

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

1.1.- Materia prima.

1.1.1.- Caracterización de la Vid.

La composición de la vid es muy variable, varía dependiendo del tipo de suelo y sus nutrientes minerales, sistema de riego, sistema de conducción, cantidad de precipitaciones, cantidad de luz solar y sobre todo de la variedad de vid. Sin embargo se tienen unos rangos promedios los cuales se presentan a continuación.

Tabla I-1
Composición de la uva por cada 100 gr.

COMPOSICIÓN DE LA UVA POR CADA 100 gr.		
Agua	g	70 - 78
Calorías	Kcal	71
Azúcares	g	12 - 25
Ácidos orgánicos libres	g	0.3 – 0.6
Ácidos. salificados	g	0.3 - 1
Sust. Nitrogenadas	g	0.1
Pectinas	g	0.05 - 0.1

Fuente: Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean, 2006.

El ácido tartárico se encuentra dentro de los ácidos salificados que posee la uva y el porcentaje en la composición varía entre 0.3 y 1%.

1.1.2.- Caracterización del vino producido por la bodega del CEVITA

El vino es una solución saturada en sales, el proyecto se enfoca en tartrato de calcio $C_4H_6O_4Ca \cdot 4H_2O$ (TCA) y bitartrato potásico $C_4H_6O_5K$ (THK). Los factores que modifican este estado de sobresaturación del vino, además de la temperatura, son las concentraciones de Potasio, Calcio y Ácido Tartárico, el grado alcohólico, la fuerza iónica y el pH. (Ribéreau, Gayón, 2006)

1.1.2.1.- Composición del vino tinto

La composición del vino tinto es variable, por lo tanto en la siguiente tabla se presentan rangos promedios.

Tabla 1-2
Composición del vino tinto

Composición detallada de vino tinto	
Agua	70 - 85%
Etanol	10– 14%
Azúcares	0 – 0.5 %
Glicerina y Glicerol	0.5 – 1.5%
Otros alcoholes	0.1%
Ácido Tartárico	0.15 – 0.4%

Ácido Málico	0 – 0.3%
Ácido Cítrico	0.01 – 0.03%
Ácido Láctico	0.02 – 0.03%
Ácido Succínico	0.05 - 0.1%
Ácido Acético	0.03 – 0.1%
Sales y compuestos minerales	0.2 – 0.4%
Sustancias volátiles y aromáticas	0.2%
Pectinas	0.01 – 0.2%
Polifenoles	0.1 – 0.3%

Fuente: <http://enologia.blogia.com/temas/17-composicion.php>

En la tabla N° I-2 se pueden observar la mayoría de los compuestos que conforman el vino tinto, los compuestos más relevantes para el proyecto son el ácido tartárico y las sales y compuestos minerales que se según la información obtenida tienen el siguiente porcentaje:

- Ácido Tartárico 0.15 – 0.4%
- Sales 0.2 – 0.5%

Si se compara el Ácido tartárico presente en la uva, y el Ácido tartárico presente en el vino se observa que se ha reducido de 0.3 – 1% a 0.15 – 0.4%, esto supone la formación de sales TCA y THK.

Tabla 1-3
Contenido de sales en el vino

Contenido de sales en el vino	
Potasio	0.2
Sodio	0.01
Calcio	0.025
Magnesio	0.017
Hierro	0.021
Fósforo	0.050
Azufre	0.020

Fuente: Madrid, Cenzano, 1994.

En la tabla N° 1-3 se puede detallar la composición de las sales que están dentro del vino, como se puede observar el Potasio es la sal que se encuentra en mayor porcentaje, la cual es la que nos interesa en el estudio.

Realizando la caracterización de la materia prima y el vino se puede demostrar que tanto la uva como el vino tienen cantidades apreciables de Ácido Tartárico y Potasio, los cuales son motivo de este proyecto.

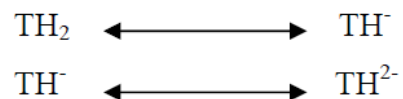
1.1.2.2.- Ácido tartárico

El ácido tartárico es el ácido específico y mayoritario del vino, es un ácido fuerte por lo que influye mucho en el pH. Su concentración disminuye en el vino por

precipitación en forma salificada, provocada por el enriquecimiento en el alcohol y descenso de la temperatura.

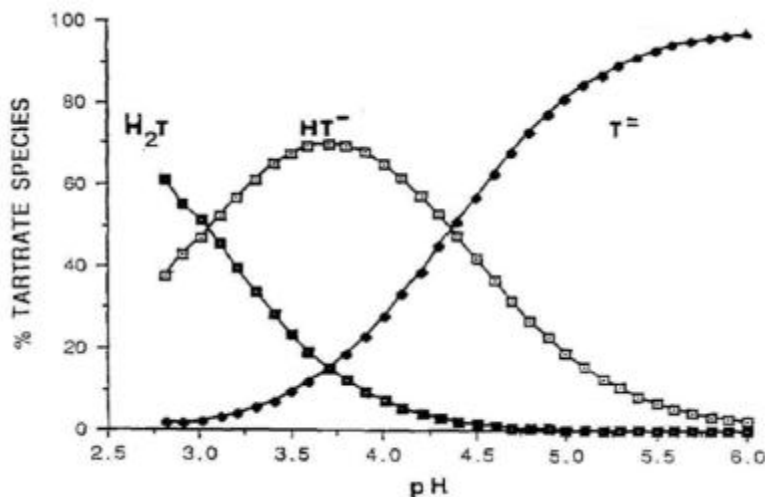
El ácido tartárico es un compuesto orgánico, cuyo grupo funcional principal es el ácido carboxílico. Su fórmula es: $\text{HOOC-CHOH-CHOH-COOH}$, con fórmula molecular $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$, su peso molecular es 150 g/mol.

Según el pH que tenga el vino, el ácido tartárico se encuentra de tres formas diferentes, TH_2 , TH^- o T^{2-} manteniendo estos dos equilibrios de disociación:



Cuyas constantes de disociación vienen dadas por $\text{pK}_1 = 2.98$ y $\text{pK}_2 = 4.34$ respectivamente. Cuando se modifica el estado de sobresaturación del vino, los aniones TH^- (bitartrato) y T^{2-} (tartrato) se unen al potasio (K^+) y el calcio (Ca^{2+}) respectivamente, precipitando en forma de bitartrato potásico (THK) y tartrato de calcio (TCa).

Figura 1-1
Curva de Especies de Tartrato vs pH



Fuente: Muñoz Mónica, 2013.

En la figura N° 1-1 se puede apreciar como varía la formación de las sales de tartrato según el pH del vino, el pH del vino se encuentra en un rango de 3 a 4.2, salvo casos muy especiales, por lo cual la especie que se forma es el ya mencionado Bitartrato de Potasio o HT⁻.

El potasio es el catión más importante que contiene el vino ya que constituye casi las tres cuartas partes de todos los cationes. Por eso juega un papel muy importante en la estabilidad tártrica. Su contenido en el vino varía entre 100 y 2000 mg/l dependiendo de la variedad de uva, grado de madurez, clima, suelo, tipo de elaboración.

Los vinos con maceraciones más largas presentan mayores contenidos de potasio debido al mayor contacto de los hollejos con el mosto (Muñoz Mónica, 2013.).

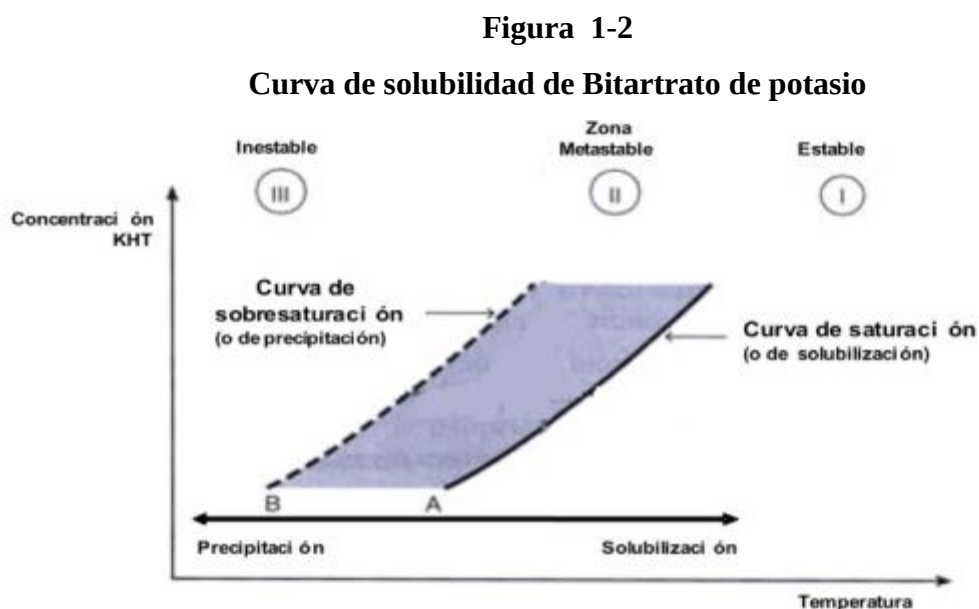
1.1.2.3.- Bitartrato de potasio

El Bitartrato de potasio tiene la fórmula KC₄H₅O₆ y es el producto resultante de la cristalización del Ácido Tartárico con el Potasio presente en el vino, también es

llamado Cremor tártaro el cual es almacenado y purificado para producir el polvo blanco e inodoro utilizado con gran frecuencia en varias actividades culinarias.

1.1.2.4. Curvas de solubilidad

Las curvas de solubilidad son una parte muy importante dentro del análisis de la precipitación de bitartratos, según la empresa Sofralab Technologies, una curva de solubilidad de bitartratos es la siguiente:



Fuente: http://www.az3oen.com/noticias/pdf/45_checkstab.pdf

Donde se distinguen tres zonas:

- La primera que es una zona estable en la cual no se presentarían precipitados en el vino.
- La segunda que es una zona metastable, donde hay un riesgo de precipitación tartárica.

- La tercera que es una zona inestable, en la cual en algún momento se presentará la precipitación tartárica

Los datos de la solubilidad de Bitartrato de Potasio en etanol se obtuvieron de distintas fuentes bibliográficas

Tabla 1-4

Solubilidad del Bitartrato de potasio

Table 8-1. Solubility of potassium bitartrate (g / L) in model solutions.

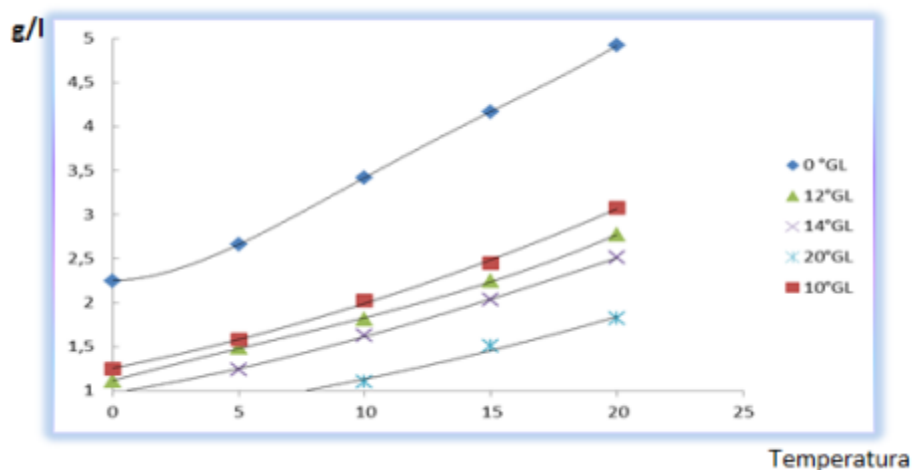
Temperature (°C)	Ethanol content (%v/v)				
	0	10	12	14	20
0	2.25	1.26	1.11	0.98	0.68
5	2.66	1.58	1.49	1.24	0.86
10	3.42	2.02	1.81	1.63	1.10
15	4.17	2.45	2.25	2.03	1.51
20	4.92	3.08	2.77	2.51	1.82

Source of data: Berg and Keefer (1958).

Fuente: Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean, 2006.

Con la tabla de solubilidad del Bitartrato de potasio en Etanol se pueden elaborar las curvas necesarias para predecir la estabilización tartárica en los vinos.

Figura 1-3
Curva de solubilidad de Bitartrato de potasio a distintos grados alcohólicos



Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la Figura N° 1-3 se puede observar como varía la solubilidad del Bitartrato de potasio con la temperatura y los diferentes grados alcohólicos que puede presentar el vino, cabe destacar que según la Norma Boliviana 322002, un buen vino se encuentra entre 10 y 14°GL, siendo 12°GL el parámetro elaboración y comercialización.

1.1.2.5. Métodos de detección de tartratos

Existen diversos métodos que permiten detectar mediante la Temperatura de Saturación y las curvas de solubilidad si se formará o no precipitado en el vino.

- **Ensayos de puesta en frío:** Se somete 100 ml de vino a una temperatura constante de -4°C durante un periodo aproximado de 6 días, y se observa si se formó precipitado o no.

- **Prueba de mini-contacto:** Consiste en someter el vino, luego de un agregado de 4g.L^{-1} de cremor tártaro, a una temperatura de 0°C durante dos horas agitándolo de manera permanente. Luego por filtración en frío de la muestra de vino, se observa e aumento del peso del tartrato recogido.
- **Prueba de mini-contacto modificada:** Consiste en someter al vino a una medición de conductividad eléctrica a 0°C , agregar 10g.L^{-1} de cremor tártaro y apreciar la caída de la conductividad.
 - Si en los 5 a 10 minutos que siguen la siembra, la caída de la conductividad no supera el 5% de la conductividad inicial del vino, puede ser considerado tratado y estabilizado.
 - Si la caída de la conductividad en las mismas condiciones supera el 5%, el vino es juzgado inestable.
- **Método de Wurdig y otros:** Wurdig plantea hallar la temperatura de saturación del vino, para ello lleva 100 ml de vino a 0°C y comienza a subir la temperatura gradualmente, cada 0.5°C hasta llegar a 20°C , midiendo la conductividad a cada temperatura, de esta manera realiza una gráfica donde no se añadió ningún cristal, la gráfica que obtiene es una recta. Luego se realiza el mismo procedimiento, pero en esta ocasión se añaden 4g.L^{-1} de cremor tártaro y se observa como la gráfica ya no es una recta, sino tener un comportamiento o exponencial o superponible a la recta, realizando varios experimentos Wurdig obtuvo la siguiente ecuación.

$$T_{\text{sat}} = 20 - \frac{(\Delta L)_{20^{\circ}\text{C}}}{29.30} \quad (\text{I.1})$$

Donde:

T_{sat} = Temperatura de Saturación del vino

ΔL = Diferencia de conductividad del vino en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

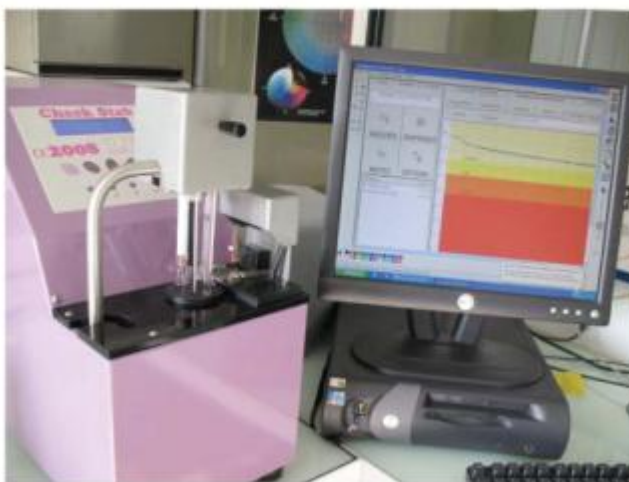
Se considera que un vino tinto es estable si $18^{\circ}\text{C} < T_{\text{sat}} < 21^{\circ}\text{C}$ y un vino blanco o rosado si $12^{\circ}\text{C} < T_{\text{sat}} < 15^{\circ}\text{C}$.

- **Sistemas computarizados:** Existen sistemas computarizados, los cuales permiten detectar si se formará precipitado o no, con tan solo tomar una muestra del vino, un claro ejemplo es el sistema que ofrece CheckStab $\alpha 2008$, el cual tiene un software especializado que ahorra tiempo y asegura el análisis de estabilidad del vino.

Figura 1-4

Sistema computarizado de detección de estabilidad tartárica

Check Stab $\alpha 2008$ Life
Su colaborador en la estabilidad tartárica



Fuente: http://www.az3oenos.com/noticias/pdf/45_checkstab.pdf, 2014.

1.2. Requerimientos del vino según la Norma Boliviana

1.2.1 Definición de vino

Según la Norma Boliviana 322001 el vino es una bebida que resulta de la fermentación alcohólica completa o parcial de la uva fresca *VitisVinifera L*, estrujada o no del mosto simple o virgen, con un contenido de alcohol adquirido de mínimo 10% (v/v) a 20°C, hasta que el grado que se genere de acuerdo a la graduación de azúcar de la uva de la que proviene, pudiendo obtenerse a través de un proceso de elaboración artesanal o industrial.

1.2.2.- Prácticas permitidas

A continuación se presentan algunas de las prácticas permitidas por la Norma Boliviana 322002.

1.2.2.1.- Vinificación

Es la fermentación alcohólica total o parcial de la uva fresca, molida o no, o el mosto simple o virgen

1.2.2.2.- Concentración de mosto

Se podrán utilizar evaporación al vacío o fuego directo, ósmosis inversa o crioconcentración para deshidratar parcialmente al mosto.

1.2.2.3.- Acidificación de mostos y vinos

Se puede emplear tratamiento por frío, adición de carbonato de calcio, tartrato neutro de potasio, carbonato o bicarbonato de potasio: o en mostos destinados a concentración resinas de intercambio iónico para obtener mosto y vino de composición equilibrada.

1.2.2.4.- Tratamiento clarificante

Se podrá adicionar al mosto y/o vino, sustancias con propiedades clarificantes de origen mineral y orgánico como: Bentonita, caolín, albumina de huevo, hemoglobina, caseína, caseínatos de potasio o calcio gelatinas o sílice coloidal, y taninos que favorecen a la precipitación de materias en suspensión.

1.2.2.5.- Uso del ácido metatartárico.

Se podrá adicionar ácido metatartárico al vino para prevenir la precipitación de sales tartáricas.

1.2.2.6.- Uso del crémor tártaro, tartrato de calcio o bitartrato de potasio

Se podrá adicionar al mosto, jugo de uva o vino, crémor tártaro, tartrato de calcio o bitartrato de potasio, como núcleos de cristalización para la precipitación de sales.

1.2.3.- Requisitos organolépticos

Según la Norma Boliviana 322002, los vinos deben tener las siguientes características organolépticas:

Tabla 1-5

Requisitos organolépticos de los vinos

Vino/Características	Vinos blancos	Vinos tintos
Aspecto	Límpido	Límpido
Color	De acuerdo a su gama de colores: Verdoso casi incoloro - Ambarino	De acuerdo a su gama de colores: Rojizo dorado – Rojizo rubí

Olor	Característico de la variedad	Característico de la variedad
Sabor	Característico de la variedad	Característico de la variedad

Fuente: NB 322002, Bolivia.

1.2.4.-Análisis de vino que realiza el CEVITA

El Centro Vitivinícola Tarija para asegurar la calidad de sus vinos realiza los siguientes controles de calidad, los cuales cumplen con la NB 32002, la cual se explicó previamente.

Tabla 1-6

Análisis de control de calidad realizados en el CEVITA

ANÁLISIS DEL VINO						
N°	DETERMINACIÓN	MÉTODO	UNIDAD	RANGO PERMITIDO		NORMA
				MÍNIMO	MÁXIMO	
1	Alcohol	Densímetro	°GL (% v/v)	10,00	14,00	NB-3,22-03
2	Acidez Total	Volumétrico	(g/l)	3,00	9,75	NB-3,22-04
3	Acidez Volátil	Joulmes - Volumétrico	(g/l)	--	1,00	NB-3,22-05
4	SO2 Total	Rippert - Volumétrico	(mg/l)	50,00	300,00	NB-3,22-06
5	SO2 Libre	Rippert - Volumétrico	(mg/l)	20,00	50,00	NB-3,22-07
6	Azúcares reductores	Fehling Causse Bonnans	(mg/l)	De acuerdo al vino		NB-3,22-08
7	Extracto seco	Evaporación Gravimétrica	(g/l)	Tintos		NB-3,22-09
				24,00	35,00	
				Blancos		
				17,00	24,00	
8	pH	Potenciométrico	Unidad	2,50	4,50	NB-3,22-10
9	Metanol	Espectrofotométrico	(mg/l)	0,00	300,00	NB-3,22-11
10	Densidad	Densímetro	(g/l)	De acuerdo al vino		NB-3,22-12
11	Cobre	Espectrofotométrico	(mg/l)	-	1,00	NB-3,22-13
12	Ion Ferrocianuro	Poirier - Gravimétrico	(+/-)	-	-	NB-3,22-14
13	Hierro	Espectrofotométrico	(mg/l)	1,00	5,00	NB-3,22-16
14	Observación Microscópica	Microscopico	(mg/l)	(-)	(-)	A-31-OIV

Fuente: CEVITA, 2013.

Los análisis que influyen directamente en la cristalización de bitartratos son:

- Alcohol
- Acidez Total
- pH
- Densidad

1.3.- Localización de la planta

1.3.1.- Macrolocalización

El Centro Vitivinícola Tarija se encuentra ubicado en la provincia Avilés del departamento de Tarija – Bolivia, en el Valle de la Concepción, situado a 27 Kilómetros de la ciudad de Tarija.

Se encuentra situado en un lugar estratégico ya que según estudios como “Censo de bodegas y destilerías en los Valles de Tarija y los Cintis, 2008” elaborado por el CIEPLANE, el Valle Central de Tarija cuenta con un número de 22 microbodegas, 8 bodegas pequeñas y 3 bodegas medianas.

Además de tener una cercanía con los viñedos de los productores, ya que en el Valle Central de Tarija se tienen alrededor de 1 632 Ha de superficie cultivada de Vid.

Figura 1.5**Ubicación del Centro Vitivinícola Tarija**

Fuente: Google Maps, 2014.

Tabla N° 1-7**SUPERFICIE CULTIVADA DE VID EN BOLIVIA**

Departamento	Superficie (ha)	Participación (%)
Valle Central de Tarija	1.632,10	79,33
Otras Zonas Dpto. Tarija	59,00	2,87
Chuquisaca	216,21	10,51
Otros Departamentos	150,00	7,29
TOTAL	2.057,31	100

FUENTE: Comité de Competitividad de la Cadena UVS, 2010.

1.3.2.- Micro localización

La bodega del Centro Vitivinícola Tarija se encuentra situada entre el bloque del laboratorio enológico y el bloque donde se encuentra el sector agrícola, situándose en un lugar estratégico, tiene un portón que conecta la bodega con el ingreso de vehículos para poder realizar tanto la descarga de vid proveniente de los viñedos de la propia institución, así como de los pequeños productores en época de molienda.

1.4.- Servicios auxiliares

El CEVITA cuenta con los siguientes servicios auxiliares:

1.4.1.- Servicios

La bodega del CEVITA cuenta con los siguientes servicios:

- a) Disponibilidad de mano de obra:** Al estar cerca del valle de la concepción se tiene una buena disponibilidad de mano de obra que tiene conocimiento sobre viticultura y en algunos casos un conocimiento mínimo en enología.
- b) Transporte de materia prima y producto:** El Centro Vitivinícola Tarija se encuentra sobre la carretera al Valle de la Concepción, por lo tanto tiene facilidad para poder transportar la vid así como el vino y singani producido por la institución.
- c) Abastecimiento de agua:** La bodega del CEVITA cuenta con agua que es destinada para el Valle de Concepción la cual no presenta iones Ca^{++} , Mg^{++} , etc., por lo tanto no tiene una dureza apreciable.

Frecuentemente tiene cortes del servicio, debido a fallas en la red de distribución, pero gracias al tanque que se dispone, aproximadamente 1000 litros sirven para apalea esta deficiencia.

d) Electricidad: La bodega del CEVITA cuenta con un servicio de energía eléctrica que es brindado por SETAR, dispone energía a 220V y energía trifásica 380V para determinados equipos.

1.4.2.- Servicios adicionales

a) Agua de refrigeración

Se puede contar con un sistema de agua de refrigeración, que se conecta por una cañería incrustada a la pared a las camisas de los tanques fermentadores, por las cuales atraviesa agua fría proveniente del equipo de frío, gracias a esto se mantiene el proceso de vinificación en una temperatura óptima.

b) Manejo de aguas residuales

La bodega del CEVITA, no cuenta con tratamiento de aguas residuales, el agua de lavado de equipos, y la bodega es canalizada por un canal con rejilla que pasa por la bodega, el cual la conduce hasta pasado unos 15 metros, donde se deposita en una fosa séptica.

c) Manejo de residuos sólidos

El CEVITA cuenta con un depósito al aire libre donde se depositan los residuos sólidos provenientes de la vinificación, como el raspón y el orujo, los cuales se someten a un proceso de compostaje, para su posterior uso como fertilizantes orgánicos.

d) Cámara de frío

La bodega cuenta con ayuda de una cámara de frío situada aproximadamente a 20 metros de la misma, en la cual se pueden almacenar tanto los vinos, como el jugo de uva producido por la bodega.

e) Motor de emergencia

Anteriormente se disponía de un motor en caso de alguna falla eléctrica, pero con el paso del tiempo se arruinó, quedando pendiente la compra de uno nuevo.

f) Equipo de aire acondicionado

Es necesario un sistema de aire acondicionado para evitar de esta manera las temperaturas extremas dentro de la bodega.

1.5.- Distribución de la bodega del Centro Vitivinícola Tarija

La bodega del Centro Vitivinícola Tarija cuenta con un pequeño depósito, un baño y la bodega en sí, que es donde se realiza el proceso de vinificación y se dispone de:

1.5.1.- Depósito

El depósito cumple a su vez la función de oficina para el técnico enólogo encargado, en el cual se almacenan una pequeña cantidad de algunos insumos de vital importancia:

- a) Metabisulfito de Potasio
- b) Sorbato de Potasio
- c) Ácido cítrico
- d) Bentonita
- e) Ovoalbúmina
- f) Azúcar

Los insumos provienen del laboratorio enológico, el cual se encuentra estrechamente ligado con la bodega y tiene los insumos mencionados en mayor cantidad.

1.5.2.- Baño

Es de vital importancia tener un baño en las instalaciones, el cual se encuentra a una distancia precaria del lugar donde se realiza el proceso de vinificación para evitar cualquier tipo de contaminación.

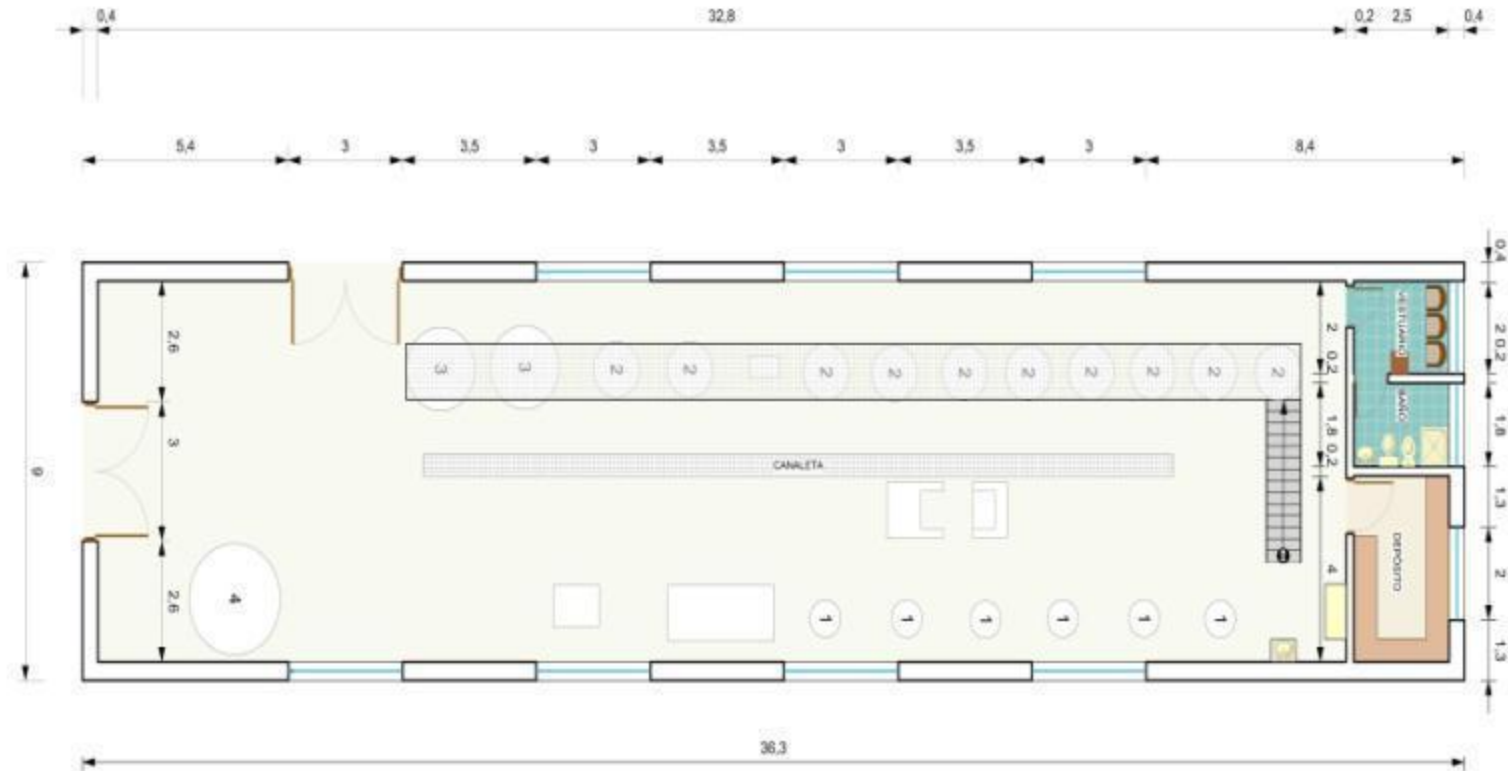
1.5.3.- Bodega

La bodega como su nombre lo indica es la sección fundamental, en ella se realizan todos los procesos para la elaboración del vino, desde que ingresa la vid, hasta su embotellado, con sus debidos controles durante las distintas etapas.

Dentro de la bodega se pueden encontrar los distintos equipos y accesorios necesarios para el proceso de vinificación:

- a) Tanques de fermentación de distintos tamaños.
- b) Tanques isotérmicos.
- c) Tanques de PVC de alta densidad
- d) Equipo de frío.
- e) Lavamanos.
- f) Bombas.
- g) Despalilladora y moledora.
- h) Prensa.
- i) Filtro de placas.
- j) Embotelladora semiautomática.
- k) Barricas
- l) Alambique

Figura 1-6.
Plano de la bodega del CEVITA



Fuente: Elaboración propia, 2013.

1.6.- Manejo de materiales

El manejo de materiales en la bodega del CEVITA se realiza vinculando el laboratorio enológico, el depósito de la bodega y la cámara de frío.

1.6.1.- Insumos enológicos

En el capítulo anterior se enunciaron los insumos enológicos más importantes dentro de la producción.

a) Metabisulfito de Potasio

El metabisulfito de Potasio es el principal inhibidor de bacterias y levaduras que no producen alcohol utilizado en el CEVITA.

Se aplica a diferentes etapas de los procesos de vinificación, dependiendo de los análisis de laboratorio tales como Anhídrido sulfuroso libre y anhídrido sulfuroso total.

La dosis puede variar, desde 60 mg/litro, hasta 300 mg/litro, dependiendo de la bodega, de la calidad de la uva y especialmente del cumplimiento de la norma NB322002.

Otras maneras de proteger el vino es utilizando SO₂gaseoso en bombonas, o quemando azufre en el tanque de fermentación.

Fuente: <http://www.arrakis.es/~mruizh/l6.htm>

b) Ácido ascórbico

Se añade al vino blanco sólo como antioxidantes. Los vinos tintos no sufren esta oxidación puesto que los compuestos fenólicos presentes en estos vinos producen una acción antioxidante natural.

La dosis recomendable es de 50 a 80 mg/l.

c) Bentonita

La bentonita es una arcilla de grano muy fino (coloidal) del tipo de montmorillonita que contiene bases y hierro, utilizada en cerámica.

La bentonita sirve para clarificar vinos tintos, rosados y blancos. Además de la clarificación, la bentonita mejora los blancos y rosados, puesto que retira proteínas que podrían enturbiarlo.

Dosis recomendadas:

- 10-50 g/hl vinos blancos como único clarificante
- 20-40 g/hl vinos tintos.

Fuente: <http://urbinavinos.blogspot.com>, 2013.

d) Albúmina de huevo

Es una proteína que posee una destacada afinidad en ligar los taninos, y ejecuta algunos otros empleos como limpiar la masa, eliminar las fracciones tánicas más astringentes presentes en el vino obtenido de prensado fuerte, o si se decide eliminar eventuales asperezas gustativas del vino, en general tinto, no suficientemente redondo.

e) Azúcar

El azúcar se puede añadir tanto al vino como al mosto, en otras partes del mundo se encuentra totalmente prohibida:

Se le puede añadir al vino dependiendo del gusto del consumidor, para de esta manera obtener la siguiente clasificación:

Vinos secos: Son aquellos vinos cuyo contenido en azúcar residual es de 4 g/l como máximo, pudiendo ser de hasta 9 g/l.

Vinos semisecos: Son aquellos vinos cuyo contenido en azúcar residual supera las cifras anteriores y es de 12 g/l como máximo

Vinos semidulces: Son aquellos vinos cuyo contenido en azúcar residual supera las cifras anteriores y alcanza los 45 g/l como máximo.

Vinos dulces: Son aquellos vinos cuyo contenido en azúcar residual es superior a 45 g/l.

f) Sorbato de Potasio

El sorbato de potasio es un conservante suave cuyo principal uso es como conservante de alimentos. También es conocido como la sal de potasio del ácido sórbico (número E 202).

Es usado para evitar re-fermentaciones en vinos que contienen azúcar, que provocan enturbiamiento, se adiciona 0,02 a 0,03% de Sorbato de Potasio, éste se espolvorea en seco en el vino y se dispersa por agitación.

Dichos insumos enológicos se almacenan en el laboratorio en cantidades relativamente importantes, y luego pasan al depósito de la bodega dependiendo de la cantidad necesaria a utilizar por el técnico enólogo.

g) CMC

La carboximetilcelulosa o CMC es un compuesto orgánico, derivado de la celulosa, compuesto por grupos carboximetil, enlazados a algunos grupos hidroxilos presente en polímeros de la glucopiranososa

Es utilizado como espesante y estabilizante, pero también como producto de relleno, fibra dietética y emulsificante. También se usa para evitar la precipitación de las sales tartáricas en los vinos blancos.

1.6.2.- Equipos y maquinaria

Se resumirán los equipos que dispone la bodega en la siguiente tabla:

Tabla I-8

Resumen de equipos de la Bodega del CEVITA

Equipo	Cantidad	Descripción
Balanza analítica	1	Se pesa la uva antes de ser estrujada, tiene un rango entre 0 y 100 kilogramos.
Despalilladora con trituradora y bomba centrífuga	1	Estruja la uva, obteniendo el mosto, por un lado y los desechos sólidos por el otro
Depósito de desechos sólidos	1	Sirve para contener los desechos sólidos para su posterior tratamiento.
Bomba de desplazamiento positivo	2	Bomba centrífuga, que transporta el mosto, y el vino de los distintos tanques, al ser móvil puede cambiar el tanque donde descargará el mosto.
Tanque de fermentación	10	Tanque donde el mosto fermenta, obteniéndose un vino inestable, su capacidad es de 1735 Litros. Sin embargo solo se llena un 70% del mismo.
Tanque de descube	6	Tanque donde llega el vino ya sin partículas sólidas, listo para su posterior tratamiento de estabilización, su capacidad es de 580Lts.
Tanques de PVC de alta densidad	2	Tanques de 3 capas de 1500 litros de capacidad, utilizados para distintos fines.

Tanque Isotérmico	2	Tanque que se utiliza para recircular el vino y dejarlo estabilizar alrededor de una semana, es de vital importancia para el estudio, su capacidad es de 2300 Litros
Equipo de frío	1	Equipo que utiliza gas freón tanto para enfriar agua en el proceso de fermentación como para la estabilización tartárica, puede llegar a grados bajo 0.
Prensa hidráulica	1	Equipo que se encarga de comprimir hidráulicamente el orujo para obtener mayor cantidad de mosto fermentable.
Filtro de placas	1	Equipo que contiene un filtro de placas en serie de celulosa para filtrar los vinos.
Tanque con serpentín	1	Tanque que tiene capacidad de 2500 Litros, todavía no tiene una función fija.
Embotelladora automática	1	Embotelladora de vino, puede llenar 3 botellas a la vez, es semiautomática.

Fuente: Elaboración propia, 2013

Todos los equipos se encuentran distribuidos en la bodega, las bombas, el equipo de frío y la embotelladora son equipos móviles que se conectan por Tubos corrugados flexible de PVC 100mm x 12.5 metros.

1.7.- Operación y control

El proceso de vinificación se realiza de la siguiente manera:

- a. Se realiza un control de maduración de los viñedos que posee la institución, así como de la vid que ingresa a la bodega de los productores, se controla temperatura del mosto, grados Brix, acidez total y pH.
- b. Una vez que se dio la orden de vendimia, la uva ingresa en cajas desde los viñedos, ya sea de la institución o traído por los pequeños productores en camiones.
- c. Se pesan las cajas de uva en la balanza analítica, primero con uva y luego sin la misma para determinar el peso real de la materia prima.
- d. Luego de ser pesada se la lleva a la despalilladora-moledora, la cual tiene un tornillo sin fin, está conectada a una bomba y por el otro lado a un depósito de desechos, la bomba transporta el mosto hasta el tanque de fermentación, en esta fase se añade Metabisulfito de Potasio, el cual inhibe a los microorganismos perjudiciales en la vinificación.
- e. El tanque de fermentación se llena aproximadamente a un 70%, debido a que el mosto al comenzar la fermentación aumenta el nivel del líquido, la fermentación dura aproximadamente de una a dos semanas, en las cuales se realiza los controles respectivos en el laboratorio enológico, como grado alcohólico, grado Baumé, Temperatura, Acidez volátil, etc.
- f. Una vez que la densidad ha llegado entre 0.985 y 0.995 g/l, o que los grados Baumé lleguen a 0°, la fermentación ha finalizado. Y se espera unos días para realizar el descube o trasiego.
- g. Se realiza el descube dejando las partículas sólidas en el tanque de fermentación para su posterior lavado, llevando el vino a los tanques de trasiego respectivos.
- h. Después de un mes se realiza el trasiego, llevando el vino libre de borras a tanques donde estarán alrededor de un mes.
- i. Se realiza los controles respectivos al vino ya filtrado y se corrigen las dosis que no cumplen la norma con los distintos insumos enológicos.
- j. Al tener el vino ya filtrado y corregido se realiza la estabilización tartárica, con el equipo de frío que tiene su propia bomba, llegando a una temperatura de 5°C, y

depositando el vino el tanque de estabilización. El enfriamiento varía, a veces se deja enfriando 12 horas, a veces un día completo.

- k. Se espera unos días, hasta que el vino se enfríe, se vuelve a filtrar con el filtro de placas y luego se procede a realizar el embotellado respectivo con la embotelladora automática.
- l. Recientemente se está empezando a utilizar CMC para evitar la precipitación de sales tartáricas, combinando los tratamientos
- m. Se procede al transporte del vino ya embotellado para su almacenaje respectivo y posterior comercialización.

1.8.- Producción de vino

La bodega del CEVITA produce vino a partir de la vid que entregan los pequeños y medianos productores mediante el convenio interinstitucional que se mencionó anteriormente y a partir de la vid que proviene de la misma institución.

En el año 2013 se tuvo la siguiente producción:

- Vino que se produjo a partir de la vid de los productores: 14900 litros
- Vino que se produjo a partir de la vid del CEVITA 13116.1 litros.

Esto da un total de 28016.1 litros de vinos producido en total por el CEVITA.

Dicha producción se puede clasificar según el tipo de vino que se elaboró, clasificándolo en vino tinto y vino blanco.

La producción de vino Tinto el año 2013 proveniente de pequeños y medianos productores que accedieron al convenio institucional fue de 12277.1 litros y la producción de vino tinto de viñedos que provienen del CEVITA fue de 7671.8 litros, dando como un total 19948.9 litros de vino tinto producido en la bodega del CEVITA.

La producción de vino Blanco el año 2013 proveniente de pequeños y medianos productores que accedieron al convenio institucional fue de 2622.9 litros y la

producción de vino tinto de viñedos que provienen del CEVITA fue de 5444.3 litros, dando como un total 8067.2 litros de vino tinto producido en la bodega del CEVITA, todo esto se detalla en el Anexo I.

Fuente: CEVITA, 2014.

1.9.- Manejo de efluentes

Toda descarga líquida que contenga cualquier forma de materia inorgánica y/u orgánica o energía, que no cumpla los límites establecidos en el presente reglamento (Ley 1333, Bolivia).

Desechos líquidos

El agua de lavado de los equipos tanto de la bodega así como pequeñas cantidades de vino que caen al cuerpo receptor son los efluentes de la bodega del CEVITA, dichos efluentes circulan por la rejilla que se observa en el plano de la bodega donde se dirigen por gravedad hasta una fosa séptica que se encuentra a unos 15 metros de la bodega, dicha fosa séptica se une con el alcantarillado del Valle de la Concepción y son dispuestos por las autoridades pertinentes.

No se realiza ningún tratamiento a dichos efluentes, más que su depósito en su fosa séptica.

CAPÍTULO II

CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

CAPÍTULO II

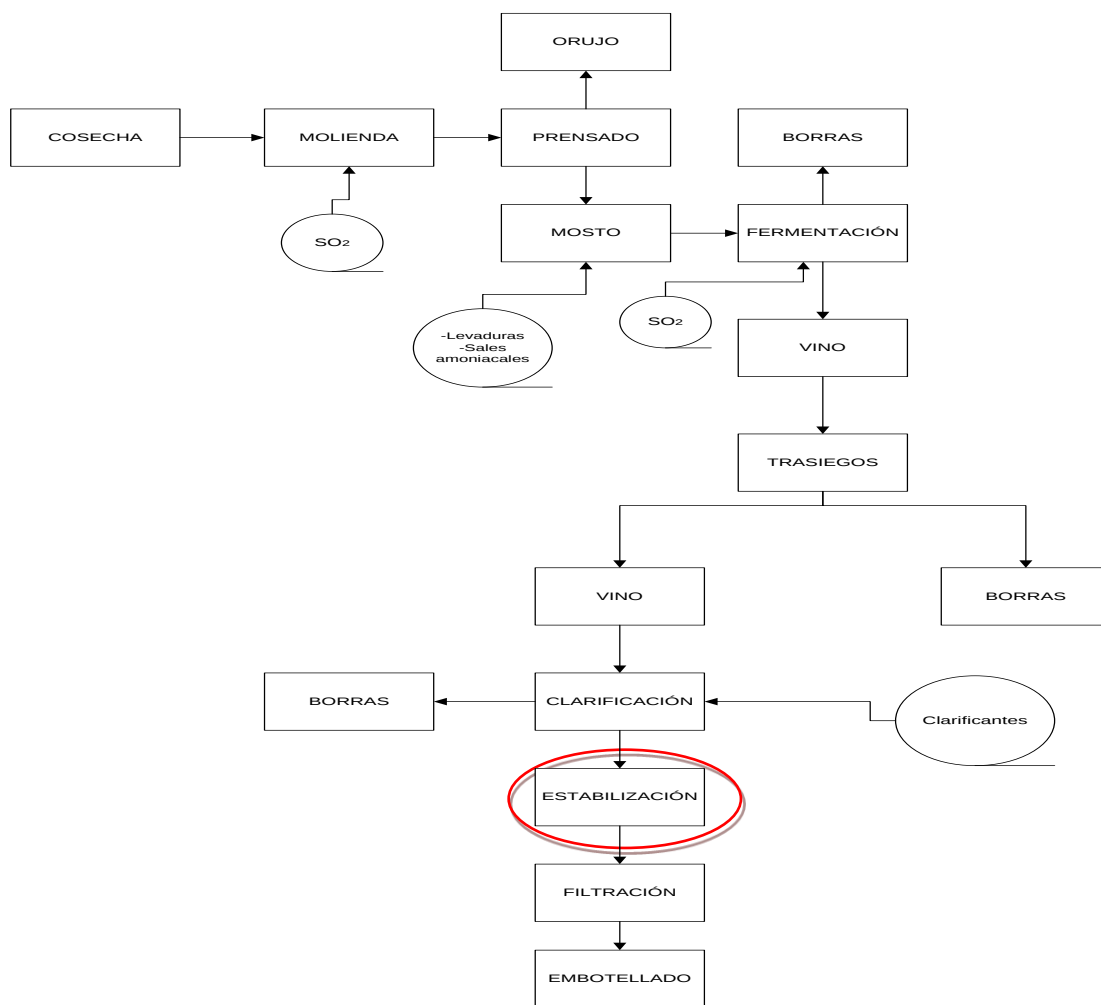
CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1.- Identificación del problema.

Para identificar el problema se procede a realizar un diagrama de bloques en el cual se observa donde se encuentra el problema:

Figura 2-1.-

Diagrama de bloques de elaboración de vino blanco en el CEVITA.



Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la figura 2.1 se observa el proceso de elaboración del vino blanco que se realiza en la bodega del CEVITA el proceso de Estabilización se encuentra en un círculo rojo esto significa que es el proceso donde se enfocará el proyecto y afectará favorablemente a la calidad del vino y evitar problemas posteriores en botella.

Dentro del proceso de estabilización se pueden identificar 4 tipos de estabilización:

- Estabilización proteica
- Estabilización tartárica
- Estabilización biológica
- Estabilización antioxidásica

En el CEVITA se realizan 3 de los 4 tratamientos de estabilización ya que la estabilización biológica no la realiza, sin embargo el tratamiento que presenta problemas en su realización es el proceso de estabilización tartárica.

Se identificaron cuatro problemas que se explicarán a continuación.

2.1.1.- Deficiente control previo al proceso de estabilización tartárica

En el capítulo anterior se menciona que la precipitación tartárica depende de varios factores, entre los más importantes se resumen el pH, Acidez total y la conductividad eléctrica. Antes de realizar el tratamiento no se realiza ninguna de las pruebas mencionadas para la detección de formación de tartratos en el vino, o no, sin embargo si se realiza el control de pH y el de Acidez total.

2.1.2.- Estabilización tartárica clásica mal realizada

En la bodega del CEVITA se realiza el tratamiento por frío del vino, llegándose a obtener resultados parciales, que no llegan a cumplir la función de brindar la estabilidad tartárica ya que se han observado precipitaciones cristalinas en los vinos ya embotellados. El uso de la máquina de frío no es óptimo y no se llegan a los grados bajo

cero requeridos para dicho tratamiento, además que no se posee un cronograma bien elaborado para realizar el control con los tiempos respectivos.

2.1.3.- Aireación del vino

El equipo de frío utilizado, el cual se pueden ver sus características el en ANEXO II, se utiliza para enfriar el agua de enfriamiento en la fermentación y también para enfriar el vino, sin embargo realiza un remontaje para realizar el enfriamiento en el proceso de estabilización tartárica y para el vino ese remontaje es muy perjudicial, ya que provoca oxigenación del mismo acelerando el proceso de acidificación del vino.

2.1.4.- Mezcla de tratamientos

El técnico enólogo de la bodega del CEVITA, al ver que el tratamiento por frío que realiza no es efectivo en la estabilización tartárica, el año 2013, añade otro tratamiento con Carboximetilcelulosa, CMC, el cual ayuda mucho a la estabilización tartárica y es complementario del tratamiento por frío, el cual brinda otras características positivas al vino, pero no se obtuvieron resultados eficaces, teniendo de esta manera dos tratamientos mal realizados.

Todos estos problemas ocasionan pérdidas en la producción de vino y en la calidad del mismo lo cual se traducen en pérdidas económicas y mala imagen de la institución.

2.2.- Descripción de alternativas técnicas de solución.

Para realizar la optimización del tratamiento de estabilización tartárica se presentará los métodos que se utilizan en bodegas de todo el mundo, para elegir las mejores alternativas, las cuales serán dos para este proyecto debido a que los tratamientos de estabilización tartárica dependen de muchos factores y uno de ellos es si el vino es Blanco, Tinto o Rosado.

Existen varios tipos de estabilización tartárica que se encargan de realizar el tratamiento, las diferencias varían desde el uso de sustancias químicas, la siembra de cristales de bitartrato y el uso de refrigerantes con paletas y agitadores.

2.2.1.-Estabilización tartárica por intercambio iónico

La estabilización del vino por intercambio iónico es practicada en muchas bodegas alrededor del mundo. El proceso es viable para producir vinos a granel, cuando es aplicado el vino puede ser estabilizado sin afectar a la calidad. Sin embargo algunos enólogos creen que si afecta a la alta calidad del vino, especialmente para los vinos con un sabor distintivo. El tratamiento iónico consiste en pasar el vino a través de una columna que contiene resina en forma catiónica o anódica. En forma catiónica la resina puede ser cargada con Sodio (Na^+) o Hidrógeno (H^+). Cuando el vino es tratado con Na^+ , se realiza el intercambio con el ión K^+ , dando como resultado el Bitartrato de Sodio, una sal más soluble que el Bitartrato de potasio, sin embargo el incremento del Sodio en el vino puede ser perjudicial para la salud de algunas personas, si se realiza el intercambio con H^+ la acidez del vino va a incrementar, modificando la calidad del mismo, (Dharmadhikari M, 1994).

2.2.2.-Estabilización tartárica con Ácido Metatartárico

El ácido metatartárico es producido calentando el Ácido tartárico. El calor causa la deshidratación, esterificación y polimerización. Cuando se añade ácido metatartárico al vino este retarda el crecimiento de los cristales e inhibe la precipitación del KHT, sin embargo el efecto de la inhibición no es permanente, esta propiedad se pierde con el tiempo debido a que el Ácido metatartárico se rehidrata volviendo a ser ácido tartárico.

2.2.3.-Estabilización tartárica con Carboximetil Celulosa

La carboximetilcelulosa o goma de celulosa es un polisacárido que se obtiene como celulosa modificada a partir de células vegetales. Los polímeros, formados por unidades de anhidro glucosa, tienen diferente solubilidad dependiendo del grado de polimerización y de sustitución, constituyendo soluciones más o menos viscosas, su solubilidad en agua es baja y es insoluble en etanol por lo que en el vino será también poco soluble dificultándose la dosificación del producto y las operaciones de limpieza. Para mejorar estos aspectos se han desarrollado productos líquidos eficaces.

Debido a su estructura molecular, la CMC, se comporta de manera similar al ácido metatartárico, como coloide protector, se une a la superficie del bitartrato potásico disuelto impidiendo el crecimiento de cristales, su ventaja es su bajo coste y que no es sensible a la temperatura, el ácido metatartárico se descompone a altas temperaturas de almacenamiento o con variaciones frecuentes de ésta perdiendo su eficiencia, la acidez natural y el potasio se conservan de igual manera.

En vinos con alta temperatura de saturación, es decir, muy inestables tartáricamente ($TS > 18^{\circ}\text{C}$) el efecto de la CMC es limitado, también lo es frente al tartrato de calcio.

Se han realizado experimentos en Alemania y Australia con muy buenos resultados en un rango de 15 a 100 ppm, su uso estaba prohibido hasta finales del año 2009, donde la OIV autorizó su uso enológico.

Se recomienda el uso de la CMC en vinos blancos y rosados. En los vinos tintos, existe el riesgo de una pérdida de materiales coloidales, se puede decir que cuantos más ricos son los vinos en Polifenoles, mayor es el riesgo de formación de turbidez

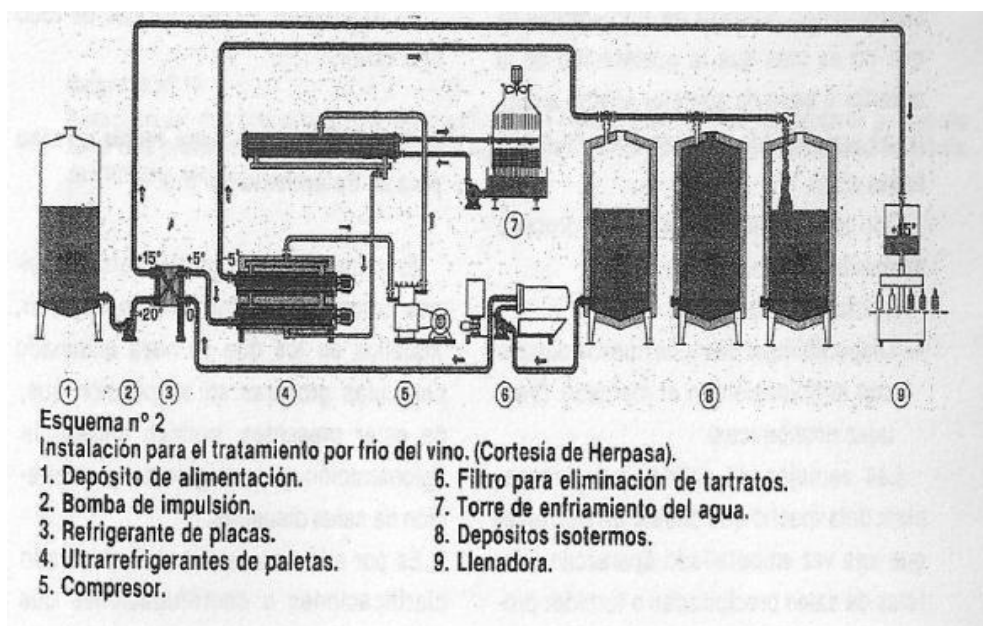
Fuente: <http://urbinavinos.blogspot.com/2011/02/carboximetilcelulosa-cmc.html>)

2.2.4.-Estabilización tartárica por contacto o de corta duración

Con esta técnica se reduce el tiempo de estabilización por frío hasta unas 4 horas, e incluso algo menos en los vinos blancos, utilizándose temperaturas de tratamiento del orden de 0°C. Para ello se utilizan depósitos isotérmicos de fondo cónico, también llamados cristalizadores, dotados de una válvula lateral para la entrada y salida del producto, y otra válvula de fondo para el vaciado de los tartratos precipitados. En estos depósitos el vino refrigerado se siembra con tartratos molidos de un tamaño inferior a 50 μm , con dosis del orden de 400 gramos/hectolitro, siendo mantenidos en suspensión mediante un agitador, y bajo una atmósfera de gas inerte para prevenir la oxidación del vino. Los vinos una vez tratados deben ser filtrados o centrifugados para eliminar los cristales que contienen en suspensión, pudiendo aprovecharse los tartratos precipitados en el fondo del cristalizador, por su elevado valor comercial, así como también para reutilizarlos en la siembra de los vinos que entran a estabilizar.

Figura 2-2

Diagrama del tratamiento de estabilización tartárica por corta duración.



Fuente: Madrid, Cenzano, 1994.

2.2.5.-Estabilización tartárica clásica o de larga duración

El método consiste en refrigerar el vino a la temperatura de tratamiento cercana a la temperatura de congelación, introduciéndolo a continuación en un depósito isotérmico o dentro de una cámara frigorífica que mantenga dicha temperatura, y dejándolo durante un tiempo variable de 7 a 12 días para los vinos blancos y de 2 semanas para los vinos tintos, en el transcurso de los cuales se produce una insolubilización espontánea de los tartratos, este dato varía de acuerdo al contenido de alcohol. Con este sistema se asegura la estabilidad tartárica a una temperatura suficiente, para poder soportar las condiciones térmicas más extremas de los vinos embotellados en el circuito comercial.

Dicho tratamiento no solo sirve para brindar una estabilidad tartárica sino que tiene otros efectos muy positivos en el vino:

- Se facilita la solubilidad de los gases disueltos.
- Se depositan proteínas y metales en estado coloidal, materias pépticas, etcétera.
- Debido que, el oxígeno y el anhídrido carbónico, presentes en el vino, son más solubles a bajas temperaturas, la oxidación y la acidificación disminuyen.
- Insolubilización parcial de materias colorantes.
- Inhibición del desarrollo microbiano.
- Mejora de las cualidades organolépticas.
- Pérdida de acidez excesiva.
- Se lanza al mercado un vino nuevo con meses de antelación y con una calidad sensiblemente mejorada, ya que evita la aparición de precipitados en la botella.
- Mejora la degustación.

Fuente: Madrid, Cenzano y Cenzano, 1994.

Para calcular la temperatura a la que se debe llevar el vino se utilizan las siguientes ecuaciones:

Hay una fórmula sencilla que da la Temperatura en función del grado alcohólico del vino.

$$T = \frac{-(\text{grado.alcohólico} - 1)}{2} \quad (2.1)$$

La fórmula citada solo es aproximada pero suficiente para una bodega.

Existe otra fórmula más precisa que además de tener en cuenta el grado alcohólico del vino, hacen referencia al extracto seco.

$$T = -(0.04P + 0.2E + K) \quad (2.2)$$

Dónde:

T= Temperatura de congelación del vino

P= peso del alcohol/litro

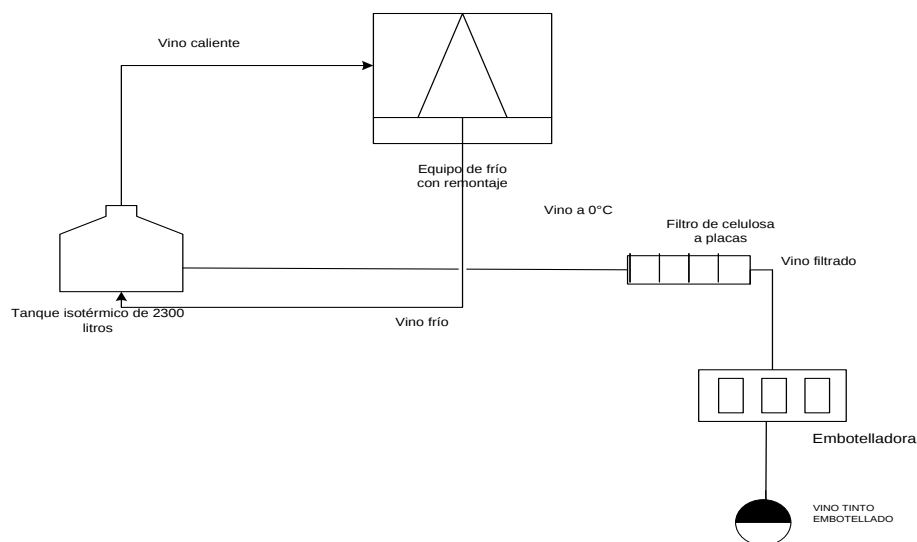
E=Extracto seco

K=Factor de corrección, variable según el grado alcohólico

K	Grado alcohólico
0.6	10
1.1	12
1.6	14

Figura 2-3

**Diagrama del tratamiento de estabilización tartárica clásica o de larga duración
realizado en la bodega del CEVITA**



Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la Figura N° 2-3 se puede observar un diagrama del sistema de estabilización tartárica clásico o de larga duración, este es el tratamiento que realiza actualmente el CEVITA el remontaje para enfriar el vino se lo realiza en el mismo tanque isotérmico hasta llegar a temperaturas de 0°C aproximadamente, luego se lo deja estabilizar 7 días y se procede a su embotellamiento.

2.2.6.-Estabilización tartárica clásica modificada

Al ver que el método de estabilización tartárica clásica es muy lento, ya que demora por lo menos una semana y ocupa tanques isotérmicos, se le añade un agitador y cristales al tanque isotérmico, reduciendo el tiempo de cristalización y sedimentación hasta 7 horas, teniendo un tiempo intermedio entre la estabilización de contacto y la estabilización clásica, reduciendo de tal manera el número de tanques isotérmicos y además reduciendo de gran manera los costos de la estabilización tartárica de contacto.

2.3.- Selección de la alternativa de solución más apropiada de acuerdo a criterios apropiados

Para realizar la selección de las alternativas de solución primero se realizará una simulación experimental de distintos métodos, se observarán los resultados de dichos análisis, un análisis organoléptico y una comprobación por método de enfriamiento.

También se realizarán análisis de las alternativas de acuerdo a si se quiere tratar un vino tinto o un vino blanco, el cual es uno de los factores más importantes, posteriormente se analizarán criterios como efectividad, costo de los equipos, costo energético, disponibilidad, tiempo de tratamiento, aditivos a utilizar, espacio a ocupar, efectos secundarios sobre el vino y capacitación necesaria para el personal que trabaja en la bodega.

Tomando en cuenta los dos factores se seleccionará el método más apropiado para realizar la estabilización tartárica en la bodega del CEVITA.

2.3.2.- Análisis de alternativas

2.3.2.1.- Alternativas de implementación

Tipo de vino: Es importante elegir el método de estabilización tartárica de acuerdo al tipo de vino en primera instancia, ya que los coloides que se forman al agregar determinados insumos enológicos como CMC no ayudan de manera significativa cuando el vino es un vino tinto o rosado, debido a los antocianos que contienen los determinados tipos de vino, sin embargo para un vino blanco la estabilización tartárica se realiza de manera muy eficaz.

Efectividad: Existen métodos que son más efectivos que otros, algunos métodos pueden estabilizar el vino de manera eficaz solo por determinado tiempo y otros métodos no brindan la seguridad de un tratamiento de estabilización tartárica eficiente.

Costo de los equipos: El costo de los equipos es un factor muy importante, dentro del mismo influye que el CEVITA ya tenga algunos equipos como el equipo de frío, tres tanques isotérmicos, tanques para refrigerante, o que el método de Carboximetilcelulosa no necesite de equipos adicionales a los filtros celulosa a placas, aunque los colmaten.

Costo energético: El costo energético es otro factor fundamental, debido a que existen métodos que consumen gran cantidad de energía eléctrica, así como otros que reducen el uso de energía eléctrica.

Disponibilidad: Es muy importante analizar la disponibilidad, si en el medio se pueden conseguir los insumos o el material necesario para que el tratamiento de estabilización tartárica utilizado pueda realizarse sin temor a que pueda faltar o no los insumos necesarios.

Tiempo de tratamiento: En la bodega del CEVITA no se tiene un cronograma elaborado, por lo tanto no se cumplen tiempos reales, pero con la optimización del sistema de tratamiento si se debe de elaborar el tiempo de estabilización y tratar de que sea el tiempo suficiente.

Aditivos a utilizar: Se debe tener en cuenta que algunos aditivos eran prohibidos para la salud y con el tiempo se permitieron utilizar en la industria alimenticia, pero con la condición de ser utilizados en pequeñas dosis, sin embargo hay que tener en cuenta que el consumidor prefiere vinos que tengan menos aditivos.

Espacio a ocupar: La bodega del CEVITA es una bodega tipo planta piloto, por lo cual no cuenta con mucho espacio, es muy importante que el espacio a ocupar sea el menor posible para el tratamiento de estabilización tartárica.

Efectos secundarios sobre el vino: Algunos métodos modifican en determinados aspectos las características del vino, el cual es un punto muy importante a analizar.

Capacitación necesaria para el personal que trabaja en la bodega: Se debe elegir un tipo de tratamiento que pueda ser utilizado no solo por los Ingenieros especialistas y el técnico enólogo, sino que pueda ser utilizado y controlado por los trabajadores de la bodega, por lo tanto que no sea muy complicado en su uso.

Tabla II-1

Tabla de decisiones “cuantitativas” aplicada a la selección del método de estabilización tartárica para vino blanco.

	Criterios								
	Efectividad	Costo energético	Costo total	Disponibilidad	Aditivos	Efectos sobre el vino	Tiempo	Espacio a ocupar	Puntuación total
Clasificación de prioridades	10	8	8	7	5	10	5	7	600
Tipos de estabilización									
Intercambio Iónico	8	9	8	3	5	6	8	8	418
Ácido metatartárico	5	10	8	6	2	3	3	10	361
Carboximetil celulosa	9	10	10	8	1	7	8	10	491
Contacto	10	2	3	4	8	8	10	4	366
Clásico	9	7	7	8	9	9	4	8	469

Clásico modificado	10	6	5	9	9	10	9	8	497
---------------------------	----	---	---	---	---	----	---	---	-----

Fuente: Elaboración propia, 2014.

El procedimiento es el siguiente:

Se procede a evaluar cada tratamiento del 1 al 10 y se multiplica por la ponderación que se encuentra en la fila de “Clasificación de prioridades”. Posteriormente se suman los puntos, donde la mayor nota es 600, el que consiga mayor puntos es el o los que se elegirán, por ejemplo para el intercambio iónico:

$$\text{Puntuación} = (8 \times 10) + (9 \times 8) + (8 \times 8) + (3 \times 7) + (5 \times 5) + (6 \times 10) + (8 \times 5) + (8 \times 7) = 418$$

Tabla II-2

Tabla de decisiones “cuantitativas” aplicada a la selección del método de estabilización tartárica para vino tinto

	Criterios								
	Efectividad	Costo energético	Costo total	Disponibilidad	Aditivos	Efectos sobre el vino	Tiempo	Espacio a ocupar	Puntuación total
Clasificación de prioridades	10	8	8	7	5	10	5	7	600
Tipos de estabilización									
Intercambio Iónico	8	9	8	3	5	6	8	8	418

Ácido metatartárico	5	10	8	6	2	3	3	10	361
Carboximetil celulosa	8	10	10	8	1	6	8	10	471
Contacto	10	2	3	4	8	8	10	4	366
Clásico	9	7	7	8	9	9	3	8	464
Clásico modificado	10	6	5	9	9	9	9	8	487

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Como se pueden observar en las tablas II-1 y II-2, el método elegido es el método de estabilización tartárica clásica modificada, ya que tiene las ventajas del método de estabilización tartárica clásica junto con la eficacia y rapidez del método de estabilización corta, reduciendo los costos de la misma.

2.3.2.2.- Simulación experimental

El análisis de alternativas de implementación es teórico y se basa en distintas fuentes bibliográficas, así como páginas y foros de enólogos de internet, para ello se complementa la selección de alternativas con una simulación experimental.

Para la simulación experimental se tomó vino blanco, al cual se le realizaron 4 tratamientos distintos, para posteriormente realizar una cata de vino por los tribunales y una prueba posterior de estabilidad a -4 °C, las simulaciones que se realizaron son las siguientes:

a) Vino sin tratamiento

Se trata del blanco de simulación, el cual es un corte de vino de la bodega del CEVITA, con el vino elaborado por el autor del proyecto, la variedad es uva Moscatel de Alejandría y no se realizó ningún tratamiento, durante la elaboración se agregó exceso de Metabisulfito de Potasio, lo cual le dio un aroma poco agradable, pero no influyó en el análisis organoléptico principal.

b) Tratamiento de estabilización que realiza actualmente el CEVITA.

Se tomó una muestra de vino blanco del CEVITA, la cual se enfrió en contacto indirecto utilizando alcohol con agua en el intercambiador de calor a placas del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), realizando el remontaje del mismo durante dos horas, llegando a temperaturas de 4°C y posteriormente completando el enfriamiento a -4°C en un freezer durante 9 días, se filtró con papel filtro y embotelló.

Se utilizó agua con etanol, la selección del refrigerante se puede ver en el ANEXO III.

Figura 2-4

Enfriamiento de vino en el intercambiador de calor de placas del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU)



Fuente: Elaboración propia, 2014.

c) Tratamiento de estabilización con CMC.

Para realizar la simulación se diluyó 40 mg/L de CMC en agua destilada, y posteriormente se añadió al vino blanco ya filtrado, luego se embotelló.

Para las pruebas no oficiales, se utilizó 10, 20, 30 y 40 mg/L, como todavía se formaba precipitado, se utilizó el valor más alto para la simulación oficial, 40 mg/L

Figura 2-5

CMC diluida lista para añadir al vino a estabilizar



Fuente: Elaboración propia, 2014.

d) Tratamiento de estabilización clásica modificada

Para simular el tratamiento de estabilización clásica modificada, se enfrió el vino en botellas de 750 ml y 900 ml, con un baño de frío utilizando como refrigerante agua con etanol, usando agitadores magnéticos y añadiendo 1.6 g/litro de bitartrato de potasio en forma de cristales, recomendado por la bibliografía (Madrid, Cenzano; 1994) durante 6 horas, enfriando constantemente el refrigerante con un equipo de frío del Laboratorio de Operaciones Unitarias a una temperatura de -15°C .

Figura 2-6
Enfriamiento de vino con baño de refrigerante y agitación magnética



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 2-7
Equipo utilizado para enfriar el refrigerante utilizado en la simulación experimental



Fuente: Elaboración propia, 2014.

e) Tratamiento de estabilización clásica

Se enfrió el vino con el intercambiador de calor de la figura 2-4, pero sin remontaje, llegando a la temperatura de -4°C , teniendo el vino en una conservadora para después simular el uso de un tanque isotérmico, poniéndolo en el freezer a -5°C , luego se filtró y se embotelló para su posterior análisis sensorial y prueba en frío.

Figura 2-8

Precipitación tartárica observada en vino embotellado puesto en el freezer por 8 días



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Luego de realizar la simulación experimental se distribuyeron las muestras a los tribunales y personal de la bodega Aranjuez, para su análisis organoléptico, donde se tomaron en cuenta aspectos como limpidez, turbidez, franqueza al olfato, intensidad al olfato, franqueza al gusto, intensidad al gusto, persistencia.

Se evaluaron las distintas fichas de análisis organoléptico con una escala del 1 al 7 donde 1 es lo mejor y 7 lo peor, las cuales se pueden ver en el ANEXO IV, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla II-3

Resultados del análisis organoléptico de la simulación experimental

Análisis	Blanco	Clásica usada en el CEVITA	CMC	Clásica modificada	Clásica
Vista	2.50	3.38	3.75	2.50	3.50
	3.00	3.88	3.63	2.38	3.25
Olfato	2.13	3.00	2.50	2.75	2.88
	2.75	3.25	3.25	3.00	3.00
	2.75	3.13	2.29	2.43	2.43
Gusto	2.57	2.71	2.71	2.71	2.29
	2.75	3.38	2.75	2.25	2.88
	3.38	3.38	2.75	2.88	2.75
	2.50	3.75	2.75	2.88	3.00
Promedio	2.70	3.32	2.93	2.64	2.88

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Según el análisis organoléptico el vino que tiene mejor calificación es el que se realizó estabilización tartárica clásica modificada, utilizando agitador y siembra de cristales, después la muestra en blanco tuvo la segunda mejor nota, seguido por el método clásico con intercambiador de calor, en penúltima posición se encuentra la simulación con CMC, y finalmente el método que ya se usa tuvo la peor calificación, cabe destacar que la muestra 2, método que se usa en el CEVITA, se formó precipitados tartáricos en la botella.

2.3.2.3.- Análisis fisicoquímicos posteriores

Posteriormente se realizaron los análisis rutinarios en el laboratorio del CEVITA, los cuales son:

- Acidez Volátil
- Acidez Total
- Anhídrido sulfuroso libre
- Anhídrido sulfuroso total
- Grado alcohólico
- pH

De acuerdo a la Tabla N° 1-6, teniendo como resultado la siguiente tabla:

Tabla II-4

Resultados de los análisis rutinarios realizados en la bodega del CEVITA

Análisis	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
A volátil (g/l)	0,45	0,85	0,47	0,50	0,47
A total (g/l)	5,6	5,4	5,6	5,1	5,2
SO ₂ Libre (mg/l)	70	52	65,6	62,2	65
SO ₂ Total (mg/l)	304,5	274,2	295,4	289,2	290,1
Grado alcohólico	12,9	12,7	12,8	12,8	12,8
pH	3,2	3,3	3,2	3,4	3,4

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Como se puede observar no hay una gran variación en las distintas muestras excepto en el Anhídrido sulfuroso libre y acidez volátil de la muestra 2, lo cual muestra que el vino

se maltrata con el remontaje y concuerda con el análisis organoléptico del punto anterior.

Cabe recalcar que la muestra en blanco ya contenía una gran cantidad de Anhídrido sulfuroso libre y anhídrido sulfuroso total, por exceso de anhídrido sulfuroso en el proceso de vinificación.

A excepción del análisis de anhídrido sulfuroso libre y anhídrido sulfuroso total, todos se encuentran dentro de los parámetros de calidad requeridos.

2.3.2.4.- Ensayos de puesta en frío

Posteriormente las distintas muestras se dejaron en freezer por 7 días para ver si aparecían cristales de bitartrato de potasio.

Y los resultados fueron:

Tabla II-5

Resultados de puesta en frío de muestras

Muestra	Aparición de cristales
En blanco	Si
Clásico usado en el CEVITA	Si
CMC	Si/No*
Clásica modificada	No
Clásica	No

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede observar que la muestra en blanco al no sufrir ningún tratamiento, si aparecerán cristales, el tratamiento actual realizado en el CEVITA tampoco funciona

el tratamiento de estabilización clásica y el clásica modificada funcionan, pero la CMC funciona en algunos vinos como en el corte que se realizó para la prueba.

En pruebas no oficiales con vino del CEVITA se presentaron cristales en botella a pesar de utilizar CMC.

Los cuatro aspectos importantes que se vieron anteriormente se pueden resumir en la siguiente tabla, donde se califica del 1 al 7, tomando el valor de 1 como óptimo y 7 como malo:

Tabla II-6

Resultados de puesta en frío de muestras

	Blanco	Clásica usada en CEVITA	CMC	Clásica modificada	Clásico
Alternativas de implementación	4	1	1	2	3
Análisis organoléptico	3	7	3	1	4
Análisis de laboratorio	1	4	3	3	4
Prueba de frío	6	7	3	1	2
Resultados	14	28	10	7	13

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se sumaron los valores de cada columna y el que tenga un valor menor es el método elegido.

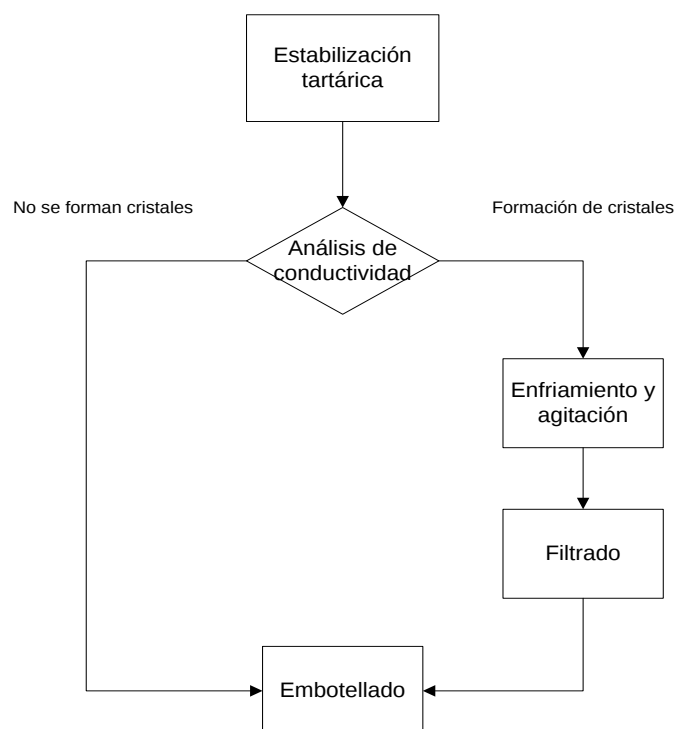
Por lo tanto se elige realizar la estabilización tartárica clásica modificada.

2.3.3.- Alternativa propuesta para el nuevo sistema de estabilización tartárica

Para realizar la estabilización tartárica en el CEVITA se propone el siguiente diagrama de flujo:

Figura 2-9

Alternativa propuesta para el sistema de estabilización tartárica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Como se puede observar la propuesta es realizar el análisis de conductividad previo, mediante los métodos que se mostraron anteriormente en el laboratorio, luego de determinar si existe la posibilidad de formación de Bitartratos, realizar el tratamiento de estabilización clásico aprovechando las ventajas que le brinda al vino que se observaron en la simulación experimental.

2.3.4.- Selección del método de estabilización tartárica clásica modificada

Como se seleccionó el sistema de estabilización tartárica clásica modificada, el cual consiste en enfriar el vino a temperaturas entre -4°C y -6°C , durante una hora con agitación lenta y siembra de cristales de Bitartrato de potasio, para luego dejar que los mismos sedimenten por 6 horas con agitación al mínimo, para luego filtrarlo y embotellarlo, existen distintas alternativas para realizar este proceso de enfriamiento utilizando el equipo de frío que posee la bodega del CEVITA, el análisis se realizó en el ANEXO VI, donde se concluye que es mejor utilizar un tanque que tiene un serpentín interno por el cual circula refrigerante y dicho tanque cuenta con un agitador lento, donde el proceso dura 7 horas.

La selección del proceso se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla II-7

Comparación entre métodos de estabilización tartárica clásica modificada

	Criterios							
	Efectividad	Costo	Disponibilidad	Instalación	Mantenimiento	Espacio a ocupar	Oxigenación	Puntuación total
Clasificación de prioridades	10	10	10	7	5	8	10	600
Tipos estabilización clásica modificada								
Intercambiador de calor a placas	10	2	4	3	8	4	7	323
Chaquetas	9	5	6	6	6	6	8	400
Serpentín	9	9	10	8	7	8	8	515

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Para tener un criterio de costos se diseñó un intercambiador de calor a placas y un serpentín, y se cotizaron dichos equipos, el tanque con chaquetas se cotizó en internet. Estas cotizaciones finales se pueden ver en el ANEXO VI.

Por lo tanto se procederá a diseñar un tanque aislado con serpentín y agitador para realizar el proceso de estabilización tartárica en la bodega del CEVITA.

2.4.- Definición de condiciones y capacidad.

Se tendrán 1200 litros de vino a estabilizar por lote que tendrán un contacto indirecto con 1500 litros de refrigerante secundario el cual es etanol con agua que se enfrió previamente en el equipo de frío.

Luego el vino se depositará en un tanque cónico isotérmico de 1200 litros, para que se enfríe y estabilice mínimo 7 horas.

Las bombas deben proveer un caudal necesario de tal manera que el tratamiento sea rápido, en el proceso de enfriamiento y estabilización el transporte debe ser de tal manera que no oxigene el vino y el agitador debe agitar y mezclar el vino con las menores RPM posibles.

La temperatura que se debe llegar se encuentra en función del grado alcohólico del vino formando de esta manera la mayor cantidad de Bitartrato de potasio.

Si se toma como producción anual del CEVITA 28000 litros, estabilizándose 1200 litros por lote, se calcula que se estabilizarán alrededor de 23 lotes.

Para realizar un lote se debe enfriar con el equipo de frío el refrigerante secundario que se eligió en el ANEXO III una noche antes, luego en la mañana siguiente utilizar dicho refrigerante para enfriar el vino con agitación y siembra de cristales durante una hora, para después dejar que sedimenten los cristales por seis horas, lo que implica que se tardará un día completo para realizar la estabilización tartárica de un lote.

Para ello la estabilización tartárica debe realizarse día por medio, de esta manera no se demorará mucho y el equipo tendrá el descanso necesario.

Es por esto que se calcula que se realizarán 3 lotes de estabilización tartárica por semana, por lo tanto se estima que toda la producción de vino de la bodega del CEVITA se estabilizará tartáricamente en ocho semanas.

Teniéndose el siguiente cronograma:

Figura 2-10.

Cronograma propuesto para realizar la estabilización tartárica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Cabe destacar que esas son las fechas en las que se realiza actualmente la estabilización tartárica clásica en el CEVITA, ya que aprovecha el frío del invierno y logra que el vino joven tenga la calidad de vino del año, sin embargo según los informes del personal de bodega, dicho tratamiento tarda un mes.

Lo que salta a simple vista es que si el proceso de estabilización tartárica por lote demora 7 días y en el CEVITA se la realiza en un mes y medio, se estaría realizando un lote por semana, entonces ese lote tendría que ser de 4666 litros y el CEVITA no dispone de tanques para dicha capacidad y tampoco se encuentra realizando cortes de

distintos tipos de vino. Por lo tanto no está realizando el tratamiento de estabilización tartárica a todo el vino que se produce.

2.5.- Selección del o de los equipos necesarios.

Para poder realizar el tratamiento de estabilización tartárica propuesto se necesitan determinados equipos, los cuales son:

- Tanques de descube: El CEVITA ya tiene sus propios tanques de descube, por los cual se procederá a la selección de los mismos.
- Tanques de polietileno tricapa para contener el refrigerante: El CEVITA posee ambos tanques por lo cual se procederá a su utilización.
- Tanques isotérmicos: El CEVITA tiene sus propios tanques isotérmicos, pero los cuales son de una capacidad mucho mayor al lote que se estabilizará, por lo cual se procederá a la selección y cotización del mismo.
- Bombas centrífugas: El CEVITA no posee bombas centrífugas, posee bombas solo tipo pistón, por lo cual se procederá a la cotización y selección de 2 bombas.
- Tubo corrugado flexible de PVC 100mm x 12.5 metros: Se requiere este tipo de material en lugar de cañerías de acero inoxidable, que transportarán el vino de los tanques al intercambiador de calor.
- Termómetros: Se necesita por lo menos uno para poder tener datos certeros de las temperaturas a las cuales se realizará el tratamiento de estabilización tartárica.
- Filtro de celulosa a placas: Después del tratamiento de frío se realiza una filtración con el filtro que ya posee el CEVITA.

2.5.1.- Selección del tipo de serpentín

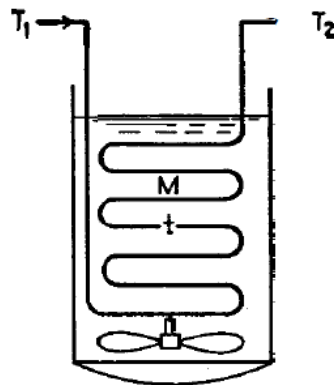
Los serpentines son los equipos más sencillos que permiten transferir energía en forma de calor de un fluido a otro sin ponerlos en contacto directo, la transferencia se produce a través de una pared de tubería sólida que los separa.

Un fluido transfiere calor por convección a una pared sólida de la tubería interna, el calor atraviesa esta por conducción y por último el otro fluido recibe la transferencia por convección.

El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más baratos de obtener superficie para transferencia de calor. Generalmente, se construyen doblando longitudes variables de tubería de cobre, acero o aleaciones, para darle forma de hélices, o serpentines helicoidales dobles en los que la entrada y salida están convenientemente localizadas lado a lado. (Kern, 1999.)

Figura 2-11.

Serpentín con agitador



Calentamiento y enfriamiento de lotes agitados, contracorriente

Fuente: Kern, Q.D, 1998.

Serpentín Helicoidal vertical

Los serpentines helicoidales verticales se instalan frecuentemente en recipientes cilíndricos verticales, ya sea top agitador o sin él, y siempre se provee de espacio entre el serpentín y la pared del recipiente para circulación. Cuando estos serpentines se usan con agitación mecánica, el eje vertical del agitador corresponde usualmente al eje vertical del cilindro.

Serpentín Helicoidal sinusoidal tipo chaqueta

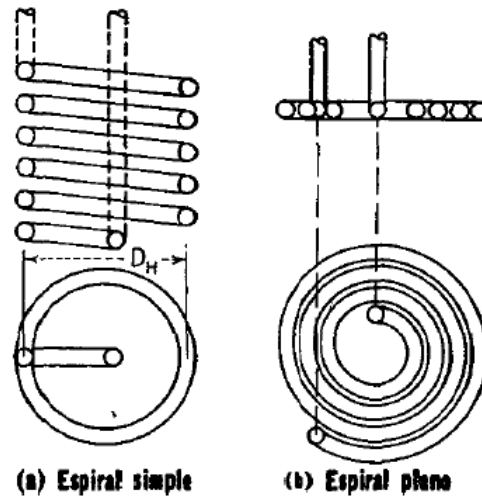
Es una variación de los serpentines helicoidales verticales, ya que se encuentran en el interior de recipientes cilíndricos verticales, pero se ajustan alrededor del mismo, como si fuera una chaqueta, teniendo forma sinusoidal, para que pueda haber mejor contacto con el fluido y pueda tener mayor área de transferencia de calor.

Serpentín espiral plano

Es un espiral enrollado en un plano de manera que se puede localizar cerca del fondo de un recipiente para transferir calor por convección libre. Se utilizan cuando no se requiere de una gran transferencia de energía o cuando las diferencias de temperaturas son muy grandes entre el fluido a enfriar o calentar y el fluido de servicio.

Figura 2-12.

Tipos de serpentín



Fuente: Kern, Q.D, 1998.

Se seleccionará el serpentín de acuerdo a las siguientes características.

a) Variables fundamentales de diseño.- Se debe seleccionar el tipo de intercambiador de serpentín que ocupe menos espacio dentro del tanque, para ello debe tener mayor superficie de contacto y que deje el espacio suficiente para el agitador.

b) Deformaciones debidas a Temperatura y variaciones.- Cuando los componentes metálicos de un serpentine enfrían, sufren una contracción térmica que debe prevenirse para evitar las tensiones o reducirlas a un mínimo para evitar deformaciones.

c) Disponibilidad.- Es la variable más importante, debido a que tiene que ser un serpentín que se pueda conseguir en la región y que pueda ser reparado en caso de que ocurra algún desperfecto en un futuro.

d) Costo.- El costo es una variable importante, ya que la mano de obra en la construcción es muy cara en Tarija, porque no hay muchas empresas que se dediquen a la construcción de los mismos.

No fue necesario hacer un análisis tan detallado, debido a que en los dos talleres que fabrican dichos serpentines en la región, “ACERINOX” y “SITEC”, no tienen la tecnología para construir un serpentín helicoidal vertical, y cotizando en el extranjero el precio se eleva hasta 5 veces más.

La opción más viable para fabricar en la región a bajo costo es el serpentín Helicoidal sinusoidal tipo chaqueta

2.5.2.- Selección del tipo de agitador

El agitador es muy importante en el proceso de enfriamiento y estabilización tartárica clásica modificada, debido a que cumple dos funciones específicas.

La primera es establecer un movimiento uniforme que facilite la transferencia de energía, de esta manera la transferencia de energía no se concentrará solo en las superficies cercanas al serpentín, haciendo que se congelen estas superficies, sino que se establecerá en todo el fluido contenido en el depósito.

La segunda es mantener en suspensión los cristales sembrados, de esta manera los cristales comenzarán a generar núcleos cristalinos en el vino que comenzarán a incrementar su tamaño, así se acelera el proceso de cristalización.

Cabe señalar que no se tiene una cinética de cristalización, la cual sería un tema de experimentación para una futura investigación.

Agitadores con hélice

Una hélice es un rodete con flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna, altamente turbulenta, de

remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse el líquido estancado, probablemente en mayor proporción que lo haría una columna equivalente procedente de una boquilla estacionaria. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido.

Agitadores con palas

Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical excepto por las placas inclinadas. Las corrientes que generan se desplazan hacia fuera hasta la pared del tanque y después hacia arriba o hacia abajo

En algunos diseños las placas se adaptan a la forma de las paredes del tanque, de forma que rascan la superficie y pasan sobre ella con una muy pequeña holgura. Una pala de este tipo recibe el nombre de agitador de ánora. Las áncoras resultan útiles para prevenir que se depositen sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, tal como un tanque encamisado, pero en cambio son malos mezcladores. Casi siempre operan conjuntamente con un agitador de alta velocidad que generalmente gira en sentido contrario.

Los agitadores industriales de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm. La longitud total de un rodete de palas está típicamente comprendido entre el 50 y el 80 por 100 del diámetro interior del tanque. La anchura de la pala es de un sexto a un décimo de su longitud.

Agitadores de turbina

Son como agitadores con numerosas palas cortas, que giran a altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el tanque. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que el de las palas, variando entre el 30 y el 50 por 100 del diámetro del tanque. (McCabe, Smith; 1998)

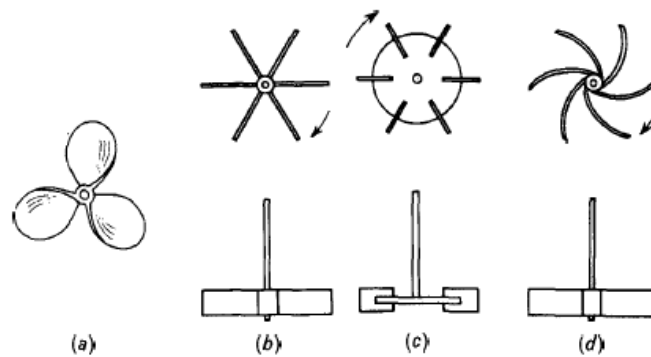
Figura 2-13.**Tipos de agitadores**

Figura 9.2. Rodetes de mezcla: (a) hélice marina de tres palas; (b) turbina abierta de palas rectas; (c) turbina de disco con palas; (d) turbina abierta de palas curvas.

Fuente: McCabe, Smith; 1998.

No hace falta realizar un análisis exhaustivo del tipo de agitador, ya que el agitador con palas a baja velocidad es el que se busca para realizar las dos funciones, además que gira a bajas velocidades, por lo cual tiene una gran ventaja, ya que no maltrata el vino, ni lo oxigena de gran manera.

Para evitar que se formen remolinos se aconseja que se instale el agitador de manera lateral.

2.5.3.- Selección del tipo de tanque

Al ser una operación unitaria de tipo cristalización se elige un tanque de fondo cónico, el cual tiene una válvula de tipo bola en el fondo, por la cual se drenarán los cristales de bitartratos junto con el sedimento del vino en caso de no haber tenido una clarificación adecuada, para su posterior separación.

Tendrá una válvula bola para toma muestra y una válvula bola de salida para conectar con la bomba.

Por otro lado tendrá la entrada y salida del serpentín por el cual circulará el líquido refrigerante.

Además que tendrá una aislación de 8 cm de lana de vidrio, la cual se prefirió entre poliuretano y poliestireno, debido al coste y durabilidad.

Figura 2-14.

Tanque fondo cónico



Fuente: dyequipment.com.ar, 2014.

CAPÍTULO III

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

CAPÍTULO III

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

3.- Especificación y diseño del equipo

En este capítulo se realizarán tanto el diseño, como las especificaciones del equipo que se eligió el cual es un tanque aislado con serpentín lateral sinusoidal y su agitador de tipo palas, junto con los equipos auxiliares necesarios y también los cálculos respectivos para que el procedimiento sugerido funcione correctamente.

3.1.- Diagrama de flujo incluyendo la alternativa de solución.

Al ser un proceso Batch, se realizará de la siguiente manera:

- Primero se procederá al enfriamiento del refrigerante secundario que se eligió en el ANEXO III utilizando el equipo de frío con remontaje hasta llegar a una temperatura de -12°C .
- Se depositará el vino a estabilizar en el tanque aislado de 1200 litros con serpentín y agitador.
- Se pondrán en contacto indirecto el vino a estabilizar y el refrigerante secundario utilizando el serpentín y realizando el intercambio de calor con agitación a velocidades lentas lo que provocará el descenso rápido de temperatura del vino a estabilizar, y se mantendrá en el tanque isotérmico.
- Se añadirán cristales de Bitartrato de potasio según Madrid, Cenzano; 1,6 gramos por litro de vino, se calculó una agitación de 50 RPM.
- Después de pasado una hora se reducirá la velocidad del agitador al mínimo posible usando el reductor de velocidad.

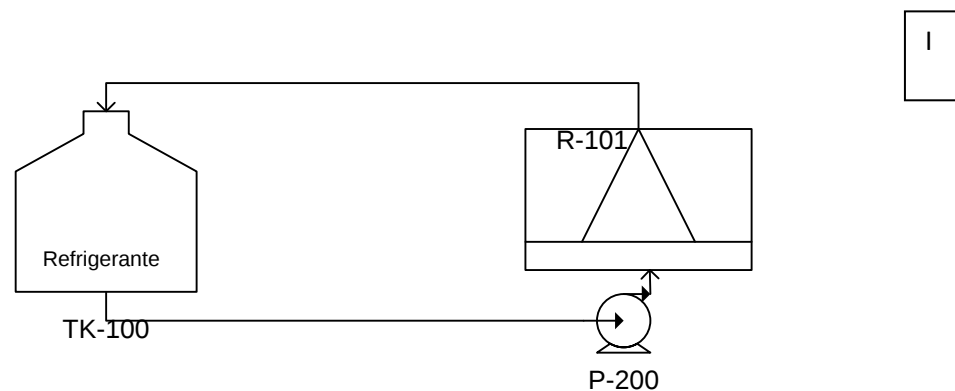
- Una vez que hayan sedimentado los cristales, mediante la bomba se transporta el vino a través de filtro de celulosa a placas y finalmente a un tanque donde llegará a temperatura ambiente, para su posterior embotellado.

A continuación se puede ver el diagrama de flujo de lo descrito anteriormente:

Primera parte: Enfriamiento del refrigerante mediante remontaje:

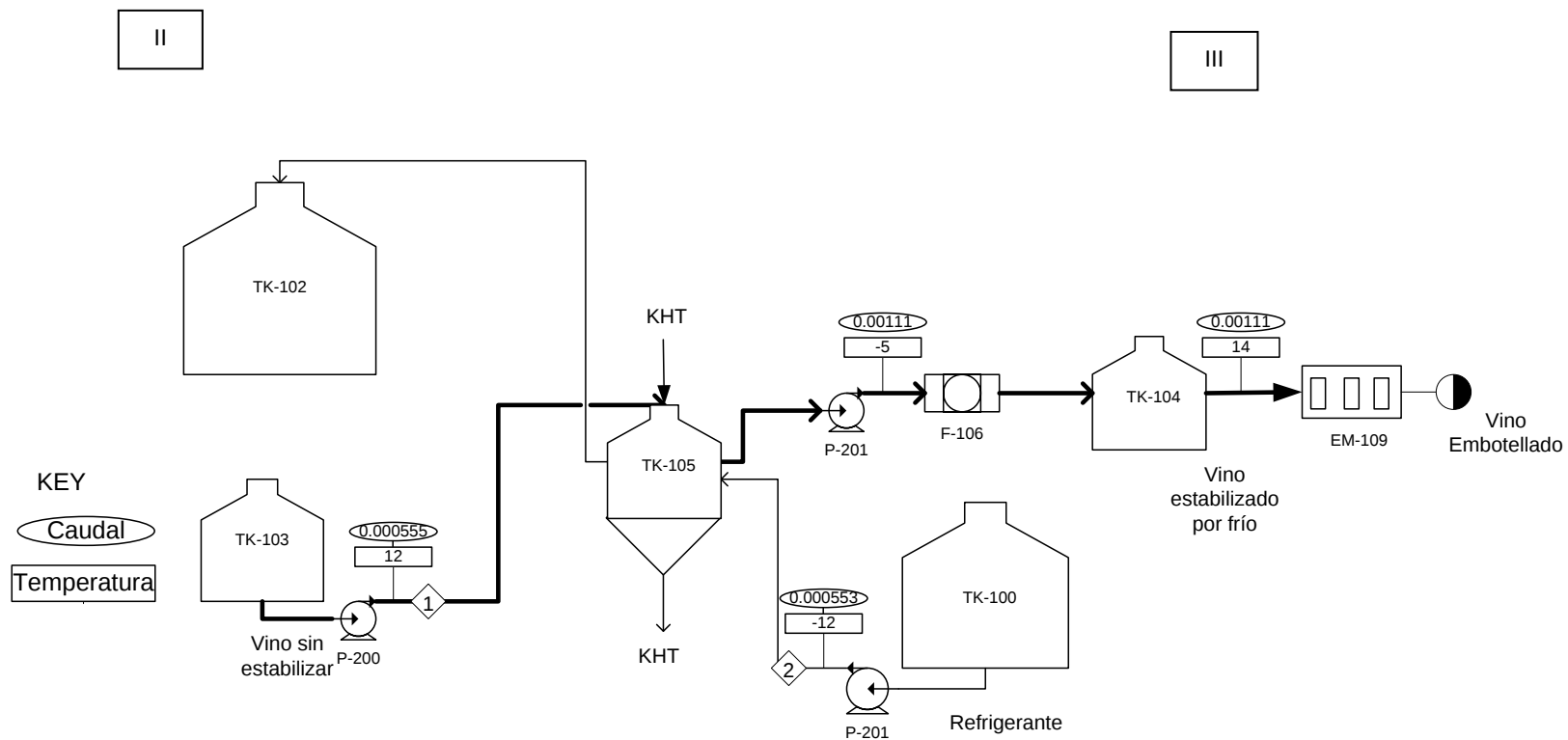
Se enfría el refrigerante, hasta una temperatura de $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando el equipo de frío y realizando remontaje, lo cual es recircular el refrigerante mediante la bomba por el equipo de frío una y otra vez hasta que se llegue a la temperatura deseada

Figura 3.1
Diagrama PFD del enfriamiento de refrigerante



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 3.2
Diagrama PFD del tratamiento de estabilización tartárica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Al ser un proceso discontinuo se puede dividir el proceso en 3 partes, la primera es el enfriamiento del refrigerante.

a) Primera parte: Enfriamiento del refrigerante secundario, que se explicó anteriormente.

b) Segunda parte: Estabilización tartárica clásica modificada.

En esta etapa se realiza el enfriamiento del vino a estabilizar de 12°C , temperatura media de bodega, hasta -5°C con el refrigerante que se enfrió previamente que se encuentra a -12°C , hasta llegar a la temperatura de formación de cristales, todo esto dentro del tanque aislado isotérmicamente con agitación, utilizando el serpentín como intercambiador de calor.

c) Tercera parte: Filtrado, estabilización de temperatura y embotellado

Se procede el filtrado del vino mediante un filtro de celulosa a placas y se deposita el mismo en un tanque de descube, donde se espera hasta que el vino llegue a temperatura ambiente para su posterior embotellado.

3.1.1.- Detalle de los equipos necesarios

Tabla III-1

Equipos involucrados en el nuevo sistema de tratamiento

Lista de equipamiento			
Texto mostrado	Descripción	Capacidad (Litros)	Material
EM-109	Embotelladora semiautomática	3 botellas	Acero inox. 304
F-106	Filtro de placas	0.001111 m ³ /s	Celulosa
P-200	Bomba centrífuga	0.001111 m ³ /s	Acero inox. 304
P-201	Bomba centrífuga	0.000553 m ³ /s	Acero inox. 304
TK-100	Tanque con refrigerante	1.5m ³	Polietileno
R-101	Equipo de frío	-	Acero inox. 316
TK-102	Tanque con refrigerante	1.5 m ³	Polietileno
TK-103	Tanque de descube	1.2m ³	Acero inox. 304
TK-104	Tanque de descube	1.2m ³	Acero inox. 316
TK-105	Tanque cristalizador con serpentín, aislamiento y agitador	1.2 m ³	Acero inox. 304

Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la tabla N° III.1 se pueden observar los equipos que son necesarios para realizar el tratamiento de estabilización tartárica, la cual se lleva a cabo en 3 procesos que se diferenciaron anteriormente, cabe destacar que las bombas, la embotelladora y los filtros de celulosa a placas son equipos móviles.

- Tubos corrugados de polietileno de 2 in: Las conexiones de los equipos se realizan mediante tubos corrugados de polietileno de 2 in, con uniones roscadas, ya que el tratamiento es tipo Batch, por lo que se necesitan mínimamente 6 tubos corrugados de polietileno.

3.1.2.- Detalle de los instrumentos necesarios

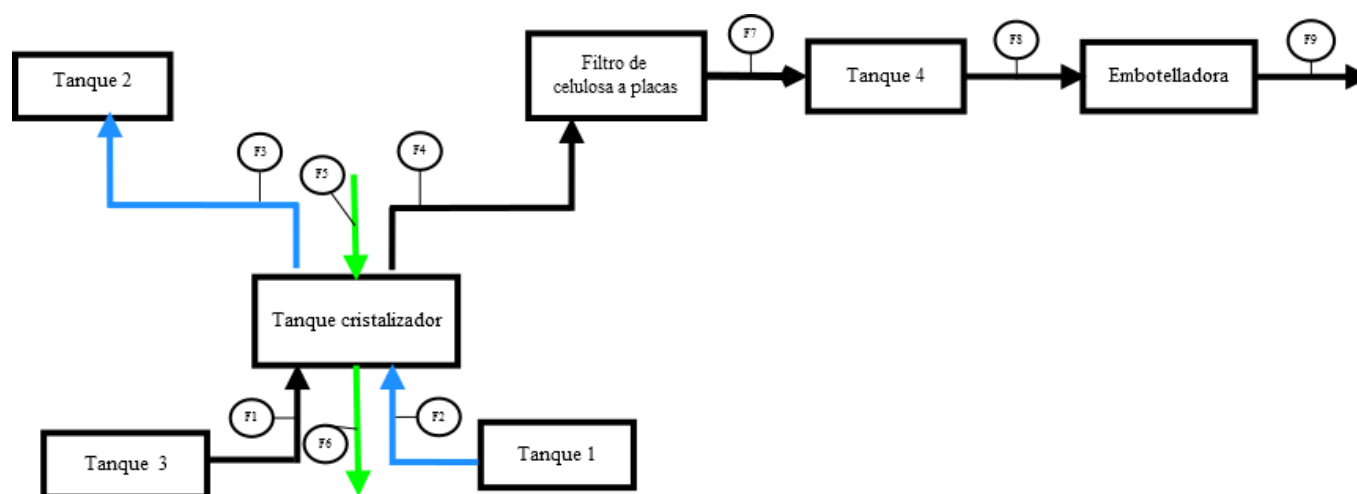
Se deben medir dos parámetros para poder determinar las condiciones óptimas de procedimiento, los cuales son temperatura y caudal, no se tomará en cuenta la medición de presión, ya que mediante tablas y gráficos se pueden determinar las presiones a la salida de las bombas, y el resto de los procesos son a presión atmosférica constante.

- Para corroborar la medida del caudal a la salida de los equipos se plantea realizar un aforo a la salida del serpentín dentro del tanque utilizando las bombas y realizándolo 3 veces, para reducir el margen de error, es un procedimiento arcaico, pero válido y evitará tener que modificar la constitución de los tubos corrugados de polietileno.
- Para medir la temperatura de entrada y salida, tanto del vino como del refrigerante se necesitarán termómetros de alcohol que permitirá determinar la temperatura a la que se encuentran en condiciones de entrada. El tanque aislado con agitador y serpentín, contará con su propio termómetro tipo reloj, el cual nos dirá la temperatura a la que se realiza el proceso.

3.2.- Balance de materia y energía

Para el balance global de materia se analizará un lote de estabilización de vino blanco o tinto, que se encuentra en un tanque de 1200 litros, tomando ese volumen y el flujo es el que proveen las bombas centrífugas, así como la cantidad de cristales de bitartrato de potasio que se espera obtener, y la temperatura, tanto en las entradas como en las salidas, datos que se muestran en la tabla III-2.

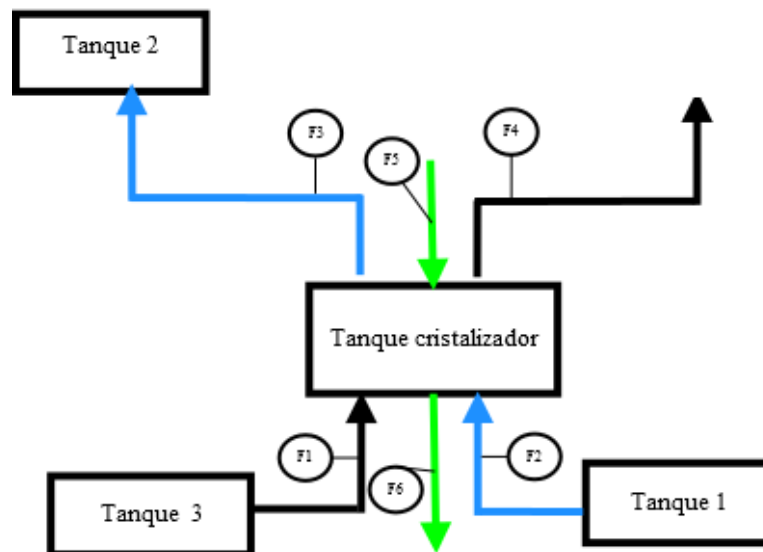
Figura 3.3
Diagrama de bloques del sistema de estabilización tartárica propuesto



Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.2.1.- Balance de materia y energía analítico.

- **Enfriamiento del vino**



Balance de materia:

Para el balance se necesitan de las propiedades de los distintos fluidos y componentes del proceso de estabilización tartárica, los cuales se pueden encontrar en el ANEXO VII.

Se añade 1.6 gramos de Bitartrato de potasio por litro de vino con una densidad del Bitartrato de Potasio de 1050 gr/l.

Se estima que cristalizará 1.1 gramos por cada litro de vino, con datos promedios de la simulación experimental ANEXO V.

Donde V6 es el bitartrato de potasio que se añade más el que cristaliza

$$V5 + V_{\text{cristal}} = V6$$

$$((1.6 \text{ gr/l} \cdot 1200 \text{ lt}) / 1050 \text{ gr/l}) + ((1.1 \text{ gr/l} \cdot 1200 \text{ lt}) / 1050 \text{ lt}) = V6$$

$$V6 = 1.83 \text{ l} + 1.26 \text{ lt}$$

V6 = 3.09 l de Bitartrato de potasio

En kilogramos es $3.09 \text{ l} * (0.001 \text{ m}^3) * 1050 \text{ kg/m}^3 = 3.24 \text{ Kg}$

$$V1 + V5 = V4 + V6$$

$$1200 \text{ l} + 1.83 \text{ l} = V4 + 3.09 \text{ l}$$

$$V4 = 1198.63 \text{ l}$$

$$V2 = V3 \text{ (refrigerante)}$$

$$1500 \text{ l} = 1500 \text{ l}$$

Balance de energía:

$$Q_{vino} = V_{vino} \rho_{vino} C_{p_{vino}} (T_{sal} - T_{ent})_{vino} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$Q_{vino} = 1.2 \text{ m}^3 * 1015 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 3.7 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (-5 - 12)^\circ\text{C}$$

$$Q_{vino} = -76612.2 \text{ Kj}$$

Se pretende enfriar el vino en una hora

1 hora = 3600 segundos

Por lo tanto el flujo de calor que se debe retirar es:

$$\bar{Q}_{vino} = -76612.2 \text{ kj} / 3600 \text{ s}$$

$$\bar{Q}_{vino} = -21.2811 \text{ kj} / \text{s}$$

Se desprecia la pérdida de calor debido a que el tanque tiene aislamiento.

$$Q_{refri} = -Q_{vino} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Por lo tanto

$$\bar{Q}_{refrigerante} = 21.2811 \frac{Kj}{s} = 76612.2 \frac{Kj}{h}$$

Con la ecuación 3.1 en función del caudal másico se puede calcular el caudal volumétrico con ayuda de la densidad del refrigerante y Cp del mismo, los cuales se observan en el ANEXO III.

$$\bar{Q}_{refrig} = \bar{m}_{refrig} * \rho_{refrig} * C_{p_{refrig}} * (T_{rsal} - T_{ent})_{refrig}$$

$$\bar{m}_{refrig} = \frac{\bar{Q}_{refrig}}{\rho_{refrig} C_{p_{refrig}} (T_s - T_e)_{refrig}}$$

$$\bar{m}_{refrig} = \frac{21.2811 \frac{Kj}{s}}{959.6 \frac{Kg}{m^3} 4.01 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} (5 - (-10))^{\circ}C} = 0.0003687 \frac{m^3}{s} = 1.327 \frac{m^3}{h}$$

Suponiendo una temperatura de salida de 5°C del refrigerante.

Este será el caudal necesario para bombear el refrigerante a través del serpentín que se utilizarán para los cálculos de diseño del serpentín.

Como el tiempo que se tomó como base es 1 hora, al multiplicar por el caudal, se puede determinar la cantidad de refrigerante que se utilizará en el proceso, el cual es 1.32 m³, para lo cual es necesario un tanque de 1.5 m³, de los cuales dispone la bodega del CEVITA.

$$F2 = F3$$

$$0.0003687 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0003687 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Filtración**



Balance de materia

El volumen de materia que se retiene en la placa es muy bajo, se estima que se perderá un 1% del total:

$$V4 - 0.01V4 = V7$$

$$1198.74 \text{ l} - (0.01 \cdot 1198.74) = V7$$

$$V7 = 1186.75 \text{ l}$$

El caudal depende de la bomba que tiene el equipo del filtro de celulosa a placas.

$$F4 = F7$$

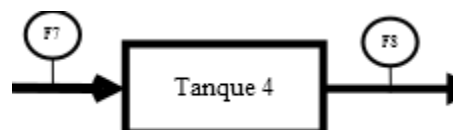
$$0.00111 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00111 \text{ m}^3/\text{s}$$

Balance de energía:

No hay transferencia de energía, por lo tanto.

$$Q = 0$$

- Estabilización de temperatura**



Balance de materia

Se estima que no hay pérdida en el transporte de vino, así que el volumen es constante.

$$V_7 = V_8$$

$$1186.75 \text{ l} = 1186.75 \text{ l}$$

Balance de energía:

Existe transferencia de energía con el entorno, si suponemos un día de invierno a las 14:00, se tiene 15 °C.

Sabiendo que el calor que tiene el vino es:

$$Q_{vino} = -76612.2 \text{ Kj}$$

Para llegar al equilibrio con la temperatura ambiente se utiliza la ecuación 3.1 en su forma integral

$$\int_0^\theta \frac{Q_{vino}}{d\theta} = \int_{t_1}^{t_2} m_{vino} \rho_{vino} C_{p_{vino}} dt$$

$$\theta - 0 = \frac{Q_{vino}}{V_{vino} \rho_{vino} C_{p_{vino}} (T_2 - T_1)}$$

$$\theta = \frac{76612.2 \text{ Kj}}{1.186 \text{ m}^3 * 1015 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 3.7 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (15 + 5)^\circ\text{C}}$$

$$\theta = 0.86 * 60 \text{ min}$$

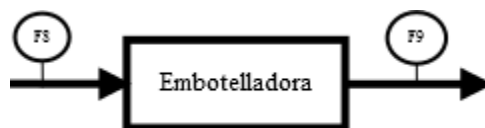
$$\theta = 51 \text{ min}$$

Es un cálculo aproximado, ya que no existe flujo uniforme del calor del entorno hacia el tanque de vino sin aislamiento, ni dentro del mismo.

$$F_7 = F_8$$

$$0.00111 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00111 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Embotellado**



Balance de materia:

$$V8 = V9$$

$$1186.75 \text{ l} = 1186.75 \text{ l}$$

$$F8 = F9$$

$$0.00111 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Número de botellas} = V9/0.750 \text{ litros}$$

$$\text{No de botellas} = 1582 \text{ botellas de vino.}$$

Balance de energía:

No hay transferencia de energía, por lo tanto.

$$Q = 0$$

Tabla III-2

Balance de materia

Corriente	Componente	Flujo	%KHT	Temperatura °C
F1	Vino	1200lts	0.11	12
F2	Refrigerante	1500lts.	0	-10

F3	Refrigerante	1500lts.	0	5
F4	Vino	1198.63lts.	0	-5
F5	KHT	1.92 Kg.	100	-
F6	KHT	$(1.92+1.32)=3.24$ Kg.	100	-
F7	Vino	1186.75 l	0	-5
F8	Vino	1186.75 l	0	15
F9	Vino	1582 botellas	0	15

Fuente: Elaboración, 2014.

La precipitación de cristales de bitartrato se tomó como dato del pesado del resultado en la simulación que se realizó previamente, esto se puede ver en el ANEXO V.

3.3.- Metodología de diseño del equipo principal.

Para diseñar el equipo se necesitan tres componentes principales, tanque, agitador y serpentín, los cuales están vinculados entre ellos, para establecer orden en el trabajo se diseñará cada componente del cristizador tomando en cuenta ya criterios de los otros componentes.

3.3.1.- Diseño del tanque.

Como se seleccionó previamente el tanque tiene las siguientes características:

- Se diseñará un tanque vertical, ya que tiene una buena trayectoria de sedimentación de cristales.

- Es un tanque de fondo cónico, ya que habrá precipitación de cristales.
- Tendrá una capa aislante de lana de vidrio alrededor del mismo.
- Se utilizará chapa de 2 mm de acero inoxidable AISI 316.
- Contará con una tapa, dos válvulas tipo bola para la entrada y salida del serpentín, una válvula en el fondo cónico para realizar el vaciado, una válvula lateral para la salida del vino, un toma muestra y un termómetro tipo reloj.

Al disponerse de 1.2 m^3 de vino a estabilizar, se debe distribuir el mismo en una parte cilíndrica, una parte superior tipo cónica no pronunciada y una parte inferior de fondo cónico, para ello se utilizarán ecuaciones de geometría básica, tomando en cuenta que el serpentín y el agitador ocuparán un determinado volumen dentro del tanque, por lo que se debe aumentar la capacidad del mismo, tratando de que haya un espacio libre, pero que sea del menor tamaño posible, ya que se quiere evitar que haya contacto con el aire.

1.- Se distribuye el volumen de 1.2 m^3 entre el cilindro y el cono, para el cilindro se toma un volumen de 1.1 m^3 y para el cono 0.1 m^3 , para el cilindro se toma un diámetro determinado y con la ecuación de un cilindro hueco, se puede calcular la altura del cilindro.

$$V_{cil} = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad \text{ó} \quad h_{cil} = \frac{4V_{cil}}{\pi d^2} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Con la altura calculada se le da un porcentaje más para evitar rebalse.

$$h_{cil f} = (h_{cil} + (h_{cil} * 0.2)) \quad (\text{Ec. 3.4})$$

De esta manera se calcula una nueva altura del cilindro.

2.- Con el volumen restante 0.1 m^3 , el diámetro que se eligió y la ecuación de la figura cónica se puede calcular la altura que tendrá el fondo cónico.

$$\boxed{V_{cono} = \frac{\pi d^2 h}{12}} \quad \text{ó} \quad \boxed{h_{cono} = \frac{12V_{cono}}{\pi d^2}} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Al dar ya un valor superior por términos de seguridad a la parte cilíndrica, no se sobredimensiona el cono.

3.- Con el diámetro que se tiene se diseña una cabeza cónica para darle forma al tanque isotérmico, que no permita que entre mucho aire.

$$\boxed{h_{cono} = (h_{cil} * 0.1)} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

La altura del cono se estima que será el 10 por ciento de la altura final del cilindro, con dicha altura se puede calcular el volumen de la cabeza cónica.

$$\boxed{V_{cabeza} = \frac{\pi d^2 h}{6}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

4.- Se calcula la tapa que tendrá en tanque isotérmico será un tercio del diámetro interno total.

$$\boxed{D_{tapa} = \frac{D_{int}}{3}} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

La altura de la tapa será de 0.01 m

El volumen de la tapa se calculará utilizando la ecuación. 3.5.

5.- Se calcula el diámetro total con aislamiento de lana de vidrio aumentando al diámetro dos veces el espesor del aislamiento, y luego se calcula el volumen del cilindro, volumen del cono, y volumen de la cabeza cónica utilizando las ecuaciones 3.5 y 3.7 modificando el nuevo diámetro de tanque.

6.- Se suman los volúmenes y se multiplica por la densidad del acero inoxidable AISI 316 y la lana de vidrio respectivamente, para determinar el peso del tanque vacío, utilizando la siguiente ecuación:

$$W_{cil} = \sum V_{acero} * \rho_{acero} + \sum V_{l.vidrio} * \rho_{l.vidrio} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

3.3.3.- Diseño del agitador

Para diseñar el agitador que se eligió en el punto 2.5.2 se realizarán las siguientes consideraciones:

Tabla III-3

Agitador a palas

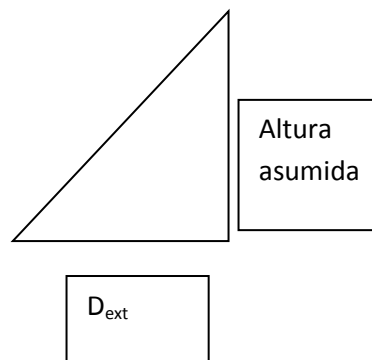
Características del agitador	
Tipo de agitador:	Agitador de palas
Material de rodete:	Acero inoxidable AISI 316
Material de eje:	Acero inoxidable AISI 316
Moto reductor de velocidad:	Si

Lateral al tanque	Si
Distancia del tope	0.4m
Ángulo de inclinación	45°
Altura de rodete	0.05m
Diámetro de palas	0.3m

Fuente: Elaboración propia, 2014.

7.- Se calcula la longitud del eje tomando en cuenta que al ser un agitador lateral se debe tomar en cuenta la ecuación de Pitágoras, asumiendo que es un triángulo rectángulo.

$$L_{eje} = \sqrt{(d_1)^2 + (d_2)^2} \quad (\text{Ec. 3.10})$$



Donde la hipotenusa sería la longitud del eje del agitador de palas.

8.- Se calcula la velocidad necesaria para la agitación, tomando en cuenta el dato de Madrid, Cenzano, 1994, el cual dice que la velocidad de sedimentación de los cristales de Bitartrato de potasio es 0.2 m/hora y el tamaño de los cristales es de 12-50

micras, para calcular la velocidad necesaria de agitación durante la primera hora se utiliza la siguiente ecuación del libro McCabe; Smith, 1998.

$$n_a = \frac{Sv^{0.1}Dp^{0.2}\left(g\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^{0.45}B^{0.13}}{Da^{0.85}} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Dónde:

n_a es velocidad crítica del agitador

Da = Diámetro de agitador

Dp = tamaño medio de partículas

v = viscosidad cinemática

g = aceleración de gravedad

Δp = diferencia de densidad

p = densidad del fluido

B = 100 x peso de sólido/peso de líquido

S = constante

9.- Luego al valor calculado se convierte a RPM.

10.- Posteriormente se calcula la potencia necesaria utilizando la gráfica de Función de potencia frente a N_{RE} para un agitador de turbina de seis palas, la cual se encuentra en el ANEXO IX, que es el que más se asemeja al agitador que se tiene. y se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_a = \frac{K_L n_a^2 D a^3 \mu}{gc} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

3.3.4.- Diseño del serpentín

Para diseñar el serpentín sinusoidal tipo chaqueta que se seleccionó previamente se tomarán en cuenta los siguientes aspectos según Q. D. Kern (1998):

- U es constante para el proceso y en toda la superficie.
- El flujo de líquido es constante.
- Calores específicos son constantes para el proceso.
- El medio calefactor o enfriador tiene una temperatura de entrada constante.
- La agitación produce temperatura uniforme en el lote.
- No hay cambios parciales de fase.
- Las pérdidas de calor son despreciables.

11.- Se requieren los datos de temperaturas de entrada y salida del vino y del refrigerante, los cuales se presentan en el ANEXO VII y VIII, con dichas temperaturas se procede a encontrar la temperatura media:

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (\text{Ec.3.13})$$

Posteriormente se puede determinar la temperatura de pared con la siguiente expresión:

$$T_w = \frac{T_m + t_m}{2} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Esta temperatura de pared será importante para tomar los datos de distintos parámetros, como la viscosidad, densidad, conductividad, calor específico, etc.

12.- Cálculo de las propiedades de los fluidos como: k , C_p , ρ , μ .

El coeficiente conductivo, el calor específico, la densidad y la viscosidad se encontraron en las distintas fuentes bibliográficas, como libros y páginas web que se consultaron durante la elaboración del trabajo.

13.- Evaluación del calor requerido por el producto para enfriar (Q), mediante la ecuación 3.1 y su temperatura utilizando las ecuaciones 3.2 y 3.1, como se realizó en el balance de energía realizado previamente.

14.- Estimación de la temperatura media logarítmica (MLDT), considerando flujo en contracorriente:

$$MLDT = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Tomando en cuenta que los flujos irán en contracorriente.

15.- Estimación de U_D , para el primer cálculo se tomará un valor inicial de U_D de las distintas bibliografías, en este caso del Manual del Ingeniero Químico, Perry et. al; Siendo U_D :

U_D sistema agua-etanol con agua-etanol=

$$U_D = 1.277 \text{ KJ/sm}^2\text{°C}$$

16.-Cálculo del área de transferencia de calor requerida A_t , para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$A_t = \frac{Q_{vino}}{U * MLDT} \quad (\text{Ec.3.16})$$

Dónde:

A =Área de transferencia de calor requerida total

Q = Calor intercambiado

U_D = Coeficiente global de transferencia

$MLDT$ = Logaritmo medio de temperatura

17.- Al ser un serpentín tipo sinusoidal que está alrededor del tanque se debe calcular el perímetro del tanque que se diseñó anteriormente.

$$P_T = \pi D_{int} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

18.- Se debe hallar la ecuación de la parábola, ya que el serpentín tiene forma de parábola, para ello se utilizará la ecuación:

$$\begin{aligned} (x-h)^2 &= 4p(y-k) \\ (x-0)^2 &= 4p(y-0) \\ x^2 &= 4py \end{aligned} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

19.- Se calcula el área que tiene una parábola y posteriormente con el número de parábolas que tiene el serpentín se calcula el área total.

$$A_p = \int_{x1}^{x2} (f(x)) dx \quad (\text{Ec. 3.19})$$

20.- Se calcula la longitud de arco de cada parábola, para poder calcular el perímetro de todo el serpentín:

$$S_p = \int_{x1}^{x2} \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx \quad (\text{Ec. 3.20})$$

21.- Teniendo el ancho de cada parábola se puede determinar el número de serpentines que darán la vuelta al tanque.

22.- Se calcula la longitud de arco de todo el serpentín multiplicando la longitud de arco por cada parábola que hay dentro del serpentín.

23.- Se determina el volumen final del serpentín con la ecuación:

$$V_f = V_s - V_a \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Para ello hay que determinar V_a y V_s con las siguientes ecuaciones:

$$V_a = \frac{\pi(D_0)^2 S_p}{4} \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Donde D_0 es el diámetro de la tubería del serpentín, S_T es el perímetro de todo el serpentín.

$$V_s = A_p P_T n_s \quad (\text{Ec. 3.23})$$

24.- Se determina el diámetro equivalente o perímetro mojado que sirve para suponer que el serpentín es una tubería.

$$De = \frac{4V_f}{\pi D_0 L} \quad (\text{Ec. 3.24})$$

25.- Se calcula el área con el diámetro equivalente utilizando la ecuación:

$$A_{eq} = \frac{\pi(D_e)^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.25})$$

26.- Se calcula la velocidad másica G_f , utilizando la densidad y el flujo volumétrico, además del área equivalente calculada

$$G_f = \frac{\rho F}{A_{eq}} \quad (\text{Ec. 3.26})$$

27.- Se calcula el número de Reynolds utilizando el flujo másico calculado previamente, la viscosidad y el diámetro equivalente.

$$Re = \frac{D_e G_f}{\mu_f} \quad (\text{Ec. 3.27})$$

28.- Se calcula el número de Prandtl para poder determinar el coeficiente convectivo interno.

$$Pr = \left(\frac{C_p \mu}{k} \right) \quad (\text{Ec. 3.28})$$

29.- Se calcula la variación de viscosidades

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (\text{Ec. 3.29})$$

30.- Utilizando la siguiente ecuación del Número de Nusselt (Nu) se encontrará el valor del coeficiente convectivo h_0 , utilizando parámetros de a y b dependiendo del tipo de agitador.

$$Nu = \frac{h_0 De}{k} = a(Re)^b \left(\frac{Cp\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (\text{Ec. 3.30})$$

31.- Utilizando la gráfica del ANEXO X del libro de Bird. Stewart, Lightfford 1996, se hallará el coeficiente pelicular h_i

32.- Con la siguiente relación se puede calcular h_{i0} :

$$h_{i0} = h_i \left(1 + 3.54 \frac{D_{i0}}{D_T} \right) \quad (\text{Ec. 3.31})$$

33.- Se calcula el U_D real, utilizando los coeficientes convectivos que ya se calcularon y el coeficiente conductivo del material con su espesor, además tomando en cuenta un factor de ensuciamiento de $R_D=0.001$, según Q.D. Kern, 1999.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{h_0} + \frac{x_t}{k_c} + \frac{1}{h_{i0}} + R_D \quad (\text{Ec. 3.32})$$

34.- Utilizando la ecuación 3.16 se calcula nuevamente el área, y se observa la variación de la misma con respecto al área referencial que se calculó al principio, y con esa área se calcula la nueva longitud de arco del serpentín.

Utilizando la ecuación:

$$L_{tubo} = \frac{A_F}{\pi D_0} \quad (\text{Ec. 3.33})$$

35.- Con la nueva longitud de arco o longitud de tubería se calcula una nueva medida del ancho de la parábola utilizando la ecuación 3.20, y posteriormente se calcula el número de parábolas que tendrá y con ese dato se repite de nuevo el cálculo, la iteración acaba cuando las áreas del serpentín son iguales.

36.- Una vez que se termina la iteración se calcula el volumen que ocupará el serpentín dentro del tanque, para ver si este con vino rebalsa o no, en caso de rebalsar, se redimensiona el tanque añadiendo unos centímetros a la altura.

$$\boxed{V_{serp} = \pi D_0^2 L_{tubo}} \quad (\text{Ec. 3.34})$$

3.4.-Cálculos del diseño del equipo principal.

Una vez seleccionado la metodología para realizar el diseño del cristalizador para precipitar el Bitartrato de potasio de los vinos de la bodega del CEVITA, se procederán a seguir los pasos establecidos.

1.- Los datos con los se parte para diseñar el tanque son los siguientes:

$$D_{int}=1.2 \text{ m}$$

$$V_{cil}= 1.1 \text{ m}^3$$

Por lo tanto utilizando la ecuación 3.3

$$h_{cil} = \frac{4 * 1.1 \text{ m}^3}{\pi (1.2)^2} = 0.97 \text{ m}$$

Con la altura del cilindro se calcula la nueva altura tomando un porcentaje de rebalse.

$$h_{cil f} = (0.97 + (0.97 * 0.2)) = 1.17 \text{ m}$$

Se calcula el nuevo volumen, el cual es:

$$V_{cil} = \frac{\pi(1.2m)^2 * 1.17m}{4} = 1.32m^3$$

2.- Se calcula la altura del cono tomando el volumen del mismo como $0.1m^3$

$$h_{cono} = \frac{12 * 0.1m^3}{\pi * (1.2m)^2} = 0.27m$$

3.- Se dimensiona la cabeza del tanque.

$$h_{cabeza} = (1.17m * 0.1) = 0.117m$$

$$V_{cabeza} = \frac{\pi * (1.364m)^2 * 0.117m}{6} = 0.28m^3$$

4.- Se calcula la tapa que tendrá el tanque.

El tanque tendrá una tapa no presurizada, con una altura de 0.1m y su diámetro será:

$$D_{tapa} = \left(\frac{1.2m}{3} \right) = 0.4m$$

$$V_{tapa} = \frac{\pi * (0.4m)^2 * 0.001m}{4} = 0.00012m^3$$

5.- Se calcula el nuevo diámetro añadiendo el espesor de la lana de vidrio como material aislante

$$D_{t.Ext} = D_{T.int} + 2 * E_{LanaV} + E_{acero}$$

$$D_{t.Ext} = 1.2m + (2 * 0.08)m + 0.002m = 1.362m$$

Se calculan los volúmenes del tanque externo, cono externo y cabeza del tanque externa.

$$V_{Text} = \frac{\pi * (1.364m - 0.16m - 1.2m)^2 * 1.17m}{4} = 1.4 \times 10^{-5} m^3$$

$$V_{cono, ext} = \frac{\pi * (1.364m - 0.16m - 1.2m)^2 * 0.27m}{12} = 1.11 \times 10^{-6} m^3$$

$$V_{cabeza, ext} = \frac{\pi * (1.364m - 0.16m - 1.2m)^2 * 0.117m}{12} = 4.9 \times 10^{-6} m^3$$

Se calcula el volumen de la lana de vidrio en las distintas partes del tanque:

$$V_{L.V.T} = \frac{\pi * (1.364m - 1.2m - 0.004m)^2 * 1.17m}{4} = 0.023m^3$$

$$V_{L.V.cono} = \frac{\pi * (1.364m - 1.2m - 0.004m)^2 * 0.27m}{12} = 0.0018m^3$$

6.- Se calcula el peso del tanque vacío con la ecuación 3.9.

$$W_{TKV} = \left(2 * 1.4 \times 10^{-5} m^3 + 2 * 1.11 \times 10^{-6} m^3 + 4.9 \times 10^{-6} m^3 + 0.00012 m^3 \right) * 8000 \frac{kg}{m^3} +$$

$$\left(0.023 m^3 + 0.0018 \right) * 35 \frac{kg}{m^3} + \left(1.2m * 1 \frac{kg}{m^3} \right)$$

Por lo tanto el peso del tanque vacío será:

$$W_{TKV} = (1.04 \text{ kg} + 0.1435 \text{ kg} + 1.2 \text{ kg}) = 2.4 \text{ kg}$$

Solo el tanque pesa 2.4 kg en material de acero, lana de vidrio y aire

Cuando tenga vino dentro pesará: $1.2 m^3 * 1015 \text{ kg}/m^3 = 1218 \text{ kg}$ más.

El tanque tendrá 3 patas distribuidas con un ángulo de 108°, cada una tendrá un espesor de 0.04 y una altura de 0.35 m, por lo que su peso será:

Peso de patas: $(3.1416 \cdot (0.04)^2 \cdot 2 \cdot 0.25) / 4 = 0.00031 \cdot 3 \text{ patas} = 0.00094 \text{ m}^3 \cdot 8000 \text{ kg/m}^3 = 7.54 \text{ Kg}$

7.- La longitud del eje es igual a:

$$L_{\text{eje}} = \sqrt{(0.88 \text{ m})^2 + (0.67 \text{ m})^2} = 1.106 \text{ m}$$

Se toma el radio externo, ya que el eje pasará también por el tanque externo, y la altura a la cual se instalará se estimó 0.88 m.

8.- Se toma como velocidad de sedimentación 0.2m/hora

n es velocidad crítica del agitador

$$D_a = 0.3 \text{ m}$$

$$D_p = 0.000002 \text{ m}$$

$$v = (0.00318 \text{ kg/mms}) / (1015 \text{ kg/m}^3) = 0.00000313 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$dp = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$p = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$B = 100 \times 0.00358 \text{ kg cristales} / 1218 \text{ kg vino}$$

$$S = 4.8$$

$$n = \frac{4.8 \cdot (0.00000313)^{0.1} \cdot 0.00002^{0.2} \cdot \left(9.81 \frac{1004}{1015}\right)^{0.45} \cdot 0.000293^{0.13}}{0.3^{0.85}}$$

$$n = 0.42 \text{ RPS}$$

9.- Luego al valor calculado se convierte a RPM.

$n = 0.42 \text{ RPS} \times 60 = 25 \text{ RPM}$ es la velocidad mínima para que exista suspensión de cristales.

Se agitará a 50 RPM durante 1 hora y luego se bajará la velocidad a 15 RPM, de manera que permita la sedimentación de los cristales.

10.- Se calcula la potencia con ayuda de la gráfica del ANEXO IX y la tabla de KL.

$$P = \frac{6.3 * (0.58)^3 * 0.3^5 * 1015}{1000}$$

$$P = 3.03W$$

Es una potencia muy baja y puede parecer que el cálculo es erróneo, sin embargo si se analiza es correcto ya que la viscosidad es baja del vino, los cristales no tienen gran densidad y además las revoluciones por minuto son muy pocas, ya que la agitación debe ser lenta, en la práctica estas revoluciones por minuto lentas solo se consiguen con un moto reductor es por ello que el coste energético será mayor.

11.- Se calcula las temperaturas medias y posteriormente la temperatura de pared utilizando las ecuaciones 3.13 y 3.14 respectivamente.

Temperatura media de vino $T_m = \frac{12^\circ C - 5^\circ C}{2} = 3.5^\circ C$

Temperatura media del refrigerante $t_m = \frac{-10^\circ C + 5^\circ C}{2} = -2.5^\circ C$

Temperatura de pared $T_w = \frac{3.5^\circ C - 2.5^\circ C}{2} = 0.5^\circ C$

12.- Ya se utilizaban las propiedades de los distintos fluidos a esa temperatura, los cuales se resumirán en la siguiente tabla:

Tabla III-4

Propiedades de los fluidos a temperatura media.

CONDICIONES DE OPERACIÓN		UNIDADES	FLUIDO CALIENTE	FLUIDO FRÍO
			VINO	REFRIGERANTE
DATOS	Temperatura de entrada	°C	12	-10
	Temperatura de salida	°C	-5	5
	Flujo másico	Kg/s	0.563	0.354
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUÍDOS	Densidad	kg/m ³	1015	959,6
	Calor específico	kJ/Kg°C	3,7	4,01
	Conductividad térmica	W/m°C	0,52	0,38
	Viscosidad	Kg/m ² s	0,00318	0,0123
	Visc. A la temp de pared	Kg/m ² s	0,00512	0,0092

Fuente: Elaboración propia, 2013.

13.- Se utiliza el calor que se determinó en el balance de energía anterior donde ya se utilizaron las propiedades a la temperatura media de los distintos fluidos.

$$Q_{vino} = V_{vino} \rho_{vino} C_{p,vino} (T_{sal} - T_{ent})_{vino}$$

$$Q_{vino} = 1.2 m^3 * 1015 \frac{Kg}{m^3} * 3.7 \frac{Kj}{Kg.^{\circ}C} * (-5 - 12)^{\circ}C$$

$$Q_{vino} = -76612.2 Kj$$

$$\bar{Q}_{vino} = -76612.2 \text{ kJ} / 3600 \text{ s}$$

$$\bar{Q}_{vino} = -21.2811 \text{ kJ} / \text{ s}$$

14.- Cálculo del MLDT en contracorriente:

$$MLDT = \frac{7^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{7^{\circ}\text{C}}{5^{\circ}\text{C}}\right)} = 5.94^{\circ}\text{C}$$

15.- $U_D = 1.277 \text{ KJ/sm}^2\text{C}$ y $R_D = 0.0001$ del Manual del Ingeniero Químico,

$$16.- \quad A = \frac{21.281 \text{ KJ} / \text{ s}}{1.391 \text{ KJ} / \text{ s.m}^2\text{C} * 5.94^{\circ}\text{C}} = 2.57 \text{ m}^2$$

En principio se necesita 2.57 m^2 de área de tubería para poder realizar el enfriamiento

17.- Se toma una tubería de una pulgada y media de diámetro, entonces $D_0 = 0.0483 \text{ m}$

$$P_T = \pi * (D_{T.Int} - 2D_0) = \pi * (1.2 - 2 * 0.0483) = 3.67 \text{ m}$$

18.- Se suponen para el diseño los siguientes datos:

B = Ancho de la mitad de la parábola

C = altura máxima de la parábola

$$B = 0.3 \text{ m}$$

$$C = 0.9 \text{ m}$$

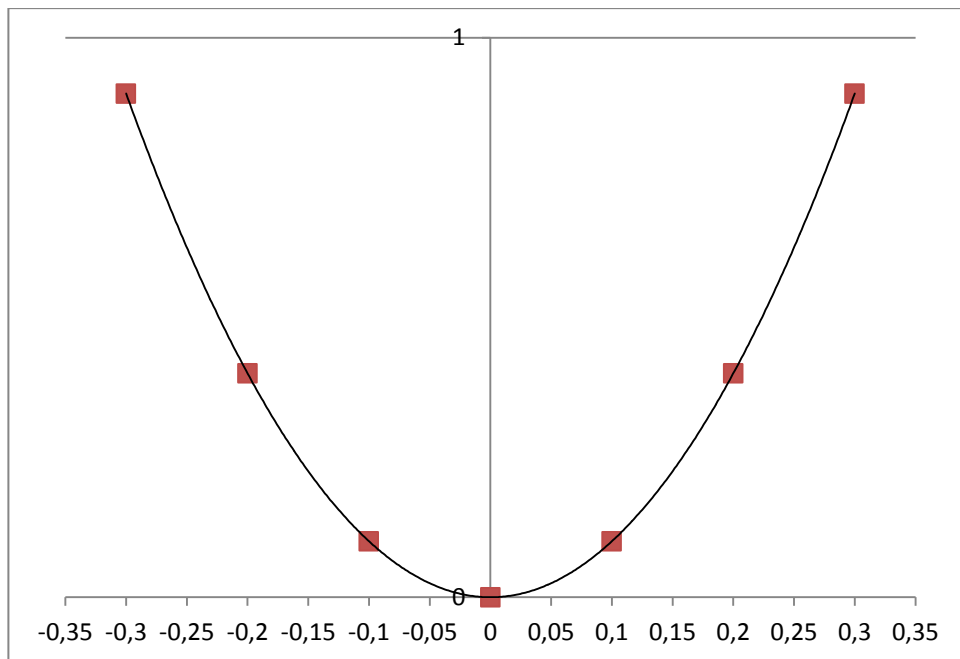
Se calcula la ecuación de la parábola, ya que el serpentín es una suma de parábolas

$$x^2 = 4py$$

$$p = \frac{x^2}{4y} = \frac{(0.3)^2}{4 * 0.9} = \frac{1}{40} = 0.025$$

$$y = \frac{x^2}{4p} = \frac{x^2}{4 * 0.025} = \frac{x^2}{0.1}$$

Figura 3.5
Parábola que conformará el serpentín sinusoidal



Fuente: Elaboración propia, 2014.

19.- Una vez que se tiene la ecuación de la parábola que tendrá en el serpentín, se calcula el área de la misma, tomando como límites 0 y 0.3 para después multiplicar por dos para completar la parábola, con la ecuación 3.19.

$$A_p = 2 * \int_0^{0.3} \left(\frac{x^2}{0.1} \right) dx = 2 * \frac{x^3}{0.3} \Big|_0^{0.3} = 0.18 m^2$$

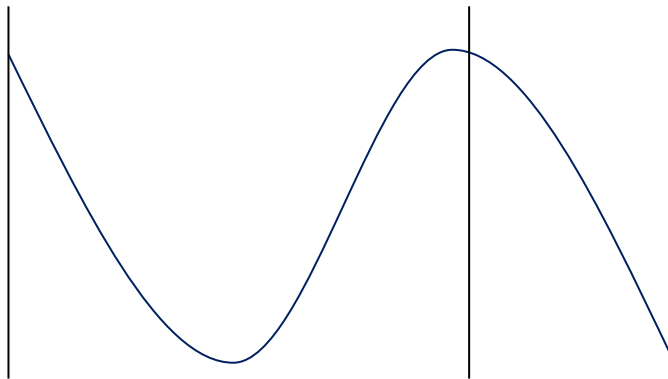
20.- Se calcula la longitud de arco de la parábola, esto con el fin de determinar cuánto de tubería tendrá una parábola, tomando la longitud de arco como el contorno de la misma.

$$S_p = \int_{-0.3}^{0.3} \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx$$

La resolución de esta integral es muy compleja, por lo tanto se puede observar su desarrollo en el ANEXO XI

$$S_p = 1.94 \text{ m}$$

Si se observa la parábola y si se habla de un serpentín en función sinusoidal, se debe multiplicar la longitud de arco por 1.5, esto es debido a que la longitud de arco de la parábola es la mitad de otra parábola, y para completar la función sinusoidal, y así sucesivamente se complete el serpentín alrededor del tanque.



Una parábola completa contiene la mitad de otra, si se le suma la mitad que falta completamos las dos parábolas y la función sinusoidal.

Este sería un serpentín, y el serpentín sinusoidal sería la suma de estos serpentes.

$$S_{sp} = 2.05m * 1.5 = 3.075 \text{ m}$$

21.- El ancho entonces de un serpentín completo ya no es 0.3, sino
 $B_s = 0.3m * 1.5 = 0.45 \text{ m}$

Si el perímetro del tanque es 3.67 metros, entonces se procederá a calcular cuántos serpentines de un ancho de 0.45 m entran alrededor del tanque.

$N^{\circ}s = 3.67 - (2 * 0.0483) \text{ m} / 0.45m = 7.94$, por lo tanto se tendrán 8 serpentines completos dentro del tanque ubicados alrededor del mismo.

22.- La longitud de arco del serpentín completo es entonces:

$S_T = 8 * 3.07m = 24.56 \text{ m}$ de tubería entrarán dentro del tanque con las medidas de la parábola, completando los serpentines sinusoidales para tener el serpentín total.

23.- Se calcula el volumen del ánulo del serpentín.

$$V_a = \frac{\pi(D_0)^2 S_T}{4} = \frac{\pi * (0.0483m)^2 * 24.56m}{4} = 0.045m^3$$

Posteriormente se calcula el volumen del serpentín:

$$V_s = A_p D_0 n^{\circ}_{\text{serpentin}} = (0.18m^2 * 1.5) * 0.0483m * 8 = 0.104m^3$$

$$V_f = V_s - V_a = 0.104m^3 - 0.045m^3 = 0.06m^3$$

24.- Se calcula el diámetro equivalente:

$$De = \frac{4V_f}{\pi d_0 L} = \frac{4 * 0.06m^3}{\pi * 0.0483m * 24.56m} = 0.0644m$$

25.- Se calcula el área equivalente:

$$A_{eq} = \frac{\pi(0.0644)^2}{4} = 0.0033m^2$$

26.- Cálculo de la velocidad másica

$$G_f = \frac{\rho \bar{V}}{A_{eq}} = \frac{959.6 \frac{kg}{m^3} * 0.00037 \frac{m^3}{s}}{0.0033m^2} = 107.6 \frac{kg}{s}$$

27.- Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{D_e G_f}{\mu_f} = \frac{0.0644m * 107.6 \frac{kg}{s}}{0.0092 \frac{kg}{m.s}} = 753.2$$

Se observa que es un flujo laminar, ya que es menor a 2100.

28.- Se calcula el Número de Prandtl

$$Pr = \left(\frac{Cp\mu}{k} \right) = \frac{4.01 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * 0.0092 \frac{Kg}{m.s}}{0.00038 \frac{kW}{m.s}} = 97.08$$

29.- Calcular la relación de viscosidades:

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = \left(\frac{0.0123}{0.0092} \right)^{0.14} = 1.337$$

30.- Se calcula el coeficiente convectivo h_0 utilizando valores en la agitación de a y b:

$$a=0.8$$

$$.b=0.667$$

$$Nu = \frac{h_0 De}{k} = a(Re)^b \left(\frac{Cp\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = 0.8(753.2)^{0.667} * (97.08)^{0.33} * 1.337$$

$$\frac{h_0 De}{k} = 66.37 * 4.60 * 1.337 = 408.2$$

$$h_0 = \frac{0.00038 \frac{Kw}{m^{\circ}C} * 408.2}{0.069m} = 2.24 \frac{Kj}{m^2 s^{\circ}C}$$

31.- Utilizando la gráfica de Sieder y Tate, se calcula h_i

Donde $J_h = 1.88$, realizando los despejes se puede obtener que:

$$h_i = 5.71 \frac{Kj}{m^2 s^{\circ}C}$$

32.- Mediante la siguiente ecuación se puede determinar h_{i0}

$$h_{i0} = h_i \left(1 + 3.54 \frac{D_{i0}}{D_T} \right) = 1.72 \frac{Kj}{m^2 s^{\circ}C} * \left(1 + 3.54 * \left(\frac{0.038m}{0.0438m} \right) \right) = 7 \frac{Kj}{m^2 s^{\circ}C}$$

33.- Se calcula el U_D real, tomando en cuenta un factor de obstrucción para sobredimensionamiento de $R_D = 0.001$, por recomendación del Manual del Ingeniero Químico

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{h_0} + \frac{x}{k_c} + \frac{1}{h_{i0}} + R_D = \frac{1}{2.24} + \frac{0.002}{0.0502} + \frac{1}{7} + 0.001$$

$$\frac{1}{U_D} = 0.446 + 0.039 + 0.14 + 0.001 = 0.626$$

$$U_D = 1/0.626 = 1.6 \frac{Kj}{sm^2^{\circ}C}$$

El cual es muy parecido al U_D teórico, se recalcula el área con el nuevo U_D

$$A = \frac{21.281Kj/s}{1.62Kj/s.m^2^{\circ}C * 5.94^{\circ}C} = 2.21m^2$$

34.- Con el área nueva calculada, se procede a recalcular la longitud de tubería que necesitará el serpentín sinusoidal.

$$L_r = \frac{A_r}{\pi D_0} = \frac{2.29m^2}{\pi * 0.0483m} = 15.15m$$

35.- Con la nueva longitud necesaria para realizar el intercambio de calor se recalcula las dimensiones de los serpentines sin modificar el ancho y el consecuentemente el número de los mismos.

Para ello se utiliza la curva donde los límites son iguales, pero se modifica la altura.

$$x^2 = 4py$$

$$p = \frac{x^2}{4y} = \frac{(0.3)^2}{4 * 0.7} = \frac{1}{40} = 0.032$$

$$y = \frac{x^2}{4p} = \frac{x^2}{4 * 0.032} = \frac{x^2}{0.128}$$

Luego se reemplaza en la ecuación para hallar la longitud de arco, se multiplica por 1.5 y por el número de serpentines y debe igualar a la longitud $L_T=15.15\text{m}$, para ello se debe realizar un cálculo iterativo.

Tabla III-5

Cálculo de la ecuación y longitud total del serpentín en función a la altura de la parábola

Altura	Ecuación	Longitud de arco	Longitud del serpentín	Longitud total
0,8	$X^2/0,112$	2	3	24
0,7	$X^2/0,128$	1,83	2,745	21,96
0,6	$X^2/0,15$	1,62	2,43	19,44
0,5	$X^2/0,18$	1,43	2,145	17,16
0,4	$X^2/0,225$	1,305	1,9575	15,66
0,3	$X^2/0,3$	1,03	1,545	12,36

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Si se toma la ecuación $y=x^2/0.24$, se adapta a la longitud calculada, de esta manera se tiene el nuevo diseño del serpentín para el tanque, que va de acuerdo a la nueva área de contacto que se calculó previamente.

De esta manera se tiene el nuevo diseño de parábola para el serpentín, el cual cumple con las condiciones para poder llevar la temperatura del vino a las requeridas y la altura mide 0.38 metros en el punto alto de la parábola.

El volumen del serpentín será:

$$V_{serp} = \pi * 0.0483^2 * 15.15m = 0.11m^3$$

El resultado final del diseño del equipo principal se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla III-6

Equipo principal – Tanque

	Resumen diseño de Tanque		
1	Material de tanque	Acero Inox AIS I316	
2	Espesor de acero	0,002	m
3	Diámetro Interno	1,2	m
4	Diámetro externo	1,364	m
5	Altura de cilindro interno	1,17	m
6	Altura de cilindro externo	1,17	m
7	Diámetro de cono interno	1,2	m
8	Diámetro de cono externo	1,364	m
9	Altura de cono	0,27	m
10	Diámetro de cabeza	1,364	m

11	Altura de cabeza	0,1174	m
12	Diámetro de tapa	0,4	m
13	Altura de tapa	0,1	m
14	Material aislante	Lana de vidrio	
15	Espesor de material aislante	0,08	m
16	Peso total vacío	2,4	kg
17	Peso total lleno	1220,4	kg
18	Peso lleno con patas	1227,94	Kg
19	Peso vacío con patas	9,94	Kg
20	Altura con patas	1,9074	m

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla III-7

Equipo principal – Agitador

Características del agitador		
1	Tipo de agitador:	Agitador de palas
2	Material de rodete:	Acero inoxidable AISI 316
3	Material de eje:	Acero inoxidable AISI 316

4	Moto reductor de velocidad:	Si	
5	Lateral	Si	
6	Distancia del tope	0.4	m
7	Ángulo de inclinación	45°	
8	Altura de rodete	0.05	m
9	Diámetro de palas	0.3	m
10	Longitud del eje	1,106	m
11	Número de palas	2	
12	velocidad de rotación mínima	20	RP
13	velocidad de rotación de trabajo	35	RPM
14	Potencia	3,3	W

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla III-8

Equipo principal – Serpentín

Características del serpentín		
1	Material	Acero AISI 316
2	Diámetro interno	0,0381
3	Diámetro externo	0,0438

4	Forma	Sinusoidal
---	-------	------------

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla III-9

Equipo principal – Serpentín cálculos

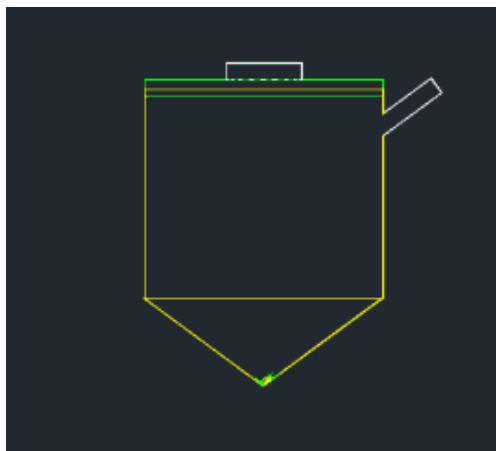
Cálculo del serpentín			
1	Tw	0,5	°C
2	Q	-21,2811	kJ/s
3	MLDT	5,94	°C
4	A	2,57	m ²
5	P_T	3,67	m
6	B	0,3	m
7	C	0,9	m
8	Ecuación 1	$x^2/0,1$	
9	A_p	0,18	m ²
10	S_p	1,94	m
11	S_{sp}	3,075	m
12	B_s	0,45	m
13	N°s	8	

14	S_T	24,56	m
11	V_a	0,045	m ³
12	V_s	0,104	m ³
13	V_f	0,06	m ³
14	De	0,0644	m
15	Ae	0,0033	m ²
16	Gf	107,6	kg/s
17	Re	753,2	
18	Pr	97,08	
19	Nu	408,2	
20	h₀	2,24	kJ/m ² s°C
21	h_{i0}	7	
22	UD	1,6	kJ/sm ² °C
23	A_f	2,21	m ²
24	L_T	15,15	m
25	Ecuación 2	$x^2/0,24$	
26	V_{serp}	0.11	m ³

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 3.6

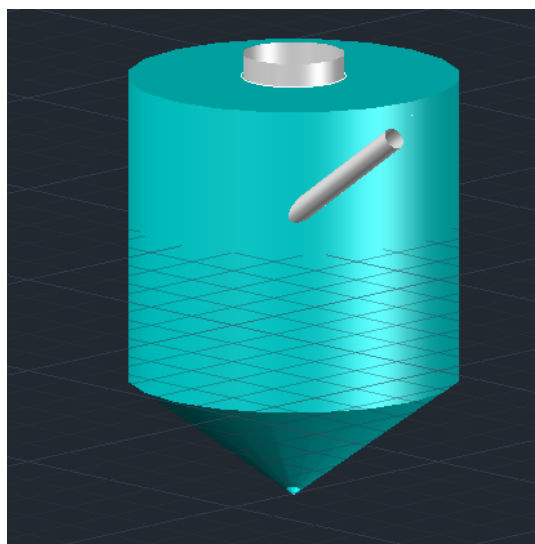
Equipo principal vista 2D



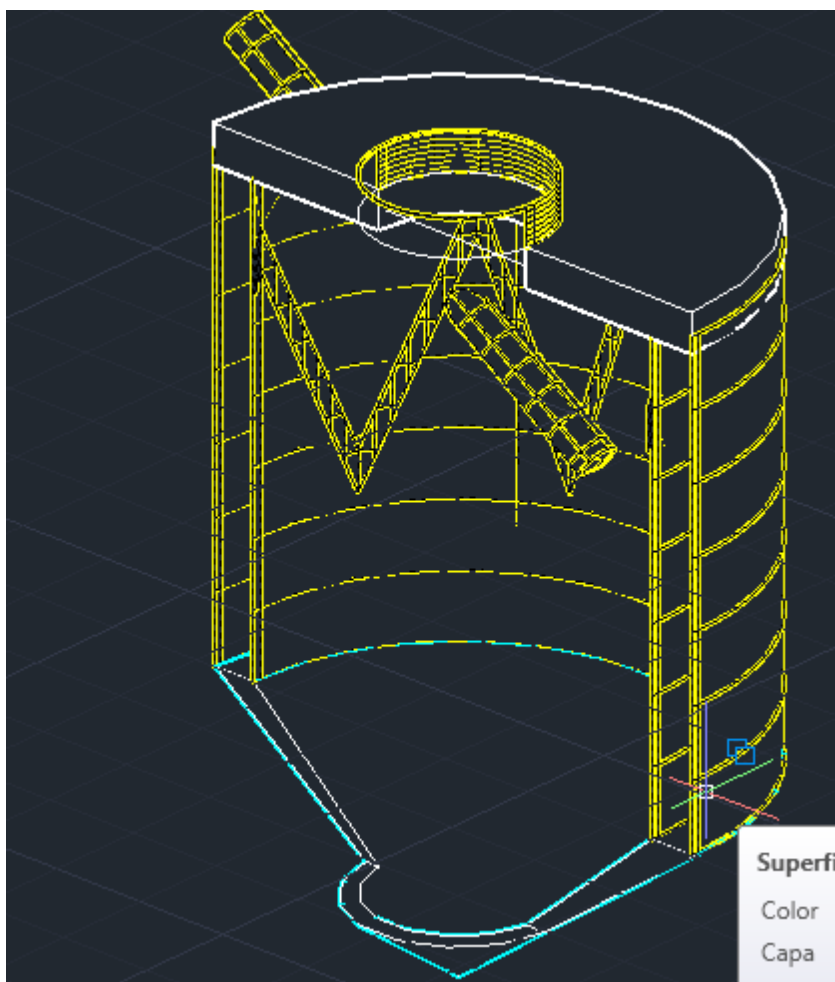
Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 3.7

Equipo principal vista 3D



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 3.8**Equipo principal vista interna 3D**

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Como se puede ver en las distintas figuras que se elaboraron en “AUTOCAD”, el equipo se dimensionó de acuerdo a los resultados que se obtuvieron, donde en la figura 3.8 se puede observar el fondo cónico, la parte cilíndrica, la cabeza y la tapa, por el lado lateral se puede observar una barra, que simula ser el eje del agitador y un serpentín tipo enchaquetado en forma de V, que simula ser el serpentín sinusoidal, además que se puede observar el espesor del tanque donde iría el material aislante.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.- Determinación del costo capital.

Para la optimización del sistema de tratamiento de estabilización tartárica se plantea la alternativa de utilizar los equipos que ya tiene el CEVITA, los cuales se encuentran en óptimas condiciones, además adquirir nuevos equipos los cuales se diseñaron para el tratamiento de estabilización tartárica, pero que pueden tener doble función dentro de la bodega, por ejemplo el tanque con serpentín puede funcionar para realizar una fermentación y la bomba al ser especial para trasiego de vino y mosto puede también servir para todos los procesos que se realizan en la bodega, es más, hace falta una bomba de ese tipo.

En estas condiciones, el análisis económico final se reduce a la comparación de la alternativa utilizada, cotizando los equipos necesarios que faltan referente a:

- Gastos operativos

Beneficios a igualar los niveles de calidad de competencia.

- Será necesario evaluar la rentabilidad basada en la tasa de retorno que pudiera obtenerse con la inversión que debe hacerse.

4.1- Evaluación económica.

4.1.1.- Inversión fija.

Representa el capital necesario para adquirir e instalar los equipos destinados al proceso con todos los servicios auxiliares necesarios para el funcionamiento, se puede dividir en costos directos e indirectos.

4.1.1.1.- Activos fijos.

a) Maquinaria y equipos.

A continuación se detalla los precios del equipo y de los equipos auxiliares necesarios para este proceso, para lo cual se cotizó a los principales distribuidores locales, para el caso del tanque agitado con serpentín, se cotizó en SITEC, del señor Marcial Veramendi y a la empresa ACERINOX del señor Julián Peralta. Esos equipos son de construcción nacional con acero importado.

TABLA IV.1

Estimación del costo del tanque agitado fondo cónico con agitador y serpentín

Descripción del equipo	Utilidad	Cantidad	Valor unitario \$us	Total \$us.
Tanque de acero Inox AISI 316, con serpentín interno, fondo cónico y agitador con moto reductor. Incluye válvulas y termómetro.	Enfriamiento de vino	1	5574.71	5574.71
	TOTAL			5574.71

Fuente: SITEC, 2014. (Ver anexo XII)

TABLA IV.2

Estimación del costo de equipo y accesorios adicionales

ACCESORIOS	CANTIDAD	Valor unitario \$us	Total \$us
Electrobomba con carretilla T -40	1	700	700

Termómetro	2	12	24
Placas de celulosa	40	2.5	100
Manguera para vino reforzada ENOFLEX	4 de 10 metros.	35	140
SUBTOTAL			964
IVA 13%			125.32
TOTAL			1089.32

Fuente: ¹REVINSA, ²INTEREMPRESAS. ³Distribuidores García e hijos, ⁴Comercial Sur, ⁵AGROVIN 2014.

b) Instalación completa de la maquinaria y equipos adquiridos

TABLA IV.3

Costo de instalación completa

	Costo total \$us
Cristalizador	5574.71
Otros equipos y accesorios	1089.32
Costo de transporte e instalación 3%	199.9
Mantenimiento 2%	133.28
Total	6997.21

Fuente: Elaboración propia, 2014.

c) Insumos y materiales directos e indirectos

TABLA IV.4

Cosco de insumos y materiales directos e indirectos

Material	Cantidad	Valor unitario	Total \$us
Cremor tártaro	3 Kg	11	33
Etanol 96%para refrig	600	0.85	510
Total			534

Fuente: Comercial Sur, 2014.

d) Costo total de funcionamiento del proceso.

Es igual a la suma del total de los equipos con instalación, con el costo de los insumos y materiales directos e indirectos.

$$\text{Costo total} = 6997.21 \$ + 534\$ = 7531.21 \$$$

4.1.1.2.- Activos diferidos.

a) Ingeniería y supervisión

La inversión de capital para ingeniería y supervisión comprende los costos de diseño constructivo, ingeniería, preparación de planos gastos administrativos incluyendo gastos generales y se estima aproximadamente un 7% de los costos indirectos.

$$\text{Ingeniería y supervisión} = 7\% \text{ total de costos directos}$$

$$= 0.07 \times 7531.21\$ = 527.18 \$$$

b) Eventuales e impuestos

Es necesario considerar una partida de previsión cuyo objetivo es absorber errores, posibles subidas de precio, riesgos de la puesta en marcha, etc. y se estima un 5% de los costos directos.

Eventuales e impuestos = 5% total de costos directos

$$= 0.05 \times 7531.21\$ = 376.56 \$$$

- Total de costos indirectos = 527.18 \$+ 376.56\$ = 903.74

Inversión fija = Costos directos + Costos indirectos

$$\text{Inversión fija} = 7531.21\$ + 903.74\$ = 8434.95 \$$$

4.1.2.- Costo de estabilización

4.1.2.1.- Costo directo de estabilización

- **Mano de obra**

El personal es el mismo, más bien se le facilitará y reducirá el tiempo en realizar el tratamiento de estabilización.

Costo de mano de obra = 0

- **Energía eléctrica**

El costo será el mismo para enfriar el refrigerante como se refrigera el vino actualmente. Donde incrementará el costo, será utilizando la bomba durante una hora de enfriamiento y el agitador durante el proceso.

Bomba con potencia de 0.5 hp= 0.44 kW x 0.7861Bs/kWh = 0.345 Bs

Durante 18 estabilizaciones:

$$0.345 \text{ Bs} \times 18 = 6.21 \text{ Bs de uso de la bomba}$$

Debido a que el cálculo de la potencia del agitador que se realizó dio un dato muy bajo, pero no tomó en cuenta el uso del moto reductor, se supone una potencia de 0.1 kW de agitador.

$$0.1 \text{ kW} \times 7 \text{ horas} = 0.7 \text{ kWh} \times 18 \text{ lotes} = 12.6 \text{ kWh} \times 0.7861 \text{ Bs/kWh} = 9.90 \text{ Bs}$$

$$\text{Costo total energía eléctrica} = 6.251 \text{ Bs} + 9.90 \text{ Bs} = 16.15 \text{ Bs} = 2.32 \$$$

- **Agua**

El agua que se utilizará para lavar los equipos será mucho menor ya que antes se realizaban en varios depósitos el proceso, entonces

$$\text{Costo Agua lavado} = 0$$

$$\text{Costo directo de producción} = 2.32 \$$$

4.1.2.2.- Gastos fijos

- Seguros

No se contará con seguro para la instalación,

$$\text{Seguros} = 0$$

- Impuestos

Se estima un 3% del costo directo de la inversión fija

$$\text{Impuestos} = 3\% \text{ costo directo de inversión fija}$$

$$\text{Impuestos} = 0.03 \times 8434.95 \$ = 253.05 \$$$

- Depreciación

La tasa anual de depreciación de maquinaria y equipo suele calcularse en el 10% de la inversión fija.

$$\text{Depreciación} = 10\% \text{ Inversión fija}$$

$$\text{Depreciación} = 0.1 \times 8434.95 \$ = 843.4 \$$$

Total Gastos fijos = Impuestos + Depreciación

$$\text{Total gastos fijos} = 253.05 \$ + 843.4 \$ = 1096.45 \$$$

Costo de estabilización = Costos directos de estabilización + total gastos fijos

$$= 2.32 \$ + 1096.45 \$$$

$$\text{Costo de estabilización} = 1098.77 \$$$

4.1.3.- Gastos generales.

Comprende los gastos demandados por investigación y desarrollo, distribución y marketing y servicios para la optimización del proceso de estabilización tartárica, se estima un 1.5% del costo de estabilización.

Gastos generales = 1.5% x Costo de estabilización

$$= 1098.77 \$ \times 0.015$$

$$\text{Gastos generales} = 16.48 \$$$

Costo total de estabilización = Costo de estabilización + gastos generales

$$\text{Costo total de estabilización} = 1098.77 \$ + 16.48 \$$$

$$\text{Costo total de estabilización} = 1115.25 \$$$

4.1.4.- Costo final del proyecto

El costo final del proyecto será igual al costo total de estabilización más el costo de inversión fija:

$$\text{Costo final del proyecto} = \text{Inversión fija} + \text{Costo total de estabilización}$$

$$= 8434.95 \$ + 1115.25 \$$$

Costo final del proyecto = 9550.2 \$

4.2.- Análisis de rentabilidad

Para el análisis de rentabilidad se toma como base de cálculo un lote de estabilización, considerando el proceso de estabilización actual y el que se plantea en este proyecto, se puede resumir en las siguientes tablas:

TABLA IV.5

Ingreso – Costo estabilización que se realiza en el CEVITA

Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total Bs	Costo total \$
Materia prima				720,00	103,45
CMC	kg	4,80	150,00	720,00	103,45
Vino blanco	l	1200,00	9,00		
Requisitos para el proceso				169,29	24,32
Energía eléctrica	kW	15,00	0,79	11,79	1,69
Agua para lavado	l	1500,00	0,01	7,50	1,08
Empleados	unidades	2,00	75,00	150,00	21,55
Tiempo de proceso	días				42,59
Pérdida de producto				1620,00	232,76
Vino con cristales	lt	120,00	9,00	1080,00	155,17
Vino acidificado	lt	60,00	9,00	540,00	77,59
Costo total de estabilización				2805,72	403,12
Costo total de estabilización por litro				2,34	0,34
Ingreso por estabilización				900,00	129,31
RELACIÓN BENEFICIO COSTO					0,32

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Como se puede observar en el análisis de Ingreso – costo de la tabla, existe mucha pérdida de producto que no se estabiliza bien y que el CEVITA lo guarda o lo consume en diferentes eventos, pero se estima que se pierde un 10% de vino por formación de cristales y maltrato del mismo, el cual ya no se comercializa, además de contribuir con la gran pérdida de vino que se acidifica en la bodega del CEVITA, tomando un valor del 5% para el cálculo del mismo, esto se ve reflejado en la “Pérdida de producto”. Esto eleva de gran manera el costo de estabilización del tratamiento que se realiza actualmente.

Otro factor a tomar en cuenta es el tiempo de proceso, donde se suma los costes de requisitos y materia prima y se lo divide entre tres, ya que el proceso lo realizan en una semana, y los tanques ocupan espacio, pudiéndose utilizar los tanques y equipos para otro propósito o poder acelerar el tratamiento, para acabar lo más rápido posible.

El costo del vino sin estabilizar, sin botella, etiqueta y corcho es 9 Bs.

El costo del vino estabilizado con etiqueta, corcho y embotellado es de 15 Bs.

Teniendo en cuenta el costo según el personal de bodega del CEVITA:

Botella de vidrio 750 ml por unidad = 4.5 Bs unidad y 4.2 Bs al por mayor.

Corcho = 0.45 Bs unidad y 0.35 Bs al por mayor.

Etiquetas = 0.4 Bs unidad y 0.3 Bs al por mayor

Sumando el precio del vino a 9 Bs

Precio de vino con etiqueta, corcho, embotellado = 9 Bs + 4.2 Bs + 0.35 Bs + 0.3 Bs

Vino embotellado sin estabilizar = 13.85 Bs

Por lo que el costo de la estabilización no debe pasar de 15 Bs – 13.85 Bs = 1.15 Bs

Tomando la mitad 0.575 Bs como ganancia del proceso de estabilización tartárica por botella y transformado a 1 litro, es 0.75 Bs de costo por litro de vino estabilizado.

Este valor se pone en el ingreso que se pretende recibir por litro de vino, para poder realizar el análisis de Beneficio-Costo.

TABLA IV.6

Ingreso – Costo estabilización propuesta de estabilización

Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo total Bs	Costo total \$
Materia prima					41,38
Bitartrato de Potasio	kg	1,92	150,00	288,00	41,38
Vino blanco	l	1200,00	9,00		
Requisitos para el proceso					39,26
Energía eléctrica	kW	25,00	0,79	19,65	2,82
Agua para lavado	l	1000,00	0,01	5,00	0,72
Placas de celulosa	unidades	4,00	24,65	98,60	14,17
Empleados	unidades	2,00	75,00	150,00	21,55
Tiempo de proceso	días				13,44
Pérdida de producto					15,52
Vino con cristales	lt	0,00	9,00	0,00	0,00
Vino acidificado	lt	12,00	9,00	108,00	15,52
Costo total de estabilización				762,79	109,60
Costo total de estabilización por litro				0,64	0,09
Ingreso por estabilización				900,00	129,31
RELACIÓN BENEFICIO COSTO					1,18

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tomando en cuenta el proceso por lotes se observa una relación Beneficio-Costo de 1.18, al ser mayor a uno hace referencia a que el proyecto es rentable, además de ser mucha la diferencia con el actual tratamiento.

$$\left(\frac{I}{C}\right)_{con. proyecto} > \left(\frac{I}{C}\right)_{sin. proyecto}$$

4.1.3 Verificación de la inversión

Se observa las tablas IV.5 y IV.6, que el costo total de estabilización del lote en el tratamiento que se realiza actualmente es 2805,72 Bs, ya que se tomó en cuenta el vino que no se estabiliza bien, no es rentables y que el mal tratamiento es una de las causas de la acidificación de los vinos en ácido acético.

Se observa el costo total de estabilización en el nuevo tratamiento planteado y es 762.79 Bs, entonces se puede calcular el ahorro que supondrá el uso del nuevo tratamiento.

Ahorro del nuevo tratamiento por lote = Costo total 1 – Costo total 2

$$= 2805.72 \text{ Bs} - 762.79 \text{ Bs}$$

Ahorro del nuevo tratamiento por lote = 2042.93 Bs

Ese será el ahorro del tratamiento por lote.

Se realizarán 18 lotes de tratamiento, 3 lotes por semana, durante un mes y medio, por lo tanto:

Ahorro del nuevo tratamiento anual = 2042.93 Bs/lote * 18 lotes/año

Ahorro del nuevo tratamiento anual = 36772.74 Bs = 5496.67 \$ al año

Siendo el Costo total de estabilización = 9550.2 \$ que se calculó previamente.

Ahorro del nuevo tratamiento < Costo total de estabilización

$$5496.67 \$ < 9550.2 \$$$

Por lo tanto el ahorro que se genera no es lo suficiente para pagar los costos totales de estabilización que incluyen los equipos, gastos generales, imprevistos, mano de obra, instalación, etc. en el primer año.

Pero para el segundo año, si se pagará completamente el costo de los equipos además de generar ingreso, al tener una vida útil de 10 años inicialmente el proyecto, generará más ingresos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.- Conclusiones y recomendaciones

5.1.- Conclusiones

Al finalizar con el proyecto de grado y cumpliendo con los objetivos planteados se puede concluir lo siguiente:

- El CEVITA tiene una bodega tipo planta piloto que produjo 28016.1 litros de vino el año 2013, tanto de su producción como de pequeños productores a los que brinda apoyo, llegando a su máxima capacidad en dicho año.
- El problema de precipitados en el vino es un tema ampliamente discutido, al igual que el uso de los métodos de prevención, ya que algunos enólogos lo ven de buena manera y otros no, esto depende de la cultura vitivinícola de la región, en la mayor parte del mundo, el consumidor rechaza estos vinos, más no el productor, en Tarija es conveniente por el momento seguir realizando el tratamiento de estabilización tartárica.
- La bodega del CEVITA tiene muchos problemas con la precipitación de cristales en el vino que produce ya que realiza el tratamiento de mala manera, además que la vid que se vinifica proviene de todo tipo de productores tiene vinos con alta saturación de sales tartáricas, mezcla tratamientos que tampoco funcionan, no se tiene un calendario establecido y no se realiza el tratamiento para todo el vino producido, esto da lugar a que se originen precipitados dentro de la botella, se pierda calidad al maltratarse el vino y se acelere la oxidación de etanol en ácido acético.
- Existen muchos métodos para evitar la precipitación tartárica dentro de la botella de los cuales se eligió para este proyecto de acuerdo a criterios técnicos, económicos y organolépticos el método de estabilización tartárica clásica modificado, el cual toma las ventajas del método de estabilización tartárica clásica y el método de estabilización tartárica de contacto.

- Dentro del método de estabilización tartárica clásica modificada hay muchas formas de enfriar el vino, de las cuales se eligió diseñar un serpentín que pasa alrededor del tanque interno en forma sinusoidal, debido a que es más económico que intercambiador de calor a placas, chaquetas y más factible que un serpentín vertical.
- Se diseñó y dimensionó el tanque de fondo cónico con capacidad de 1.2 m^3 de vino, que incluye un agitador de palas y un serpentín sinusoidal alrededor de la parte interior, dicho serpentín cuenta con 8 formas sinusoidales que se tomaron como una parábola y media, siendo el área de contacto necesaria 2.21 m^2 .
- El costo total del proyecto, incluyendo todos los equipos necesarios para comprar y utilizando los equipos que ya tiene la bodega del CEVITA, tiene un costo total de 9549.81 \$, los cuales proveen un gran ahorro en la producción ya que no se perderá tanto vino por acidificación y formación de cristales.
- Siendo el ahorro en el costo operativo de 5496.67\$ al año, se prevé que en el segundo año de haberse ejecutado el proyecto se recuperará la inversión inicial, evitando pérdidas económicas y mejorando la calidad del vino producido por el CEVITA.

5.2.-Recomendaciones

- Se recomienda al Centro Vitivinícola Tarija (CEVITA) mejorar la calidad de sus vinos, en este caso particular evitando la precipitación de cristales, ya que es un referente departamental de Investigación y Desarrollo en el área vitivinícola, para ello debería adquirir el equipo que se diseñó y cotizó.

- También se recomienda al CEVITA, que promueva la investigación y desarrollo, ya que el área vitivinícola es un área que está generando un gran movimiento económico dentro de la región y del país, y adquirir equipos de última generación como un detector automático de precipitados en el vino.
- Se recomienda que los estudiantes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho realicen más trabajos de investigación como el estudio de la cinética de cristalización del Bitartrato de Potasio, ya que no existen datos al respecto.