

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA PARA LA BODEGA DEL
CEVITA**

Por:

MARCELO LÓPEZ TRUJILLO

**Modalidad de graduación: Optimización de plantas industriales existentes,
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Diciembre de 2014

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Ing. Ernesto Álvarez González
DECANO

Ing. Silvana Paz Ramírez
VIDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Patricia Castillo Rocha

Ing. Franco Sánchez Bejarano

Ing. Vitermán Velásquez Chavarría

Dedicado a Dios porque gracias a él estamos aquí vivos y podemos disfrutar de este gran momento.

A mis padres por todo el cariño y apoyo incondicional que siempre me brindan. Gracias papá y mamá por el entendimiento, la confianza y el amor que me brindaron durante este periodo tan importante en mi vida.

A mi hermana que es un gran apoyo y consejera en mi vida.

A mi familia y amigos por todo su apoyo y cariño.

Al personal que trabaja en el CEVITA, que me brindó la información necesaria para desarrollar este trabajo.

A mis docentes por ayudarme a formarme como un gran profesional.

A mis tribunales por la gran colaboración, apoyo y consejos brindados en este trabajo.

Agradezco a todas las personas que conocí durante la realización de este trabajo y me ayudaron durante el mismo, fueron realmente una gran ayuda.

“En la noche que me envuelve
negra como un pozo abominable
yo agradezco al dios que fuere por
mi espíritu inconquistable.

Atrapado en este circunstancial
lugar yo he gemido pero no he
llorado ante las puñaladas que me
deparó el azar mi cabeza sangra,
pero no me he postrado.

Más allá de este lugar de furia y de
lágrimas me acosan las sombras
con terror.

Pero tantos años de amenazas me
encuentran sin temor.

Ya no importa cuál fue mi camino
ni cuántas culpas he acumulado.

“Soy el dueño de mi destino. Soy
el capitán de mi alma.”

“INVICTUS”

William Ernest Henley

ÍNDICE

	Pág.
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Índice	vi
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xv
Índice de Ecuaciones	xvi
Glosario, Nomenclatura, Abreviaturas Y Simbología Utilizada	xix
Unidades Utilizadas	xx
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Objetivos: General y Específicos	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Justificación	4
CAPÍTULO I ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	6
1.1.- Materia prima.	6
1.1.1.- Caracterización de la Vid.	6
1.1.2.- Caracterización del vino producido por la bodega del CEVITA	7

1.1.2.1.- Composición del vino tinto.....	7
1.1.2.2.- Ácido tartárico	9
1.1.2.3.- Bitartrato de potasio.....	11
1.1.2.4. Curvas de solubilidad.....	12
1.1.2.5. Métodos de detección de tartratos.....	14
1.2. Requerimientos del vino según la Norma Boliviana	17
1.2.1 Definición de vino.....	17
1.2.2.- Prácticas permitidas	17
1.2.2.1.- Vinificación	17
1.2.2.2.- Concentración de mosto.....	17
1.2.2.3.- Acidificación de mostos y vinos.....	17
1.2.2.4.- Tratamiento clarificante.....	18
1.2.2.5.- Uso del ácido metatartárico.	18
1.2.2.6.- Uso del crémor tártaro, tartrato de calcio o bitartrato de potasio	18
1.2.3.- Requisitos organolépticos	18
1.2.4.-Análisis de vino que realiza el CEVITA	19
1.3.- Localización de la planta.....	20
1.3.1.- Macrolocalización.....	20
1.3.2.- Micro localización	22
1.4.- Servicios auxiliares	22
1.4.1.- Servicios	22
1.4.2.- Servicios adicionales.....	23
1.5.- Distribución de la bodega del Centro Vitivinícola Tarija	24
1.5.1.- Depósito.....	24

1.5.2.- Baño	24
1.5.3.- Bodega	25
1.6.- Manejo de materiales.....	27
1.6.1.- Insumos enológicos	27
1.6.2.- Equipos y maquinaria	30
1.7.- Operación y control	31
1.8.- Producción de vino	33
1.9.- Manejo de efluentes	34
CAPÍTULO II CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	35
2.1.- Identificación del problema.	35
2.1.1.- Deficiente control previo al proceso de estabilización tartárica	36
2.1.2.- Estabilización tartárica clásica mal realizada	36
2.1.3.- Aireación del vino.....	37
2.1.4.- Mezcla de tratamientos	37
2.2.- Descripción de alternativas técnicas de solución.	37
2.2.1.-Estabilización tartárica por intercambio iónico	38
2.2.2.-Estabilización tartárica con Ácido Metatartárico.....	38
2.2.3.-Estabilización tartárica con Carboximetil Celulosa.....	39
2.2.4.-Estabilización tartárica por contacto o de corta duración	40
2.2.5.-Estabilización tartárica clásica o de larga duración	41
2.2.6.-Estabilización tartárica clásica modificada.....	43
2.3.- Selección de la alternativa de solución más apropiada de acuerdo a criterios apropiados	44
2.3.2.- Análisis de alternativas	44

2.3.2.1.- Alternativas de implementación	44
2.3.2.2.- Simulación experimental	48
2.3.2.3.- Análisis fisicoquímicos posteriores	54
2.3.2.4.- Ensayos de puesta en frío.....	55
2.3.3.- Alternativa propuesta para el nuevo sistema de estabilización tartárica	57
2.3.4.- Selección del método de estabilización tartárica clásica modificada	58
2.4.- Definición de condiciones y capacidad.....	59
2.5.- Selección del o de los equipos necesarios.	61
2.5.1.- Selección del tipo de serpentín	62
2.5.2.- Selección del tipo de agitador	65
2.5.3.- Selección del tipo de tanque	67
CAPÍTULO III ESPECIFICACION Y DISEÑO DEL EQUIPO	69
3.- Especificación y diseño del equipo	69
3.1.- Diagrama de flujo incluyendo la alternativa de solución.	69
3.1.1.- Detalle de los equipos necesarios	74
3.1.2.- Detalle de los instrumentos necesarios	75
3.2.- Balance de materia y energía.....	76
3.2.1.- Balance de materia y energía analítico.	77
3.3.- Metodología de diseño del equipo principal.	83
3.3.1.- Diseño del tanque.....	83
3.3.3.- Diseño del agitador	86
3.3.4.- Diseño del serpentín	89
3.4.-Cálculos del diseño del equipo principal.	95
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO	116

4.- Determinación del costo capital.....	116
4.1- Evaluación económica.	116
4.1.1.- Inversión fija.	116
4.1.1.1.- Activos fijos.....	117
4.1.1.2.- Activos diferidos.....	119
4.1.2.- Costo de estabilización	120
4.1.2.1.- Costo directo de estabilización	120
4.1.2.2.- Gastos fijos	121
4.1.3.- Gastos generales.	122
4.1.4.- Costo final del proyecto.....	122
4.2.- Análisis de rentabilidad.....	123
4.1.3 Verificación de la inversión	126
CAPÍTULO V COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
5.- Conclusiones y recomendaciones.....	128
5.1.- Conclusiones.....	128
5.2.-Recomendaciones	129
BIBLIOGRAFÍA.....	131
ANEXOS	135
ANEXO I Producción del CEVITA.....	135
ANEXO II Equipo de frío	137
ANEXO III Selección del refrigerante.....	139
ANEXO IV Fichas de análisis organoléptico	143
ANEXO V Fotografías del análisis fisicoquímico.....	149
ANEXO VI Intercambiador de calor	151

ANEXO VII Propiedades de fluidos.....	156
ANEXO VIII Propiedades de materiales	157
ANEXO IX Tablas para calcular potencia.....	158
ANEXO X Gráfica de Sieder y Tate para calcular hi	160
ANEXO XI Longitud de arco de la parábola.....	161
ANEXO XII Cotización de equipo diseñado	163

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla i-1 Tipos de estabilización por frío y su tiempo de duración.....	2
---	---

CAPÍTULO I ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Tabla I-1 Composición de la uva por cada 100 gr	6
Tabla 1-2 Composición del vino tinto.....	7
Tabla 1-3 Contenido de sales en el vino	9
Tabla 1-4 Solubilidad del Bitartrato de potasio	13
Tabla 1-5 Requisitos organolépticos de los vinos.....	18
Tabla I-8 Resumen de equipos de la Bodega del CEVITA	30

CAPÍTULO II CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Tabla II-1 Tabla de decisiones “cuantitativas” aplicada a la selección del método de estabilización tartárica para vino blanco.	46
Tabla II-2 Tabla de decisiones “cuantitativas” aplicada a la selección del método de estabilización tartárica para vino tinto.....	47
Tabla II-3 Resultados del análisis organoléptico de la simulación experimental	53
Tabla II-4 Resultados de los análisis rutinarios realizados en la bodega del CEVITA	54
Tabla II-5 Resultados de puesta en frío de muestras.....	55
Tabla II-6 Resultados de puesta en frío de muestras.....	56

CAPÍTULO III ESPECIFICACION Y DISEÑO DEL EQUIPO

Tabla III-1 Equipos involucrados en el nuevo sistema de tratamiento	74
Tabla III-2 Balance de materia.....	82
Tabla III-3 Agitador a palas	86
Tabla III-4 Propiedades de los fluidos a temperatura media.....	100
Tabla III-5 Cálculo de la ecuación y longitud total del serpentín en función a la altura de la parábola	108
Tabla III-6 Equipo principal – Tanque.....	109
Tabla III-7 Equipo principal – Agitador	110
Tabla III-8 Equipo principal – Serpentín	111
Tabla III-9 Equipo principal – Serpentín cálculos	112
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO	116
Tabla IV.1 Estimación del costo del tanque agitado fondo cónico con agitador y serpentín	117
Tabla IV.2 Estimación del costo de equipo y accesorios adicionales.....	117
Tabla IV.3 Costo de instalación completa	118
Tabla IV.4 Cosco de insumos y materiales directos e indirectos.....	119
Tabla IV.5 Ingreso – Costo estabilización que se realiza en el CEVITA	123
TABLA IV.6 Ingreso – Costo estabilización propuesta de estabilización	125
ANEXOS	
Tabla AIII-1 Tabla de decisiones “cuantitativas” aplicada a la selección del refrigerante secundario.....	140
Tabla AIII-2	142
Propiedades de los distintos refrigerantes	142

Tabla VII-1 Fluidos.....	156
Tabla VIII. Materiales.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura i-1 Bitartratos presentes en el vino tinto 1

CAPÍTULO I ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Figura 1-1 Curva de Especies de Tartrato vs pH 11

Figura 1-2 Curva de solubilidad de Bitartrato de potasio 12

Figura 1-3 Curva de solubilidad de Bitartrato de potasio a distintos grados
alcohólicos..... 14

Figura 1-4 Sistema computarizado de detección de estabilidad tartárica 16

Figura 1.5 Ubicación del Centro Vitivinícola Tarija 21

Figura 1-6 Plano de la bodega del CEVITA 26

CAPÍTULO II CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Figura 2-1.- Diagrama de bloques de elaboración de vino blanco en el CEVITA. ..
..... 35

Figura 2-2 Diagrama del tratamiento de estabilización tartárica por corta duración.
..... 40

Figura 2-3 Diagrama del tratamiento de estabilización tartárica clásica o de larga
duración realizado en la bodega del CEVITA 43

Figura 2-4 Enfriamiento de vino en el intercambiador de calor de placas del
Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU)..... 49

Figura 2-5 CMC diluida lista para añadir al vino a estabilizar 50

Figura 2-6 Enfriamiento de vino con baño de refrigerante y agitación magnética...
..... 51

Figura 2-7 Equipo utilizado para enfriar el refrigerante utilizado en la simulación experimental.....	51
Figura 2-8 Precipitación tartárica observada en vino embotellado puesto en el freezer por 8 días	52
Figura 2-9 Alternativa propuesta para el sistema de estabilización tartárica.....	57
Figura 2-10 Cronograma propuesto para realizar la estabilización tartárica	60
Figura 2-11 Serpentín con agitador.....	62
Figura 2-12. Tipos de serpentín	64
Figura 2-13. Tipos de agitadores.....	67
Figura 2-14. Tanque fondo cónico.....	68

CAPÍTULO III ESPECIFICACION Y DISEÑO DEL EQUIPO

Figura 3.1 Diagrama PFD del enfriamiento de refrigerante	71
Figura 3.2 Diagrama PFD del tratamiento de estabilización tartárica	72
Figura 3.3 Diagrama de bloques del sistema de estabilización tartárica propuesto.	76
Figura 3.5 Parábola que conformará el serpentín sinusoidal	102
Figura 3.6 Equipo principal vista 2D	114
Figura 3.7 Equipo principal vista 3D	114
Figura 3.8 Equipo principal vista interna 3D	115

ANEXOS

Figura A.1	135
Molienda de Uva producida por el CEVITA	135
Figura A.2	136
Molienda de Uva producida por los pequeños productores	136

Figura B.1.....	137
Equipo de frío utilizado en el CEVITA	137
Figura B.2.....	138
Características técnicas del equipo de frío utilizado en el CEVITA.....	138

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1.1 Método de Wurdig	22
Ec. 2.1 Temperatura de formación de cristales	42
Ec. 2.2 Temperatura de formación de cristales desarrollada	42
Ec. 3.1 Ecuación de entalpía	78
Ec. 3.2 Ley cero de la termodinámica	78
Ec. 3.3 Volumen de cilindro	84
Ec. 3.4 Altura de cilindro de seguridad	84
Ec. 3.5 Volumen de cono	84
Ec. 3.6 Altura de la cabeza cónica	84
Ec. 3.7 Volumen de la cabeza cónica.....	84
Ec 3.8 Diámetro de tapa	85
Ec 3.9 Peso del tanque vacío	86
Ec 3.10 Ecuación de Pitágoras	86
Ec. 3.11 Velocidad de agitación necesaria.....	87

GLOSARIO, NOMENCLATURA, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA UTILIZADA

% V/V:	Relación Porcentaje Volumen-Volumen
% P/P:	Relación Porcentaje Peso-Peso
AISI 316:	Clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.
CEVITA:	Centro Vitivinícola Tarija
DPIBA:	Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales
ec.	Ecuación
KHT:	Bitartrato de Potasio
LOU:	Laboratorio de Operaciones Unitarias
Mosto:	Líquido acuoso que contiene un conjunto complejo de sustancias solubles y en suspensión derivadas de los ingredientes.
MLDT:	Logaritmo medio de temperatura
NB-32002.	Norma Boliviana que define y clasifica el vino.
Nu:	Número de Nusselt
Pr:	Número de Prandtl
Re:	Número de Reynolds
SI:	Sistema Internacional
UAJMS:	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
TCa:	Tartrato de Calcio

UNIDADES UTILIZADAS

%:	Porcentaje
bar:	Bar
°C:	Grado Centígrado
cal:	Caloría
cal/g °C:	Caloría por Gramo Grado Centígrado
cm³:	Centímetro Cúbico
cm³/min:	Centímetro Cúbico por Minuto
cm³bar/mol K:	Centímetro Cúbico Bar por Mol Grado Kelvin
°GL:	Grado Gay Lussac
g:	Gramo
g/g:	Gramo por gramo
g/l:	Gramo por Litro
g/ml:	Gramo por Mililitro
ha:	Hectárea
K:	Grado Kelvin
J:	Joule
kcal:	Kilocaloría
kg:	Kilogramo
kg/día:	Kilogramo por Día
kg/ha:	Kilogramo por Hectárea
kg/kg:	Kilogramo por Kilogramo
kJ:	Kilojoule

kJ/kg:	Kilojoule por Kilogramo
kJ/kg °C:	Kilojoule por Kilogramo Grado Centígrado
kJ/mol:	Kilojoule por Mol
KN/m²:	Kilonewton por Metro Cuadrado
kW:	Kilovatio
l:	Litro
m³:	Metro Cúbico
mcg:	Microgramo
mg:	Miligramo
mg/l:	Miligramo por Litro
min:	Minuto
ml:	Milímetro
mm:	Milímetro
mol:	Mol
Pa.s:	Pascal por segundo
ppm:	Partes por millón
RPM:	Revoluciones por minuto