguida en la destilación.

**TABLA II-6**

**$\Delta H_i$  Agua**

<b>i</b>	<b>Ti (°C)</b>	<b><math>\Delta H_i</math> (Agua pura) (kg)</b>	<b>mi (Agua) (Kg)</b>	<b><math>\Delta H_i</math> (kJ)</b>
1	90,6	2280,95	0,19	433,38
2	92,4	2276,31	0,25	569,08
3	93,7	2272,95	0,37	840,99
4	94,3	2271,41	0,44	999,42
<b>Total</b>				2842,87

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Tabla II-6, se observa que el Calor latente molar de vaporización  $\Delta H_i$  (Agua pura) de las tablas de propiedades, se encuentra en forma pura, razón por la cual se debe multiplicar este valor por la cantidad de masa, en cada toma de muestra durante la destilación.

Para observar el cálculo de la masa de agua conseguida en la destilación, revisar el (ANEXO G.2.2)

Por lo tanto, resumida la anterior tabla se tiene que:

$$\Delta H_i(\text{Agua}) = 2842,87 \text{ kJ}$$

### 2.9.2.3 Calor que Absorbe el Condensador (Calor Absorbido)

Para el cálculo de calor que el condensador absorbe se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q_{condensador} = m_{agua} * c_{p_{agua}} * \Delta T \quad (\text{Ec. 2-9.2.3.1})$$

$$Q_{condensador} = m_{agua} * c_{p_{agua}} * (T_{sal.} - T_{ent.})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
Q <sub>condensador</sub>	Calor que absorbe el condensador	
m <sub>agua</sub>	Masa de agua que atraviesa el condensador	412359,2 g
C <sub>p<sub>agua</sub></sub>	Capacidad calorífica del agua	1 cal/g* °C
T <sub>sal.</sub>	Temperatura de salida del agua al condensador	21 °C
T <sub>ent.</sub>	Temperatura de entrada del agua al condensador	18 °C

La masa de agua que pasa por el condensador se encuentra mediante el dato de caudal volumétrico utilizado durante la destilación. Para el cálculo de la misma revisar el (ANEXO G.3)

Entonces, como resultado de la (Ec. 2-9.2.3.1) se tiene:

$$Q_{condensador} = 412359,2 \text{ g} * 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} * ^\circ\text{C}} * (21 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{condensador} = 1237077,6 \text{ cal}$$

Para transformar el calor absorbido por el condensador a las unidades de kJ, se realiza la conversión correspondiente:

$$Q_{condensador} = 1237077,6 \text{ cal} * \left(\frac{4,186 \text{ J}}{1 \text{ cal}}\right) * \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right)$$

$$\mathbf{Q_{condensador} = 5178,41 \text{ kJ}}$$

#### 2.9.2.4 Calor Total

El calor total para el Balance de Energía, resultara de la sumatoria de todos los calores obtenidos durante la destilación.

$$Q_{TOTAL} = \text{Calor Sencible} + \text{Calor Latente} - \text{Calor Absorbido} \quad (\text{Ec. 2-9.2.4.1})$$

$$Q_{TOTAL} = Q_2 + \Delta H_i(\text{Etanol}) + \Delta H_i(\text{Agua}) - Q_{condensador}$$

$$Q_{TOTAL} = 1864,75 \text{ kJ} + 4452,02 \text{ kJ} + 2842,87 \text{ kJ} + 5178,41 \text{ kJ}$$

$$\mathbf{Q_{TOTAL} = 3981,23 \text{ kJ}}$$

## 2.10 Eficiencia del Proceso de Destilación

En un equipo real de destilación de multietapas a contracorriente, las dos fases que salen de una etapa no se encuentran en equilibrio, debido a un tiempo de contacto insuficiente o a una dispersión inadecuada de las dos fases en la etapa.

El número resultante de etapas de Equilibrio debe relacionarse con el número de etapas reales en una destilación. La relación se expresa por lo general como una eficiencia de etapa. (Universidad de las Américas – Puebla)

Si los platos están bien diseñados y la velocidad del flujo esta aproximada al límite de la capacidad entonces la eficacia depende principalmente de las propiedades físicas de los fluidos.

Por lo tanto, la eficiencia permite conocer el grado de separación real que se está obteniendo en la columna y ésta se puede calcular a partir de la fórmula propuesta por Murphree, Eficacia de una Columna de Destilación.

$$N^{\circ} \text{ de Et. Reales} = \left[ \left( \frac{N^{\circ} \text{ de Et. Ideales} - 1}{\text{Eficiencia } (\eta_0)} \right) + 1 \right] * 100 \quad (\text{Ec. 2-10.1})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
Eficiencia ( $\eta_0$ )	Eficiencia Global de la Columna de Destilación	
(N° de Et. Ideales)	Numero de Etapas Teóricas de la Columna	
(N° de Et. Reales)	Numero de Etapas Reales de la Columna de Destilación utilizada.	8

### 2.10.1 Cálculo del Numero de Etapas Ideales o Teóricas

El número de Etapas Teóricas que requiere el diseño de una columna de destilación necesaria para separar la mezcla seleccionada (Retentato), se calculó mediante el método de McCabe-Thiele, tomando como referencia los datos y resultados obtenidos durante la parte experimental del presente proyecto.

El enfoque gráfico presentado por McCabe y Thiele en 1925, se considera el más simple y el más ilustrativo para el análisis de la destilación fraccionada binaria. Este método aplica el hecho de que la composición de cada plato teórico (o etapa de equilibrio) está totalmente determinada por la fracción molar de uno de los dos componentes del destilado.

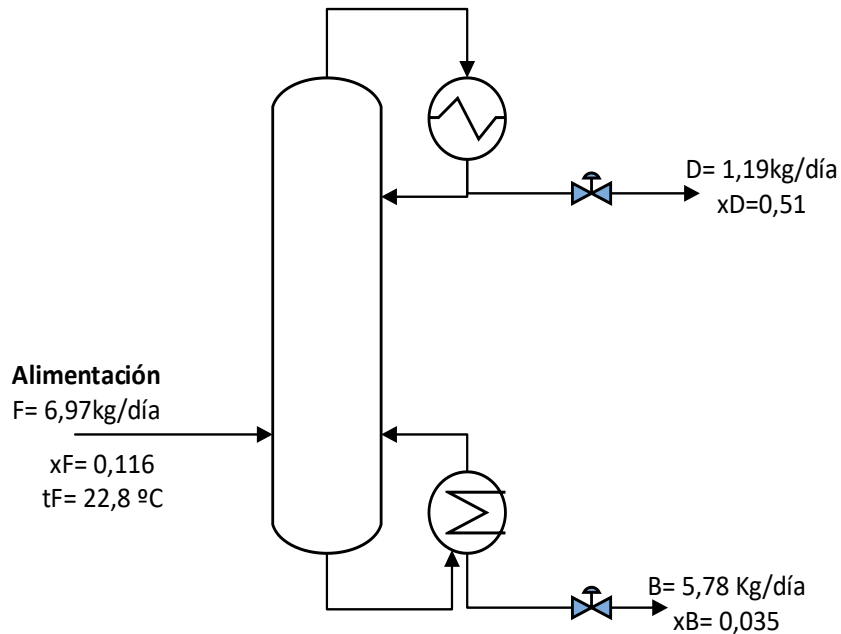
Los datos necesarios y utilizados para la deducción del número de etapas teóricas son valores extraídos de la parte experimental y otros obtenidos en el Balance de Materia realizado anteriormente, éstos son los siguientes:

#### DATOS

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
F	Caudal de alimentación de mezcla (Retentato)	6,97 kg/día
D	Destilado Final	1,19 kg/día
B	Producto de Fondo	5,78 kg/día
x <sub>F</sub>	Fracción molar de etanol en la alimentación de Retentato	0,116
x <sub>D</sub>	Fracción molar de etanol en el destilado final	0,51
x <sub>B</sub>	Fracción molar de etanol en el fondo	0,035
t <sub>F</sub>	Temperatura inicial de Retentato	22,8 °C

Figura 2-12

## Esquema de Control para el Diseño de la Columna de Destilación



Fuente: Elaboración Propia, 2018

### 2.10.1.1 Diagrama de Equilibrio para el Cálculo del Numero de Etapas Teóricas

La mezcla se carga al tanque de alimentación (Reboiler) y se la considera como Líquido Frío, debido a que se encuentra a la temperatura de 22,8 °C.

Esta característica de la alimentación, se ve reflejada en el comportamiento y la dirección de la pendiente en el Diagrama.

Entonces:

Alimentación (Liq. Frío)  $\longrightarrow$  Valor de  $f < 0$

Calculando  $f$ :

$$f(\text{Liq. Frío}) = \frac{Cp_{mezcla} \cdot (t_F - t_{Eb})}{\lambda_{mezcla}} \quad (\text{Ec. 2-10.1.1.1})$$



Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
f	Moles de Vapor generados en la zona de Rectificación por 1 mol de alimentación ingresado	
Cp mezcla	Capacidad calorífica de la mezcla (Retentato)	4,2 kJ/Kg*°C
λ mezcla	Calor de Vaporización de la mezcla (Retentato)	841 kJ/Kg
tF	Temperatura inicial de Retentato	22,8 °C
tEb	Temperatura de Ebullición de la mezcla en la destilación	86,4 °C

Utilizando la Ec. 2-10.1.1.1, se tiene:

$$f(Liq. Frio) = \frac{4,2 \frac{kJ}{Kg} * (22,8 - 86,4) ^\circ C}{841 \frac{kJ}{Kg}}$$

$$f(Liq. Frio) = -0,32$$

Una vez que se tiene el valor de f, se halla la pendiente de la Línea de Alimentación con la siguiente fórmula:

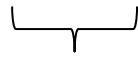
$$Pendiente \left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right) = - \left( \frac{1-f}{f} \right) \quad (Ec. 2-10.1.1.2)$$

$$Pendiente \left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right) = - \left[ \frac{1-(-0,32)}{(-0,32)} \right] = 4,12$$

Calculando el valor de la Ordenada al Origen:

Para el cálculo del Valor de la Ordenada al Origen, se emplea la ecuación de la Línea de Operación en la Zona de Rectificación (L.O.Z.R.), la misma que está dada por la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{R_D}{R_D+1} * X + \frac{x_D}{R_D+1} \quad (\text{Ec. 2-10.1.1.3})$$



Ordenada al Origen

El término necesario es separado de la ecuación anterior, transformándose en una fórmula de cálculo más sencillo:

$$\text{Ordenada al Origen} = \frac{x_D}{R_D+1} \quad (\text{Ec. 2-10.1.1.4})$$

Donde:

Término	Definición	Datos
x <sub>D</sub>	Fracción molar de etanol en el destilado final	0,51
R <sub>D</sub>	Relación de Reflujo utilizado en la destilación	3:1

Entonces, como resultado de la (Ec. 2-10.1.1.4) se tiene:

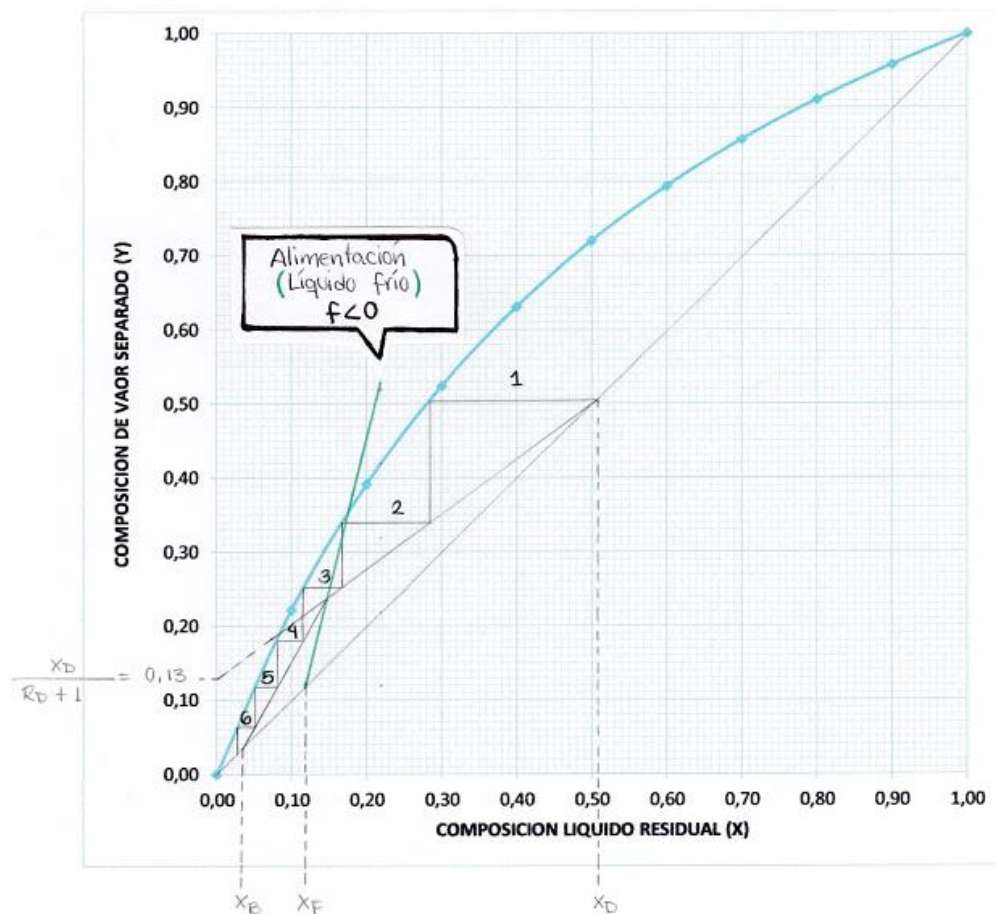
$$\text{Ordenada al Origen} = \frac{0,51}{(3 + 1)} = 0,13$$

Hasta este punto se realizó todos los cálculos necesarios para construir el Diagrama de Equilibrio, donde se aplicará el método de McCabe-Thiele, los datos que se introducen en el mencionado Diagrama serán los siguientes:

- x<sub>D</sub>
- x<sub>B</sub>
- x<sub>F</sub>
- Pendiente ( $\Delta x / \Delta y$ )
- Ordenada al Origen

A continuación, se muestra el Diagrama de Equilibrio utilizado para la separación de la mezcla seleccionada (Retentato).

**Figura 2-13**  
**Diagrama de Equilibrio, Sistema Etanol-Agua**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

El método gráfico de McCabe-Thiele realizado sobre el Diagrama de Equilibrio mostrado anteriormente arroja los siguientes resultados:

- Número de Etapas Ideales o Teóricas: **6**
- Número de Etapas en Zona de Rectificación: **3 Platos**
- Número de Etapas en Zona de Agotamiento: **2 Platos + 1 Reboiler**

Finalmente, ahora teniendo el número de etapas ideales necesarias para destilación, se puede calcular la Eficiencia Global del proceso realizado.

Entonces aplicando la ecuación (Ec. 2-10.1) citada inicialmente, Eficiencia Global de una columna de destilación, se obtiene:

$$\text{Eficiencia } (\eta_0) = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de Et. Ideales} - 1}{N^{\circ} \text{ de Et. Reales} - 1} \right) * 100$$

$$\text{Eficiencia } (\eta_0) = \left( \frac{6 - 1}{8 - 1} \right) * 100$$

$$\text{Eficiencia } (\eta_0) = 71,42 \%$$

## 2.11 Costos de Recuperación de Alcohol en el Proceso de Destilación

Para la determinación de los costos directos de la elaboración de aguardiente, se analizó y valoró todos los aspectos involucrados en el proceso de su obtención, donde algunos se desprecian por ser adquiridos en las instalaciones de la Bodega Aranjuez, como es el hecho de la materia prima (Retentato), mientras que otros serán considerados gastos principales, como es el caso del consumo de servicios básicos.

El análisis de costos se realiza con el fin de visualizar una tentativa económica del proceso de recuperación de alcohol realizado, además que permite analizar la posibilidad y viabilidad del proyecto desde plano inicial, para quien corresponda.

### 2.11.1 Análisis de Costos Directos del Proyecto

En la tabla siguiente, se esclarecen los diferentes aspectos tomados en cuenta durante la realización del proyecto, para el cálculo y análisis necesarios.

**TABLA II-7**

#### Aspectos Involucrados Para el Análisis de Costos del Proyecto

Nº	Actividad	Detalle	P/U Bs.	Costo Bs.
<b>MATERIA PRIMA</b>				
1	Retentato	Materia prima obtenida en Bodega Aranjuez.	0,00	0,00
<b>INSUMOS</b>				
1	Peróxido de Hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 30%	Insumo requerido durante la preparación de la materia prima antes de iniciar la destilación, proporcionado por Bodega Aranjuez.	0,00	0,00
2	Agua Destilada	Obtenida de la maquina destiladora de agua en Bodega	0,00	0,00

		Aranjuez, para reducir el grado alcohólico del destilado a un grado comercial.		
<b>SERVICIOS BÁSICOS</b>				
1	Energía Eléctrica	Consumo de energía eléctrica del equipo utilizado durante la parte experimental.	0,832 Bs/kWh	
2	Agua Potable	Consumo de agua potable para refrigeración del proceso seleccionado en la parte experimental.	5,90 Bs/m <sup>3</sup>	
<b>EQUIPOS</b>				
1	Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM	Dotada por la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para realizar la investigación aplicada del proyecto.	0,00	0,00

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

Para el análisis y cálculo respectivo de costos, se tomará en cuenta solamente el consumo de servicios básicos durante la parte experimental del proyecto, debido a que son los únicos parámetros que se tiene como referencia establecida, éstos serán desglosados con mayor profundidad a continuación:

### **SERVICIOS BÁSICOS**

#### ▪ **Energía Eléctrica**

El consumo de energía eléctrica durante la elaboración del proyecto fue completamente del equipo utilizado para llevar a cabo el proceso seleccionado, es decir la Columna de Destilación ARMFIELD UOP3BM.

Por lo tanto, es posible calcular el Consumo de Energía Eléctrica a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = P * T \quad (\text{Ec. 2-11.1.1})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
Consumo de E.E (Columna)	Consumo de energía eléctrica de la Columna de Destilación.	
P	Suministro máximo de energía aplicado a la columna, en forma de potencia.	0,80 kW
T	Tiempo promedio de una destilación.	2,00 horas

Entonces aplicando la ecuación anterior (Ec. 2-11.1.1), Consumo de energía eléctrica para la columna de destilación, se tiene:

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = 0,80 \text{ kW} * 2h$$

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = 1,60 \text{ kWh}$$

La tarifa económica de consumo de energía eléctrica en el sector comercial e industrial, impuesto por la empresa proveedora de luz en Tarija, SETAR, es:

- Tarifa de Energía Eléctrica: 0,832 Bs/kWh

Por lo que, introduciendo el costo de energía eléctrica en Tarija se obtiene:

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = \text{Consumo} * \text{Tarifa Establecida}$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 1,60 \text{ kW} * 0,832 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 1,33 \text{ Bs}$$

Durante la realización de la parte experimental del proyecto se realizaron 8 experimentos de acuerdo al diseño requerido, para lo cual se llevó a cabo un total de 8 procesos de destilación.

Entonces, el costo total del consumo de Energía Eléctrica para la columna de destilación durante toda la parte experimental realizada será:

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 1,33 \text{ Bs} * 8$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = \mathbf{10,64 \text{ Bs}}$$

▪ **Agua Potable**

El consumo de agua potable fue de igual manera para el funcionamiento del equipo, Columna de Destilación ARMFIELD UOP3BM y este suministro de agua se empleó para la refrigeración del condensador durante el proceso de destilación realizado.

Para los cálculos necesario se tiene los siguientes datos:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
Consumo de Agua P. (Columna)	Consumo de Agua Potable en la Columna de Destilación.	
$Q_{AGUA}$	Flujo de agua utilizado para refrigeración de la destilación.	4400 cm <sup>3</sup> /min
T	Tiempo promedio de una destilación.	2,00 horas =120,0 min

Entonces el flujo de agua suministrado durante el proceso de una destilación promedio fue:

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = Q_{AGUA} * T \quad (\text{Ec. 2-11.1.2})$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 4400 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * 120,0 \text{ min}$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 528000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 0,528\text{m}^3$$



La tarifa económica de consumo de agua potable en el sector comercial e industrial, impuesto por la empresa proveedora de agua en Tarija, COSAALT. Ltda. es:

- Tarifa de Agua Potable: 5,90 Bs/m<sup>3</sup>

Entonces, si se introduce el costo de agua potable en el consumo de agua potable durante la destilación se obtiene:

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = \text{Consumo} * \text{Tarifa}$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 0,528\text{m}^3 * 5,90 \frac{\text{Bs}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 3,11 \text{ Bs}$$

Durante la realización de la parte experimental del proyecto se realizaron 8 experimentos de acuerdo al diseño requerido, para lo cual se llevó a cabo un total de 8 procesos de destilación.

Entonces, el costo total del consumo de Agua Potable para la refrigeración del condensador de la columna de destilación durante toda la parte experimental realizada será:

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 3,11 \text{ Bs} * 8$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 24,88 \text{ Bs}$$

### 2.11.2 Costo por Unidad de Producción del Proyecto

De acuerdo con la Teoría de los Precios de Milton Friedman, la fórmula para estimar costos es la siguiente:

$$\text{Costo } P/U \text{ de Producción} = \frac{\text{La Suma de Costos Fijos y Variables}}{\text{Produccion Total Estimada}} \quad (\text{Ec. 2-11.2.1})$$

Donde:

<b>Término</b>	<b>Definición</b>	<b>Datos</b>
Costo P/U de Producción	Costos por unidad de producción.	
La Suma de Costos Fijos y Variables	Costos Fijos Totales + Costos Variables Totales (Materia prima, Insumos, Servicios básicos, Equipo)	
Producción Total Estimada	Producción Total y Final de Destilado obtenido durante la parte experimental del proyecto.	8,56 l

Entonces aplicando la ecuación (Ec. 2-11.2.1), se obtiene:

$$\begin{array}{cccc}
 & \text{M.P} & \text{Insumos} & \text{Servicios. B} & \text{Equipos} \\
 & \underbrace{\phantom{0,00}} & \underbrace{\phantom{0,00}} & \underbrace{\phantom{10,64 Bs + 24,88 Bs}} & \underbrace{\phantom{0,00}} \\
 \text{Costo}^P/U \text{ de Producción} = & \frac{(0,00 + 0,00 + 10,64 Bs + 24,88 Bs + 0,00)}{8,56 l}
 \end{array}$$

$$\text{Costo}^P/U \text{ de Producción} = 4,15 \text{ Bs/l de Destilado}$$

Si se amplía y modifica los parámetros tomados en cuenta para el cálculo directo de costos de recuperación de alcohol, es posible estimar los costos aproximados del proceso de recuperación de alcohol mediante destilación de manera más específica para las instalaciones de la Bodega Aranjuez.

La mayor modificación considerada para este nuevo análisis de costos es principalmente la introducción de mano de obra calificada para llevar a cabo el proceso de destilación a realizar, aspecto que se verá reflejado en el costo final de producción.

### 2.11.3 Análisis de Costos del Proyecto para la Bodega Aranjuez de Tarija

En la tabla mostrada a continuación, se observan los aspectos a tomar en cuenta para la realización del proyecto.

**TABLA II-8**

**Aspectos Involucrados Para el Análisis de Costos del Proyecto Para la Bodega Aranjuez de Tarija**

<b>N°</b>	<b>Actividad</b>	<b>Detalle</b>	<b>P/U Bs.</b>	<b>Costo Bs.</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>				
1	Retentato	Materia prima obtenida en instalaciones de Bodega Aranjuez.	0,00	0,00
<b>INSUMOS</b>				
1	Peróxido de Hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 30%	Insumo requerido para la preparación de la materia prima antes de iniciar la destilación, proporcionado por Bodega Aranjuez.	50,00	50,00
2	Agua Destilada	Obtenida de la maquina destiladora de agua en Bodega	0,00	0,00

		Aranjuez, para reducir el grado alcohólico del destilado a un grado comercial.		
<b>SERVICIOS BÁSICOS</b>				
1	Energía Eléctrica	Consumo de energía eléctrica del equipo utilizado durante el proceso de destilación.	0,832 Bs/kWh	
2	Agua Potable	Consumo de agua potable en refrigeración del proceso de destilación	5,90 Bs/m <sup>3</sup>	
<b>EQUIPOS</b>				
1	Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM	Equipo recomendado para llevar a cabo el proceso de destilación, por su versatilidad, características y fácil manejo.	0,00	0,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
1	Mano de Obra Calificada.	Para llevar a cabo el proceso de destilación, se necesitará un operario que realice el trabajo de manera eficiente.	68,6	2060,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

La selección del método de elaboración de aguardiente como el equipo destinado para realizar el proceso de recuperación, varía en función a diferentes parámetros que van desde el diseño del equipo hasta la comodidad del mismo. Es por esta razón que antes de decidir sobre el equipo y el método a utilizar, es necesario llevar a cabo un profundo análisis que apruebe los beneficios y prejuicios del proyecto.

En este caso, se optó por seleccionar el mismo equipo empleado durante la elaboración de este proyecto, “Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM”, por el hecho de tener conocimiento sobre la manipulación y control del equipo.

Pero cabe recalcar, que el equipo seleccionado es de dimensiones pequeñas comparado con el sector industrial, puesto que la Torre de Destilación ARMFIELD UOP3BM, está diseñada exclusivamente para realizar procesos experimentales de destilación a escala laboratorio.

Por lo que entonces, para el análisis de costos realizado a continuación, los cálculos ejecutados serán para el equipo anteriormente mencionado, sin embargo, el costo de adquisición del equipo no será introducido, ni tomado en cuenta en los costos variables y fijos para la determinación del costo por unidad de producción.

Entonces, los cálculos para la determinación de costos en la Bodega Aranjuez, se realizarán de igual manera que los costos directos del proyecto y estos se muestran a continuación.

Es posible calcular la cantidad de destilado que se puede llegar a obtener en una jornada de trabajo, a partir de los datos obtenidos en la parte experimental de este proyecto como referencia.

▪ **Producción de Destilado mensual**

La jornada de trabajo es considerada como 8,00 horas laborales, pero en el proceso de destilación se empleará 7,00 horas continuas y 1 hora de limpieza.

$$\begin{array}{l} 1,2 \text{ l de Destilado} \longrightarrow 2 \text{ horas de Destilación} \\ X \longrightarrow 7 \text{ horas de Destilación} \end{array}$$

$$X = \frac{7h \text{ de Destilación} * 1,2 \text{ l de Destilado}}{2h \text{ de Destilación}} = 4,2 \text{ l de Destilado}$$

Entonces los resultados obtenidos se adoptan como:

$$X = 4,2 \text{ l de Destilado/día}$$

Para obtener la cantidad mensual de destilado que se podrá generar, se toma en cuenta los días hábiles de producción que se realizarán.

- Lunes a viernes por el lapso de 4 semanas: 20 días hábiles de Producción.

Entonces:

$$\text{Producción Mensual de Destilado} = \frac{\text{Cantidad de Destilado}}{\text{día}} * 20 \text{ días}$$

$$\text{Producción Mensual de Destilado} = 4,2 \frac{\text{l de Destilado}}{\text{día}} * 20 \text{ días}$$

$$\text{Producción Mensual de Destilado} = \mathbf{84,0 \text{ l de de Destilado/mes}}$$

## SERVICIOS BÁSICOS

### ▪ Energía Eléctrica

Para el consumo de energía eléctrica del proceso de destilación solo se tomará en cuenta el equipo utilizado, es decir la Columna de Destilación ARMFIELD UOP3BM.

El tiempo de destilación considerado en este punto es: 7,00 horas

Por lo que entonces, el Consumo de Energía Eléctrica será:

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = P * T \quad (\text{Ec. 2-11.3.1})$$

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = 0,80 \text{ kW} * 7 \text{ h}$$

$$\text{Consumo de E.E (Columna)} = 5,60 \text{ kWh}$$

Incluyendo la tarifa económica impuesta por la empresa proveedora de luz en Tarija, SETAR, se tendrá:

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = \text{Consumo} * \text{Tarifa Establecida}$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 5,60 \text{ kW} * 0,832 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 4,66 \text{ Bs}$$

Entonces los resultados obtenidos se adoptan como:

$$\text{Costo del Consumo de E.E (Columna)} = 4,66 \text{ Bs/día}$$

Por lo tanto, costo del consumo de Energía Eléctrica mensual será:

$$\text{Costo del Consumo de E.E Mensual (Columna)} = 4,66 \frac{\text{Bs}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo del Consumo de E.E Mensual (Columna)} = \mathbf{139,8 \text{ Bs/mes}}$$

▪ **Agua Potable**

El agua potable consumida será utilizada para la refrigeración del condensador de la Columna de Destilación ARMFIELD UOP3BM, durante la destilación.

El tiempo de destilación considerado en este punto es: 7,00 horas = 420 min

Entonces el flujo de agua suministrado durante la jornada de trabajo será:

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = Q_{AGUA} * T \quad (\text{Ec. 2-11.3.2})$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 4400 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * 420,0 \text{ min}$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 1848000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Consumo de Agua P. (Columna)} = 1,848 \text{ m}^3$$

Incluyendo la tarifa económica de consumo de agua potable impuesto por la empresa proveedora de agua en Tarija, COSAALT. Ltda. se tendrá:

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = \text{Consumo} * \text{Tarifa}$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 1,848 \text{ m}^3 * 5,90 \frac{\text{Bs}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 10,90 \text{ Bs}$$

Entonces los resultados obtenidos se adoptan como:

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. (Columna)} = 10,90 \text{ Bs/día}$$

Transfiriendo estos valores diarios a un valor mensual se obtiene:

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. Mensual (Columna)} = 10,90 \frac{\text{Bs}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo de Consumo de Agua P. Mensual (Columna)} = \mathbf{327,096 \text{ Bs}}$$

**MANO DE OBRA**

Para llevar a cabo el proceso de destilación, se necesitará contratar a un operario que realice la ejecución y supervisión del mencionado proceso, este recibirá una previa capacitación acerca del proyecto a realizar, además del proceso, funcionamiento y operación de equipo.

El costo asignado a la mano de obra seleccionada, será el Salario Mínimo Nacional en Bolivia, impuesto para la presente gestión 2018, este monto es de 2060,00 Bs mensuales.

#### **2.11.4 Costo por Unidad de Producción del Proyecto para la Bodega Aranjuez de Tarija**

Realizando un presupuesto de costos fijos y variables al igual que la cantidad de destilado prevista obtener mensualmente, se determina el costo por unidad de producción, el cual será:

$$\text{Costo } P/U \text{ de Producción} = \frac{\text{La Suma de Costos Fijos y Variables}}{\text{Producción Total Estimada}} \quad (\text{Ec. 2-11.4.1})$$

$$\text{Costo } P/U \text{ de Producción} = \frac{\begin{array}{ccccccc} \text{M.P} & \text{Insumos} & & \text{Servicios. B} & & \text{M.O} & \text{Equipos} \\ & \underbrace{\quad} & \underbrace{\quad} & \underbrace{\quad} & & \underbrace{\quad} & \underbrace{\quad} \\ & (0,00 + 50,00 + 139,8 \text{ Bs} + 327,096 \text{ Bs} + 2060,0 \text{ Bs} + 0,00) & & & & & \end{array}}{84,0 \text{ l}}$$

$$\text{Costo } P/U \text{ de Producción} = 30,68 \text{ Bs/l de Destilado}$$

##### **2.11.4.1 Observaciones y Recomendaciones del Análisis de Costos Realizado para la Bodega Aranjuez de Tarija**

Luego de realizar el análisis de costos correspondiente para la adecuación del proyecto en las instalaciones de la Bodega Aranjuez, se recomienda considerar los siguientes puntos:



- Se recomienda variar el equipo en la destilación, es decir cambiar la Torre de Destilación por un Alambique Tradicional, el cual facilite el proceso de la parte experimental.

En la variación del Equipo encargado de llevar a cabo el proceso de destilación, se puede observar una serie de ventajas y comodidades, que las más valoradas pueden ser:

**Costo y Consumo de Energía.** - El suministro de energía aplicado al nuevo equipo a considerar (Alambique) será modificado, de energía eléctrica a energía fósil, es decir Gas Natural, que es de fácil acceso para el usuario y presenta un precio mucho más económico por la ininterrupción del suministro, además de la seguridad y limpieza que presenta.

**Capacidad de Almacenamiento del Equipo.** – La capacidad de almacenamiento y el diseño de un alambique varía según el requerimiento del usuario, existen equipos desde 10 hasta 500 litros aproximadamente y tiene diferentes diseños según su utilidad, si se aumenta la capacidad del equipo de destilación, se puede lograr obtener mayor cantidad de destilado al día y mensualmente.

Claramente la variación del equipo de destilación trae consigo una mejoría altamente redundante, que se verá reflejado posteriormente al momento de determinar el costo por unidad de producción (Costo P/U), lo que se vislumbra que disminuirá en comparación al cálculo determinado anteriormente.

También es importante notar, que este costo es para un trabajo de investigación que produce un volumen muy pequeño de aguardiente, esto se modificara sustancialmente al tratarse de una producción industrial, donde se incrementa el volumen por el concepto de economía de escala, es decir, que el costo unitario será más bajo.

Este tipo de modificaciones que perciben resultados óptimos, pueden considerarse indicadores del proyecto, que permitan la realización y viabilidad del mismo, así también se encargan de abrir camino a posteriores estudios de prefactibilidad sobre el presente tema de investigación.

**CAPÍTULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados Obtenidos en la Parte Experimental del Proyecto

Los resultados generales de la Destilación para las 8 muestras se enseñan a continuación en la Tabla III-1:

**TABLA III-1**  
**Resultados Generales de la Destilación**

Muestra	Volumen de Retentato (l)	Potencia (kW)	Relación de Reflujo	Teb (°C)	Tiempo de Destilación (min)
1	7,00	0,70	3:1	86,7	90,0
2	7,00	0,70	3:1	86,4	94,0
3	7,00	0,70	4:1	86,6	90,0
4	7,00	0,70	4:1	86,7	89,0
5	7,00	0,80	3:1	86,5	82,0
6	7,00	0,80	3:1	86,2	79,0
7	7,00	0,80	4:1	86,5	74,0
8	7,00	0,80	4:1	86,2	72,0

**Fuente:** Elaboración propia, 2017

Donde:

Teb: Temperatura de Ebullición de la mezcla (Retentato)

Durante todo el proceso de destilación, se pudo observar que la temperatura de ebullición del retentato se encuentra entre los 86 y 86,7 °C.

### 3.1.1 Resultados Obtenidos en la Separación de la Cabeza

Durante el proceso de separación de la cabeza del destilado se obtuvieron los siguientes resultados:

**TABLA III-2**  
**Resultados Cabeza del Destilado**

<b>Muestra</b>	<b>Tsup (°C)</b>	<b>Tinf (°C)</b>	<b>Treb (°C)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>°GL</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación de Reflujo</b>
1	84,9	88,8	89,1	231,0	64,0	0,70	3:1
2	83,1	87,6	88,4	231,0	65,0	0,70	3:1
3	81,9	87,6	88,3	231,0	62,0	0,70	4:1
4	83,9	87,9	88,6	231,0	66,0	0,70	4:1
5	84,9	88,6	89,2	231,0	68,0	0,80	3:1
6	82,7	87,4	88,0	231,0	63,0	0,80	3:1
7	85,7	88,9	89,2	231,0	66,0	0,80	4:1
8	83,5	87,8	88,3	231,0	67,0	0,80	4:1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Donde:

Tsup: es la temperatura del último plato de la Columna de Destilación

Tinf: es la temperatura del primer plato de la Columna de Destilación

Treb: es la temperatura del tanque de alimentación (Reboiler) de la Columna de Destilación.

En esta etapa se recogió el 3,3% (231,0 ml), del volumen total de la mezcla cargada (Retentato), para la obtención de la cabeza.

Durante la separación de la cabeza, se logró determinar la temperatura aproximada para su obtención, la misma que varía aproximadamente entre 88 a 89 °C, y que el grado alcohólico se encuentra variante entre los 63 y 68 °GL y que es mayor cuando el suministro de energía es más alto para el arranque de la destilación.

### 3.1.2 Resultados Obtenidos en la Separación del Corazón

Durante el proceso de obtención y separación del corazón, se recolectaron diferentes fracciones de destilado que a continuación se muestran como resultado de cada una de las 8 muestras obtenidas, estos datos se observan desde la Tabla III-3 a la Tabla III-10.

**TABLA III-3**

#### **Resultados del Corazón del Destilado Muestra 1**

<b>Muestra 1</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tsup (°C)</b>	<b>Tinf (°C)</b>	<b>Treb (°C)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b><math>\eta_D</math></b>	<b>°GL</b>
	11:30 am	88,4	91,8	91,4	580,0	-	64,0
	11:45 am	90,9	92,7	93,0	229,0	-	54,0
	12:00 pm	92,8	94,0	94,1	217,0	-	43,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

TABLA III-4

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 2

Muestra 2	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	04:55 pm	86,3	89,8	90,6	560,0	-	68,0
	05:10 pm	89,3	92,1	92,4	268,0	-	60,0
	05:25 pm	91,8	93,4	93,7	230,0	-	47,0
	05:35 pm	92,3	94,0	94,3	150,0	-	40,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-5

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 3

Muestra 3	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	04:33 pm	85,5	90,0	90,6	367,0	-	72,0
	04:48 pm	89,7	92,0	92,2	263,0	-	63,0
	05:03 pm	91,8	93,6	93,7	246,0	-	49,0
	05:13 pm	92,7	94,0	94,3	92,0	1,3525	41,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-6

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 4

Muestra 4	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	10:50 am	86,7	90,3	90,7	400,0	-	68,0
	11:05 am	90,2	92,5	92,8	274,0	-	58,0
	11:20 am	92,3	93,8	94,2	230,0	-	44,0
	11:27 am	93,2	94,3	94,6	84,0	1,3520	40,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-7

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 5

Muestra 5	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	11:20 am	89,0	91,3	91,6	590,0	-	66,0
	11:35 am	91,8	93,3	93,4	267,0	-	51,0
	11:50 am	93,3	94,3	94,4	208,0	-	40,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-8

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 6

Muestra 6	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	10:28 am	87,2	90,3	90,7	460,0	-	67,0
	10:43 am	90,3	92,2	92,5	358,0	-	55,0
	10:58 am	92,3	93,8	94,0	284,0	-	42,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-9

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 7

Muestra 7	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	09:30 am	89,2	91,6	91,7	683,0	-	64,0
	09:45 am	91,8	93,5	93,7	270,0	-	48,0
	09:55 am	93,5	94,3	94,6	171,0	-	40,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017



TABLA III-10

## Resultados del Corazón del Destilado Muestra 8

Muestra 8	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	04:30 pm	86,6	90,0	90,3	438,0	-	66,0
	04:45 pm	90,2	91,9	92,2	378,0	-	55,0
	05:00 pm	92,3	93,6	93,8	304,0	-	40,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Donde:

$\eta_D$ : es el índice de refracción de cada fracción recogida en las muestras de corazón, medido en el Refractómetro IVYMEN.

Tsup: es la temperatura del último plato de la Columna de Destilación

Tinf: es la temperatura del primer plato de la Columna de Destilación

Treb: es la temperatura del tanque de alimentación (Reboiler) de la Columna de Destilación.

En esta etapa de la destilación se recogió cada una de las muestras, hasta que la última fracción molar de etanol en el destilado llegue a 40 °GL, de manera que la graduación alcohólica en el destilado final varié según el experimento.

En la siguiente tabla, Tabla III-11, se muestra los resultados finales de todas las muestras de corazón del destilado.

TABLA III-11

## Resultados Finales del Corazón del Destilado

Muestra	$\eta_D$	Volumen (ml)	°GL	Potencia (kW)	Relación de Reflujo
1	1,3590	1026	53,0	0,70	3:1
2	1,3591	1208	51,0	0,70	3:1
3	1,3604	968	56,0	0,70	4:1
4	1,3599	988	53,0	0,70	4.1
5	1,3595	1065	52,0	0,80	3:1
6	1,3594	1102	53,0	0,80	3.1
7	1,3590	1079	51,0	0,80	4:1
8	1,3575	1120	50,0	0,80	4:1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Donde:

$\eta_D$ : es el índice de refracción final de cada muestra de corazón, medido en el Refractómetro IVYMEN.

Volumen (ml): Es el volumen total del corazón obtenido en la destilación para cada una de las 8 muestras. Valor que teóricamente resulta de la sumatoria de las fracciones logradas durante la separación del corazón para cada muestra en particular.

°GL: Es la graduación alcohólica total y final en el corazón para cada muestra.

Potencia (kW): Es la energía suministrada a la columna, para llevar a cabo la destilación de cada muestra, conforme al diseño experimental realizado.

El grado alcohólico durante la recolección del Corazón de la Destilación para todas las muestras se encuentra entre un rango de 50 y 56 °GL, siendo mayor este valor cuando menor es la potencia suministrada y más alto reflujo, es decir Potencia 0,70 kW y Relación de Reflujo 4:1, (Muestra 3).

Así también se puede observar que el volumen mayor de destilado obtenido, es cuando más baja es la potencia y a su vez más bajo es la relación de reflujo, es decir Potencia 0,70 kW y Relación de Reflujo 3:1, (Muestra 2).

### 3.1.3 Resultados Obtenidos en la Separación de Cola

Durante el proceso de obtención y separación de cola del destilado, se recolectaron distintas fracciones de la misma, que a continuación se muestran como resultado de las 8 muestras destiladas, estos datos se observan desde la Tabla III-12 a la Tabla III-19.

**TABLA III-12**

#### Resultados del Cola del Destilado Muestra 1

<b>Muestra 1</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tsup (°C)</b>	<b>Tinf (°C)</b>	<b>Treb (°C)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b><math>\eta_D</math></b>	<b>°GL</b>
	12:15 pm	94,1	94,6	94,8	225,0	-	27,0
	12:30 pm	94,4	94,9	95,0	230,0	-	19,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

**TABLA III-13**

#### Resultados del Cola del Destilado Muestra 2

<b>Muestra 2</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tsup (°C)</b>	<b>Tinf (°C)</b>	<b>Treb (°C)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b><math>\eta_D</math></b>	<b>°GL</b>
	05:45 pm	93,2	94,4	94,7	112,0	1,3440	23,0
	05:55 pm	94,0	94,8	95,1	110,0	1,3426	21,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

TABLA III-14

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 3

Muestra 3	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	05:23 pm	94,0	94,4	94,6	170,0	1,3477	28,0
	05:33 pm	94,4	94,8	94,9	160,0	1,3408	19,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-15

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 4

Muestra 4	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	11:37 pm	94,2	94,7	95,0	114,0	1,3483	30,0
	11:47 pm	94,6	95,1	95,2	174,0	1,3414	19,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-16

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 5

Muestra 5	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	12:00 pm	94,1	94,8	94,7	150,0	1,3455	26,0
	12:10 pm	94,4	94,9	95,0	160,0	1,3404	18,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-17

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 6

Muestra 6	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	11:08 am	93,8	94,5	94,7	200,0	-	30,0
	11:18 am	94,5	94,8	95,0	122,0	1,3427	19,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-18

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 7

Muestra 7	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	10:05 pm	94,1	94,6	94,8	150,0	1,3455	25,0
	10:10 pm	94,4	94,9	95,1	91,0	1,3422	19,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

TABLA III-19

## Resultados del Cola del Destilado Muestra 8

Muestra 8	Tiempo	Tsup (°C)	Tinf (°C)	Treb (°C)	Volumen (ml)	$\eta_D$	°GL
	05:15 pm	94,1	94,5	94,6	304,0	-	25,0
	05:30 pm	94,4	94,8	94,9	176,0	-	19,0

Fuente: Elaboración Propia, 2017

Donde:

$\eta_D$ : es el índice de refracción de cada fracción recogida en las muestras de cola, medido en el Refractómetro IVYMEN.

$T_{sup}$ : es la temperatura del último plato de la Columna de Destilación

$T_{inf}$ : es la temperatura del primer plato de la Columna de Destilación

$T_{reb}$ : es la temperatura del tanque de alimentación (Reboiler) de la Columna de Destilación.

En esta etapa de la destilación se recogió cada una de las muestras, hasta que su última fracción molar de etanol en el destilado llegue a los 20 o 19 °GL, de manera que la graduación alcohólica en el destilado final varié según el experimento.

En la siguiente tabla, Tabla III-20, se muestra los resultados finales de todas las muestras de cola del destilado.

**TABLA III-20**  
**Resultados Finales de la Cola del Destilado**

<b>Muestra</b>	<b><math>\eta_D</math></b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>°GL</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación de Reflujo</b>
1	1,3423	455,0	20,0	0,70	3:1
2	1,3429	426,0	21,0	0,70	3:1
3	1,3442	330,0	22,0	0,70	4:1
4	1,3441	322,0	22,0	0,70	4:1
5	1,3428	310,0	20,0	0,80	3:1
6	1,3430	290,0	21,0	0,80	3:1
7	1,3428	241,0	21,0	0,80	4:1
8	1,3429	240,0	21,0	0,80	4:1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

Donde:

$\eta_D$ : es el índice de refracción final de cada muestra de cola, medido en el Refractómetro IVYMEN.

Volumen (ml): Es el volumen total de cola obtenido en la destilación, para cada una de las 8 muestras. Valor que teóricamente resulta de la sumatoria de las fracciones logradas durante la separación de cola para cada muestra en particular.



°GL: Es la graduación alcohólica total y final en la cola, para cada muestra.

Potencia (kW): Es la energía suministrada a la columna, para llevar a cabo la destilación de cada una de las muestras, conforme al diseño experimental realizado.

Durante la recolección de la cola se pudo determinar que el grado alcohólico final en todas las muestras oscila entre los 20 y 22 °GL, siendo mayor este valor, cuando se opera la columna a menor potencia y más alta relación de reflujo, es decir Potencia 0,70 kW y Relación de Reflujo 4:1, (Muestra 3 y 4).

Así también se puede observar que el mayor volumen de cola se logró cuando menor era la potencia suministrada y más bajo era el reflujo, es decir Potencia 0,70 kW y Relación de Reflujo 3:1, (Muestra 1).

Durante el proceso de separación de Corazón y Cola de destilado, existieron ocasiones donde el grado alcohólico (°GL) para determinadas fracciones se obtuvo por medio del índice de refracción, haciendo uso de la gráfica del porcentaje V/V de Etanol vs Índice de refracción. (Ver ANEXO A)

### **3.2 Análisis Estadístico del Diseño Factorial**

Para el análisis estadístico del Diseño Factorial se utilizó el paquete de computación SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences), que es un programa estadístico informático muy usado en las empresas de investigación de mercado y en las ciencias sociales y aplicadas.

Con el paquete SPSS 17.0 es posible realizar recopilación de datos, crear estadísticas, análisis de decisiones de gestión y mucho demás.

El análisis de varianza ANOVA, permite determinar la influencia de los factores (Potencia y Relación de Reflujo) y su repercusión sobre las variables respuesta (Volumen y Grado Alcohólico).

Los datos que se deben utilizar para el funcionamiento del programa SPSS 17.0 son los siguientes:

**TABLA III-21**

**Datos para el Análisis de Varianza Univariante**

N° de Experimentos	Factores		Variables Respuesta	
	Potencia (kW)	Relación de Reflujo	Volumen (ml)	Grado alcohólico (°GL)
1	0,70	3:1	1026,0	53,0
2	0,70	3:1	1208,0	51,0
3	0,70	4:1	968,0	56,0
4	0,70	4:1	988,0	53,0
5	0,80	3:1	1065,0	52,0
6	0,80	3:1	1102,0	53,0
7	0,80	4:1	1079,0	51,0
8	0,80	4:1	1120,0	50,0

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Tabla mostrada a continuación, Tabla III-22, se puede observar que cada factor debe adoptar un nivel correspondiente para realizar el análisis de Varianza, donde se establece como Nivel Superior (1) y para el Nivel Inferior (-1).

**TABLA III-22**

**Niveles Establecidos para el Análisis**

N° de Experimentos	Factores		Niveles	
	Potencia (kW)	Relación de Reflujo	Potencia (kW)	Reflujo
1	0,70	3:1	-1	-1
2	0,70	3:1	-1	-1
3	0,70	4:1	-1	1
4	0,70	4:1	-1	1
5	0,80	3:1	1	-1
6	0,80	3:1	1	-1
7	0,80	4:1	1	1
8	0,80	4:1	1	1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En las tablas siguientes, Tabla III-24 y Tabla III-25 se observan las variables del Diseño Experimental y el número de experiencias para cada variable que el programa registra de manera automática y que a su vez fueron realizadas de manera experimental, para un diseño de dos niveles y dos factores con dos repeticiones, generando así un total de ocho experimentos con dos variables respuesta.

$$N^F = 2^2 = 4 * 2 \text{ repeticiones} = 8 \text{ experimentos}$$

Donde:

N: Son los Niveles

F: Son los factores o variables establecidas

Las variables seleccionadas son las siguientes:

- Potencia suministrada a la columna (kW)
- Relación de Reflujo

Los niveles se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA III-23**

**Niveles de las Variables Seleccionadas para el Análisis Estadístico**

<b>Nivel</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación de Reflujo</b>
Inferior	0,70	3:1
Superior	0,70	4:1

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017

**3.2.1 Conjunto de Datos para las Variables Respuesta**

**TABLA III-24****Factores Inter-Sujetos (Para la Variable respuesta Volumen)**

		<b>N</b>
<b>Potencia</b>	-1,00	4
	1,00	4
<b>Relación de Reflujo</b>	-1,00	4
	1,00	4

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018**TABLA III-25****Factores Inter-Sujetos (Para la Variable respuesta Grado Alcohólico)**

		<b>N</b>
<b>Potencia</b>	-1,00	4
	1,00	4
<b>Relación de Reflujo</b>	-1,00	4
	1,00	4

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018**3.2.2 Resultados Variable Respuesta Volumen**

En la siguiente tabla, Tabla III-26 se muestra el análisis de varianza univariante realizado para la variable respuesta Volumen.

**TABLA III-26**

**Prueba de los Efectos Inter-sujetos**

**Variable Dependiente:** Volumen

Origen	Suma de Cuadrados Tipo III	gl	Media Cuadratica	F	Sig.
Modelo Corregido	23449,000 <sup>a</sup>	3	7816,333	1,710	0,302
Intersección	9150642,000	1	9150642,000	2001,562	0,000
Potencia	3872,000	1	3872,000	0,847	0,409
Reflujo	7564,500	1	7564,500	1,655	0,268
Potencia*Reflujo	12012,500	1	12012,500	2,628	0,180
Error	18287,000	4	4571,750		
Total	9192378,000	8			
Total Corregida	41736,000	7			

a.R cuadrado = 0,562 (Rcuadrado corregida) = 0,233

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

Los resultados del análisis de varianza deben mostrar las variables con mayor grado de significación, manteniendo una confianza del 95%, es decir, aquellas variables con un valor de significancia (Sig.) menor al 5% (0,05).

- Sin embargo, el análisis realizado para este proyecto, arroja como resultados visibles que ninguna de las variables tomadas en cuenta presenta un valor igual o menor a 0,05 de significancia, lo que expresa que para este nivel el análisis realizado con la variable dependiente Volumen, no lanza resultados satisfactorios.
- No obstante, guiándose por la aproximación de los valores obtenidos a la significancia establecida, se constituye para este análisis, como variables sobresalientes la Potencia\*Reflujo (0,180) y Reflujo (0,268).

### 3.2.2.1 Análisis de Regresión (Volumen)

Para el análisis de regresión tomando como variable dependiente el Volumen, se introdujo al programa SPSS las variables Potencia y Relación de Reflujo.

**TABLA III-27**

#### **Variables Introducidas/Eliminadas (Volumen)**

<b>Modelo</b>	<b>Variables Introducidas</b>	<b>Variables Eliminadas</b>	<b>Método</b>
1	Reflujo, Potencia <sup>a</sup>	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-28**

#### **Resumen del Modelo<sup>b</sup> (Volumen)**

<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado corregida</b>	<b>Error tip. de la Estaimacion</b>
1	0,523 <sup>a</sup>	0,274	-0,016	77,84536

a. Variables Predictorias: (Constante), Reflujo, Potencia

b. Variable Dependiente: Volumen

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-29**

**ANOVA<sup>b</sup> (Volumen)**

<b>Modelo</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media Cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Regresión	11436,500	2	5718,250	0,944	0,449 <sup>a</sup>
	Residual	30299,500	5	6059,900		
	Total	41736,000	7			

a. Variables Predictorias: (Constante), Reflujo, Potencia

b. Variable Dependiente: Volumen

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-30**

**Coefficientes<sup>a</sup> (Volumen)**



Modelo	Coeficientes no Estandarizados		Coeficientes Tipificados	t	Sig.	Intervalo de Confianza de 95,0 % para B		
	B	Error tip.	Beta			Límite Inferior	Límite Superior	
1	(Constante)	1069,500	27,522		38,859	0,000	998,751	1140,249
	Potencia	22,000	27,522	0,305	0,799	0,460	-48,749	92,749
	Reflujo	-30,750	27,522	-0,426	-1,117	0,315	-101,499	39,999

a. Variable Dependiente: Volumen

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

Según los coeficientes proporcionados en la Tabla III-30, la ecuación matemática de la regresión es la que se observa a continuación:

$$\text{Volumen} = 1069,500 + 22,000 * \text{Potencia} - 30,750 * \text{Reflujo}$$

Con la ecuación obtenida, se puede establecer que a mayor potencia mayor volumen obtenido y a mayor relación de reflujo menor cantidad de volumen se obtiene.

- Analizando y comparando los resultados anteriores con la parte experimental realizada, se determina que la condición brindada por la variable Potencia, no es correcta, debido a que experimentalmente el volumen mayor fue logrado trabajando con el nivel inferior de los valores establecidos en la potencia.

### 3.2.3 Resultados Variable Respuesta Grado Alcohólico

En la siguiente tabla, Tabla III-31 se muestra el análisis de varianza univariante realizado para la variable respuesta Grado Alcohólico.

TABLA III-31

## Prueba de los Factores Inter-Sujetos

Variable Independiente: Grado Alcohólico

Origen	Suma de Cuadrados Tipo III	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Modelo Corregido	16,375 <sup>a</sup>	3	5,458	2,911	0,164
Intersección	21945,125	1	21945,125	11704,067	0,000
Potencia	6,125	1	6,125	3,267	0,145
Reflujo	0,125	1	0,125	0,067	0,809
Potencia*Reflujo	10,125	1	10,125	5,400	0,081
Error	7,500	4	1,875		
Total	21969,000	8			
Total Corregida	23,875	7			

a.R cuadrado = 0,686 (R cuadrado corregida) = 0,450

Fuente: SPSS 17.0, 2018

- A partir del análisis de varianza realizado para la variable dependiente Grado Alcohólico se puede señalar que una vez más ninguna de las variables mostradas como resultado, presenta un valor igual o menor a 0,05 de significancia, lo que quiere decir que para este nivel el análisis realizado no lanza los resultados esperados.
- Sin embargo, guiándose por la aproximación de los valores obtenidos a la significancia establecida, se aprecia como variables más significativas la Potencia\*Reflujo (0,081) y la Potencia (0,145).

## 3.2.3.1 Análisis de Regresión (Grado Alcohólico)

Para el análisis de regresión con variable dependiente de Grado Alcohólico, se introdujo al programa SPSS las variables Potencia y Relación de Reflujo.

**TABLA III-32**

**VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS (GRADO ALCOHÓLICO)**

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	Reflujo, Potencia <sup>a</sup>	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-33**

**RESUMEN DEL MODELO<sup>b</sup> (GRADO ALCOHÓLICO)**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la Estaimacion
1	0,512 <sup>a</sup>	0,262	-0,034	1,87750

a. Variables Predictorias: (Constante), Reflujo, Potencia

b. Variable Dependiente: Grado Alcohólico

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-34**

**ANOVA<sup>b</sup> (GRADO ALCOHÓLICO)**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Sig.
--------	-------------------	----	------------------	---	------

1	Regresión	6,250	2	3,125	0,887	0,468 <sup>a</sup>
	Residual	17,625	5	3,525		
	Total	23,875	7			

a. Variables Predictorias: (Constante), Reflujo, Potencia

b. Variable Dependiente: Grado Alcohólico

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

**TABLA III-35**

**Coefficientes<sup>a</sup> (Grado Alcohólico)**

Modelo	Coefficients no Estandarizados		Coefficients Tipificados	t	Sig.	Intervalo de Confianza de 95,0 % para B	
	B	Error tip.	Beta			Límite Inferior	Límite Superior
1 (Constante)	52,375	0,664		78,902	0,000	50,669	54,081
Potencia	-0,875	0,664	-0,507	-1,318	0,245	-2,581	0,831
Reflujo	0,125	0,664	0,072	0,188	0,858	-1,581	1,831

a. Variable Dependiente: Grado Alcohólico

**Fuente:** SPSS 17.0, 2018

Según los coeficientes proporcionados en la Tabla III-35, la ecuación matemática de la regresión es la que se observa a continuación:

$$\text{Grado Alcohólico} = 52,375 - 0,875 * \text{Potencia} + 0,125 * \text{Reflujo}$$

Con la ecuación obtenida, se establece que a mayor potencia suministrada menor Grado alcohólico se obtiene y a mayor relación de reflujo se da mayor Grado alcohólico.

- Analizando y comparando los resultados anteriores, se observa que las condiciones de la ecuación obtenida con respecto a la variación del grado alcohólico, coinciden de manera correcta con la realización de la parte experimental de este proyecto.

### **3.2.4 Conclusión General del Análisis Estadístico de Diseño Factorial**

Luego de analizar de manera detallada los resultados lanzados tanto en el análisis de varianza univariante para los factores inter-sujetos como en la regresión de cada variable respuesta (Volumen y Grado Alcohólico), se concluye que:

- El valor de significancia para ambas Variables Respuesta se encuentra fuera de los parámetros aceptables, condición que genera desconformidad con el análisis estadístico realizado conocido como Diseño Factorial.

La desconformidad citada anteriormente se debe a la ausencia del grado de significación permitido en el análisis realizado, lo que quiere decir que, durante la elaboración de la parte experimental del proyecto, no se concibió un experimento que destaque de los demás. Al contrario, se asume que el proceso de destilación fue tan similar durante la obtención de los ocho experimentos que, las muestras obtenidas presentan gran parecido entre las mismas.

Lo que quiere decir que, el hecho de trabajar con diferentes niveles de potencia y reflujo en la parte experimental, no creó diferencias considerables entre las muestras de aguardiente obtenidas.

Este error descubierto en la significancia de los resultados, se ve reflejado también en el análisis de regresión de la variable respuesta Volumen, puesto que la ecuación obtenida a partir de éste no se considera correcta por la discrepancia que presenta con la parte experimental realizada.

Sin embargo, para solucionar este tipo de resultados en oportunidades posteriores se ve por conveniente hacer algunos ajustes en la parte experimental, como ser:

- Aumentar en número de repeticiones en cada experimento, con el motivo de lograr variaciones más representativas en cada muestra lograda.

- Extender los parámetros de los niveles superior e inferior de las variables o factores seleccionados.
- Elevar los niveles para los factores o variables en el Diseño Factorial.

### **3.3 Control de Calidad**

#### **3.3.1 Análisis de las Muestras Finales de Aguardiente**

Los análisis para el Control de Calidad de las muestras obtenidas fueron:

- Grado Alcohólico.
- pH.
- Anhídrido Sulfuroso Total (SO<sub>2</sub>T).
- Acidez Volátil (Ácido Acético).
- Metanol.

- Densidad.

Los análisis mencionados anteriormente fueron elegidos por la importancia que ocupan en la obtención de destilados, los resultados de estos análisis se compararon con los parámetros permitidos por la Norma Boliviana (NB – 324001/2015), Bebidas alcohólicas - Singani – Requisitos.

(Revisar ANEXO M).

Se utilizó esta norma debido a que en la actualidad no se cuenta con Normas Bolivianas que muestren los parámetros permitidos de aguardientes de manera general, pero es posible aplicar la Norma Boliviana para el Singani, con la confianza de que éste es el Aguardiente Boliviano con mayor reconocimiento a nivel mundial.

### 3.3.1.1 Análisis de Grado Alcohólico

En la Tabla III-36 se muestran los resultados obtenidos para el análisis de grado alcohólico que fue realizado a las diferentes muestras de aguardiente, estos valores son expresados en grados Gay Lussac (°GL).

**TABLA III-36**

#### **Análisis de Grado Alcohólico**

<b>Muestra</b>	<b>Total (°GL)</b>	<b>Permitido NB -</b>
----------------	--------------------	-----------------------

		<b>324001/2015</b>
1	39,5	(37,0-45,0) °GL
2	40,0	
3	40,0	
4	40,0	
5	39,5	
6	40,0	
7	39,5	
8	39,5	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

### 3.3.1.2 Análisis de pH

En la Tabla III-37 se observan los resultados del análisis de pH a 20 °C, realizado a cada una de las muestras.

**TABLA III-37**

**Análisis de pH a 20 °C**

<b>Muestra</b>	<b>Total</b>	<b>Permitido NB - 324001/2015</b>
----------------	--------------	---------------------------------------



1	2,89	(3,5-6,0) Unidades de pH
2	2,70	
3	2,45	
4	2,58	
5	2,47	
6	2,40	
7	2,39	
8	2,38	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

### 3.3.1.3 Análisis de Anhídrido Sulfuroso Total (SO<sub>2</sub>T)

En la siguiente tabla, Tabla III-38 se muestran los resultados del análisis realizado a cada una de las muestras sobre el contenido de anhídrido sulfuroso total (SO<sub>2</sub>T) expresados en miligramos por litro (mg/l).

**TABLA III-38**

#### **Análisis de Anhídrido Sulfuroso Total (SO<sub>2</sub>T)**

<b>Muestra</b>	<b>Total (mg/l)</b>	<b>Permitido NB - 324001/2015</b>
----------------	---------------------	---------------------------------------

1	128,0	(0,0-10,0) mg/l
2	80,0	
3	96,0	
4	54,4	
5	153,6	
6	131,2	
7	153,6	
8	118,4	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

#### 3.3.1.4 Análisis de Acidez Volátil como Ácido Acético

En la siguiente tabla, Tabla III-39 se muestran los resultados del análisis de acidez volátil como ácido acético realizado a las distintas muestras, expresados en miligramos por litro (mg/l).

**TABLA III-39**

#### **Análisis de Acidez Volátil como Ácido Acético**

<b>Muestra</b>	<b>Total (g/l)</b>	<b>Total (mg/l)</b>	<b>Permitido NB - 324001/2015</b>

1	0,285	285	(0,0-1000) mg/l
2	0,180	180	
3	0,144	144	
4	0,108	108	
5	0,567	567	
6	0,423	423	
7	0,474	474	
8	0,432	432	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

### 3.3.1.5 Análisis de Metanol

En la siguiente tabla, Tabla III-40 se enseñan los resultados del análisis de metanol realizado a cada una de las muestras, estos resultados son expresados en miligramos por litro (mg/l).

**TABLA-40**

#### **Análisis de Metanol**

<b>Muestra</b>	<b>Total (mg/l)</b>	<b>Permitido NB - 324001/2015</b>

1	322,0	(0,0-750) mg/l
2	320,0	
3	330,0	
4	327,0	
5	281,0	
6	283,0	
7	330,0	
8	325,0	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

### 3.3.1.6 Análisis de Densidad

En la Tabla III-41 se expresan los resultados del análisis de densidad realizado a las diferentes muestras, estos resultados son expresados en gramos por mililitro (g/ml).

**TABLA III-41**

#### Análisis de Densidad

<b>Muestra</b>	<b>Total (g/ml)</b>	<b>Permitido NB - 324001/2015</b>
1	0,951	

2	0,949	De acuerdo al Singani
3	0,951	
4	0,947	
5	0,949	
6	0,947	
7	0,949	
8	0,949	

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

### 3.3.2 Conclusión del Análisis de Control de Calidad

De los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados para el control de calidad de las muestras de aguardiente, se puede concluir lo siguiente:

- Todos los resultados de los análisis físico-químicos realizados respondieron de manera positiva comparándolos con la norma utilizada como referencia, Norma Boliviana (NB – 324001/2015), “Bebidas alcohólicas - Singani – Requisitos”, con excepción de los resultados observados en el análisis de Anhídrido Sulfuroso Total, que lanzó valores muy elevados de acuerdo a los parámetros establecidos y pH cuyos resultados se encuentran ligeramente debajo del parámetro mínimo permitido por la norma.

Sin embargo, estos resultados fuera de rango no afectan ni invalidan la utilidad del producto obtenido, debido a que su aplicación actual no está destinada para el consumo humano directo, más al contrario se planea que el producto sea introducido nuevamente durante la elaboración de vino en la bodega, como un proceso de reutilización, que permita encabezar vino con bajo porcentaje de grado alcohólico y de esta manera mejorar la calidad del mismo.

### 3.4 Evaluación Sensorial

#### 3.4.1 Evaluación del Atributo a la Vista

La propiedad de la Vista tiene un porcentaje de 20% de importancia dentro de lo que concierne a las propiedades que caracterizan al Aguardiente.

Esta propiedad a su vez se clasifica en dos partes:

- Viscosidad y Limpidez (10%)
- Color (10%)

Para observar el valor que se les asignó a los promedios de la clasificación de la Vista ver ANEXO D.

#### 3.4.1.1 Viscosidad y Limpidez

En la siguiente tabla (Tabla III-42), se puede observar los resultados obtenidos acerca de la viscosidad y limpidez de las diferentes muestras de aguardiente, tras la degustación realizada por seis jueces calificados en el rubro Enológico, así como también sus promedios expresado en porcentaje (%).

**TABLA III-42**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según Viscosidad y Limpidez**

	Porcentaje (%)
--	----------------

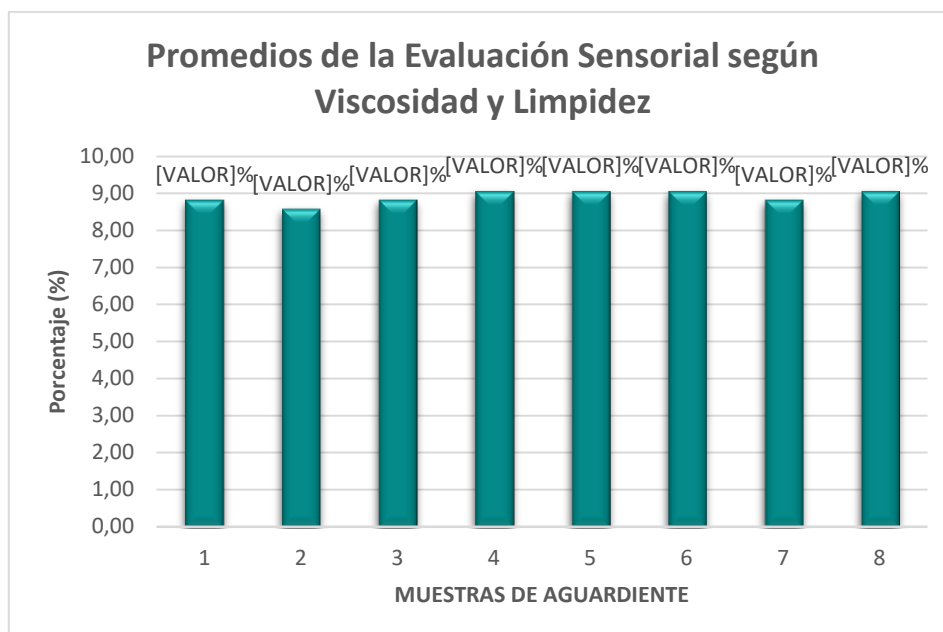
<b>Juez</b>	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>2</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,0	10,00
<b>3</b>	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>4</b>	7,14	7,14	7,14	8,57	8,57	7,14	7,14	8,57
<b>5</b>	8,57	8,57	8,57	10,00	8,57	10,00	8,57	8,57
<b>6</b>	8,57	7,14	8,57	7,14	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>Promedio</b>	<b>8,81</b>	<b>8,57</b>	<b>8,81</b>	<b>9,05</b>	<b>9,05</b>	<b>9,05</b>	<b>8,81</b>	<b>9,05</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Figura 3-1 se muestra los promedios obtenidos según la Viscosidad y Limpidez de las muestras de Aguardiente.

**Figura 3-1**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según Viscosidad y Limpidez**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que todas las muestras de Aguardiente tienen un promedio elevado de aceptación con respecto a la viscosidad y limpidez, siendo entre estas las más aceptadas las muestras 4, 5, 6 y 8 las mismas que tienen un promedio de 9,05% evaluado sobre el 10%, así también se observa que la muestra con menor promedio es la muestra 2 con 8,57% igualmente calificada sobre el 10%.



### 3.4.1.2 Color

En la Tabla III-43 se muestra los resultados obtenidos acerca de la propiedad del Color de las diferentes muestras de aguardiente, realizados por los seis jueces calificados, así como también su promedio expresado en porcentaje (%).

**TABLA III-43**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según Color**

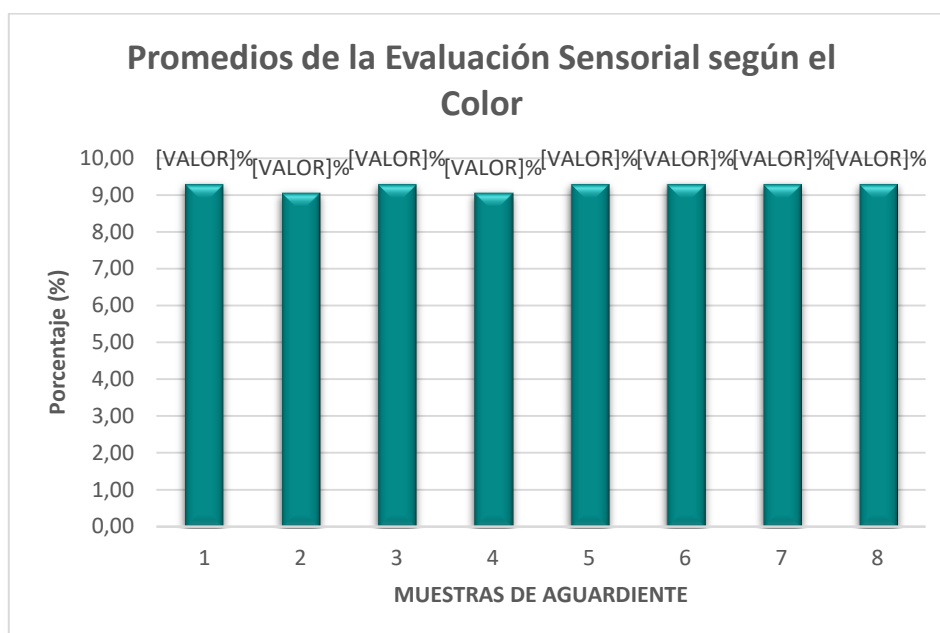
	<b>Porcentaje (%)</b>							
<b>Juez</b>	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>2</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>3</b>	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>4</b>	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>5</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>6</b>	8,57	7,14	8,57	7,14	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>Promedio</b>	<b>9,29</b>	<b>9,05</b>	<b>9,29</b>	<b>9,05</b>	<b>9,29</b>	<b>9,29</b>	<b>9,29</b>	<b>9,29</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Figura 3-2 se muestra los promedios obtenidos según el Color de las diferentes muestras de Aguardiente.

**Figura 3-2**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según el Color**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que todas las muestras de aguardiente tienen buena aceptación en cuanto al color se refiere, siendo las más sobresalientes las muestras 1, 3, 5, 6, 7 y 8 las mismas que comparten un promedio igual a 9,29% evaluado sobre el 10%, mientras que las muestras con menor promedio de aceptación son las muestras 2 y 4, con 9,05% igualmente calificadas sobre el 10%.

### 3.4.1.3 Vista en General

En la Tabla III-44 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación general de la propiedad de la Vista, para cada una de las muestras de aguardiente de acuerdo a los seis jueces calificados, tanto para la subclasificación de viscosidad y limpidez y el color.

**TABLA III-44**

**Promedios de la Evaluación Sensorial de la Vista**

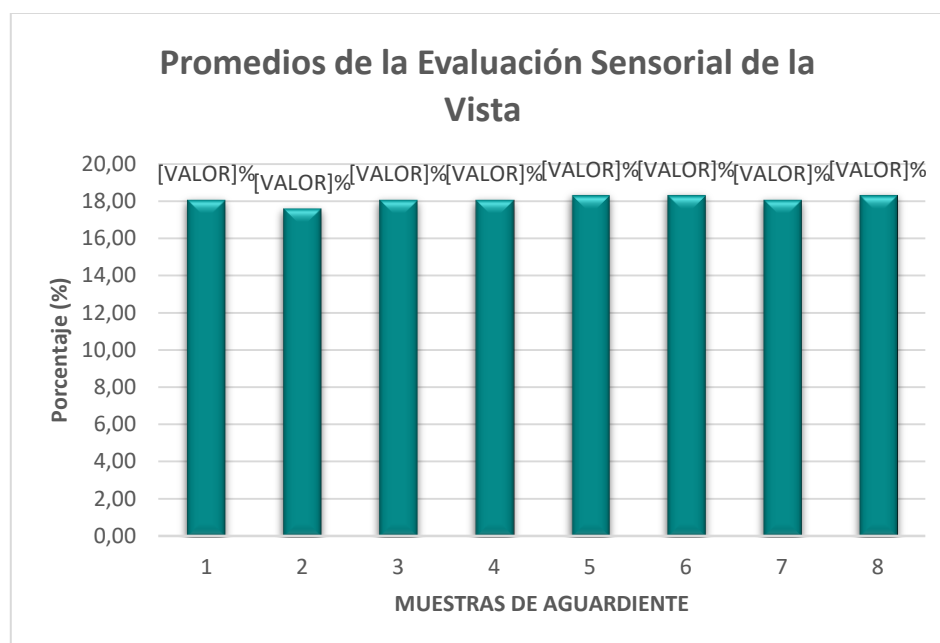
<b>Juez</b>	<b>Porcentaje (%)</b>							
	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>2</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>3</b>	17,14	17,14	17,14	17,14	17,14	17,14	17,14	17,14
<b>4</b>	15,71	15,71	15,71	17,14	17,14	15,71	15,71	17,14
<b>5</b>	18,57	18,57	18,57	20,00	18,57	20,00	18,57	18,57
<b>6</b>	17,14	14,28	17,14	14,28	17,14	17,14	17,14	17,14
<b>Promedio</b>	<b>18,09</b>	<b>17,62</b>	<b>18,09</b>	<b>18,09</b>	<b>18,33</b>	<b>18,33</b>	<b>18,09</b>	<b>18,33</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la siguiente figura (Figura 3-3), se observan los promedios obtenidos acerca de la propiedad de la Vista en forma general, tomando en cuenta para ello, la subclasificación de viscosidad y limpidez y el color, de cada una de las muestras de aguardiente.

**Figura 3-3**

**Promedios de la Evaluación Sensorial de la Vista**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Tras ser realizada la evaluación general de la Vista y posteriormente analizados los resultados obtenidos se concluye que las muestras con mayor promedio de aceptación son las muestras 5, 6 y 8, las cuales tienen un promedio de 18,33% calificadas sobre el 20% y la muestra que presenta una menor aprobación, es la muestra 2 con 17,62% igualmente evaluada sobre el 20%.

### 3.4.2 Evaluación del Atributo al Aroma

La propiedad del Aroma tiene un porcentaje de 50% de importancia en las propiedades características del Aguardiente.

Para observar el valor que se les asignó a los promedios de la evaluación del Aroma, revisar ANEXO E.

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla III-45), se observa los resultados logrados respecto al Aroma de las muestras de aguardiente luego de la realizarse la degustación por los seis jueces correspondientes y también se enseña los promedios expresados en porcentaje (%).

**TABLA III-45**

**Promedios de la Evaluación Sensorial del Aroma**

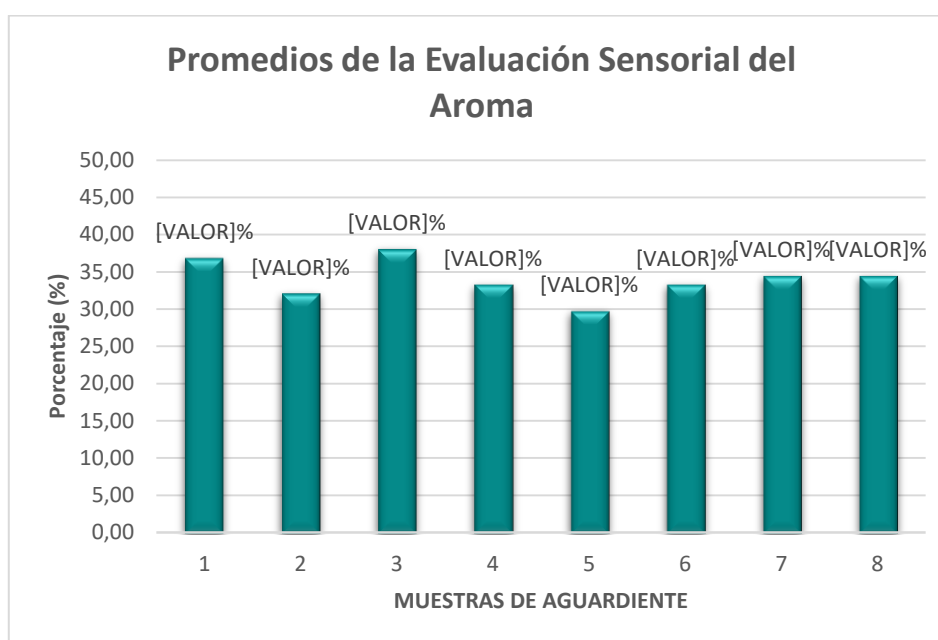
	Porcentaje (%)							
Juez	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 4	Muest. 5	Muest. 6	Muest. 7	Muest. 8
<b>1</b>	42,56	35,71	42,86	28,57	42,86	28,57	35,71	50,00
<b>2</b>	14,28	28,57	35,71	28,57	21,43	28,57	28,57	42,86
<b>3</b>	35,71	28,57	42,86	35,71	28,57	35,71	28,57	35,71
<b>4</b>	42,86	28,57	42,86	28,57	42,86	21,43	42,86	21,43
<b>5</b>	42,86	35,71	21,43	35,71	21,43	42,86	28,57	21,43
<b>6</b>	42,86	35,71	42,86	42,86	21,43	42,86	42,86	35,71
<b>Promedio</b>	<b>36,86</b>	<b>32,14</b>	<b>38,10</b>	<b>33,33</b>	<b>29,76</b>	<b>33,33</b>	<b>34,52</b>	<b>34,52</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Figura 3-4, se indica los promedios obtenidos acerca del Aroma de las muestras de aguardiente respectivamente evaluadas.

**Figura 3-4**

**Promedios de la Evaluación Sensorial del Aroma**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Según los resultados obtenidos tras la evaluación del Aroma, se puede concluir que la muestra 3 es la muestra con mayor promedio de aceptación, siendo éste el 38,10% evaluado sobre el 40%, seguido de la muestra 1, que presenta un promedio igual a 36,86% también calificada sobre el 40%. La muestra con menor promedio de aceptación en cuanto al Aroma, es la muestra 5, que posee un promedio de 29,76% sobre el 40% y seguida por la muestra 2 con el 32,14%.

### **3.4.3 Evaluación del Atributo al Sabor**

La propiedad del sabor ocupa el 30% en la importancia de las propiedades que caracterizan al aguardiente.

La propiedad del sabor se subclasifica en 3 partes:

- Suavidad (10%)
- Persistencia (10%)
- Equilibrio y Armonía (10%)

Para observar el valor que se les asignó a los promedios de la evaluación del Sabor, ver ANEXO F.

### 3.4.3.1 Suavidad

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla III-46), se muestra los resultados obtenidos en la evaluación sensorial realizada por los seis jueces calificadores, con respecto a la Suavidad de las muestras de aguardiente, así como también sus promedios expresados en forma de porcentaje (%).

**TABLA III-46**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según la Suavidad**

	Porcentaje (%)							
<b>Juez</b>	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	8,57	7,14	7,14	5,71	7,14	4,28	5,71	8,57
<b>2</b>	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>3</b>	5,71	5,71	7,14	7,14	8,57	8,57	5,71	5,71
<b>4</b>	5,71	5,71	7,14	7,14	7,14	5,71	8,57	5,71
<b>5</b>	7,14	8,57	5,71	7,14	4,28	10,00	7,14	5,71
<b>6</b>	7,14	8,57	8,57	7,14	7,14	8,57	7,14	7,14
<b>Promedio</b>	<b>7,14</b>	<b>7,38</b>	<b>7,38</b>	<b>7,14</b>	<b>7,14</b>	<b>7,62</b>	<b>7,14</b>	<b>6,90</b>

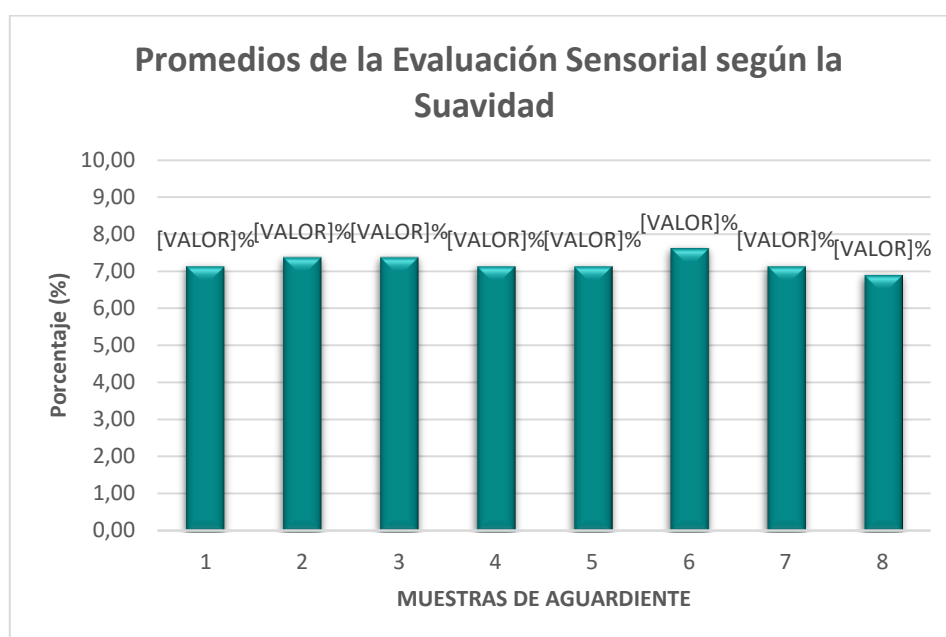
**Fuente:** Elaboración Propia, 2018



En la figura que se muestra a continuación, (Figura 3-5) se puede observar los promedios obtenidos según la suavidad, de las diferentes muestras de aguardiente.

**Figura 3-5**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según la Suavidad**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Según los resultados adquiridos, se puede concluir que la muestra de mayor aceptación, respecto al atributo de la Suavidad en el sabor del aguardiente, es la muestra 6, con un promedio de 7,62% evaluada sobre el 10%, seguida por las muestras 2 y 3, las cuales tienen 7,38% de promedio igualmente calificadas sobre el 10%. La muestra que presenta menor aceptación en este caso es la muestra 8, con 6,90% de promedio evaluado sobre el 10%.

### 3.4.3.2 Persistencia

En la tabla expuesta a continuación (Tabla III-47), se observa los resultados obtenidos de la Persistencia de las diferentes muestras de aguardiente, realizados por los seis jueces, así como también su promedio expresado en porcentaje (%).

**TABLA III-47**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según la Persistencia**

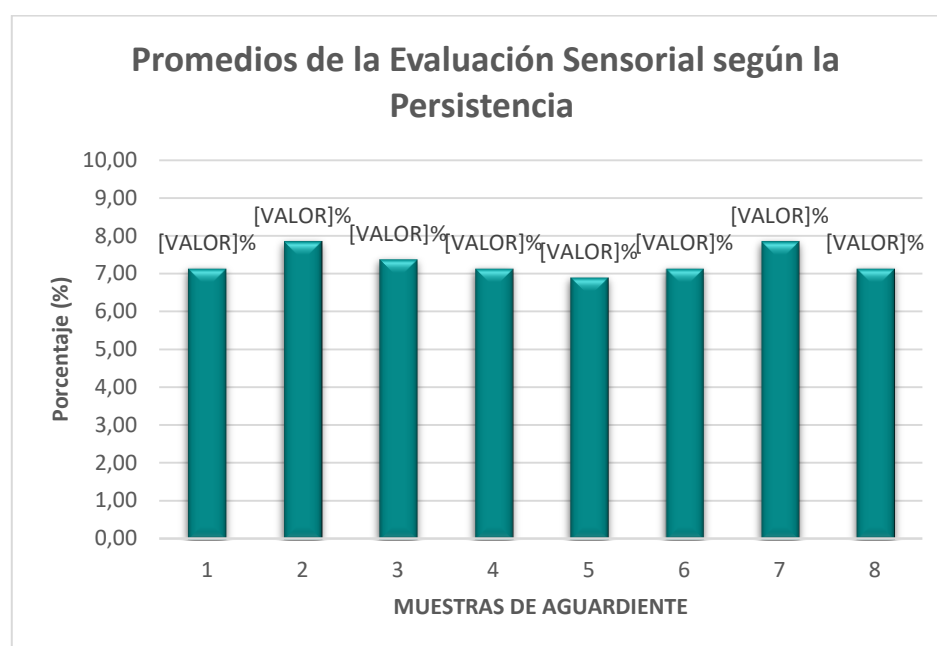
	Porcentaje (%)							
<b>Juez</b>	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	7,14	8,57	7,14	5,71	5,71	4,28	8,57	8,57
<b>2</b>	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
<b>3</b>	5,71	5,71	8,57	5,71	7,14	5,71	5,71	5,71
<b>4</b>	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	5,71	8,57	7,14
<b>5</b>	7,14	8,57	5,71	8,57	5,71	10,00	7,14	5,71
<b>6</b>	7,14	8,57	7,14	7,14	7,14	8,57	8,57	7,14
<b>Promedio</b>	<b>7,14</b>	<b>7,86</b>	<b>7,38</b>	<b>7,14</b>	<b>6,90</b>	<b>7,14</b>	<b>7,86</b>	<b>7,14</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Figura 3-6 se muestra los promedios obtenidos según la Persistencia de las muestras de aguardiente analizadas.

**Figura 3-6**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según la Persistencia**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Según los resultados obtenidos tras la evaluación de la Persistencia a cada una de las muestras de aguardiente, se concluye que las muestras más aceptadas son las muestras 2 y 7, las mismas que tienen un promedio de 7,86%, evaluadas sobre el 10%. La muestra que mostró menor promedio de aceptación en cuanto a la Persistencia es la muestra 5, con un promedio de 6,90% calificado de igual manera sobre el 10%.

### 3.4.3.3 Equilibrio y Armonía

En la Tabla III-48 se muestran los resultados del Equilibrio y Armonía de las diferentes muestras de aguardiente, realizados por los seis jueces, así como también sus promedios, expresados en forma de porcentaje (%).

**TABLA III- 48**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según el Equilibrio y la Armonía**

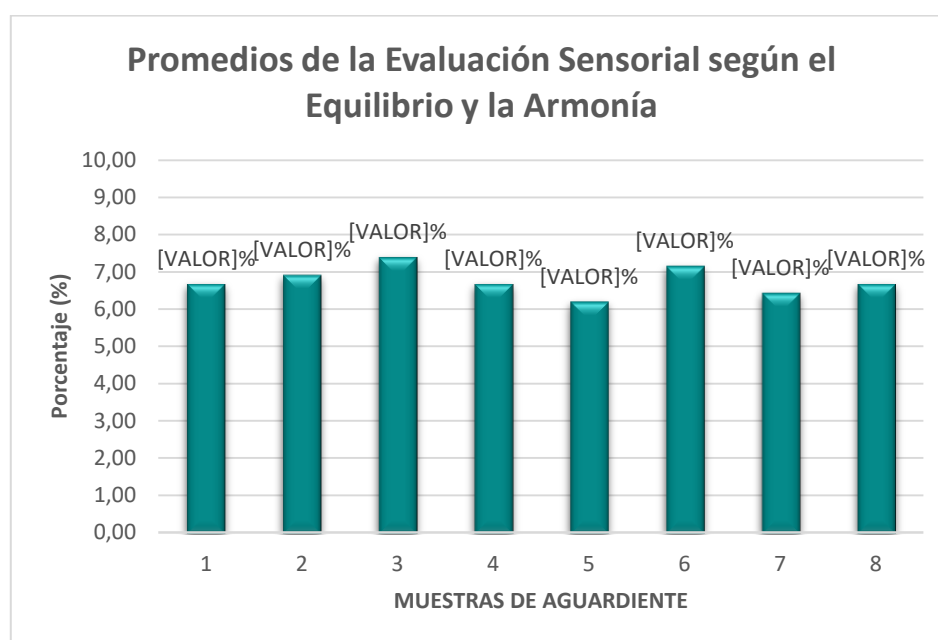
	Porcentaje (%)							
Juez	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 4	Muest. 5	Muest. 6	Muest. 7	Muest. 8
<b>1</b>	8,57	8,57	7,14	4,28	5,71	4,28	5,71	8,57
<b>2</b>	2,86	5,71	7,14	5,71	4,28	5,71	5,71	8,57
<b>3</b>	5,71	5,71	8,57	7,14	8,57	8,57	5,71	5,71
<b>4</b>	5,71	5,71	8,57	5,71	8,57	5,71	8,57	5,71
<b>5</b>	8,57	8,57	5,71	8,57	4,28	10,00	5,71	4,28
<b>6</b>	8,57	7,14	7,14	8,57	5,71	8,57	7,14	7,14
<b>Promedio</b>	<b>6,67</b>	<b>6,90</b>	<b>7,38</b>	<b>6,66</b>	<b>6,19</b>	<b>7,14</b>	<b>6,43</b>	<b>6,66</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la Figura 3-7 se muestra los promedios obtenidos según el Equilibrio y Armonía de las muestras de aguardiente analizadas y evaluadas.

**Figura 3-7**

**Promedios de la Evaluación Sensorial según el Equilibrio y Armonía**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Según los resultados obtenidos de la evaluación del Equilibrio y la Armonía a las diferentes muestras de aguardiente, se concluye que la muestra con mayor promedio de aceptación es la muestra 3 con 7,38% sobre el 10%. La muestra que presenta menor aceptación es la muestra 5, la cual tiene un promedio de 6,19% igualmente evaluada sobre el 10%.

### 3.4.3.4 Sabor en General

En la tabla mostrada a continuación (Tabla III-49), se expresan los resultados obtenidos tras la evaluación general de la propiedad del Sabor para cada una de las muestras de aguardiente, estos resultados fueron obtenidos según la calificación de los seis jueces en la subclasificación de suavidad, persistencia y equilibrio y armonía.

**TABLA III-49**

#### Promedios de la Evaluación Sensorial del Sabor

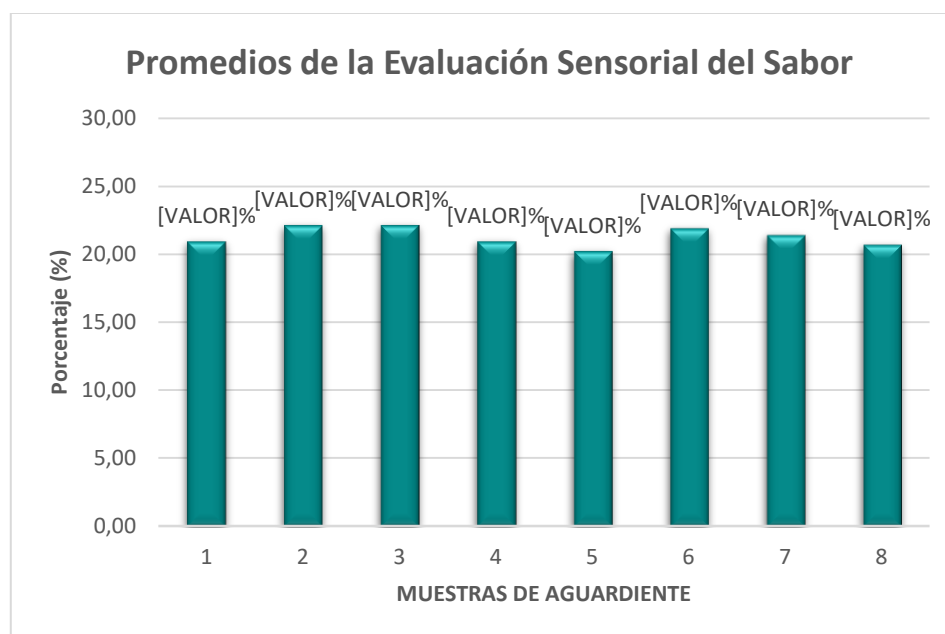
Juez	Porcentaje (%)							
	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 4	Muest. 5	Muest. 6	Muest. 7	Muest. 8
<b>1</b>	24,28	24,28	21,42	15,7	18,56	12,84	19,99	25,71
<b>2</b>	20	22,85	24,28	22,85	21,42	22,85	22,85	25,71
<b>3</b>	17,13	17,13	24,28	19,99	24,28	22,85	17,13	17,13
<b>4</b>	18,56	18,56	22,85	19,99	22,85	17,13	25,71	18,56
<b>5</b>	22,85	25,71	17,13	24,28	14,27	30,00	19,99	15,7
<b>6</b>	22,85	24,28	22,85	22,85	19,99	25,71	22,85	21,42
<b>Promedio</b>	<b>20,95</b>	<b>22,14</b>	<b>22,14</b>	<b>20,94</b>	<b>20,23</b>	<b>21,90</b>	<b>21,42</b>	<b>20,71</b>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En la siguiente figura (Figura 3-8), se observan los promedios obtenidos acerca de la propiedad del sabor en forma general, tomando en cuenta para ello la subclasificación de suavidad, persistencia y equilibrio y armonía de cada una de las muestras de aguardiente.

**Figura 3-8**

**Promedios de la Evaluación Sensorial del Sabor**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

Realizada la evaluación general del Sabor y analizados los resultados obtenidos se concluye que las muestra con mayor promedio de aceptación en cuanto al sabor se refiere, son las muestras 2 y 3, las cuales tienen un promedio de 22,14% calificadas sobre el 30% y la muestras que presenta menor aprobación, son la muestra 5 con 20,23% seguida de la muestra 8 que tiene 20,71% de promedio, ambas igualmente calificadas sobre el 30%.

### 3.4.4 Impresión General

En la Tabla III-50 se muestran los promedios que resultan de la impresión general que cada uno de los seis jueces tuvo para cada muestra de aguardiente evaluada, esta impresión general resulta de la suma de los promedios obtenidos anteriormente en las propiedades evaluadas a lo largo de la evaluación sensorial, que son Vista, Aroma y Sabor.

Los promedios que se muestran a continuación en la impresión general de las muestras de aguardiente, son expresados en forma de porcentaje (%).

**TABLA III-50**  
**Promedios de la Evaluación Sensorial General**

	<b>Porcentaje (%)</b>							
<b>Juez</b>	<b>Muest. 1</b>	<b>Muest. 2</b>	<b>Muest. 3</b>	<b>Muest. 4</b>	<b>Muest. 5</b>	<b>Muest. 6</b>	<b>Muest. 7</b>	<b>Muest. 8</b>
<b>1</b>	86,84	79,99	84,28	64,27	81,42	61,41	75,7	95,71
<b>2</b>	54,28	71,42	79,99	71,42	62,85	71,42	71,42	88,57
<b>3</b>	69,98	62,84	84,28	72,84	69,99	75,7	62,84	69,98
<b>4</b>	77,13	62,84	81,42	65,7	82,85	54,27	84,28	57,13
<b>5</b>	84,28	79,99	57,13	79,99	54,27	92,86	67,13	55,7
<b>6</b>	82,85	74,27	82,85	79,99	58,56	85,71	82,85	74,27
<b>Promedio</b>	<b>75,89</b>	<b>71,89</b>	<b>78,33</b>	<b>72,37</b>	<b>68,32</b>	<b>73,56</b>	<b>74,04</b>	<b>73,56</b>

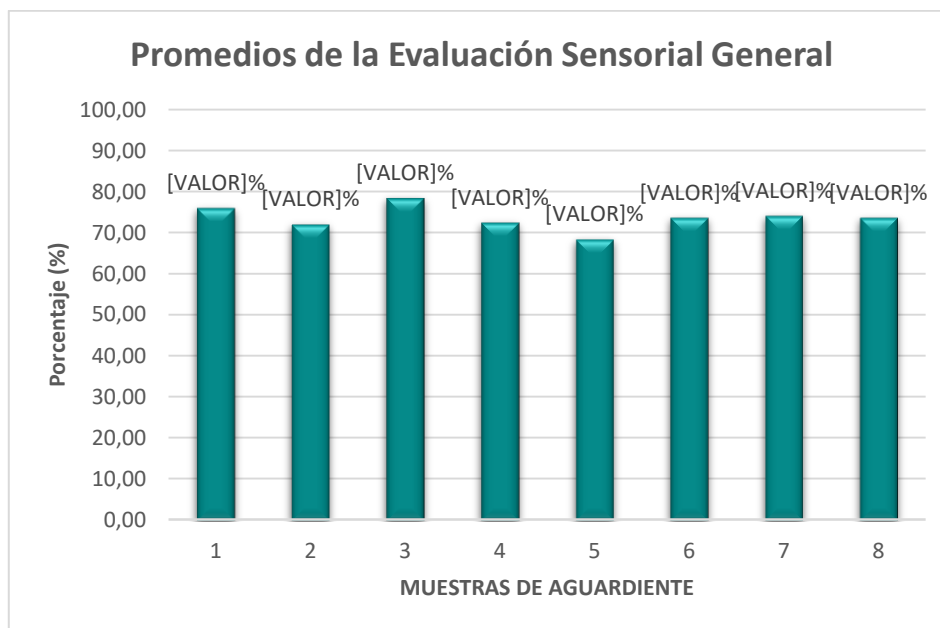
**Fuente:** Elaboración Propia, 2018



En la Figura 3-9 se observan los promedios obtenidos de la Evaluación Sensorial en forma general, combinando para esto los resultados de la Vista, Aroma y Sabor de las diferentes muestras de Aguardiente.

**Figura 3-9**

**Promedios de la Evaluación Sensorial General**



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

El análisis estadístico mostrado anteriormente, lanza resultados confiables con los cuales se puede definir el grado de aceptación de las muestras de aguardiente evaluadas, la apreciación de cada una de estas se muestra en la lista a continuación:

- Se establece que la muestra con mayor aceptación en la Evaluación Sensorial de manera General es la muestra 3 con un 78,33% evaluada sobre el 100%, ésta fue trabajada bajo el mínimo de potencia (0,70 kW) y la máxima relación de reflujo (4:1).
- Seguidamente se encuentra la muestra 1 con el 75,89% de promedio, la cual fue trabajada igualmente bajo el mínimo de potencia (0,70 kW) pero con el mínimo de relación de reflujo (3:1).

- A ésta le siguen la muestra 7 con 74,04% y posteriormente cercana la muestra 8 con 73,56%, las cuales fueron trabajadas ambas con el máximo valor de potencia y máxima relación de reflujo (0,80 kW) y (4:1) respectivamente.
- Luego se encuentra la muestra 6 compartiendo el mismo porcentaje de promedio que la muestra 8 con un valor igual a 73,56% de promedio, que fue trabajada con el valor máximo de potencia (0,80 kW) y con la mínima de relación de reflujo (3:1).
- A continuación, se encuentra la muestra 4 con el 72,37% de promedio, ésta se trabajó con el mínimo valor de potencia (0,70 kW) y la máxima relación de reflujo (4:1).
- Seguidamente con un promedio cercano se localiza la muestra 2, que presenta un promedio igual a 71,89%, esta muestra fue trabajada con la mínima potencia (0,70 kW) y con el mínimo valor de relación de reflujo (3:1).
- Por último, la muestra que resalta por tener el puntaje más bajo en la Evaluación Sensorial General es la muestra 5 con un promedio de 68,32%, evaluada sobre el 100% al igual que todas las muestras anteriores, ésta se trabajó con el valor máximo de potencia (0,80 kW) y el mínimo de relación de reflujo (3:1).

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se seleccionó la materia prima (Retentato), proveniente de Vino Aranjuez Blanco “Gran Vino”, analizando y comprobando que sus características físico-químicas se encuentren dentro de los parámetros permitidos por la Norma Boliviana para el Sector Vitivinícola. La norma empleada como referencia fue NB-322002/2015, “Vinos – Requisitos”, del Comité 3.22 “Vinos”.
- El proceso de pruebas previas de la materia prima, consistió en diferentes análisis físico-químicos que fueron realizados en el laboratorio de la Bodega Aranjuez de Tarija y en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), y una destilación fraccionada a escala laboratorio en un Alambique Tradicional.
- El proceso de obtención de Aguardiente se desarrolló empleando el equipo Columna de Destilación marca ARMFIELD UOP3BM, ubicado en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se cargó al tanque de alimentación 7,00 litros de materia prima (Retentato) y se produjo la destilación a diferentes potencias y relación de reflujo.
- El destilado obtenido para las diferentes muestras, lanzó una graduación alcohólica variante entre los 50,0 y 56,0 °GL, siendo la Muestra 3, la prueba que alcanzó mayor grado alcohólico, con 56,0 °GL la misma que se consiguió trabajando con la menor potencia suministrada y con la relación de reflujo mayor (0,70 kW y 4:1) respectivamente.

- El mayor volumen de destilado lo consagró la Muestra 2, con 1208,0 ml de destilado, prueba que fue lograda trabajando con la menor potencia suministrada y menor relación de reflujo durante el proceso de destilación, (0,70 kW y 3:1).
- Se realizaron análisis físico-químicos a las diferentes muestras de aguardiente obtenidas y los resultados fueron comparados con los rangos permitidos por la Norma Bolivia para el Singani NB-324001//2015, Bebidas alcohólicas – “Singani – Requisitos”.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados respondieron de manera satisfactoria en el control de calidad guiado por la NB-324001/2015, con excepción de los análisis de Anhídrido Sulfuroso Total, cuyos resultados fueron mayores a los parámetros permitidos y el pH que lanzó una respuesta por muy poco debajo del rango mínimo permitido en la norma.

- Para determinar el grado de aceptación de las distintas muestras de aguardiente obtenidas, se realizó una Evaluación Sensorial que tomó en cuenta características importantes como Vista, Aroma y Sabor final de las pruebas realizadas. Este tipo de análisis fue desarrollado por un panel de degustación conformado por 6 jueces con experiencia en el ámbito enológico.
- La muestra que presentó mayor grado de aceptación tras el análisis de Evaluación Sensorial fue la muestra 3, con un porcentaje general de 78,33% y la muestra que mostró menor aceptación fue la muestra 5, con el 68,32% ambas evaluadas sobre el 100%.

- Se determinó la eficiencia del proceso de destilación a partir de método grafico McCabe-Thiele para el análisis de destilación fraccionada binaria, la misma que resultó objetiva por ser igual a 71,42 %, valor que indica un óptimo grado de separación real en la columna de destilación.
- El cálculo de costos de recuperación directos del proyecto se efectuó con fines de generar un bosquejo económico de los gastos que podrían considerarse al momento de darle valor agregado al producto obtenido y su respectiva producción.

## **4.2 Recomendaciones**

- Incentivar y promover a la investigación de productos y derivados de la uva y vino en el Departamento de Tarija debido a la enorme importancia que el Sector Vitivinícola ha acumulado a lo largo del tiempo en esta zona.
- Recomendar a la Bodega Aranjuez de Tarija, que a partir de la fecha se dé valor agregado a la materia prima utilizada en la elaboración de este proyecto (Retentato), el mismo que ha presentado composición y características favorables para ejecutar una recuperación óptima de Etanol.
- Tener cuidado con la manipulación del Retentato al momento de la recepción y tratamiento de la materia prima, evitando en lo mayor posible la contaminación de la misma para así lograr obtener un destilado de calidad durante el proceso de destilación.
- Para el embotellado y posterior reposo de las muestras de aguardiente obtenidas, utilizar tapones de material sintético para evitar transferir aromas y/o sabores indeseados al destilado final.
- Se recomienda la modificación del equipo empleado en el proceso de destilación para investigaciones posteriores, es decir el cambio de la torre de destilación por un alambique tradicional, para luego poder comparar los resultados obtenidos del producto final.
- Este proyecto de investigación aplicada ofrece información necesaria e importante para realización posterior de un trabajo de prefactibilidad, razón por la que es recomendable tomarlo como guía para la elaboración de una planta piloto de “Elaboración de Aguardiente” con el fin de promover el proceso a nivel industrial.