

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE
OPERACIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN
TARTÁRICA DE VINOS MEDIANTE EL
PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

SUSANA ELIZABETH GONZALES CARBAJAL

Callao, Diciembre del 2017

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue expuesta por el Bachiller **GONZALES CARBAJAL SUSANA ELIZABETH**, ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° CALDERÓN CRUZ JULIO CÉSAR	: Presidente
ING° LAZO CAMPOSANO ROBERTO	: Secretario
ING° AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	: Vocal
ING° GUTIÉRREZ CUBA CESAR	: Asesor

Tal como está asentado en el **Libro 2 Folio N° 102 Acta N° 285 de Sustentación de Tesis sin Ciclo de Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniero Químico**; con fecha **19 DE DICIEMBRE DEL 2017**, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 082-2011-CU de fecha 29 de abril del 2011 y Resolución N° 221-2012-CU de fecha 19 de setiembre del 2012.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas sus bendiciones y cuidados personales en el trayecto de la realización de esta tesis.

A la Universidad Nacional del Callao y la Facultad de Ingeniería Química por la formación brindada y los valores inculcados.

Al Ing. Ms. Juan Medina Collana, que por su dedicación e interés en este tipo de proyecto, pudo brindarme la orientación necesaria para la ejecución y desarrollo de la presente tesis de investigación además del uso del equipo de electrodiálisis y todos los materiales y equipos que pudieron contribuir al desarrollo del proyecto.

Al Ing. Serrano quien con sus conocimientos sobre el vino me ayudó a entender el proceso que me sirvieron para orientarlo a la elaboración de mi tesis.

A mi gran amigo y compañero de estudios Andy Salazar Sanchez por su paciencia y apoyo constante en la realización de las corridas experimentales de la tesis.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Química; al Ing. Carlos Ángeles Queirolo, por sus sabios consejos y recomendaciones.

A mi hermana Tatiana, gracias a sus conocimientos pudo orientarme en la estructura y metodología de la presente tesis.

A mi hermana Edith, por su valioso tiempo y amor brindado a mis pequeños hijos en mi ausencia para culminar con el desarrollo de esta tesis.

A mi asesor el Ing. César Gutiérrez Cuba que me apoyó con sus conocimientos en todo el proceso hasta la sustentación de esta tesis.

ÍNDICE

	Página
CARÁTULA	
PÁGINA DE RESPETO	
HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE	1
LISTADO DE TABLAS	6
LISTADO DE FIGURAS	9
LISTADO DE GRÁFICOS	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Identificación del problema	15
1.2 Formulación del problema	16
1.3 Objetivos de investigación para la tesis	17
1.4 Justificación de la investigación	17
1.5 Importancia	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	19
2.2 Los vinos	29
2.2.1 Composición del vino	30
2.2.2 Clasificación de los vinos	32
2.3 Variedad de uva para producción del vino	34

2.3.1	Variedad de uva Isabella	34
2.4	Estabilización Tartárica de los vinos	35
2.4.1	Fisicoquímica de las precipitaciones tartáricas	38
2.4.2	Tratamientos de las precipitaciones tartáricas (Métodos)	41
2.5	Proceso de Electrodiálisis	48
2.5.1	Polarización y densidad de corriente limite en la electrodiálisis	63
2.5.2	Membranas de intercambio iónico	67
2.6	Importancia y factores de variación de la acidez y del pH: visión general de la problemática de la disminución de la acidez de los vinos	71
2.6.1	El pH y la acidez en el tratamiento por electrodiálisis	74
2.6.2	Potasio y pH de los vinos	76
CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS		
3.1	Variables de la investigación	78
3.2	Operacionalización de variables	78
3.2.1	Variable	78
3.2.2	Dimensiones	78
3.2.3	Indicadores	78
3.3	Hipótesis	80
3.3.1	Hipótesis general	80
3.3.2	Hipótesis específicas	80
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA		
4.1	Tipo de investigación	81
4.2	Diseño de la investigación	81
4.2.1	Diseño experimental	81

4.2.2	Bases de Diseño	92
4.2.3	Diseño de parámetros	93
4.3	Población y muestra	94
4.3.1	Características	94
4.3.2	Delimitación	94
4.3.3	Ubicación y espacio temporal	94
4.3.4	Tamaño de la muestra	95
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	95
4.4.1	Tipo de técnica	95
4.4.2	Tipo de método	95
4.4.3	Tipo de instrumento	95
4.4.4	Etapas del desarrollo de la tesis	95
4.4.5	Técnicas analíticas para el vino antes de estabilizarlo.	96
4.4.6	Método para determinar los parámetros de operación de los factores dados para el vino en el equipo de electrodiálisis	97
4.4.7	Método para determinar la densidad de corriente límite.	97
4.4.8	Técnicas analíticas para el vino después de estabilizarlo.	98
4.4.9	Método para la reducción de la carga iónica del vino	99
4.5	Procedimiento de recolección de datos	99
4.5.1	Procedimiento experimental para determinar la densidad de corriente límite	99
4.5.2	Procedimiento experimental para determinar el porcentaje de desionización del vino	100
4.5.3	Procedimiento para determinar la concentración de los iones potasio y calcio en el vino	101

4.5.4	Procedimiento para determinar el número de corridas experimentales para la obtención de los parámetros	101
4.5.5	Procedimiento para determinar los parámetros de operación para alcanzar la estabilización tartárica del vino	102
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos	102
CAPÍTULO V RESULTADOS		
5.1	Resultados de los análisis del vino antes de estabilizarlo	105
5.2	Resultados del ensayo experimental para determinar la densidad de corriente límite.	106
5.2.1	Condiciones de trabajo de acuerdo a la matriz de diseño ortogonal L9 del método Taguchi	106
5.3	Resultados de ensayo de corridas experimentales con el diseño experimental Taguchi para obtener los parámetros de operación.	111
5.4	Resultados de análisis del vino después de estabilizarlo	131
5.4.1	Porcentaje de desionización del vino de las muestras tomadas	131
5.4.2	Porcentaje de desionización del vino respecto al tiempo (50, 60, 70 min.)	132
5.4.3	Porcentaje de desionización de iones potasio y calcio en las muestras tomadas para la experiencia N° 5	134
5.4.4	Concentración de iones Potasio y Calcio en cada muestra tomada de todas las experiencias	134
5.4.5	Análisis fisicoquímico del vino para la experiencia N° 5	135
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS		
6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados	137
6.2	Contrastación de resultados con otros estudios similares	139

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES		
7.	Conclusiones	141
CAPÍTULO VIII RECOMENDACIONES		
8.	Recomendaciones	142
CAPÍTULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
9.1	Referencias bibliográficas	143
9.2	Publicación Web	147
ANEXOS		150

LISTADO DE TABLAS

Nº TABLA	TITULO	PÁGINA
TABLA Nº 2.1	CONTENIDO DE MINERALES EN EL VINO	31
TABLA Nº 2.2	COMPONENTES FISICOQUÍMICOS EN EL VINO	32
TABLA Nº 2.3	PRINCIPALES ÁCIDOS ORGÁNICOS (ANIONES) QUE DETERMINAN EL EQUILIBRIO ÁCIDO –BASE DE LOS VINOS	73
TABLA Nº 2.4	PRINCIPALES MINERALES PRESENTES (CATIONES) SUSCEPTIBLES DE INTERVENIR EN EL EQUILIBRIO ACIDO- BASE DE LOS VINOS	74
TABLA Nº 2.5	EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE UN VINO TINTO (MERLOT) TRAS EL TRATAMIENTO POR ELECTRODIÁLISIS PARA SU ESTABILIZACIÓN EN MATERIA DE PRECIPITACIONES TÁRTRICAS	76
TABLA Nº 3.1	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	79
TABLA Nº 4.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS ANIÓNICAS Y CATIONICAS	84
TABLA Nº 4.2	ESPECIFICACIONES DEL CONDUCTÍMETRO HANNA	89
TABLA Nº 4.3	ESPECIFICACIONES DEL PH METRO HANNA	90
TABLA Nº 4.4	ESPECIFICACIONES DEL MULTIMETRO SANWA	91
TABLA Nº 4.5	ARREGLO ORTOGONAL L9	92
TABLA Nº 4.6	DISEÑO DE PARÁMETROS: ARREGLO ORTOGONAL L9 DEL MÉTODO TAGUCHI.	93
TABLA Nº 5.1	INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS	105
TABLA Nº 5.2	CONCENTRACIÓN DE METALES CALCIO Y POTASIO EN EL VINO	105

TABLA N° 5.3	INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS	106
TABLA N° 5.4	MATRIZ DE DISEÑO ORTOGONAL USANDO EL MÉTODO TAGUCHI PARA DETERMINAR EL VOLTAJE DE OPERACIÓN	106
TABLA N° 5.5	DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 1	107
TABLA N° 5.6	DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 2	108
TABLA N° 5.7	DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 3	109
TABLA N° 5.8	DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 4	110
TABLA N° 5.9	RESULTADOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN LIMITANTE	111
TABLA N° 5.10	MATRIZ DE DISEÑO ORTOGONAL USANDO EL MÉTODO TAGUCHI	111
TABLA N° 5.11	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 1	112
TABLA N° 5.12	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 2	114
TABLA N° 5.13	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 3	116
TABLA N° 5.14	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 4	118
TABLA N° 5.15	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 5	120
TABLA N° 5.16	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 6	122
TABLA N° 5.17	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 7	125
TABLA N° 5.18	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 8	127
TABLA N° 5.19	DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 9	129
TABLA N° 5.20	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN DEL VINO EN CADA EXPERIENCIA	132

LISTADO DE FIGURAS

Nº FIGURA	TITULO	PÁGINA
FIGURA Nº 2.1	ESQUEMA DE UN PROCESO CONTINUO DE ED EN UNA CELDA	37
FIGURA Nº 2.2	MEMBRANA ANIÓNICA Y CATIONICA PERMEABLE	38
FIGURA Nº 2.3	SOLUBILIDAD DE SALES DEL ÁCIDO TARTÁRICO EN LOS VINOS	39
FIGURA Nº 2.4	ESTADOS DEL BITARTRATO DE POTASIO EN LOS VINOS	40
FIGURA Nº 2.5	ESQUEMA DE LAS PRECIPITACIONES DE BITARTRATO DE POTASIO.	41
FIGURA Nº 2.6	ESQUEMA DE LAS PRECIPITACIONES DE BITARTRATO DE POTASIO	44
FIGURA Nº 2.7	ESQUEMA DE UN MÓDULO DE ED DE CELDAS DE DOS COMPARTIMIENTOS	50
FIGURA Nº 2.8	CELDA ELECTRODIALÍTICA CON MEMBRANAS BIPOLARES	53
FIGURA Nº 2.9	SISTEMA BATCH DE ED	54
FIGURA Nº 2.10	SISTEMA CONTINUO DE ELECTRODIÁLISIS	55
FIGURA Nº 2.11	ESQUEMA DE UN MÓDULO DE ELECTRODIÁLISIS	57
FIGURA Nº 2.12	PROCESO DE TRANSPORTE DURANTE EL PROCESO DE ELECTRODIALISIS	62
FIGURA Nº 2.13	GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN EN LA INTERFASE	65
FIGURA Nº 2.14	ESQUEMA DE UNA MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEM)	69
FIGURA Nº 2.15	ESQUEMA DE UNA MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIONICO Y ANIÓNICO	70

FIGURA N° 2.16	PRINCIPIO DE LOS INTERCAMBIOS DE IONES A TRAVÉS DE UNA CELDA DE ED	75
FIGURA N° 4.1	EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS A NIVEL LABORATORIO	82
FIGURA N° 4.2	MODULO DE ELECTRODIÁLISIS VISTA LATERAL Y VISTA FRONTAL	83
FIGURA N° 4.3	ELECTRODO DE TITANIO PLATINADO (DERECHA) Y ELECTRODO DE ACERO INOXIDABLE (IZQUIERDA)	83
FIGURA N° 4.4	ESPACIADORES	84
FIGURA N° 4.5	JUNTAS DENTRO DEL MODULO DE ED	85
FIGURA N° 4.6	BOMBAS CENTRIFUGAS	86
FIGURA N° 4.7	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LAS SOLUCIONES.	87
FIGURA N° 4.8	ROTÁMETROS	87
FIGURA N° 4.9	FUENTE ELÉCTRICA CONTINUA	88
FIGURA N° 4.10	CONDUCTÍMETRO	89
FIGURA N° 4.11	PHMETRO	90
FIGURA N° 4.12	MULTÍMETRO DIGITAL SANWA	91
FIGURA N° 4.13	MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE	100
FIGURA N° 4.14	MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE CON EL MULTÍMETRO	100
FIGURA N° 4.15	RECIRCULACIÓN DEL VINO, SALMUERA Y SOLUCIÓN DE LAVADO DE ELECTRODOS EN EL EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS.	104

LISTADO DE GRÁFICOS

N° GRÁFICO	TITULO	PÁGINA
GRÁFICO N° 5.1	CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE N° 1 - EXPERIENCIA N° 1	107
GRÁFICO N° 5.2	CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE N° 2 - EXPERIENCIA N° 5	108
GRÁFICO N° 5.3	CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE N° 3 - EXPERIENCIA N° 6	109
GRÁFICO N° 5.4	CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE N° 4 - EXPERIENCIA N° 9	110
GRÁFICO N° 5.5	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1	113
GRAFICO N° 5.6	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN -TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1	113
GRAFICO N° 5.7	pH DEL VINO-TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1	114
GRAFICO N° 5.8	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2	115
GRAFICO N° 5.9	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN -TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2	115
GRAFICO N° 5.10	pH DEL VINO-TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2	116
GRAFICO N° 5.11	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3	117
GRAFICO N° 5.12	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN -TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3	117
GRAFICO N° 5.13	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3	118
GRAFICO N° 5.14	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4	119
GRAFICO N° 5.15	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4	119
GRAFICO N° 5.16	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4	120

GRAFICO N° 5.17	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5	121
GRAFICO N° 5.18	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5	121
GRAFICO N° 5.19	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5	122
GRÁFICO N° 5.20	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6	123
GRÁFICO N° 5.21	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6	124
GRÁFICO N° 5.22	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6	124
GRÁFICO N° 5.23	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 7	125
GRÁFICO N° 5.24	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 7	126
GRÁFICO N° 5.25	pH DEL VINO - TIEMPO PARA LA EXPERIENCIA N° 7	126
GRAFICO N° 5.26	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO -EXPERIENCIA N° 8	128
GRAFICO N° 5.27	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 8	128
GRAFICO N° 5.28	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 8	129
GRAFICO N° 5.29	CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9	130
GRAFICO N° 5.30	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9	130
GRAFICO N° 5.31	pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9	131
GRAFICO N° 5.32	PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN DEL VINO RESPECTO AL TIEMPO	133

RESUMEN

El ácido tartárico es uno de los ácidos que encontramos en mayor porcentaje en el vino, bajo ciertas condiciones puede precipitar de forma parcial por la presencia de cationes calcio (Ca^{++}) y potasio (K^+), formando sales de tartrato hidrogeno de potasio (KHT) y tartrato de calcio (CaT). La solubilidad de estas sales disminuye durante la fermentación alcohólica y por el enfriamiento del vino, así que durante la conservación de los vinos los tartratos se vuelven insolubles manteniéndose en disolución una cantidad suficiente de estas sales y lo demás empieza a precipitarse aún cuando se encuentra embotellado. Esto puede ser evitado con un tratamiento de estabilización oportuno aplicado antes del embotellado ya que la presencia de sedimentos de tartrato no es admitido por los consumidores.

Mediante el uso de un equipo de electrodiálisis (ED) ubicado en el laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, se logró estabilizar los tartratos de potasio y sodio presentes en el vino de la variedad de uva Isabella, antes de ello con un arreglo ortogonal del diseño experimental de Taguchi de matriz $L9(3)^4$ se realizó nueve corridas experimentales con tres niveles y cuatro factores con el cual se determinó los parámetros del caudal de alimentación con 600 mL/min, la concentración de la salmuera (Cloruro de Sodio) con 0,08 N; el voltaje con 10 V y con una concentración constante de 0,05 N para la solución de lavado (Sulfato de sodio).

ABSTRACT

Tartaric acid is one of the acids found in highest percentage in wine, under certain conditions can be precipitated partially by the presence of cations calcium (Ca^{++}) and potassium (K^+), forming salts such as potassium hydrogen tartrate (KHT) and calcium tartrate (CaT). The solubility of these salts decreases during the alcoholic fermentation, as well as the cooling of wine. The tartrates become insoluble during storage of wines, staying in solution one sufficient quantity of these salts and else begins to rush even it is bottled. This can be avoided with appropriate stabilization treatment applied before bottling the presence of sediments of tartrate is not admitted by the consumers.

It managed to stabilize the potassium and sodium tartrate in the Isabella grape variety wine making use of electro dialysis equipment located inside the unit operations laboratory at the Faculty of Chemical Engineering of the Universidad Nacional del Callao, prior to that with an Design of experiments Taguchi methods: orthogonal array $L_9(3)^4$ was carried out nine experimental runs with three levels and four with which determined the parameters of power flow with 600 mL/min, the concentration of the brine (sodium chloride) with 0.08 N; voltage and with a constant concentration of 0.05 N for the washing solution (sodium sulfate).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En la actualidad, la estabilización tartárica de los vinos sigue siendo uno de los principales problemas que pueden afectar la calidad y su comercialización. Existe una demanda por parte del consumidor de poder degustar vinos que sean biológicamente y químicamente estables. Los vinos jóvenes contienen diversas sales disueltas, principalmente son sales de potasio, calcio, hierro, cobre, magnesio y otras. La mayoría de estos elementos pueden dar lugar a fenómenos de inestabilidad, aunque el más importante es debido al ion potasio y calcio. Estos vinos se encuentran naturalmente en estado de sobresaturación por las sales de potasio y de calcio del ácido tartárico que debido a la acción de ciertos factores como la disminución de su temperatura, la concentración de iones tartrato, potasio y calcio, tienden a precipitar y depositarse de forma cristalina durante y después de la fermentación alcohólica como bitartrato de potasio y tartrato de calcio, conllevando a una disminución de la acidez total y un ligero aumento del pH del vino.

En los años recientes en Europa ha surgido un interés científico en la investigación enológica en el tratamiento de los vinos, buscando la tecnología más adecuada que conserve sus características fisicoquímicas y organolépticas, siendo el objetivo principal inhibir la precipitación de los tartratos fundamentalmente. Dentro de los tratamientos existentes más usados en la actualidad en la industria vitivinícola peruana es el tratamiento con frío que de acuerdo a estudios realizados por diversos

autores en Francia, Portugal y España, han demostrado que tiene ciertas limitaciones quienes han propuesto una alternativa para lograr avances trascendentes en el desempeño de la celda de electrodiálisis (ED) como proceso de separación de los iones del vino. Aunque en nuestro país ya existe el diseño del dispositivo (celda de ED) a escala de laboratorio para otros usos sin embargo no se ha implementado aun este tipo de celdas en la industria vitivinícola. Es por ello que el presente trabajo se enfoca en determinar los parámetros para la estabilización tartárica del vino joven de la variedad Isabella en la industria peruana mediante el proceso de Electrodiálisis, de modo para sentar las bases para futuras mejoras a escala industrial.

1.2 Formulación del problema

Problema general

¿Cuáles serán los parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven de la variedad Isabella en la industria peruana mediante el proceso de electrodiálisis?

Sub-problemas

- a. ¿Cuáles son los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad Isabella?
- b. ¿Cuál es el porcentaje de desionización de los iones potasio, calcio y del ácido tartárico del vino joven de la variedad Isabella?

1.3 Objetivos de investigación para la tesis

Objetivo general

Determinar los parámetros de operación para la estabilización tartárica de vinos jóvenes en la industria peruana mediante el proceso de electrodiálisis

Objetivos específicos

- a. Identificar los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad Isabella.
- b. Determinar el porcentaje de desionización de los iones potasio, calcio y del ácido tartárico del vino joven de la variedad Isabella.

1.4 Justificación de la investigación

La investigación que se propone, se justifica por las siguientes razones:

- a. En nuestro país el vino joven de la variedad de uva “Isabella” conocido como “vino borgoña” reciben un tratamiento convencional para los sedimentos (tartrato de potasio y calcio) que se forman en la base de la botella siendo un problema grave en la calidad del producto.
- b. La contribución del presente trabajo además propone una alternativa de solución a los tratamientos convencionales para la estabilización del vino aumentando su estabilidad y así pueda **lograr el aguante a las condiciones límites de conservación** (aireación, exposición a la luz, temperaturas bajas o elevadas) y mejorar sus propiedades organolépticas sin causarles ninguna alteración.

- c. El costo de la estabilización del vino por electrodiálisis es más económica que los tratamientos convencionales para evitar la precipitación tartárica por lo que las empresas puedan evaluar la que mejor se adapte a su economía.

1.5 Importancia

El vino joven de la variedad de uva Isabella está normalmente saturado con sales tartáricas formadas por los iones de potasio y calcio. Estas sales precipitan durante el proceso de fermentación y se vuelven muy insolubles en la solución hidroalcohólica. Es por ello que la estabilización tartárica del vino es de suma importancia *para evitar la formación de precipitados*. El proceso usado en esta tesis para evitar todo ello es la electrodiálisis. Por antecedentes de estudios realizados anteriormente dadas en otras fuentes, se ha demostrado que el usar este tipo de proceso es el más adecuado sobre los ya existentes, por ello es importante realizar la estabilización tartárica del vino con un equipo de electrodiálisis. Para hacer el uso adecuado de este equipo también es muy importante conocer los parámetros de los factores del diseño del equipo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En muchas aplicaciones, la Electrodialisis está en competencia directa con otros procesos de separación como destilación, intercambio iónico, ósmosis inversa y varios procedimientos cromatográficos. Para ciertas aplicaciones hay muy pocas alternativas económicas a la Electrodialisis. Aunque este proceso es conocido en principio desde hace más de ochenta años, la utilización a escala industrial comenzó hace veinticinco años en Europa pero su estudio en los últimos años ha abarcado más continentes como América y Asia realizando más estudios sobre las diferentes aplicaciones que se pueden dar a este proceso.

Las aplicaciones potenciales más importantes de la Electrodialisis incluyen: Desalación del agua salobre, Concentración de agua marina, Desalación de agua marina, Desmineralización de suero, Recuperación de metales y aguas de lavado de electrodeposición, Desalación de purga de agua de fibra de refrigeración, Recuperación de ácidos y bases de efluentes ácidos usados, Desmineralización del vino, Desmineralización del azúcar. (Lacey y Loeb, 1972; Leitz y Eisenmann, 1981; Mami, 1991; Itoi, 1979; Moutounet y Escuden 1991; Katz, 1982; Hughes, Raubenheimer y Viljoen, 1992). Las aplicaciones de la Electrodialisis bipolar incluyen: Regeneración de licores usados en la manufactura de acero inoxidable (recuperación de HF, HNO₃, KOH), Desulfuración de humos y gases para producir

sulfito sódico, Recuperación de ácido fluorhídrico del ácido fluorsilícico, un subproducto de las plantas de proceso húmedo del ácido fosfórico, Recuperación de ácidos y aminoácidos orgánicos, Recuperación del regenerante de intercambiadores iónicos, Purificación de ácidos y bases, Control de contaminación. (Scott, 1990; Mani, 1991; Chiao, Chlanda y Mani, 1990)

Los antecedentes que se han podido encontrar en materia de investigación son:

- ***“Desarrollo de módulos de Electrodialisis para la desalinización de aguas salobres, determinación de Parámetros físicos y evaluación experimental de modelo difusional”*** Tesis para optar el grado académico de maestro en Ingeniería de procesos, Ing. Juan Medina Collana en la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2009. Tiene como objetivo general determinar los parámetros de operación para la desalinización del agua salobre mediante el proceso de electrodiálisis, concluyendo los siguientes parámetros de operación para alcanzar el mayor porcentaje de desalinización, con un voltaje de 18 voltios, una menor distancia de separación entre membranas de 4mm, una menor concentración de agua de 1000 ppm y un mayor flujo de 500 mL/ min presenta una mayor remoción de iones cloruro y sodio en comparación con los otros niveles de trabajo.
- ***Separation of copper ions by electrodialysis using Taguchi experimental design***, estudio realizado por Toraj Mohammadia, Ahmad Mohebb , Mohtada Sadrzadehb , Amir Razmia en el Laboratorio de Investigación para procesos de separación, Facultad de Ingeniería Química Universidad de Ciencias y Tecnología, Irán 2003. El objetivo de la investigación fue evaluar las

condiciones experimentales óptimas y lograr el mayor porcentaje de eliminación y la mejor robustez de la cuantificación del menor número de pruebas experimentales con la ayuda de la absorción atómica, aplicando un método de evaluación sistemático y analítico denominado ingeniería de calidad de Taguchi para la separación de iones de cobre de una solución utilizando una instalación de electrodiálisis a nivel de laboratorio. Esta investigación se concluye que al estudiar cuatro parámetros a tres niveles: Concentración (100, 500, 1000 ppm), temperatura (25, 40, 60 °C), caudal (0,07, 0,7, 1,2 ml / s) y tensión (10, 20, 30 V) haciendo uso de dos tipos de membranas con diferentes capacidades de intercambio iónico, los niveles óptimos así determinados para los cuatro factores influyentes fueron: concentración 1000 ppm, temperatura 60°C, caudal 0,07 mL con un voltaje de 30 V. También se ha encontrado que el uso de un par de membranas con una mayor capacidad de intercambio iónico mejora el rendimiento dando un porcentaje de remoción más alto fue de 94,94% y 97,33% para los dos tipos de membranas. Como resultado, una temperatura más alta, una concentración más alta (concentraciones mayores de 500 ppm no tienen casi ningún efecto en el rendimiento), se recomienda un voltaje más alto y un caudal más bajo como condiciones opcionales óptimas para la célula de electrodiálisis usando electrodos de platino. Los resultados confirman que las membranas con mayor capacidad de intercambio iónico produjeron mejores resultados. Se comprobó que la electrodiálisis era muy eficaz para la extracción de cobre de aguas residuales.

Technical University of Lisboa, Instituto Superior Técnico, Department of Chemical and Biological Engineering, Lisboa, Portugal 2009. El objetivo fue cuantificar la influencia de los parámetros clave de la prueba de minicontacto (tiempo de ejecución y siembra de granulometría de cristal de hidrogenotartarato de potasio [KHT]) sobre el grado de desionización GD predicha y evaluar la estabilidad tartárica de los vinos mediante la prueba del congelador, la prueba de almacenamiento a largo plazo, y la temperatura pde saturación. Concluyen que para los diferentes tipos de vinos investigados, la prueba de minicontacto predice un GD requerido para la estabilización de los vinos por electrodiálisis que depende fuertemente del tiempo de ejecución de la prueba y también está influenciado por la granulometría de los cristales de KHT. La prueba del congelador sin prefiltración mostró una buena repetibilidad para los vinos probados, y los vinos que pasaron este ensayo fueron estables en una prueba de almacenamiento de 6 meses a 6 ° C. La DD predicha por el ensayo de minicontacto, durante 65 horas, con cristales de KHT con un tamaño medio de partícula de 26 μm , para los vinos blanco (20,1%), rosa (28,1%) y rojo (7,1%) con el GD requerido para obtener un vino estable, de acuerdo con la prueba del congelador. Estos resultados indican que la prueba de minicontactos a las 65 h es un método robusto para predecir un GD que asegura que el vino tratado con electrodiálisis sea consistentemente estable, de acuerdo con la prueba del congelador. Esta regla es válida para todos los vinos ensayados excepto el vino enriquecido, en cuyo caso la GD prevista

por la prueba de minicontactos es igual a la DD requerida para obtener un vino estable sólo durante un tiempo de ejecución de 18 min. La prueba de minicontacto puede predecir un DD menos severo y más preciso que asegure la estabilidad tartárica del vino tratado con electrodiálisis, siempre que el tiempo de ejecución se ajuste empíricamente para cada tipo de vino. Como la granulometría de cristal KHT tiene un impacto importante en los resultados de la prueba de minicontacto, siempre es necesario usar KHT con una distribución de tamaño controlada para mejorar la repetibilidad del método. El ajuste fino de los parámetros clave de la prueba de minicontacto para diferentes tipos de vinos ayuda a aumentar la fiabilidad y robustez de la electrodiálisis para la estabilización tartárica del vino.

- ***Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis***, trabajo de grado presentado por Israel F. Medina Roa en el Laboratorio de Membranas, Separación y Síntesis Industrial, el de Investigación de alimentos de la escuela de Ingeniería de Química de la Universidad de los Andes, Venezuela 2007. Tiene como objetivo estudiar el proceso de electrodiálisis como método factible para disminuir la salinidad de las aguas de producción. El trabajo realizado permite obtener la siguiente conclusión, la desalación por electrodiálisis es una probabilidad entre los métodos de separación por membranas para el tratamiento de aguas de producción con alto contenido de cloruros ya que con dicho proceso pueden llegarse a concentraciones de cloruros muy por debajo de los 1000 mg/l. Otro factor a tomar en cuenta es la ocurrencia de reacciones en la superficie de los

electrodos. Para minimizar este factor se deben emplear soluciones de lavado con electrolitos, como el sulfato de sodio, que no se electrolicen en las condiciones de trabajo. Con frecuencia las soluciones de lavado de ambos electrodos se mantienen separadas, pero por lo general estas dos corrientes se mezclan para compensar la diferencia de pH generada por las reacciones electrónicas, del mismo modo, se le adiciona ácido a dicha solución para evitar la precipitación de calcio y magnesio.

- ***Evaluación de los parámetros de operación de un equipo de electrodiálisis para la recuperación de iones níquel a partir de efluentes galvánicos,*** trabajo para la obtención de grado por Nancy Isabel Bernachea Villarreal en el Laboratorio de Operaciones de Procesos Unitarios en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, Perú 2010. Cuyo objetivo principal es evaluar los parámetros de operación (flujo, voltaje, concentración de alimentación y concentración del lavado de electrodos) de un sistema de electrodiálisis para la recuperación de níquel a partir de efluentes galvánicos. Concluyendo que el mayor porcentaje de separación de iones níquel fue obtenido a un flujo de alimentación de 400 mL/min, a una concentración inicial de 200 ppm de iones níquel, con un voltaje de trabajo de 15 V y una concentración de sulfato de sodio en el lavado de electrodos de 0,05 M, el cual es de 67,6%, valor obtenido a 3 horas de iniciada la corrida experimental. De acuerdo a algunos conceptos se puede afirmar que el mayor porcentaje de separación de iones níquel obtenido es debido a lo siguiente: El flujo de alimentación de 400ml/min es mínima

comparada con los otros dos niveles, esto permitiría el mayor tiempo de residencia de la solución al interior de la celda por lo que podría favorecer la transferencia de iones. El voltaje de 15 voltios permite una rápida migración de iones a través de las membranas. La concentración de 0,05M de soluto en el lavado de electrodos, es el nivel más alto por los que podría haber influido de alguna manera en la migración de iones. El 80% de la corriente límite hallada para la experiencia 4 y 9 no superan los valores de intensidad de corriente obtenidos durante las corridas experimentales, por lo tanto se podría afirmar que se trabajó adecuadamente siguiendo las pautas teóricas. La corriente límite hallada para la experiencia 7 donde la corriente alcanza el valor de 21 mA es el 92% de la corriente límite, por lo que se podría afirmar que no se trabajó según lo dispuesto en la teoría, pero este porcentaje no supera el valor de la corriente límite. El 80% de la tensión limitante no supera los 15 V, valor máximo planteado en esta ocasión para el desarrollo del presente trabajo. De los resultados obtenidos en el análisis método Taguchi podemos concluir que el voltaje tiene mayor efecto sobre el resultado del % de separación de iones níquel y la concentración de lavado de electrodos tiene menor influencia. Por lo anterior entonces se afirmaría que a mayor voltaje obtendremos mayor % separación de iones níquel. Dado que su rendimiento es muy alto, entre un 95-97 % y que los costes operativos y de mantenimiento del proceso de electrodiálisis no son muy elevados, este proceso se puede considerar eficiente y viable.

- ***Determinación de los factores y parámetros de operación para alcanzar la estabilización tartárica del vino mediante el proceso de electrodiálisis,*** trabajo realizado por Lic. Benito Sáez, Pedro en la Vinoteca de Bodegas Urbina en Cuzcurrita de Río Tirón (La Rioja), España, 2012. Como objetivo principal es alcanzar la estabilización tartárica del vino haciendo uso de una técnica muy desarrollada en la actualidad, el sistema de electrodiálisis. Esta técnica lo desarrolla haciendo uso de un equipo de ED que ofrece el tratamiento de los vinos, la eliminación o reducción de los niveles de calcio o de potasio, el que permiten de una manera eficaz estabilizarlos frente a las precipitaciones tartáricas. Antes del tratamiento de los vinos debe realizarse un ensayo de estabilidad, con el propósito de medir el valor de la conductividad eléctrica que debe presentar el vino tratado que sale del aparato de electrodiálisis. Para ello se utiliza una de las pruebas de estabilidad, especialmente cualquier método de contacto, alcanzando normalmente un valor de la conductividad final del orden de 150 a 500 μS , donde se logra una disminución de los iones del vino del 15 a 20 % en los vinos jóvenes y del 5 a 15 % en los vinos más viejos, y siempre con un límite superior del 30 %. Se concluye que el tratamiento es muy eficaz para la reducción de cationes minerales, destacando entre ellos el potasio, disminuyendo algo menos el calcio, sodio, hierro y calcio; mientras que los aniones varían muy poco, alcanzando el vino una reducción del pH comprendida entre valores de 0,2 a 0,3 donde el ácido tartárico es el más afectado, alcanzando una reducción del 10 a 15 % cuando la disminución de

la conductividad es del 20 %. La acidez volátil puede también reducirse en 0,09 gramos / litro en ácido sulfúrico, así como también el etanol en 0,1% vol, mientras que otras sustancias como los polifenoles, polisacáridos, aminoácidos, etc. se ven muy poco afectados por el tratamiento. Para conseguir la estabilización tartárica de un vino se debe alcanzar por lo menos una desionización del 17 %, soportando de este modo sin problemas una ligera modificación química y sensorial dentro de lo aceptable, aplicando a los vinos tintos una caída de la conductividad entre un 20 %, y para vinos blancos otra del 20 a 30 %. De acuerdo con la legislación vigente, el procedimiento de la electrodiálisis solamente está permitido para extraer cationes de los mostos o vinos, y especialmente los cationes calcio y potasio, así como también los aniones y particularmente los de tartratos. Del mismo modo el tratamiento no modificará sensiblemente la composición fisicoquímica o sensorial de estos productos, debiendo en este sentido cumplir los siguientes requisitos:

- La disminución del pH del vino no será superior a 0,3 unidades.
- La disminución de la acidez volátil será inferior a 0,12 gramos / litro en ácido acético.
- El tratamiento no afectará a los compuestos no iónicos del vino, especialmente los polifenoles y polisacáridos.
- La disminución del grado alcohólico será inferior a 0,1 % vol.

2.2 Los vinos

El **vino** (del latín *vinum*) es una bebida obtenida de la uva (especie *Vitis vinifera*) mediante la fermentación alcohólica de su mosto o zumo (Robinson, 2006). La fermentación se produce por la acción metabólica de levaduras que transforman los azúcares del fruto en alcohol etílico y gas en forma de dióxido de carbono. El azúcar y los ácidos que posee la fruta *Vitis vinifera* hacen que sean suficientes para el desarrollo de la fermentación. No obstante, el vino es una suma de un conjunto de factores ambientales: clima, latitud, altitud, horas de luz, temperatura, etc. (Constantin-Weyer, 1932). Aproximadamente un 66% de la recolección mundial de la uva se dedica a la producción vinícola; el resto es para su consumo como fruta (Estadísticas mundiales de la OIV, 2009). A pesar de ello el cultivo de la vid cubre tan sólo un 0,5% del suelo cultivable en el mundo (Anderson *et al.*, 2003). El cultivo de la vid se ha asociado a lugares con un clima mediterráneo.

Se da el nombre de «vino» únicamente al líquido resultante de la fermentación alcohólica, total o parcial, del zumo de uvas, sin adición de ninguna sustancia. En muchas legislaciones se considera sólo como vino a la bebida fermentada obtenida de *Vitis vinifera*, pese a que se obtienen bebidas semejantes de otras especies como la *Vitis labrusca* (denominada *Isabella*), *Vitis rupestris*, etc. El conocimiento de la ciencia particular de la elaboración del vino se denomina enología (sin considerar los procesos de cultivo de la vid). La ciencia que trata tan sólo de la biología de la vid, así como de su cultivo, se denomina ampelología (Robinson, 2006).

Se clasifica en tres tipos: vinos rojos, blancos y rosados que se diferencian por la variedad de la uva de la que provienen y el tipo de procesamiento que reciben (Vine

y Col., 2002). Las principales operaciones que se llevan a cabo en la elaboración del vino son la vendimia, despalillado, molienda, prensado, maceración y fermentación (Parra, 2006). La fermentación de la uva la llevan a cabo las levaduras, siendo las principales variedades *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces bayanus* (Ough, 1992). El término fermentación alcohólica se refiere a la transformación bioquímica de la glucosa y la fructosa a etanol y dióxido de carbono de acuerdo a la ecuación de Gay-Lussac (Delfini y Fórmica, 2001).



La graduación alcohólica de los vinos varía entre 9% - 16%, con mayor frecuencia entre 12,5% - 14,5% (Robinson, 2006).

2.2.1 Composición del vino

El vino contiene más de mil sustancias, algunas de las cuales aún no han sido analizadas. La mayoría de estos componentes, como las vitaminas o los minerales, proceden de las uvas otros se forman durante la vinificación como el etanol o la glicerina, y algunos, como el azúcar o la vitamina C, se eliminan del todo o en parte durante dicho proceso (Dominé *et al.*, 2004).

El agua es el componente principal del vino, representado alrededor del 85% en volumen. Se trata de agua biológica pura; esta pureza ha de tenerse en cuenta tanto desde el punto de vista de potabilidad, como desde el punto de vista bacteriológico, pues su pH (3,0 - 3,5 tamponado), es en sí mismo un actor limitante para el desarrollo de microorganismos. Además, en ella se encuentran disueltas todas las

sales (Fosfatos, entre otras) así como microelementos y oligoelementos que la vid tomó del suelo durante su ciclo vegetativo (Lorenzo *et al.*, 1997).

El segundo componente más importante del vino es el alcohol etílico, representa un 10-14% aproximadamente de la composición del vino, siendo el segundo componente desde el punto de vista cuantitativo. Se origina por la fermentación de los azúcares de la uva (Glucosa y fructosa) y actúa como soporte de la mayoría de los aromas del vino (Dominé *et al.*, 2004).

Todos los demás compuestos del vino se encuentran presentes en cantidades muy pequeñas. Puede observarse el contenido de minerales en el mosto y vino (véase la tabla N° 2.1).

TABLA N° 2.1
CONTENIDO DE MINERALES EN EL VINO

Contenido en minerales (g/l)		
	Mosto	Vino
Potasio	1 - 2.50	0.7 - 1.50
Calcio	0.004 - 0.25	0.01 - 0.20
Magnesio	0.05 - 0.20	0.05 - 0.20
Sodio	0.002 - 0.25	0 - 0.25
Hierro	0.002 - 0	0 - 0.02
Fósforo	0.08 - 0.50	0.03 - 0.90
Manganeso	0 - 0.50	0 - 0.05

Fuente: Dominé et al., 2004

La Composición del vino está dado por ciertos componentes diferentes que brindan el sabor al vino (véase la tabla N° 2.2, página 32).

TABLA N° 2.2
COMPONENTES FISICOQUÍMICOS EN EL VINO

Componentes fisicoquímicos en el vino			
Grado alcohólico	12% vol.	SO ₂ total	64,0 mg/l
Densidad 20°C	0,994	Acido tartárico	2,21 g/l
Densidad del vino sin alcohol	1,0107	Acido málico	0 g/l
Azúcares reductores	1,9 g/l	Ácido láctico	2,02 g/l
Extracto seco	27,0 g/l	Acido succínico	1,02 g/l
Cenizas	2,92 g/l	Glicerol	11,7 g/l
Acidez total	3,52 g/l	Nitrógeno total	0,40 g/l
Acidez volátil	0,45 g/l	Taninos	2,30 g/l
SO ₂ libre	20,0 mg/l	Gas carbónico	0,24 g/l

Fuente: Pérez, 2011

2.2.2 Clasificación de los vinos

Los vinos se clasifican por su color y por su edad.

a) Por su color

La clasificación de los vinos a través de sus colores, a saber son los tintos (*rouge - red*), blancos (*blanc - white*) y rosados (*rosé - pink*).

- **Vinos tintos**

El color del vino proviene del color de la piel de la uva, donde el mosto es dejado en contacto con la piel de la uva hasta que se alcance un color deseado.

Para hacer vino tinto, las uvas rojas se aplastan y el mosto pasa parte o la totalidad del periodo de fermentación y, en muchos casos, un periodo de maceración previo o posterior a la fermentación, en contacto con las pieles u hollejos. (Macek, 2007)

- **Vinos blancos**

Los vinos blancos son aquellos producidos a partir de uvas verdes o blancas; o bien a partir de uvas negras aunque en estos casos nunca se deja al mosto en contacto con la piel de las uvas. El color obtenido en los vinos blancos es de tono verdoso o amarillento. (Macek, 2007)

- **Vinos rosados**

El rosado (*rosé*) es producido dejando el mosto en contacto por un tiempo breve con la piel de las uvas. Suele producirse utilizando uvas rojas que permanecen en contacto con los hollejos (piel de la uva) por breves períodos. Con menor frecuencia se produce mezclando vinos tintos y blancos. (Macek, 2007)

b) Por su edad

- **Vinos jóvenes**

Son los que no han tenido ningún tipo de crianza en madera o esta crianza ha sido mínima. Son vinos que conservan mucho las características varietales de las uvas de las que proceden y de consumo ideal en los 12-24 meses después de la vendimia. Es frecuente encontrar a los tres tipos (blanco, rosado y tinto) como vinos jóvenes. (Macek, 2007)

- **Vinos de crianza**

Han pasado un mínimo de crianza entre madera y botella. Son vinos que desarrollan, además de las características varietales de las que proceden, otras características organolépticas debidas a este periodo de envejecimiento.

Su consumo ideal varía dependiendo de varios factores, pero por lo general es de más o bastante más largo plazo que los vinos jóvenes (normalmente entre 3 y 10 años, aunque algunos se conservan hasta 20). (Macek, 2007).

2.3 Variedad de uva para producción del vino

En el mundo existen aproximadamente ocho mil variedades de uvas, de las cuales una mínima parte es utilizada con fines comerciales.

Las variedades pueden clasificarse según color en: blancas, negras, rojas o rosadas y según su uso en: uvas de mesa, vinos y pasas.

Las uvas se clasifican por el color, variedad y uso.

Según el color pueden ser negras como Isabella, Ribier y Barlinka, rojas como Queen, Red Globe y verdes como Italia.

Por el uso, las uvas pueden ser: para mesa, la Italia, Queen, Ribier y la Red Globe; para vinos; la Isabella, la Pinot Noir, Gewstraminer, Riesling.

2.3.1 Variedad de uva Isabella

La uva Isabella es una variedad derivada de la especie de uva *Vitis labrusca* o "uva de zorra" que se utiliza para vinos de mesa, jugo y vino de producción (Wine Pross, 2000; King, 2003).

La cascara de la uva Isabella cuando madura es de color púrpura oscuro, casi negro, con una carne de color verde-amarillo. Tiene grandes racimos de frutos bien formados con floración de espesor (Keller, 2011). Tiene intensos sabores de fresa y grosellas negro, un sabor característico a menudo llamado "zorro" en la jerga del vino. Las variedades de uva utilizadas son altamente resistentes a la

filoxera y otras enfermedades, y como resultado no tienen que ser a menudo rociado con pesticidas. También requieren poca fertilización debido a su crecimiento vigoroso- (Enciclopedia libre Wikipedia, 2013).

La uva Isabella es del género *Vitis x Labruscana* que emana un "Aroma Foxy o Aroma a Zorra" para el vino y por eso se piensa que es desagradable, (Wine Pross, 2000) por lo que no se ve como una uva capaz de hacer buenos vinos. Para vino de mesa el sabor es bueno, aunque con la piel dura astringente y aroma "foxy" es inaceptable para algunos gustos. (Keller, 2011).

La uva Isabella ya no es una uva de importancia comercial y las nuevas plantaciones fueron prohibidos en Francia después de 1934, (Wine Pross, 2000) sin embargo, como un alto rendimiento de uva capaz de soportar las condiciones tropicales y semi-tropicales, se ha plantado varios lugares en el hemisferio sur, como en Brasil, donde es una variedad de uva principal, (Wine Pross, 2000). Se cultiva por su resistencia a la filoxera y su resistencia al frío (King, 2003).

Isabella tiene más de 50 alias, incluyendo: Albany Surprise, Alexander, Cabo Negro, Borgoña, Champania, Constantia, Dorchester, Fragola, Framboisier, Isabelle, Izabella, Odessa, Pasa De Cassis, Moschostaphylo, Kerkyraios y Tzortzidika, (King, 2003).

2.4 Estabilización tartárica de los vinos

En la vinificación por lo general es necesario reducir la concentración de tartrato ácido de potasio (KHT) en el vino para evitar su precipitación en la botella, que de otro modo podrían reducir la calidad del vino percibida. El proceso convencional

para la estabilización tartárica del vino consiste en enfriar el vino a una temperatura cerca del punto de congelación durante varios días para inducir la precipitación KHT antes del embotellado (Maujean 1994). Este proceso ampliamente utilizado no permite un control preciso de la concentración final KHT y puede disminuir la calidad del vino debido a la precipitación simultánea de polisacáridos y polifenoles junto con las sales de KHT (Gómez-Benítez *et al.*, 2003). Por otra parte, este proceso convencional es que consumen energía y supone una pérdida significativa de vino, que se descarga junto con el precipitado KHT.

Un procedimiento más reciente desarrollado para superar los inconvenientes anteriores en la estabilización tartárica es la electrodiálisis (ED) (Moutounet *et al.*, 1994; Gonçalves *et al.*, 2003). Bajo un potencial eléctrico aplicado, KHT se transfiere a través de una configuración de la celda de electrodiálisis desde el vino a una solución acuosa que se separa del vino por dos membranas de intercambio iónico (véase figura 2.1, página 37).

La celda de electrodiálisis consiste en un compartimiento de alimentación (diluido) y un compartimiento de concentrado (salmuera) formado por una membrana de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico. Numerosas células de electrodiálisis se colocan entre dos electrodos y se disponen en una configuración de la pila, con la alternancia de aniones y membranas de intercambio catiónico que forman las células múltiples (Strathman, 1986).

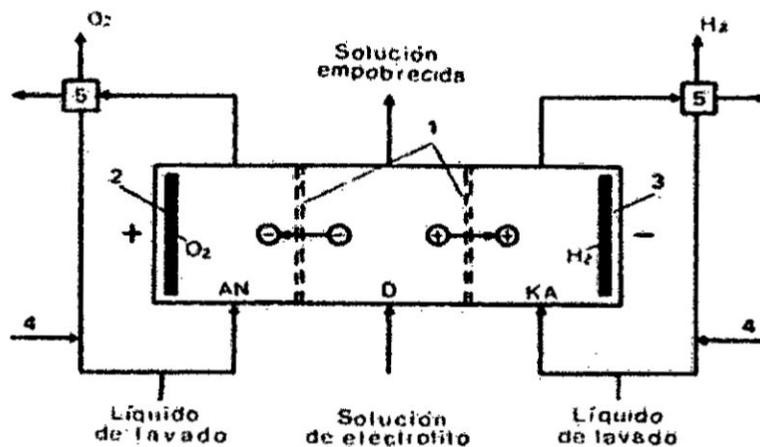
En contraste con el proceso de tratamiento en frío convencional, el grado de desionización (GD) requerido para estabilizar un vino por electrodiálisis debe

determinarse con precisión antes del tratamiento del vino. El GD se define por la disminución relativa de la conductividad del vino, expresada en la ecuación (2.1):

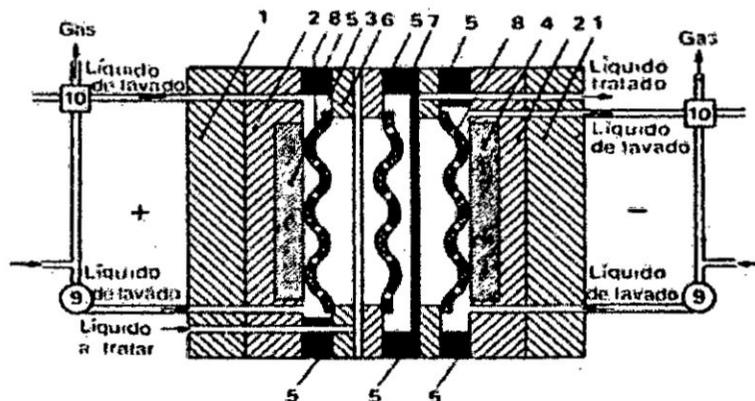
$$GD = \frac{\text{Conductividad inicial del vino} - \text{conductividad final del vino}}{\text{Conductividad inicial del vino}} \times 100\% \quad (2.1)$$

FIGURA N° 2.1

ESQUEMA DE UN PROCESO CONTINUO DE ED EN UNA CELDA



Representación esquemática de un proceso continuo de electrodiálisis en una celda triple: AN, Celda de ánodo; D, Celda de dialización; KA, Celda de cátodo. 1. Membrana permeable a los iones; 2. Anodo; 3. Cátodo; 4. Líquido de lavado para las celdas de ánodo y de cátodo; 5. Separador de gases para hidrógeno y oxígeno.



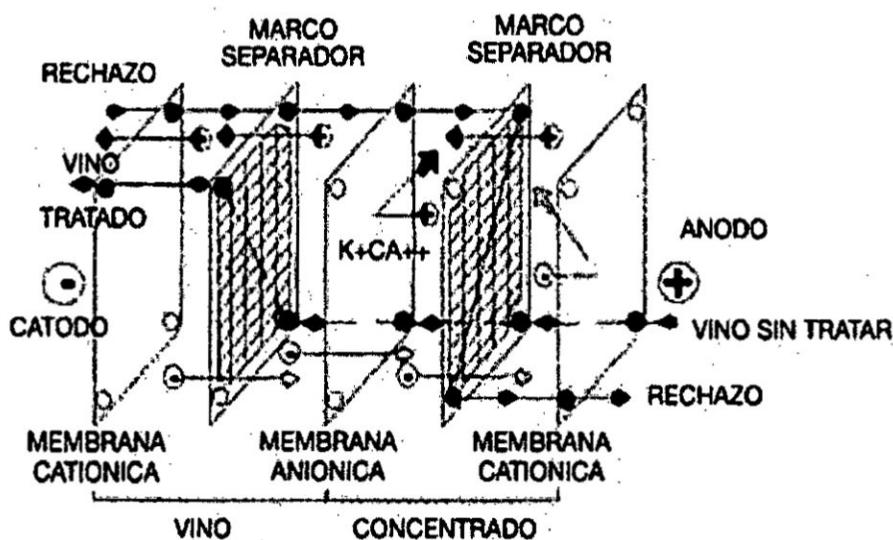
Disposición técnica de una celda triple para electrodiálisis: 1. Placas de presión; 2. Placas de plástico; 3. Anodo; 4. Cátodo; 5. Bastidores; 6. Separadores; 7. Membrana selectiva a los iones; 8. Separador; 9. Bombas; 10. Separador de gases (Wurcherpiennig, Simp. de Enol., Valencia).

Fuente: Foro de enología, 2012

A la temperatura de saturación, el vino alcanza la concentración de equilibrio de KHT, por lo que es un buen indicador del nivel de saturación de vino en KHT. La temperatura de saturación se determina generalmente mediante la medición de la conductividad eléctrica del vino, durante un aumento de la temperatura, en un experimento de dos pasos, con y sin adición de KHT (Santos, 2002).

La automatización del proceso pasa por limitar la extracción a un 30% y la unidad de tratamiento consta de varias membranas apiladas a semejanza de un filtro prensa de placas con flujo de vino por un lado y de solución perceptora de iones extraídos por otro. El flujo es controlado mediante sondas de conductividad.

FIGURA N° 2.2
MEMBRANA ANIÓNICA Y CATIONICA PERMEABLE



Fuente: Foro de enología, 2012

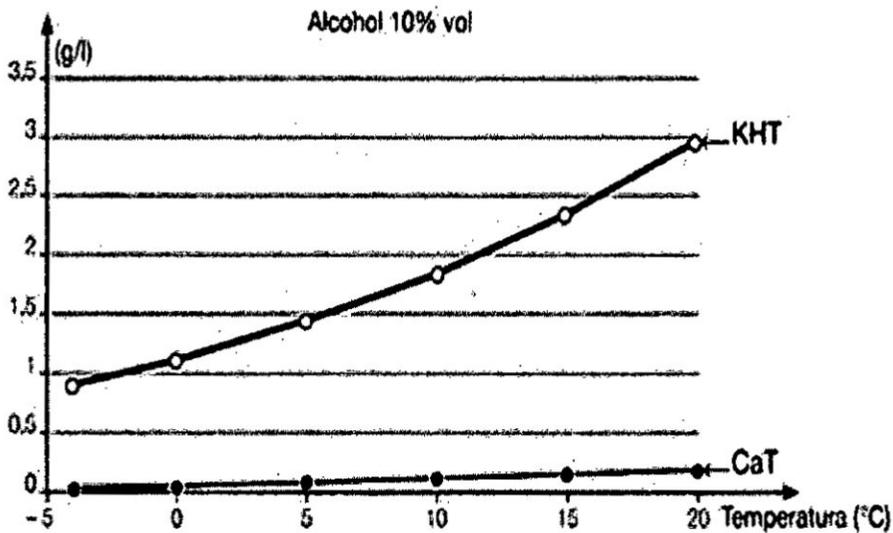
2.4.1 Fisicoquímica de las precipitaciones tartáricas

Todos los vinos son objeto de precipitaciones tartáricas durante la vinificación, la crianza o ya embotellados. En este último caso, este fenómeno natural es

ampliamente rechazado por los consumidores que ven un signo de alteración y/o de adulteración: se debe controlar.

El vino contiene siempre ácido tartárico, potasio y calcio. El ácido tartárico (abreviadamente H_2T) se disocia en iones bitartratos HT^- (o hidrogenotartrato) que reacciona con el potasio para formar bitartrato de potasio (KHT) y en iones tartrato T^{2-} para formar tartrato neutro de calcio (CaT), KHT y CaT son sales que tienen una solubilidad propia variable según la temperatura, el contenido en alcohol y los otros componentes del vino (véase figura N° 2.3). Si el contenido en KHT o CaT del vino, en un momento dado, es superior a la solubilidad límite correspondiente, existe riesgo de precipitación. En el caso de los vinos, los riesgos de sobresaturación se esquematizan con las diferentes situaciones que se dan en enología (véase figura N° 2.4, página 40).

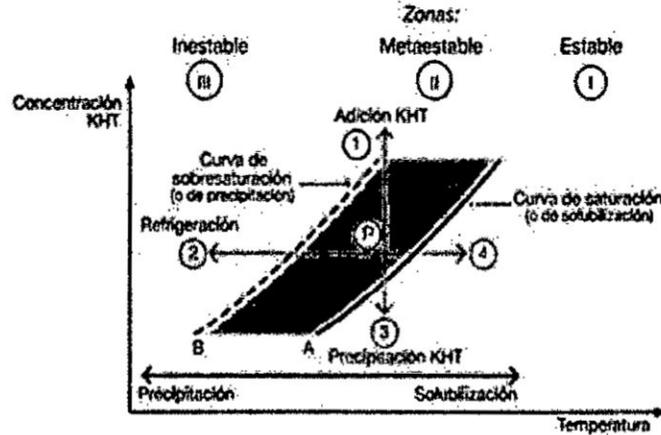
FIGURA N° 2.3
SOLUBILIDAD DE SALES DEL ÁCIDO TARTÁRICO EN LOS VINOS



Fuente: Blouin *et al.*, 2003

FIGURA N° 2.4

ESTADOS DEL BITARTRATO DE POTASIO EN LOS VINOS



Fuente: Blouin *et al.*, 2003

- En la zona I, -por debajo- de la curva A, para temperaturas elevadas y/o contenidos bajos de KHT, no hay ningún riesgo de precipitación de KHT que está en concentración inferior a la solubilidad del momento.
- En la zona III, -por encima- de la curva B, para temperaturas bajas y/o contenidos elevados de KHT, se produce siempre precipitación de KHT para hacer volver el medio a la concentración correspondiente a la solubilidad del KHT a la temperatura considerada.
- En la zona II, entre las curvas A y B, hay riesgo de precipitación puesto que el contenido en KHT es superior a la solubilidad (curva A) pero el KHT puede permanecer en solución sin cristalizar: se dice que está en sobresaturación. Todas las dificultades relativas a la estabilización tartárica de los vinos (previsiones, tratamiento) resultan en esta zona de sobresaturación muy difícil de cuantificar; sólo la curva A es conocida, característica de KHT, mientras

que la curva B depende a la vez de la composición del vino y de su -historia- pasada y futura (ej.: choques térmicos, agitación).

En la práctica, es necesario calcular el contenido de KHT en el vino para estimar el riesgo de precipitación. Los posibles tratamientos necesarios para garantizar la ausencia de depósitos son esquematizados por las evoluciones a partir del punto P, situado en la zona de peligro.

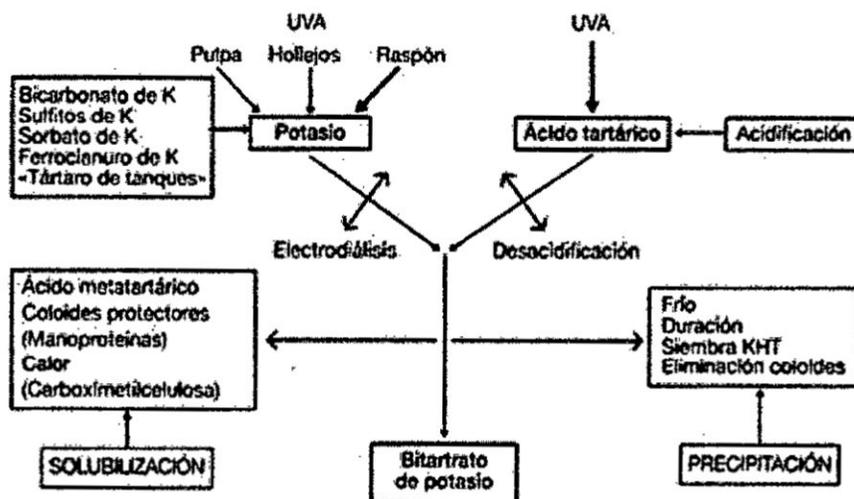
2.4.2 Tratamientos de las precipitaciones tartáricas (Métodos)

Las técnicas de estabilización tartárica recogen tres mecanismos principales (véase figura N° 2.5):

- Reducción del contenido en KHT;
- Precipitación del KHT en el vino de forma continua;
- Solubilización del KHT en botellas manteniendo la sobresaturación.

FIGURA N° 2.5

ESQUEMA DE LAS PRECIPITACIONES DE BITARTRATO DE POTASIO.



Fuente: Blouin *et al.*, 2003

El KHT es el resultado de la presencia en un exceso de potasio y/o de ácido tartárico. El ácido tartárico procede de la uva. Su reducción mediante desacidificación o su aumento por acidificación está muy limitada por las exigencias cualitativas y reglamentarias.

La mayoría del potasio procede de las uvas en cantidades elevadas en caso de sobrepresión. Existe aporte mediante diversas prácticas enológicas: sulfitos, sorbato, ferrocianuro, bicarbonato, caseinato de potasio.

Por otro lado, la mayoría de los vinos se almacenan en depósitos de hormigón libres de ácido tartárico y /o recubiertos de tártaro que haya precipitado por tiempo frío pero se disuelve con la llegada de las temperaturas estivales. Estos enriquecimientos son limitados pero su acumulo puede provocar un aumento significativo de KHT.

a) Tratamiento con frío

Tratamientos de los vinos por frío son una consecuencia de su evolución natural, donde los tartratos se insolubilizan espontáneamente con los rigores del invierno, o bien cuando permanecen en conservación o crianza durante varios años, produciéndose una autoestabilización de los mismos. Los sistemas aplicados, son por lo tanto una imitación de los procesos naturales de estabilización por el frío, pudiendo utilizarse varios métodos.

b) Carboximetilcelulosa (goma de celulosa, CMC)

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 metatátrico, 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 metatátrico 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 ($T_s > 18^\circ\text{C}$) el efecto de la CMC es limitado, también lo es frente al tartrato de calcio.

La estabilidad a largo plazo que proporciona el ácido metatátrico no es tan buena como la del CMC, en casos de consumo rápido, es decir, en pocos meses, el primero resulta una buena alternativa.

La Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) recomienda el empleo de las CMC tan solo en vinos blancos y rosados.

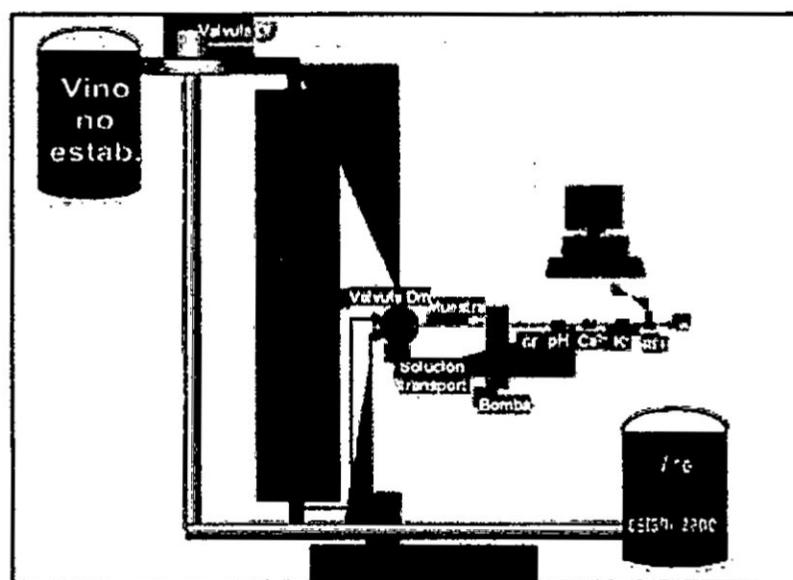
- **Resinas para la estabilización tartárica**

En la actualidad este recurso para la estabilización tartárica está admitido por la Oficina Internacional de la Viña y el Vino, según lo establecido en las resoluciones OENO 6/76 y 1/93. Esta aprobación fue impulsada por Estados Unidos y Australia,

entre otros países, es decir por los motores de esa nueva concepción de la enología, que comienza a ser referencia.

Esta práctica se realiza con resinas de intercambio catiónico de carácter fuerte (radicales sulfónicos), regeneradas en ciclo ácido. Este carácter fuerte permite que sólo una pequeña cantidad de vino (aproximadamente, el 20-25%), haya de pasar por la resina (véase figura N° 2.6).

FIGURA N° 2.6
ESQUEMA DE LAS PRECIPITACIONES DE BITARTRATO DE POTASIO



Fuente: Mínguez, 2012

El resto puede permanecer inalterado. En la resina, el potasio es intercambiado por protones (H⁺), siendo aquellos retenidos en la resina y siendo estos últimos liberados en el vino. Es decir que del vino nos desaparece una sal muy inestable (el bitartrato potásico) y nos aparece el ácido tartárico. Dicho esto ya se puede pensar otras ventajas (Mínguez, 2012).

Las ventajas de la estabilización tartárica con esta técnica son varias:

- ✓ Es una técnica eficiente y segura: eliminándose el ion potasio (K^+) se elimina el riesgo de sobresaturación del THK.
- ✓ Es una de las técnicas más baratas.
- ✓ Es de fácil control
- ✓ Pueden organizarse procesos continuos y estacionarios.

c) **Electrodiálisis (ED)**

La electrodiálisis es una técnica muy desarrollada en la actualidad, que permite la separación de determinados aniones o cationes de los mostos o vinos, haciendo pasar éstos por un aparato dializador, donde una corriente continua aplicada entre dos electrodos y unas membranas semipermeables, logran el objetivo propuesto. Dentro de las posibles aplicaciones que este sistema ofrece el tratamiento de los vinos, la eliminación o reducción de los niveles de calcio o de potasio, permiten de una manera eficaz estabilizarlos frente a las precipitaciones tartáricas.

El vino se hace circular por un aparato dializador compuesto por un conjunto de células, donde se sitúan dos electrodos en sus extremos cargados con una corriente eléctrica continua en un ánodo (+) y un cátodo (-), colocando entre ellos unas membranas semipermeables de tipo aniónico permeable a los aniones tartratos (T^{2-} y TH^-) y de tipo catiónico permeables a los cationes calcio y potasio (Ca^{2+} y K^+). El campo eléctrico generado de manera constante, produce por la ley de Coulomb un desplazamiento de los iones del vino hacia los electrodos, los cationes calcio y potasio atraviesan desde el circuito de vino una membrana catiónica específica, quedando retenidas en un espacio donde circula agua salada de sulfato potásico, pues otra membrana aniónica infranqueable impide que se acerquen al ánodo. Del

mismo modo los aniones del tartárico circulan en sentido contrario, emigrando a través de la membrana aniónica hacia el ánodo, quedando retenidos en otro espacio contra otra membrana catiónica infranqueable. De esta forma los espacios de las células por donde circula el vino a baja velocidad y reducida presión se descargan de ácido tartárico, calcio y potasio, enriqueciéndose en estos elementos los espacios por donde circula el agua salada. La corriente eléctrica que se aplica es del orden de una diferencia de potencial de 1 voltio por célula, instalándose en los electrodiálizadores un conjunto de células de orden de hasta 500 unidades.

Las membranas utilizadas presentan un espesor de 100 a 200 μm , utilizándose las de grupos sulfónicos como permeables a los cationes, y las de grupos amonio como permeables a los aniones; siendo el catión potasio el que más fácilmente emigra, mientras que el calcio y el sodio lo hacen en menor cuantía, y entre los aniones se movilizan los ácidos tartárico y acético. Las membranas deben poseer una importante resistencia mecánica, para evitar su degradación y disolución en el vino, alcanzando una vida del orden de 2.000 a 4.000 horas de funcionamiento. El caudal de tratamiento oscila entre 50 a 150 litros / m^2 -hora, debiendo controlarse por conductividad eléctrica la concentración de bitartrato potásico del circuito de agua salada, para impedir su precipitación en el interior de las células, que cuentan con una separación entre membranas de 0,3 a 0,7 mm.

Antes del tratamiento de los vinos debe realizarse un ensayo de estabilidad, con el propósito de medir el valor de la conductividad eléctrica que debe presentar el vino tratado que sale del aparato de electrodiálisis. Para ello se utiliza una de las pruebas de estabilidad, especialmente cualquier método de contacto, alcanzando

normalmente un valor de la conductividad final del orden de 150 a 500 μS , donde se logra una disminución de los iones del vino del 15 a 20 % en los vinos jóvenes y del 5 a 15 % en los vinos más viejos, y siempre con un límite superior del 30 %.

El tratamiento es muy eficaz para la reducción de cationes minerales, destacando entre ellos el potasio, disminuyendo algo menos el calcio, sodio, hierro y calcio; mientras que los aniones varían muy poco, alcanzando el vino una reducción del pH comprendida entre valores de 0,2 a 0,3 donde el ácido tartárico es el más afectado, alcanzando una reducción del 10 a 15% cuando la disminución de la conductividad es del 20%. La acidez volátil puede también reducirse en 0,09 gramos / litro en ácido sulfúrico, así como también el etanol en 0,1% vol, mientras que otras sustancias como los polifenoles, polisacáridos, aminoácidos, etc. se ven muy poco afectados por el tratamiento. Los vinos blancos responden mejor a la desionización que los vinos tintos, donde su mayor carga coloidal pueden llegar a colmatar más fácilmente las membranas, por lo que se debe realizar una limpieza periódica del aparato.

Para conseguir la estabilización tartárica de un vino se debe alcanzar por lo menos una desionización del 17%, soportando de este modo sin problemas una ligera modificación química y sensorial dentro de lo aceptable, aplicando a los vinos tintos una caída de la conductividad entre un 20%, y para vinos blancos otra del 20 a 30%. Los efluentes líquidos de este tratamiento son fácilmente gestionables, debido a su valorización por la cantidad importante de ácido tartárico que contienen.

De acuerdo con la legislación vigente, el procedimiento de la electrodiálisis solamente está permitido para extraer cationes de los mostos o vinos, y

transferencia de iones se logra por la aplicación de un campo eléctrico sin que se lleve a cabo ninguna reacción química (Contreras, 2001).

d) Principios de operación de operación de la Electrodialisis

Cuando se establece un campo eléctrico en un electrodiálizador, los iones migran hacia el ánodo o el cátodo, según el signo de su carga. Debido a la disposición de las membranas, aparecen compartimientos donde la disolución del electrolito se empobrece en éste y otros, donde el electrolito se concentra. Los cationes que están en un compartimiento de diluidos migran por efecto del campo eléctrico hacia el cátodo, encontrándose en primer lugar una membrana catiónica, que permite el transporte, pasando al compartimiento adyacente donde, en su camino, se encuentran con una membrana aniónica que no pueden atravesar, quedando retenidos en este compartimiento. Los aniones migran hacia el ánodo, encontrándose una membrana aniónica que pueden atravesar para entrar en un compartimiento de concentrados, donde en su trayectoria se encuentran con una membrana catiónica que no permite su transporte, quedando retenidos en este compartimiento (Andrés, 1991). Para que ocurra un funcionamiento como el descrito anteriormente el módulo de electrodiálisis debe estar formado por dos electrodos metálicos que establecen el campo eléctrico, cátodo y ánodo, entre los cuales están colocadas las membranas (véase figura N° 2.2, en la página 38).

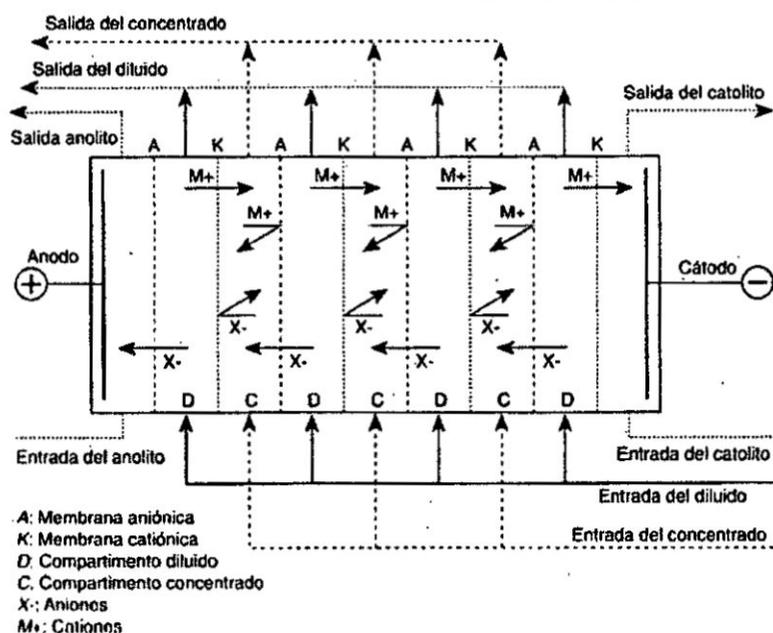
Como se dijo las membranas deben ser de dos tipos, una selectiva a los cationes como calcio, sodio, potasio, amonio etc. que comúnmente son llamadas **catiónicas**; el otro tipo de membranas es selectiva a los aniones como el cloruro, hidróxido, nitrato, acetato, etc. y se conocen como **aniónicas**. Las membranas deben ir de

forma alternada, es decir, una membrana catiónica luego una aniónica, nuevamente una catiónica y así sucesivamente formando lo que se conoce como el módulo de Electrodiálisis. Entre cada par de membranas se coloca un separador que consiste de una malla plástica que proporciona canales de flujo a través de los cuales fluyen las soluciones, creando turbulencia lo que mejora la transferencia de iones, y además sirve de soporte a las membranas (Machado, 2002).

Se esquematiza una unidad de electrodiálisis de dos compartimientos con objeto de ilustrar el funcionamiento del proceso. Como se dijo consta de un conjunto de membranas de intercambio iónico dispuestas alternativamente entre dos electrodos, de tal forma que dan lugar a dos compartimientos. Por el compartimiento diluido (D) circula la disolución cuyos iones se desean extraer, y por el concentrado (C), la disolución en la que dichos iones se van a concentrar (véase figura N° 2.7).

FIGURA N° 2.7

ESQUEMA DE UN MÓDULO DE ED DE CELDAS DE DOS COMPARTIMENTOS



Fuente: Medina, 2007

Al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos, los aniones migran a través de las membranas de intercambio aniónico desde los compartimientos D a los C, donde quedan atrapados, pues en su camino se interpone la barrera iónica constituida por membranas de intercambio catiónico. Análogamente los cationes migran, a través de las membranas de intercambio catiónico, desde los compartimientos D a los C, donde se concentran al impedirles las membranas aniónicas su migración hacia el cátodo. Las reacciones electródicas sólo se utilizan a efectos de proporcionar el campo eléctrico necesario para que se produzca el proceso (Ochoa, 1996).

Se denomina celda a la unidad básica formada, para el caso de la electrodiálisis de dos compartimientos, por una membrana catiónica, una membrana aniónica y dos espaciadores. Al conjunto de celdas se le llama módulo de electrodiálisis. En un módulo pueden haber hasta 500 celdas de dos compartimientos (véase figura N° 2.8, página 53). La configuración de dos compartimientos no es la única que puede ser posible, hay módulos conformados por tres y cuatros compartimientos (Ochoa, 1996).

Generalmente sólo una pequeña cantidad de agua atraviesa la membrana, esencialmente sólo el agua de hidratación de los iones transferidos. En el caso de desionización de una solución concentrada, el transporte de esta agua de hidratación puede ser útil para concentrar la solución tratada en materiales no ionizados. (Mcrae, 1986).

e) Tipos de procesos en electrodiálisis

- **Proceso estándar de electrodiálisis (ED)**

El proceso estándar de electrodiálisis es una operación unidireccional. Los electrodos mantienen su polaridad y los iones se mueven siempre en una dirección constante. Necesita a menudo la adición de ácido o secuestrante a la corriente de concentrado para evitar la precipitación de sales como carbonato de calcio en las membranas, se debe limpiar periódicamente la batería de membranas para eliminar las incrustaciones (Bernachea, 2010)

- **Proceso de electrodiálisis inversa (EDR)**

Opera sobre los mismos principios básicos del proceso estándar de electrodiálisis. Sin embargo, en el proceso de EDI, la polaridad de los electrodos se invierte periódicamente (aproximadamente de 3 a 4 veces por hora) y por medio de válvulas motorizadas, se redirigen los flujos apropiadamente después de una inversión. Los electrodos en un proceso de electrodiálisis inversa son por lo general de titanio platinizado. La operación automática del proceso EDR elimina la necesidad de dosificar ácido o secuestrantes y la formación de incrustación en las celdas (Bernachea, 2010).

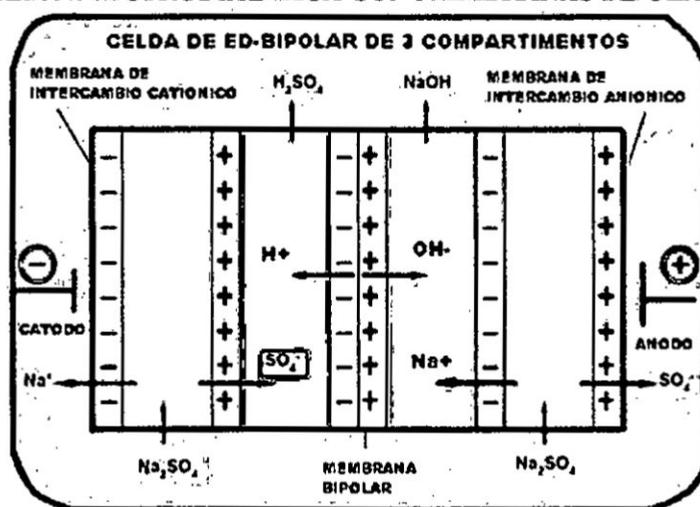
- **Proceso de electrodiálisis bipolar (EDB)**

El proceso de electrodiálisis bipolar utiliza membranas de intercambio iónico bipolares para separar y concentrar los constituyentes ácido y base de una corriente de sal. La membrana bipolar está compuesta de dos capas diferentes que son selectivas a los iones de cargas opuestas. Bajo el influjo de la corriente eléctrica

adecuada, el agua se descompone en la membrana bipolar, en H^+ y OH^- (véase figura N° 2.8). La membrana bipolar se coloca de manera que los cationes Na^+ se emparejan con los iones OH^- produciendo $NaOH$ y los aniones SO_4^{2-} se emparejan con H^+ produciendo H_2SO_4 (Bernachea, 2010).

FIGURA N° 2.8

CELDA ELECTRODIALÍTICA CON MEMBRANAS BIPOLARES



Fuente: Bernachea, 2010

f) Clasificación de los procesos de electrodiálisis

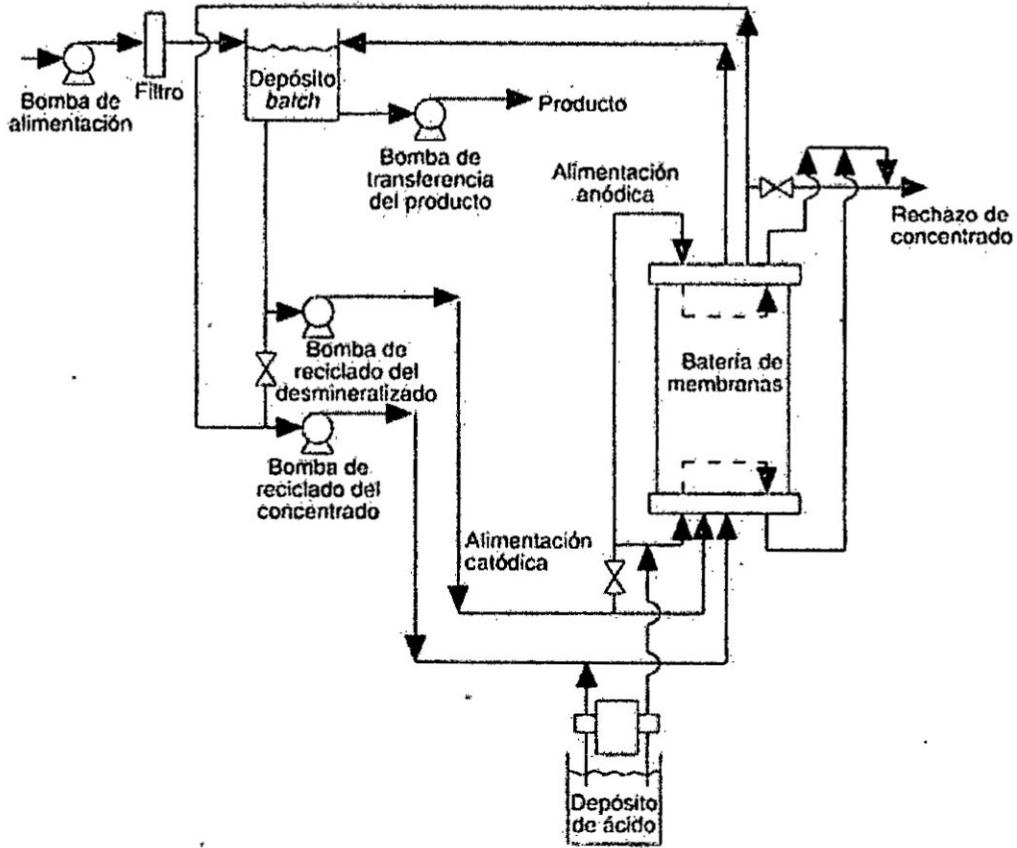
Existen equipos de electrodiálisis en diferentes configuraciones dependiendo de los requerimientos de la separación que se desea realizar, la operación puede realizarse de forma continua, discontinua (por lotes) o semicontinua (Ochoa, 1996).

- **Proceso Batch**

La operación por lotes tiene la ventaja que permite un producto de concentración definida, es posible alcanzar una relación de concentraciones entre el diluido y concentrado que puede llegar hasta 1/150, sin embargo, resulta inadecuada para grandes instalaciones debido al tamaño de los recipientes de almacenaje (Machado, 2002), (véase figura N° 2.9, página 54)

FIGURA N° 2.9

SISTEMA BATCH DE ED



Fuente: Meller, 1984

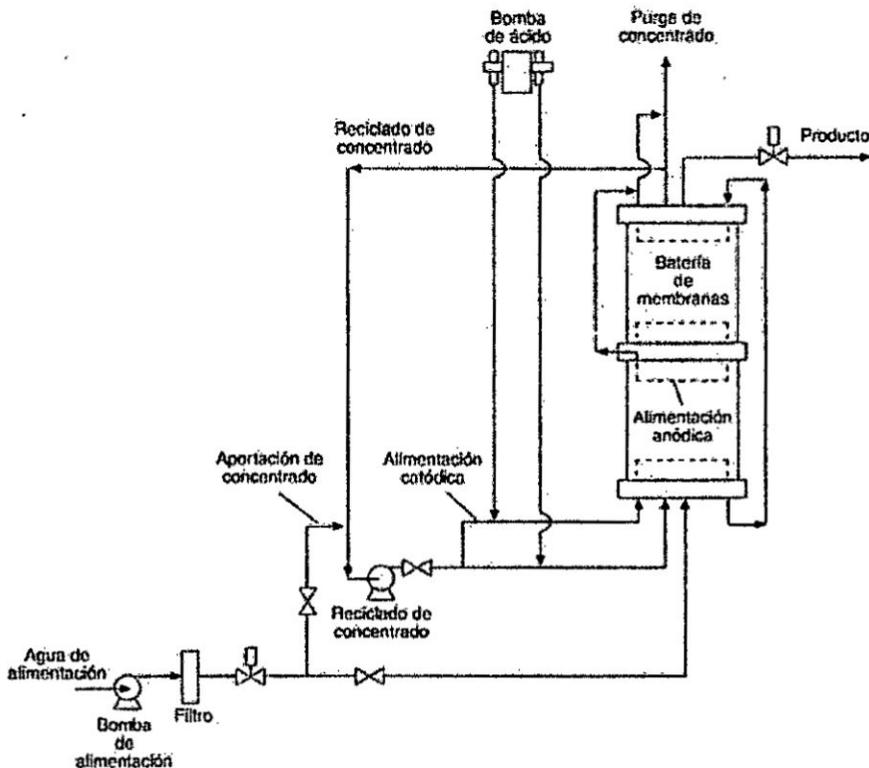
El modo semicontinuo es una combinación de discontinuo y continuo. Se utiliza cuando las condiciones de proceso son las adecuadas para operar en discontinuo y la densidad de corriente límite no es muy baja. De esta forma se combinan las ventajas del discontinuo, lográndose elevados grados de desalación, y las del continuo, aparte del periodo de puesta en marcha del equipo, el sistema opera de voltaje y densidad de corriente constante en el tiempo, lo que simplifica el control de la operación e incide positivamente en la estabilidad de las membranas, que no se ven sometidas con tanta frecuencia a los cambios bruscos de concentración típicos del proceso discontinuo (Ochoa, 1996).

- **Proceso Continuo**

La configuración en continuo permite manejar grandes cantidades del fluido a tratar (véase figura N° 2.10). En este tipo de proceso se hace necesario colocar varios módulos de electrodiálisis en serie (electrodiálisis multietapa) o ser recirculado una segunda vez (doble paso). Otra modalidad consiste en recircular el concentrado, con lo que se obtiene ventajas adicionales: se aumenta el porcentaje de recuperación, se disminuye el consumo de hidráulico y la cantidad de concentrados a evacuar. Sin embargo, concentraciones muy elevadas de la solución a tratar disminuyen la selectividad de las membranas y aumenta el transporte de agua a través de las mismas (Machado, 2002).

FIGURA N° 2.10

SISTEMA CONTINUO DE ELECTRODIÁLISIS



Fuente: Meller, 1984

g) Elementos del equipo de electrodiálisis

Para el caso en el que los compartimientos electródicos comparten un electrolito común. Básicamente consta de los siguientes sistemas:

- Hidráulico y eléctrico

A su vez, el sistema hidráulico consta de los sistemas de:

- Alimentación de los compartimientos diluidos, concentrados y electródicos.

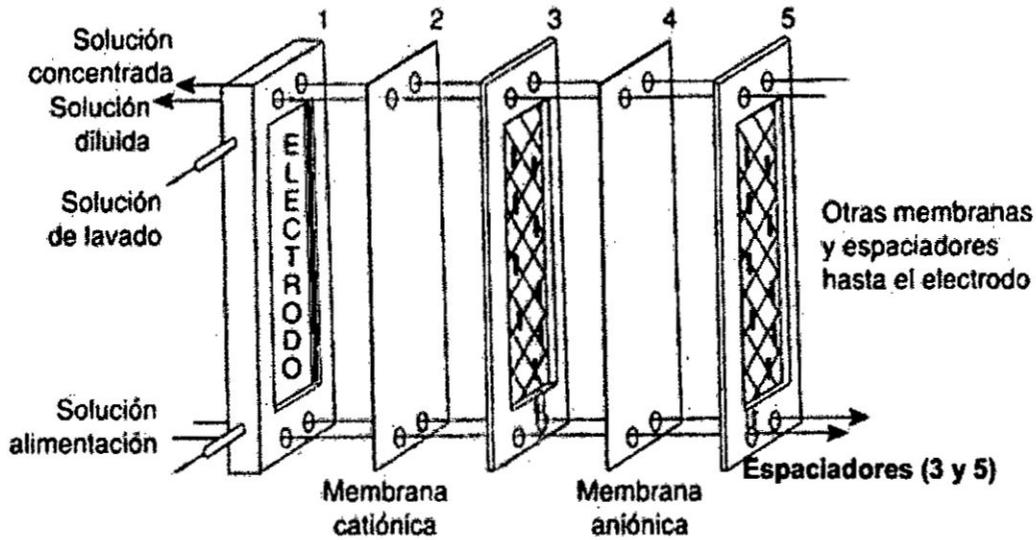
El sistema eléctrico lo constituye un par de electrodos de polaridad opuestas que permiten aplicar diferencias de potencial y densidades de corrientes diferentes según sea las necesidades del proceso. La corriente fluye en serie entre los dos electrodos a través de las diferentes celdas que componen el módulo. El consumo energético por lo general es bajo y viene expresado por la suma de la energía eléctrica necesaria para transferir los iones a través de las membranas y la energía eléctrica necesaria para bombear las disoluciones a través de los compartimientos del módulo. Cuando la concentración de los iones en la alimentación es elevada, predomina el primer término, que depende de la resistencia de los diferentes componentes del módulo de electrodiálisis (Ochoa, 1996).

Una vez especificados los sistemas que contribuyen a un módulo de electrodiálisis, se puede comenzar a hablar de sus componentes básicos (ver figura 2.11, página 54). Los cuales son:

- Electrodos, Membranas, Espaciadores y Juntas.

FIGURA N° 2.11

ESQUEMA DE UN MÓDULO DE ELECTRODIÁLISIS



Fuente: Medina, 2007

Electrodos:

Los electrodos son materiales conductores de la electricidad, a través de los cuales se verifica la transferencia electrónica con la disolución en la que se encuentran las sustancias cuya transformación se desea. En electrodiálisis únicamente cumplen la función de proporcionar el campo eléctrico necesario para que se produzca el proceso. Por lo tanto son DSAs (ánodos dimensionalmente estables como los elaborados con óxidos metálicos por ejemplo los de dióxido de estaño) o Pt/Ti (platino soportado sobre titanio) como ánodos, y acero inoxidable como cátodo. Otro factor a tomar en cuenta es la ocurrencia de reacciones en la superficie de los electrodos. Para minimizar este factor se deben emplear soluciones de lavado con electrolitos, como el sulfato de sodio, que no se electrolicen en las condiciones de trabajo. Con frecuencia las soluciones de lavado de ambos electrodos se mantienen separadas, pero por lo general estas dos corrientes se mezclan para compensar la

diferencia de pH generada por las reacciones electródicas, del mismo modo, se le adiciona ácido a dicha solución para evitar la precipitación de calcio y magnesio. En las instalaciones industriales, en donde se manejen grandes cargas de alimentación, es de gran importancia mantener separados los gases generados en ambas reacciones (la anódica y la catódica), ya que en el ánodo se forma oxígeno con algo de cloro y en el cátodo se forma hidrógeno, los cuales al mezclarse pueden originar una combustión incontrolada del hidrógeno (Ochoa, 1996).

Membranas:

Basta recordar que en electrodiálisis los criterios más importantes que se toman en cuenta para seleccionar las membranas de intercambio iónico, son los de alta permselectividad y baja resistencia eléctrica. La única excepción la constituyen las dos membranas que delimitan los compartimientos electródicos (de las soluciones de lavado). Éstas últimas deberían ser perfluoradas, de alta resistencia química, ya que se enfrentan a un ambiente químico mucho más agresivo que el resto de las membranas del módulo (oxidante en el ánodo y valores extremos de pH, ácido en el ánodo y básico en el cátodo) (Ochoa, 1996).

Espaciadores:

Los espaciadores son materiales plásticos (polietileno, poliéster) en forma de malla que se colocan entre cada par de membranas. Sus funciones son las siguientes:

- Proporcionar los canales de flujo a través de los cuales fluyen las disoluciones.
- Actuar como promotores de turbulencia y controlar la distribución de flujo.
- Sellar las celdas.

- Soportar las membranas.

Juntas:

Su objetivo es doble: Evitar fugas de electrolito en la celda, ya que es fuente importante de problemas tales como cortos circuitos; y evitar la mezcla de las corrientes que fluyen por los compartimientos concentrados y diluidos. Deben poseer alta estabilidad química y resistencia mecánica. Es de gran interés que ambas propiedades se satisfagan con el menor espesor posible, pues de esta forma se minimizará la distancia intermembránica y por lo tanto el consumo específico de energía (Gorrochotegui, 2004).

h) Aplicaciones del proceso de electrodiálisis

La electrodiálisis es un proceso único, ya que permite separar especies iónicas que muchas veces no pueden ser separados por otros métodos. Además, tienen la ventaja de que es adaptable tanto a procesos continuos como a procesos por etapas. Por estas razones tiene muchas aplicaciones industriales, algunas de las cuales se mencionaran a continuación.

• Producción de Salmuera

Permite la concentración de agua de mar produciendo una salmuera de la que finalmente se obtendrá sal sólida. De esta forma se reducen los costos, ya que la cantidad de agua que se debe evaporar para obtener los cristales de sal será mucho menor, lo que implica un menor gasto de energía (Mcrae, 1986). Los líderes en este campo son obviamente las empresas japonesas Tokuyama Soda, Asahi Glass y Asahi Chemical (Ochoa, 1996).

- **Desalinización de Agua**

Con este método puede producirse agua para la industria petroquímica, refinerías, agua para caldera y generadores de vapor, agua para refrigeración, e incluso agua potable. Este proceso resulta adecuado para obtener agua potable a partir del agua de mar en aquellos lugares donde las fuentes de agua son escasas, la mayor parte de las plantas potabilizadoras de agua salada se encuentran en Oriente Medio y en el Norte de África (Andres *et al.*, 1991).

- **Desmineralización del Suero Lácteo**

Es la tercera aplicación en cuanto a capacidad mundial instalada. El lactosuero como efluente es muy contaminante por su alta demanda bioquímica de oxígeno y su alta demanda química de oxígeno. Este suero es recuperado por diversas técnicas, ya que contienen una cantidad no despreciable de proteínas, lactosa y calcio. La electrodiálisis permite separar la sal del suero salado sin eliminar los compuestos orgánicos, como proteínas y lactosa, presentes en el suero gracias a la selectividad de las membranas utilizadas. Por medio de electrodiálisis también es posible separar ácido láctico formado por fermentación de la lactosa presente en el suero lácteo (Ochoa, 1995).

- **Recuperación de Productos Químicos**

Se puede utilizar para recuperar los reactivos en procesos de neutralización ácido base en los que se obtiene una sal de poco valor. Por ejemplo, en la industria papelera se producen grandes cantidades de sulfato de sodio, este producto puede

convertirse de nuevo en ácido sulfúrico y sosa por medio de una electrodiálisis (Andres *et al.*, 1991).

- **Separación de Aminoácidos**

Los aminoácidos tienen la propiedad de que pueden ser protonados a valores de pH que dependen de su punto isoeléctrico. Aprovechando esto, puede llevarse a cabo una separación por electrodiálisis a diferentes pH para cada aminoácidos (Andres, 1991).

- **Recuperación de sales metálicas en Procesos de Recubrimiento Galvánicos**

Mediante electrodiálisis se logra concentrar las aguas de lavado de los recubrimientos y recircularlas al proceso, con lo que se logra una recuperación superior al 90 %, no sólo de los metales contenidos en la disolución de lavado, sino también de otros compuestos como ácido bórico y cianuros. Además se minimiza el problema medioambiental que implica desechar esta agua de lavado. Ejemplos de esta aplicación son la recuperación de níquel y sales de cobre, entre otros (Ochoa, 1995).

- **Recuperación de ácidos Minerales y Metales Pesados**

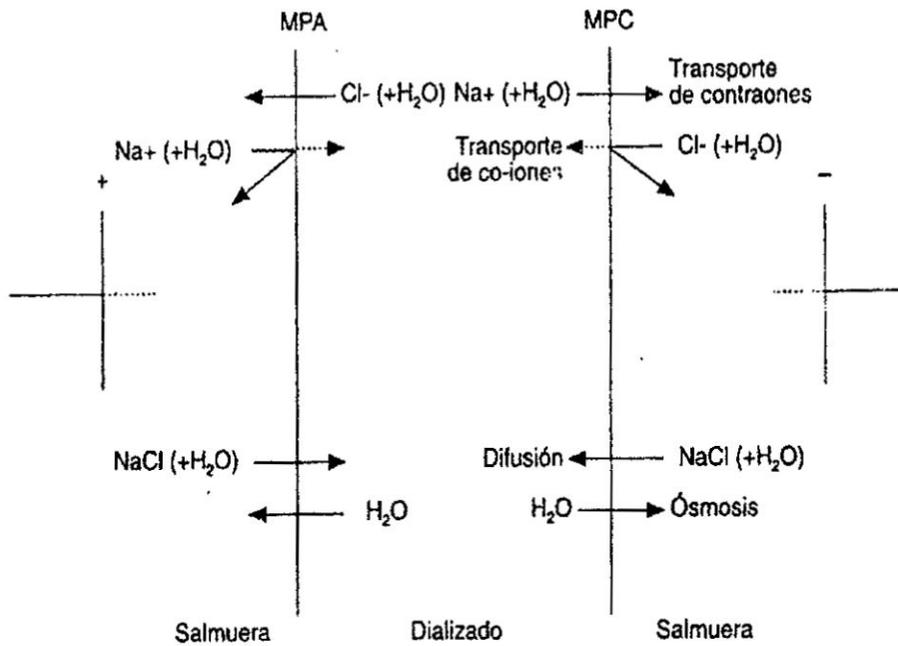
Por medio de procesos de electrodiálisis con membranas muy especializadas, es posible obtener concentraciones de ácidos comprendidas entre 12 y 22 %, partiendo de disoluciones 100 veces más diluidas, lo que facilita el reciclado de dichos ácidos. En el caso de efluentes que contienen metales pesados y otros residuos tóxicos es posible eliminarlos, siempre y cuando estén ionizados, y concentrarlos (Ochoa, 1995).

i) Procesos de transporte que ocurren durante la electrodiálisis

Un cierto número de procesos de transporte ocurren simultáneamente en la electrodiálisis de compartimientos múltiples (véase figura 2.12). (Wilson, 1960)

FIGURA N° 2.12

PROCESO DE TRANSPORTE DURANTE EL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS



MPA: Membrana permeable aniónica
MPC: Membrana permeable cationica

Fuente: Wilson *et al*, 1960

El transporte de contraiones constituye el mayor movimiento eléctrico en el proceso; los contraiones transportan por electroósmosis una cierta cantidad de agua.

El transporte co-ionico es comparativamente pequeño y depende de la calidad de la membrana ionico-selectiva y de la concentración de salmuera. El agua se transporta también electro-osmóticamente con los co-iones.

La difusión del electrolito tiene lugar desde la salmuera al compartimiento del diluido, ya que en el proceso de electrodiálisis la corriente de salmuera está normalmente más concentrada que la corriente del diluido. El transporte de agua está asociado también a la difusión del electrolito.

2.5.1 Polarización y densidad de corriente límite en la electrodiálisis

a) La Polarización

La polarización de concentración es un fenómeno que se produce en todos los procesos de separación con membranas. En la electrodiálisis el fenómeno tiene lugar cuando un ion se transfiere o descarga sobre la superficie de una interfase sólida, encontrándose sujeto a un valor límite en su transferencia de materia a través de dicha interfase. Este fenómeno que afecta negativamente a la estabilidad de las membranas presenta un perfil de concentración de las interfaces disolución-membranas en una celda de electrodiálisis de tres compartimentos formada por un ánodo, un cátodo, una membrana de intercambio aniónico (MA) y una membrana de intercambio catiónico (MC).

Por el compartimiento B se alimenta una disolución acuosa de una sal XM. En la zona central de este compartimiento la mezcla de la disolución es completa, homogénea. Sin embargo, conforme las líneas de flujo se aproximan a las interfases disolución-membrana la velocidad lineal de la disolución disminuye, de tal forma que en las proximidades de las membranas existen zonas en las que no hay mezcla (zona estática, capa límite). Por razones idénticas estas zonas existen en las

interfases disolución-membrana de los compartimientos A y C, correspondientes respectivamente al analito y al catolito.

Al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos, los aniones X^- migran desde B hacia el anolito A a través de la membrana de intercambio aniónico MA, mientras que los cationes M^+ migran hacia el catolito C a través de la membrana de intercambio catiónico MC.

Como consecuencia, en las zonas estáticas del compartimento central disminuye la concentración del ion que es transportado con respecto a la de la disolución que alimenta dicho compartimento:

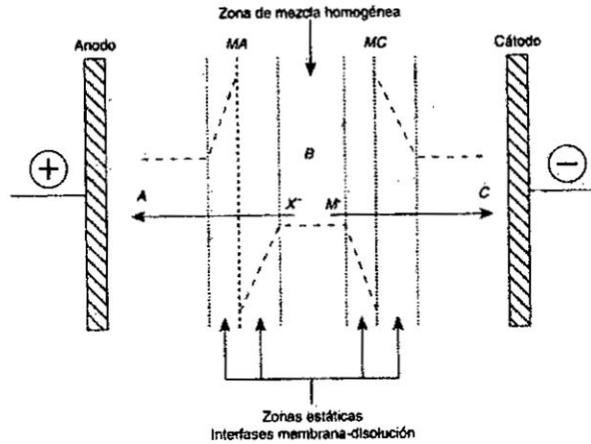
- ✓ El anión X^- en la interfase membrana aniónica-disolución.
- ✓ El catión M^+ en la interfase membrana catiónica-disolución.

Para compensar tal disminución, los iones de la zona de la mezcla homogénea del compartimento central B migran hacia las zonas estáticas por difusión. En tanto y cuanto la velocidad de difusión sea igual a la de migración de los iones a través de la membrana, impuesta por la corriente eléctrica, se alcanzará una situación de equilibrio.

Sin embargo, si la velocidad de migración a través de las membranas, determinada por la densidad de corriente aplicada, excede a la difusión, la concentración de iones en las zonas estáticas comenzará a disminuir hasta aproximarse a cero. En este momento se produce la polarización por concentración de la membrana (véase figura N° 2.13, página 65).

FIGURA N° 2.13

GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN EN LA INTERFASE



Fuente: Medina, 2007

b) La corriente límite

La densidad de la corriente a la que se inicia se denomina densidad de corriente limitante (o corriente límite). Por encima de ella se produce la electrohidrólisis del agua, transportándose H^+ a través de la membrana de intercambio catiónico y OH^- a través de la membrana de intercambio aniónico.

El resultado neto de la polarización por concentración es:

- ✓ Disminución de la concentración de iones en las interfases membrana-disolución de los compartimientos diluidos (compartimiento central B en la figura anterior)
- ✓ Aumento de las concentraciones de iones en las interfases membrana-disolución de los compartimientos concentrados (compartimientos anódicos A y catódicos C en la misma figura).

Las consecuencias de la polarización por concentración de trabajar por encima de la densidad de corriente limitante, son:

- ✓ Incremento brusco de la resistencia eléctrica de la celda.
- ✓ Disminución de la eficacia de la corriente.
- ✓ Disminución del pH en el compartimiento diluido y aumento en el compartimiento concentrado.

El aumento de la resistencia eléctrica da lugar a un incremento en el consumo específico de energía del proceso. La disminución de la eficacia de la corriente origina:

- ✓ Un mayor consumo específico de energía.
- ✓ Una mayor área de membrana para una producción determinada. En definitiva, mayores costes fijos y variables.

El aumento del pH en el compartimiento concentrado y la disminución en el diluido surge como consecuencia de que una vez producida la electrohidrólisis del agua, los iones OH⁻ son transferidos a través de la membrana aniónica al compartimiento concentrado, pero no así los iones H⁺ a través de la membrana catiónica. Este último comportamiento es anómalo y se desconoce la causa (Ochoa, 1996). Este aumento puede dar lugar a la precipitación de hidróxidos insolubles, tales como los de calcio y magnesio. El fenómeno conocido en la literatura anglosajona como scaling conduce, tanto a un incremento adicional del consumo específico de energía, como a una disminución de la vida media de las membranas. En el mejor de los casos evitar este fenómeno exige añadir ácido para neutralizar el exceso de iones OH⁻, lo que supone, tanto un coste adicional como un aumento de la

complejidad del proceso. Para evitar tales problemas es importante que la densidad de corriente limitante sea lo más elevada posible para cada proceso.

Método experimental:

El método más utilizado para determinar la corriente límite consiste en elaborar una curva de polarización, para lo cual se gráfica la diferencia de potencial aplicada a los electrodos en función de la intensidad de la corriente, bajo condiciones de concentración y temperatura constante. La curva presenta un cambio de pendiente brusco debido al aumento de la resistencia cuando se alcanza el valor máximo de corriente que la solución puede transportar, el punto donde se observe esta inflexión en la curva corresponde a la corriente límite (Iguar *et al.*, 1999).

El cálculo de dicha intensidad límite delimita el punto a partir del cual se pueden producir fenómenos de polarización que ponen en peligro el correcto funcionamiento de la pila. Por tanto para evitar riesgos innecesarios, es recomendable trabajar al 80% del valor de la intensidad límite hallada (Iguar *et al.*, 1999).

2.5.2 Membranas de intercambio iónico

c) Propiedades de membranas de intercambio iónico.

Las principales propiedades a considerar a la hora de seleccionar una membrana de intercambio iónico para un determinado proceso son:

d) Selectividad Iónica

La selectividad es la capacidad que tienen las membranas de dejar pasar o discriminar un ion según la carga. Las cargas fijas define la selectividad del Ion.

e) Estabilidad Química

Es fundamental que sea alta, pues durante su aplicación las membranas se encuentran sometidas a sustancias oxidantes y reductoras.

f) Resistencia Mecánica

Las membranas deben tener una alta resistencia mecánica y una escasa variación de sus dimensiones para evitar su ruptura como consecuencia de las fuerzas que deben soportar cuando se colocan en los módulos de electrodiálisis.

g) Resistencia Eléctrica

La resistencia eléctrica depende del tipo de grupos intercambiadores de iones y del espesor de las membranas.

h) Resistencia Térmica

Depende del polímero base, así como del material polimérico de refuerzo. Las membranas perfluoradas son estables hasta 100°C, mientras que las no perfluoradas comerciales, en general no pueden trabajar a temperaturas superiores a los 60°C.

i) Bajo coeficiente de difusión para soluto y solvente

Desafortunadamente las membranas de intercambio iónico son permeables en una cierta extensión a las moléculas no ionizadas. Éstas pueden atravesarlas por difusión, sobre todo las de pequeño tamaño.

j) Membrana de intercambio catiónica

Una membrana catiónica es una lámina que contiene una matriz porosa en la cual contiene grupos funcionales fijos de carga negativa, los grupos de intercambio más usuales son los sulfonato y carboxilato:

SO_3^{-1} El grupo funcional es el ácido sulfónico

COO^{1-} El grupo funcional es un ácido carboxílico

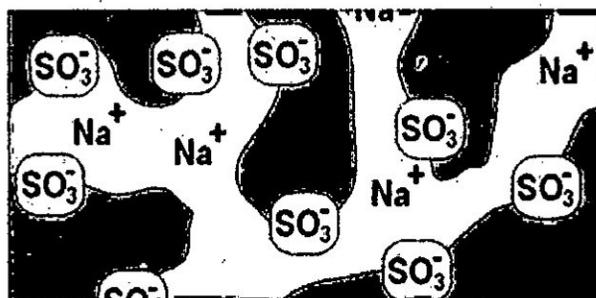
Estos grupos electronegativos deben ser balanceados por los contraiones de carga positiva (cargas móviles), que son fácilmente transportados de un grupo a otro. La lámina es entonces capaz de permitir el paso de una corriente en la forma de un flujo de cationes, sin transportar aniones ni agua. Las membranas de intercambio catiónico sólo son permeables a los cationes, mientras que constituyen una barrera eléctrica para los aniones (Medina, 2009)

k) Esquema de una membrana catiónica.

Los grupos funcionales fijos de sulfonato (SO_3^{-1}) de una CEM debido a un potencial eléctrico, los iones sodio (Na^{1+}) pasan por las membranas (véase figura N° 2.14).

FIGURA N° 2.14

ESQUEMA DE UNA MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CEM)

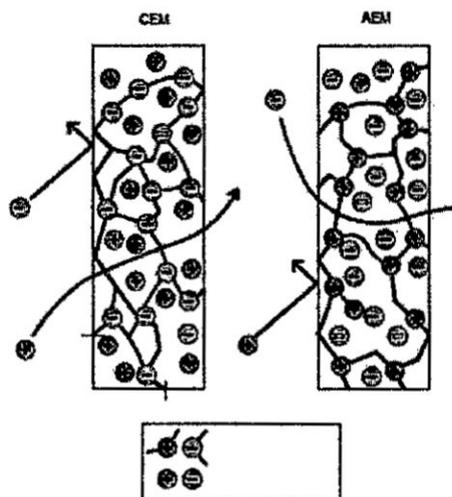


Fuente: Medina, 2009

La membrana de intercambio catiónico (CEM) y una membrana de intercambio aniónico (AEM) con sus respectivas cargas fijas y móviles (véase figura N° 2.15)

FIGURA N° 2.15

ESQUEMA DE UNA MEMBRANA DE INTERCAMBIO CATIÓNICO Y ANIÓNICO



Fuente: Medina, 2009

l) Ensuciamiento de las membranas

El ensuciamiento es el factor más significativo que afecta el rendimiento de los sistemas de electrodiálisis causando una reducción en la calidad del agua de producto. Esto es el resultado de materiales insolubles que cubren la superficie de la membrana.

En general la mayoría de materiales que ensucian pueden ser clasificados de la manera siguiente: Sólidos suspendidos, formación de precipitados, óxidos de metal (Fe, Al, Mg, Ca), materiales biológicos. (Median, 2009)

2.6 Importancia y factores de variación de la acidez y del pH: visión general de la problemática de la disminución de la acidez de los vinos

En enología, la noción de acidez de los vinos se puede enfocar de distintas maneras. El enólogo distingue diversas formas de acidez: la acidez total, la acidez volátil, la acidez fija y la acidez real. Cada una de ellas reviste una importancia distinta con respecto al equilibrio fisico-químico u organoléptico.

Por consenso, la acidez total representa la acidez determinada por la neutralización química de las funciones ácidas de los ácidos minerales y orgánicos presentes en el medio. La participación de cada ácido en concreto en la acidez total está determinada por su carácter más o menos fuerte, es decir por su estado de disociación K_a y su grado de salificación (A^-):



La emisión de iones H_3O^+ traduce el carácter ácido de la molécula AH. La disociación es una función de la constante K_a (o de su cologaritmo decimal pK_a):

$$K_a = [A^-] \cdot [H_3O^+] / [AH]$$

El ácido tártrico y el ácido málico son los principales ácidos responsables de la acidez del vino. La acidez volátil, que forma parte de la acidez total, está compuesta por todas las formas libres y salificadas de los ácidos volátiles. El ácido acético es el componente principal de la fracción volátil de los ácidos del vino que pueden ser arrastrados por la destilación. La acidez fija se

obtiene restando la acidez volátil de la acidez total; por lo tanto, coincide exactamente con la fracción libre de los ácidos fijos y la fracción volátil y salificada de los ácidos volátiles.

La acidez real del vino, expresada por el pH, equivale a la concentración de funciones ácidas libres en el vino, es decir a la concentración de iones H_3O^+ , estrictamente responsables de la acidez. La acidez real, determinada mediante un electrodo y un pH metro, se podría expresar pues en función de la concentración de iones H^+ , aunque por lo general se utiliza su logaritmo decimal, o más exactamente su cologaritmo, mucho más cómodo, simbolizado por el término de pH:

$$pH = -\log_{10} [H_3O^+]$$

Los vinos son básicamente mezclas de ácidos débiles, más o menos salificados dependiendo de su pK_a respectivo, de la composición de los suelos de origen, del grado de maduración de la uva, de las condiciones climáticas del año, del modo de cultivo del viñedo y del modo de gestión de la vinificación.

El valor del pH de una solución de un mono ácido débil y de su sal se obtiene mediante la ecuación:

$$pH = pK_a + \log [A^-]/[AH]$$

El pH del vino es resultado del equilibrio de los diversos ácidos incluidos en su composición (véase tabla N° 2.3, página 73).

TABLA N° 2.3

PRINCIPALES ÁCIDOS ORGÁNICOS (ANIONES) QUE DETERMINAN EL
EQUILIBRIO ÁCIDO –BASE DE LOS VINOS

Categoría	Nombre	pK _a	Concentración en el vino (mg/l)
Ácidos minerales fuertes (fuertemente disociados)	Clorhídrico	<1	20 a 1000 en NaCl
	Sulfúrico 1	1	200 a 400 en K ₂ SO ₄
	Sulfúrico 2	1,6	
	Sulfuroso 1	1,77	10 a 225 en SO ₂
	Fosfórico 1	1,96	70 a 500 en PO ₄
Ácidos orgánicos débiles (parcialmente disociados)	Tátrico 1	3,01	1500 a 4000
	Cítrico 1	3,09	0 a 550
	Málico 1	3,46	0 a 4000
	Láctico	3,81	100 a 3500
	Tartárico 2	4,05	
Ácidos orgánicos muy débiles (muy poco disociados)	Succínico 1	4,16	500 a 1500
	Cítrico 2	4,39	
	Acético	4,73	
	Malico 2	5,05	100 a 1000
	Succínico 2	5,23	
	Cítrico 3	5,74	
Ácidos minerales débiles (apenas disociados)	Fosfórico 2	6,7	
	Carbonico 1	6,52	
	Sulfuroso 2	7,00	100 a 6000 en CO ₂
	Carbonico 2	10,22	
	Fosfórico 3	12,44	
Fenoles (no disociados)	Polifenoles	8 a 10	

Fuente: Ribereau – Gayon et al., 1998

Entre los diversos ácidos presentes, el más fuerte es el ácido tártrico. Es el primero en salificarse y desplaza a los demás ácidos de sus sales. Entre los cationes minerales que neutralizan los ácidos, el potasio es el más abundante,

y el que determina la mayor parte de los equilibrios ácido-base (véase tabla N° 2.4).

TABLA N° 2.4
PRINCIPALES MINERALES PRESENTES (CATIONES) SUSCEPTIBLES DE
INTERVENIR EN EL EQUILIBRIO ACIDO- BASE DE LOS VINOS

Compuestos	Concentración (en mg/l)
Potasio	500 a 2000
Sodio	20 a 200
Calcio	80 a 140
Magnesio	80 a 120
Hierro	0,5 a 5
Cobre	0,2 a 2

Fuente: Ribereau – Gayon et al., 1976

2.6.1 El pH y la acidez en el tratamiento por electrodiálisis

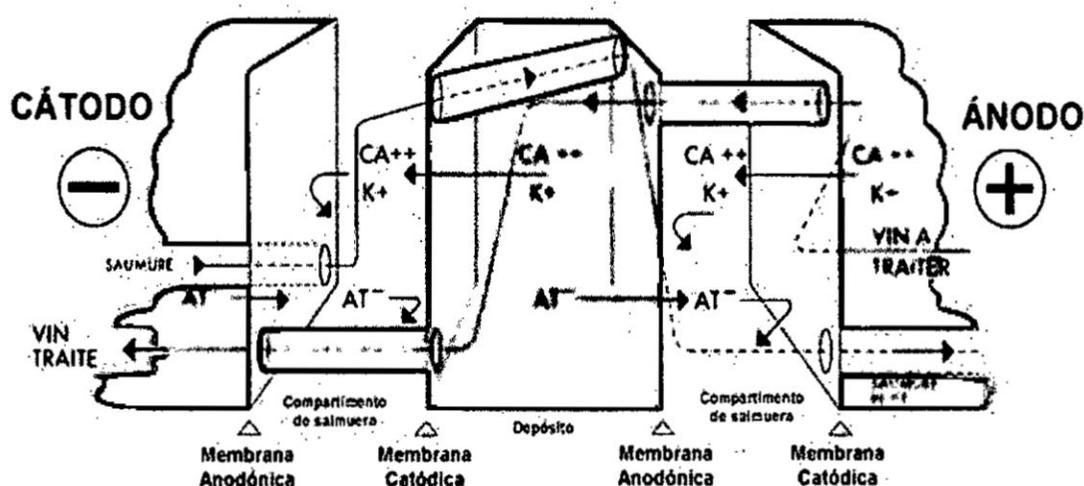
La electrodiálisis es una técnica de separación de iones mediante membranas selectivas, permeables a los aniones o a los cationes, por acción de una corriente eléctrica que asegura el transporte de los iones en un sentido o en otro. Esta técnica se ha desarrollado en enología para la estabilización tártrica de los vinos (Moutounet *et al.*, 1994), pero el intercambio de iones durante tratamiento provoca asimismo una modificación del pH que se puede aprovechar en los vinos con un pH elevado y una acidez total elevada debidos a una sobresaturación de potasio.

El esquema de una celda de electrodiálisis nos muestra la corriente continua entre ánodo y cátodo controla el funcionamiento del sistema, con una diferencia de potencial del orden de 1V. Debido a la permeabilidad selectiva de las membranas, los iones (aniones y cationes) se acumulan en el compartimento 2 y se eliminan del

compartimento 1. Se combinan varias celdas en una construcción tipo filtro-prensa, para crear una alternancia de compartimentos donde se concentran o diluyen los iones. Los líquidos concentrados y diluidos se canalizan por separado, y se recirculan para incrementar la carga iónica del concentrado (véase figura N° 2.16).

FIGURA N° 2.16

PRINCIPIO DE LOS INTERCAMBIOS DE IONES A TRAVÉS DE UNA CÉLULA DE ED



Fuente: Escudier, 2002

Dependiendo de las membranas utilizadas y del equilibrio de membranas aniónicas/catiónicas instaladas, se puede dar preferencia a la eliminación del potasio y limitar la pérdida de ciertos ácidos, como el ácido acético, o de moléculas pequeñas, como el etanol.

La eliminación del potasio, aunque disminuya la cantidad de ácido tartárico, tiende siempre a rebajar el pH (véase tabla N° 2.5, página 76). Con los equipos de electrodiálisis optimizados para la estabilización tártrica, la disminución máxima del etanol debe ser de 0,1 % vol., la disminución del pH inferior a 0,25; y la disminución de la acidez volátil inferior a 0,09 g/l H_2SO_4 (0,11 g/l ácido acético).

TABLA N° 2.5

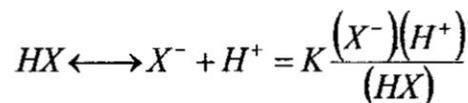
EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE UN VINO TINTO (MERLOT) TRAS EL TRATAMIENTO POR ELECTRODIÁLISIS PARA SU ESTABILIZACIÓN EN MATERIA DE PRECIPITACIONES TÁRTRICAS

Parámetros	Antes	Después	Evolución
Conductividad (mS)	2190	1890	-13,7 %
pH	3,41	3,33	-2,4 %
Acidez total g H ₂ SO ₄ /l	3,53	3,41	-3,4 %
Acidez volátil g H ₂ SO ₄ /l	0,38	0,37	-2,7 %
K ⁺ mg/l	1100	920	-16,4 %
Ca ⁺⁺ mg/l	687	550	-19,9 %
Acido tartárico g/l	2,22	1,90	-14,4 %
SO ₂ libre mg/l	19	19	
SO ₂ total mg/l	80	70	-12,5 %
Etanol % vol.	12,43	12,42	

Fuente: Escudier, 2002

2.6.2 Potasio y pH de los vinos

El vino es una bebida ácida debido a la presencia de un conjunto de ácidos orgánicos de carácter débil, estando éstos parcialmente disociados, una parte manifestando su carácter ácido mediante sus hidrogeniones (H⁺) y otra parte sin disociar, presentando en consecuencia una resistencia a la modificación de su pH cuando se alteran las condiciones ácido-base del vino, siendo este efecto denominado como "poder tampón". Un ácido débil (HX) en mezcla con su sal disociada (X⁻) se presenta como:



$$\log \frac{(X^{-})}{(HX)} = \log K - \log(H^{+}) = pH - pK = \log(S/L)$$

$$S = (X^-)$$

$$L = (HX)$$

Para que se mantenga en equilibrio (K), al aumentar (H⁺) por adición de un ácido, (HX) debe aumentar por unión de (X⁻). Por el contrario, cuando disminuye (H⁺) por adición de una base, se disocia (HX) para mantener fijo K. El punto máximo de poder tampón se alcanza cuando log S/L es igual a cero. Es decir, cuando el pH del medio es igual al pK de la función ácida. En el vino, el pK de todas las funciones ácidas que contiene se encuentran entre valores de 3 a 5, que coinciden aproximadamente con los del ácido tartárico entre 3 a 4 como ácido mayoritario en el vino. Como los valores de pH en los vinos son muy similares a los del pK, ello lleva a considerar su elevado "poder tampón", sucediendo esto, porque el vino es rico en ácidos orgánicos salificados con cationes, como el potasio y calcio que en él son mayoritarios. De una manera muy simplista, se puede considerar que el pH de los vinos depende principalmente de los contenidos en ácido tartárico y potasio, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$pH = f \frac{(\text{ácido tartarico})}{(\text{potasio})}$$

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

De acuerdo a la investigación realizada la variable usada fue:

“Parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella”

3.2 Operacionalización de variables

La variable que se presenta a continuación se ha definido de acuerdo a la formulación de la hipótesis mencionada en la presente tesis.

3.2.1 Variable

Parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven.

3.2.2 Dimensiones

- ✓ Factores que determinan la estabilidad tartárica del vino joven.
- ✓ Desionización de los iones potasio, calcio y ácido tartárico

3.2.3 Indicadores

Los indicadores usados para la variable de la investigación fueron:

- ✓ Densidad de corriente
- ✓ Conductividad eléctrica del vino
- ✓ Concentración del ácido tartárico
- ✓ Concentración de potasio

- ✓ Concentración de calcio
- ✓ pH
- ✓ grado alcohólico
- ✓ porcentaje de desionización
- ✓ Conductividad inicial del vino
- ✓ Conductividad final del vino

TABLA N° 3.1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO MEDIANTE EL PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS”

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven	Factores que determinan la estabilidad del vino joven	Densidad de corriente
		Conductividad eléctrica del vino
		Concentración del ácido tartárico
		Concentración de potasio
		Concentración de calcio
		pH
		grado alcohólico porcentaje de desionización
	Desionización de los iones potasio, calcio y ácido tartárico	Conductividad inicial del vino
		Conductividad final del vino

Fuente: Propia

3.3 Hipótesis

3.3.1 Hipótesis general

Mediante el proceso de electrodiálisis se va variando los parámetros de operación tales como el caudal, la concentración de la salmuera y el voltaje hasta alcanzar la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella en la industria peruana.

3.3.2 Hipótesis específicas

- a. Los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad de uva Isabella son la densidad de corriente, conductividad eléctrica, la concentración del ácido tartárico, potasio y calcio, el pH y el grado alcohólico.
- b. El porcentaje de desionización entre 20 y 40% de las sales tartáricas de potasio y calcio consigue estabilizar el vino joven de la variedad de uva Isabella.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

La investigación se tipifica de la siguiente manera; tiene un enfoque cuantitativo, de nivel aplicativo, de tipo experimental, de acuerdo al uso del instrumento es transversal, de acuerdo al tiempo de obtención de datos retrospectivo.

4.2 Diseño de la investigación

4.2.1 Diseño experimental

Para determinar los parámetros para la estabilización tartárica del vino mediante el proceso de electrodiálisis, usamos cuatro variables diferentes a las que llamamos factores con tres niveles en cada uno de estos, para lo cual necesitaremos conocer el número de experimentos que se obtienen de todas las combinaciones posibles de los niveles de cada variable independiente. Estos experimentos se realizan en el equipo de electrodiálisis.

4.2.1.1 Descripción del diseño del equipo de electrodiálisis

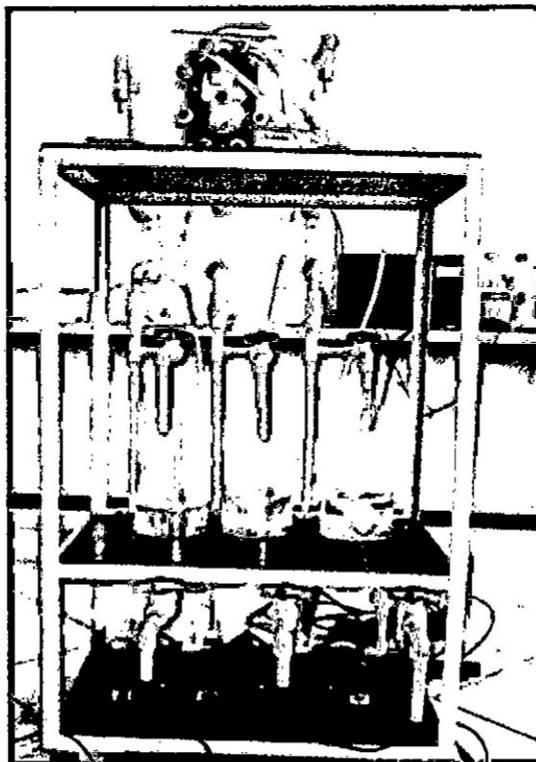
Para lograr la estabilización tartárica del vino se utilizó un equipo de electrodiálisis a nivel de laboratorio (véase figura N° 4.1, página 82). El diseño de este equipo consta de tres sistemas:

- ✓ Filtro prensa (módulo de electrodiálisis)
- ✓ Hidráulico

✓ Eléctrico

FIGURA N° 4.1

EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS NIVEL LABORATORIO



Fuente: Propia

a) Módulo de Electrodiálisis

Es de un tipo filtro prensa, está construido con dos placas de material de acrílico de $15 \times 20 \text{ cm}^2$ sobre el que se ensamblan dos compartimentos electródicos donde se colocan los electrodos, **cuatro** membranas de intercambio aniónico y **tres** de intercambio catiónica de $10 \times 15 \text{ cm}^2$, situado alternadamente y separadas por un conjunto de marcos de material acrílico y espaciadores con juntas de jebe de 2 cm de lado para evitar fugas y permitir el flujo uniforme, constituyendo así las celdas de diluido y concentrado. El módulo está sujeto con 7 pernos distribuidos de manera que permitan un buen ensamble y garanticen hermeticidad (véase figura N° 4.2).

FIGURA N° 4.2

MODULO DE ELECTRODIÁLISIS – VISTA LATERAL Y VISTA FRONTAL



Fuente: Propia

El módulo de electrodiálisis está constituido por los siguientes elementos:

- **Electrodos:**

En los compartimentos electródicos se encuentran los electrodos, el ánodo es de titanio platinado y el cátodo es de acero inoxidable. El electrodo de titanio es una malla de $3 \times 10 \text{ cm}^2$, el electrodo de acero inoxidable es una placa de $3 \times 10 \text{ cm}^2$ según se muestra en la siguiente figura ambos tienen una prolongación donde se sujeta los cocodrilos que conectan a la fuente de corriente (véase figura N° 4.3).

FIGURA N° 4.3

ELECTRODO DE TITANIO PLATINADO (DERECHA) Y

ELECTRODO DE ACERO INOXIDABLE (IZQUIERDA)



Fuente: Medina, 2007

- Membranas:

Las membranas empleadas para la estabilización tartárica del vino:

- ✓ Membrana catiónica FTCEM-E
- ✓ Membrana aniónica FTAM-E

Con área efectiva de 150 cm² cada una (véase tabla N° 4.1).

TABLA N° 4.1

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS ANIÓNICAS Y CATIÓNICAS

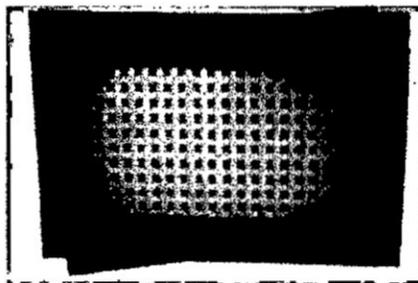
Características de la membrana	FTCEM-E	FTAM-E
Resistencia eléctrica (Ω/cm^2)	2,5-3,5	2,5-3,5
Capacidad de intercambio iónico (meq/g membrana)	1,5-1,8	1,4-1,7
Espesor (mm)	0,17-0,19	0,16-0,18

- Espaciadores:

Los espaciadores son materiales plásticos (polietileno, poliéster) en forma de malla que se colocan entre cada par de membranas. Las medidas usadas para el módulo de electrodiálisis son de 10 cm de ancho por 15 cm de alto (véase figura N° 4.4).

FIGURA N° 4.4

ESPACIADORES



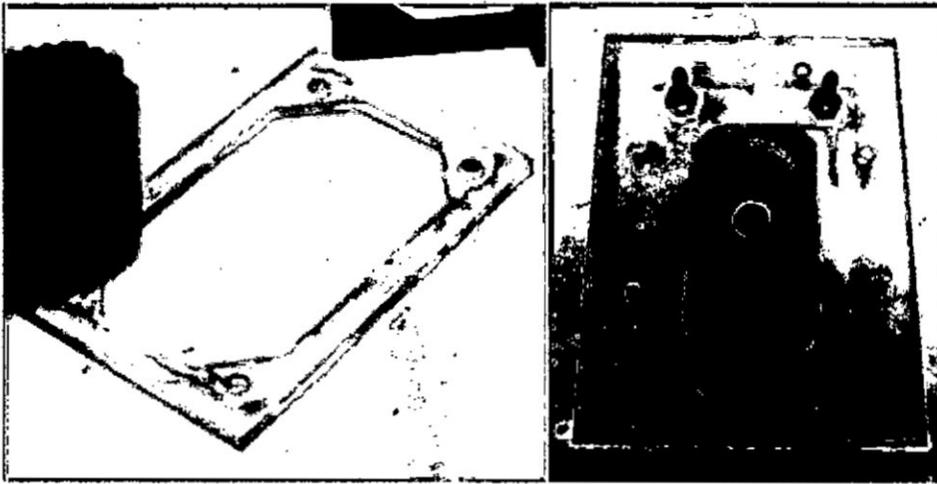
Fuente: Propia

- Juntas:

Tienen la misma medida que los espaciadores de 10 cm de ancho por 15 cm de alto, hechos de material acrílico con el fin de evitar fugas de electrolito en la celda (véase figura N° 4.5).

FIGURA N° 4.5

JUNTAS DENTRO DEL MODULO DE ED



Fuente: Propia

b) Circuito hidráulico

Está constituido por las tuberías, codos, llaves, tanques de almacenamiento, bombas, rotámetros, válvulas y mangueras, a continuación describiremos los más importantes:

- Bombas centrífugas

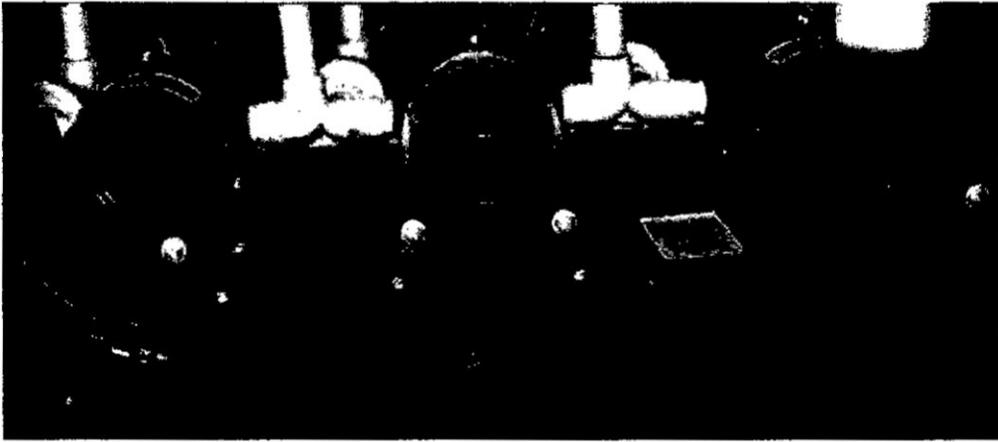
Para el funcionamiento del equipo de electrodiálisis se usaron tres bombas centrífugas marca DIAPHRAGM PUMP con N° de SERIE GMB782416-070096 N3/8 alimentado con 24 VAC. Estos alimentan a los tres circuitos: diluido, concentrado y de lavado (véase figura N° 4.6, página 86).

Estas bombas presentan las siguientes especificaciones:

- ✓ Presión de trabajo: 0,7 MPa (100psi)
- ✓ Flujo de trabajo: 96 L/h (25.4 GPH)
- ✓ Presión máxima: 0,88 MPa (125 psi)
- ✓ Presión mínima: 0,20 MPa (30 psi)

FIGURA N° 4.6

BOMBAS CENTRIFUGAS



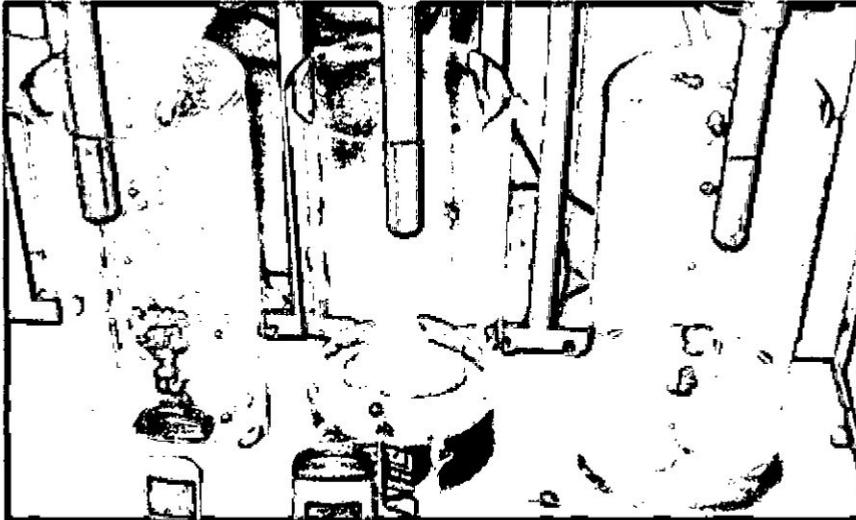
Fuente: Propia

- Tanques de almacenamiento

El equipo de electrodiálisis tiene tres tanques de almacenamiento de 2,8 litros de capacidad aproximadamente donde se almacena la solución de lavado de electrodos, el concentrado y el diluido respectivamente, están hechos de material acrílico, en la parte inferior se conecta a un tubo que va a la bomba y una desviación al desagüe. En la pared posterior existe un hueco pequeño por donde se coloca la manguerita que proviene de las celdas del módulo de electrodiálisis (véase figura N° 4.7, página 87).

FIGURA N° 4.7

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LAS SOLUCIONES.



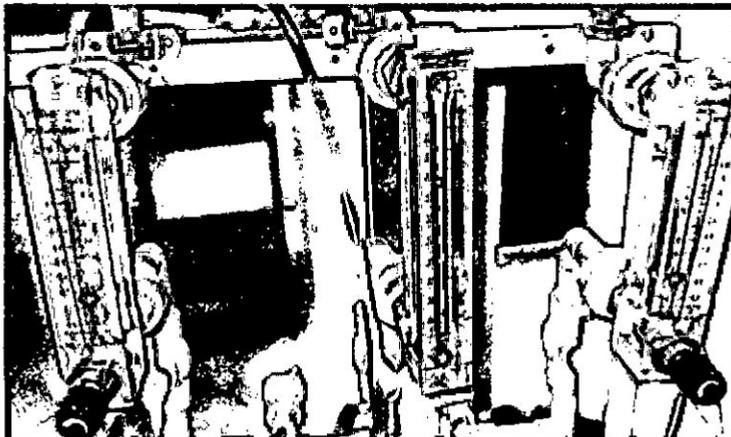
Fuente: Propia

- **Rotámetro**

El equipo consta de 1 rotámetro Marca Blue White F-500 de Industries, Ltd. con rango de flujo de 0,1-1,0 LPM, y 2 rotámetros marca LIQUATEC modelo PMF-0101A con rango de flujo de 0,4 - 4 LPM, las cuales se pueden maniobrar fácilmente a fin de dar el flujo deseado (véase figura N° 4.8).

FIGURA N° 4.8

ROTÁMETROS



Fuente: Propia

c) Circuito eléctrico

- Fuente eléctrica

La fuente de corriente continua de la figura nos ayudará a proporcionar la corriente a los electrodos según el voltaje deseado (véase figura N° 4.9).

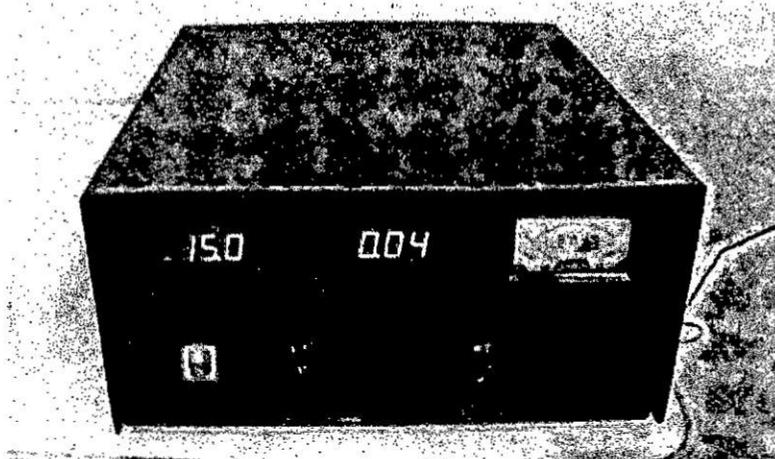
Especificaciones:

Voltaje: 0 a 30 V.

Amperaje: 0 a 30 A.

FIGURA N° 4.9

FUENTE ELÉCTRICA CONTINUA



Fuente: Propia

d) Instrumentos de medición

- Conductímetro

Las medidas de conductividad se realizaron con un conductímetro marca HANNA modelo 98312 (véase tabla N° 4.2, figura N° 4.10, página 89).

TABLA N° 4.2

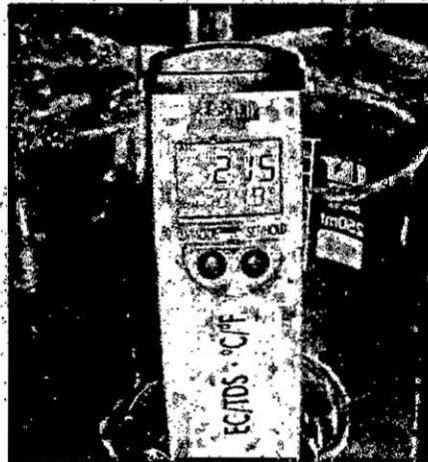
ESPECIFICACIONES DEL CONDUCTÍMETRO HANNA

ESPECIFICACIONES	
Rango	0.00 to 20.00 mS/cm
Resolución	0.01 mS/cm
Exactitud	±2% full scale
Calibración	Automática, a 1 punto
Temperatura de operación	0 to 50°C (32 to 122°F), HR máx 100%
Soluciones de Calibración	HI7030 (12,88 mS/cm) HI70038 (6,44 ppt; CONV=0,5 o 9,02 ppt; CONV=0,7)

Fuente: Manual de conductímetro HANNA

FIGURA N° 4.10

CONDUCTÍMETRO



Fuente: Propia

e) Phmetro

Las medidas de pH in situ se realizaron con un pH metro marca HANNA modelo HI 98128. El equipo muestra en pantalla simultáneamente los valores de pH y temperatura (véase tabla N° 4.3, figura N° 4.11, página 90).

TABLA N° 4.3

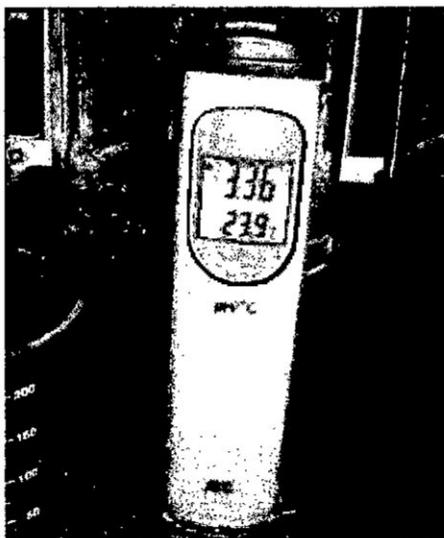
ESPECIFICACIONES DEL PH METRO HANNA

ESPECIFICACIONES	
Rango	-2.00 to 16.00 pH
Resolución	0.01 Ph
Calibración	Automática, a 1 punto o 2 puntos con dos sets de soluciones buffers estándar (pH 4.01/ 7.01/ 10.01 o pH 4.01/ 6.86/ 9.18)
Temperatura de operación	-5.0°C a 60.0°C(23 to 140°F), HR máx 100%
Soluciones de Calibración	HI7030 (12,88 mS/cm) HI70038 (6,44 ppt; CONV=0,5 o 9,02 ppt; CONV=0,7)

Fuente: Manual de pH metro HANNA

FIGURA N° 4.11

PHMETRO



Fuente: Propia

- Multímetro Digital

Las mediciones de intensidad de corriente y voltaje se realizaron con un multímetro digital marca SANWA modelo CD800a (véase tabla N° 4.4, figura N° 4.12).

TABLA N° 4.4

ESPECIFICACIONES DEL MULTÍMETRO SANWA

FUNCIÓN	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN	IMPEDANCIA DE ENTRADA
DCV	400m/4/40/400/600v	& plusmn; (0.7% +3)	0.1mv	De corriente continua: 10m-100m& omega; Ca: 10m- 11m& omega;
ACV	4/40/400/600v	& plusmn; (1.6% +9)	0.001v	
DCA	40m/400ma	& plusmn; (2.2% +5)	0.01ma	
ACA	40m/400ma	& plusmn; (2.8% +5)	0.01ma	
Resistencia	400/4k/40k/400k/4m/40m& omega;	& plusmn; (1.5% +5)	0.1& omega;	
Capacitancia	50n/500n/5& mu;/50& mu;/100& mu; f	& plusmn; (5% +10)	0.01nf.	
Frecuencia	5hz-100khz	& plusmn; (0.5% +3)		
Ciclo de trabajo	20%- 80%	& plusmn; (0.5% +5)		
Continuidad	Zumbador suena a entre 10& omega; and 120& omega; Abierto de voltaje: aprox. 0.4v			
Prueba de diodos	Abierto de voltaje: aprox. 1.5v			
Ancho de Banda	40-400hz(sinusoidal)			
Fusible de la batería	0.5a/250v& oslash; 5.2*20mm de cerámica	R6p*2		
Tamaño de peso	H176*w104*d46mm/340g			
Accesorios estándar	Correa de mano, manual de instrucciones			

Fuente: Manual de multímetro SANWA

FIGURA N° 4.12

MULTÍMETRO DIGITAL SANWA



Fuente: Propia

4.2.2 Bases de Diseño

Para determinar las combinaciones posibles usamos un diseño de experimentos mediante la metodología de Taguchi.

El arreglo ortogonal que representa $L_a(b)^c$ donde:

L = Indica que es un arreglo ortogonal

a = Número de corridas experimentales

b = Número de niveles para cada factor

c = Número de columnas o factores de un arreglo ortogonal.

La matriz $L_9(3)^4$ se aplica en casos en que se necesite analizar 4 factores con 3 niveles cada uno. Los niveles pueden ser representados por: 1, 2, 3. El número de experimentos necesarios será de 9 (véase tabla N° 4.5).

TABLA N° 4.5

ARREGLO ORTOGONAL L_9

N° de experimento	P1	P2	P3	P4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Fuente: Stephanie Fraley et al., 2007

4.2.3 Diseño de parámetros

Para obtener los parámetros de cada nivel por cada factor es necesario determinar primero cada factor (véase tabla N° 4.6), y de acuerdo a antecedentes sobre diseño y construcción de un equipo de electrodiálisis se pueden considerar cuatro factores como:

- A. Flujo de alimentación o Caudal del vino (ml/min)
- B. Concentración de la Salmuera (NaCl)
- C. Voltaje de Operación (V)
- D. Concentración de Sulfato de Sodio (M)

TABLA N° 4.6

DISEÑO DE PARÁMETROS: ARREGLO ORTOGONAL L9 DEL MÉTODO TAGUCHI.

N° CORRIDAS	FACTORES			
	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)	Concentración de Sulfato de Sodio (M)
1	400	0,06	4	0,05
2	400	0,08	7	0,05
3	400	0,10	10	0,05
4	600	0,06	7	0,05
5	600	0,08	10	0,05
6	600	0,10	4	0,05
7	800	0,06	10	0,05
8	800	0,08	4	0,05
9	800	0,10	7	0,05

Fuente: Propia

4.3 Población y muestra

4.3.1 Características

- f) La población para esta investigación fue constituida por el vino joven de la variedad de uva Isabella.
- g) El tiempo del vino usado para la experiencia había sido elaborado recientemente.
- h) La muestra estuvo constituida por 10 litros de vino “borgoña” (de uva de la variedad Isabella).

4.3.2 Delimitación

La población a la cual se dirigió la investigación fue al vino de la variedad de uva Isabella, a quien se le aplicó varios ensayos fisicoquímicos con una muestra representativa para determinar la eficacia de la técnica de análisis para luego representar estos valores dentro de un registro con el objetivo de que estos datos sean utilizados antes y después de alcanzar la estabilidad tartárica del vino.

4.3.3 Ubicación y espacio temporal

La ubicación de la investigación del vino joven de la variedad de uva Isabella se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química en el distrito de Bellavista, Provincia Constitucional del Callao.

4.3.4 Tamaño de la muestra

La muestra consistió en 10 litros de vino “borgoña” cosecha 2012 (uva de la variedad Isabella), tomada del tanque de fermentación de la bodega ESB Negocios & Producción SAC. (Elaborado bajo condiciones estandarizadas)

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipo de técnica

Análisis de registro

4.4.2 Tipo de método

Método experimental, arreglo ortogonal de la metodología Taguchi (véase tabla n° 4.6, página 93)

4.4.3 Tipo de instrumento

- Equipo de Electrodiálisis del LOPU
- Registro del informe de ensayos físico químicos (anexo N° 2, N° 3, N° 4)

4.4.4 Etapas del desarrollo de la tesis

- Este trabajo fue desarrollado en cuatro etapas, *En la primera etapa* antes de estabilizar el vino se hizo los análisis fisicoquímicos para la acidez total, acidez volátil, grado alcohólico, pH, concentración de iones potasio y calcio.

- En *la segunda etapa* se usó el diseño experimental de la metodología Taguchi en una matriz L9 para obtener los parámetros de operación de los factores tomados mediante corridas experimentales; concentración de la salmuera, caudal del flujo de alimentación del vino y voltaje de operación, siendo que los parámetros de operación de este último se determinara en la tercera etapa.
- En *la tercera etapa* se determinó la densidad de corriente límite a partir de la curva de polarización; intensidad de corriente versus voltaje a diferentes concentraciones de alimentación de la salmuera, variando el caudal de alimentación del vino, con esto se determinó los parámetros de operación de la tensión limitante (voltaje).
- En *la cuarta etapa* se hizo los análisis fisicoquímicos para la acidez total, acidez volátil, grado alcohólico y pH del vino en el número de la corrida optima hallado por el porcentaje de separación, y se halló la concentración de iones potasio y calcio en todas las corridas experimentales después de alcanzar la estabilización probable.

4.4.5 Técnicas analíticas para el vino antes de estabilizarlo.

- El instrumento que se usó para determinar los análisis antes de estabilizar el vino joven de la variedad Isabella fue el informe de ensayos físico químicos N° 006265 – 2012, realizado en el Laboratorio “La Molina Calidad Total” (véase anexo N° 2, página 154).
- La Acidez Total del vino expresada como ácido tartárico se determinó utilizando como método la NTP 212.047-2009.

- La Acidez Volátil del vino se determinó utilizando como método la NTP 212.031-2009
- El grado alcohólico del vino se determinó utilizando como método la NTP 212.030-2009
- El pH se determinó usando el pH metro HANNA calibrado en el rango dado según las especificaciones (véase tabla N° 4.3, página 90).
- La técnica de análisis elemental que se usó para determinar la concentración de iones potasio y calcio al inicio fue mediante el uso de la espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS), realizado en el laboratorio de SGS Perú bajo sus estándares de operación (véase tabla N° 5.2, página 105)

4.4.6 Método para determinar los parámetros de operación de los factores dados para el vino en el equipo de electrodiálisis

Para determinar los parámetros de operación de la concentración de la salmuera, caudal del flujo de alimentación del vino y voltaje de operación se usó el método del arreglo ortogonal de Taguchi L9 (véase tabla N° 4.5, página 93).

4.4.7 Método para determinar la densidad de corriente límite.

Para determinar la densidad de corriente límite se empleó el método de la curva de polarización, el cual se genera en un gráfico dado por dos variables, la diferencia de potencial (V) aplicada a los electrodos en función de la intensidad de la corriente (A), bajo condiciones de concentración y

temperatura constante obtenemos así el parámetro máximo para el voltaje e intensidad de corriente.

4.4.8 Técnicas analíticas para el vino después de estabilizarlo.

- El instrumento que se usó para determinar los análisis después de estabilizar el vino joven de la variedad Isabella fue el informe de ensayos físico químicos N° 006397 – 2012, realizado en el Laboratorio “La Molina Calidad Total” (véase anexo N° 3, página 155).
- La Acidez Total del vino expresada como ácido tartárico se determinó utilizando como método la NTP 212.047-2009.
- La Acidez Volátil del vino se determinó utilizando como método la NTP 212.031-2009.
- El grado alcohólico del vino se determinó utilizando como método la NTP 212.030-2009
- El pH se determinó usando el PH METRO HANNA calibrado en el rango dado según las especificaciones (véase tabla N° 4.3, página 90).
- La técnica de análisis elemental que se usó para determinar la concentración de iones Potasio y Calcio al final de cada experiencia fue la Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (del inglés *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) es conocida como ICP-MS, realizado en el laboratorio de SGS Perú bajo sus estándares de operación (véase anexo N° 4, página 156)

4.4.9 Método para la reducción de la carga iónica del vino

Uno de los métodos existentes de separación que se usó en el proyecto para reducir la carga iónica del vino de uva de la variedad Isabella fue la electrodiálisis.

4.5 Procedimiento de recolección de datos

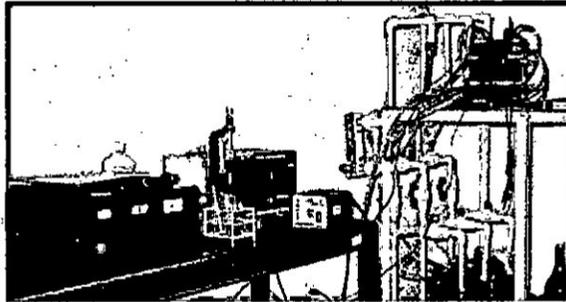
4.5.1 Procedimiento experimental para determinar la densidad de corriente límite

- Se empleó el método de curva de polarización para determinar la densidad de corriente límite tomando aleatoriamente cuatro experiencias de las nueve.
- Las condiciones de trabajo para la salmuera (NaCl) y caudal que se emplearon con las experiencias N° 1, 5, 6, 9; fueron de 0,06 N y 0,4 L/min; 0,08 N y 0,6 L/min; 0,1 N y 0,6 L/min; 0,1 N y 0,8 L/min; respectivamente con una concentración de lavado de Sulfato de Sodio de 0,05 M para todas las experiencias (véase tabla N° 4.6, página 93).
- Se incrementó 2 voltios cada 10 minutos en la fuente eléctrica (véase figura N° 4.13, página 100).
- Se monitoreó la corriente con un multímetro (véase figura N° 4.14, página 100) y al hacerse constante se dejó de medir la corriente.

- Luego se graficó la intensidad de corriente – voltaje y a las curvas formadas se graficaron líneas tangentes, la primera en el cambio de pendiente de la curva y la segunda en los últimos puntos donde se hace constante la intensidad de corriente.
- Con la intersección de las dos tangentes se determinó la densidad de corriente límite al 100%.

FIGURA N° 4.13

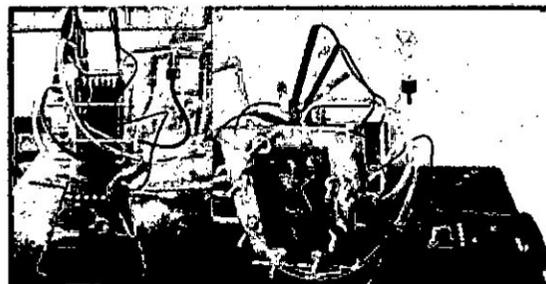
MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE



Fuente: Propia

FIGURA N° 4.14

MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE CON EL MULTÍMETRO



Fuente: Propia

4.5.2 Procedimiento experimental para determinar el porcentaje de desionización del vino.

- Se midió la conductividad del vino, salmuera y sulfato de sodio con ayuda de un conductímetro en mS/cm al inicio y después cada 10 minutos.
- Se determinó el porcentaje de desionización o grado de desionización en cada tiempo, teniendo como dato la conductividad inicial del vino y la conductividad del vino cada 10 minutos (véase ecuación 2.1, página 37).
- Se tomó de una a dos muestras de 10 ml en cada corrida experimental en un tiempo dado que el porcentaje de desionización se encontró entre 14 y 30 %.

4.5.3 Procedimiento para determinar la concentración de los iones potasio y calcio en el vino

- Las muestras tomadas fueron separadas en tubos de ensayo y llevadas para ser analizadas en un laboratorio usando el método de ICP donde se midieron la concentración inicial y final de los metales potasio y calcio.
- Se midió el porcentaje de desionización teniendo como datos la concentración inicial y final de los iones potasio y calcio para remplazarlas en la ecuación 2.1

4.5.4 Procedimiento para determinar el número de corridas experimentales para la obtención de los parámetros

- Se usó el diseño de parámetros enfocado a la metodología de Taguchi con el cual se determinó el número de corridas experimentales.

- Se clasificó la cantidad de factores y niveles a usar en la experiencia como 4 y 3 respectivamente.
- De acuerdo a lo anterior, se aplicó para el desarrollo de la experiencia el arreglo ortogonal L9 (3)⁴ donde se creó una matriz con el número de corridas experimentales (9), números de niveles para cada factor (3) y número de columnas o factores de un arreglo ortogonal (4) (véase tabla N° 4.5, página 92).

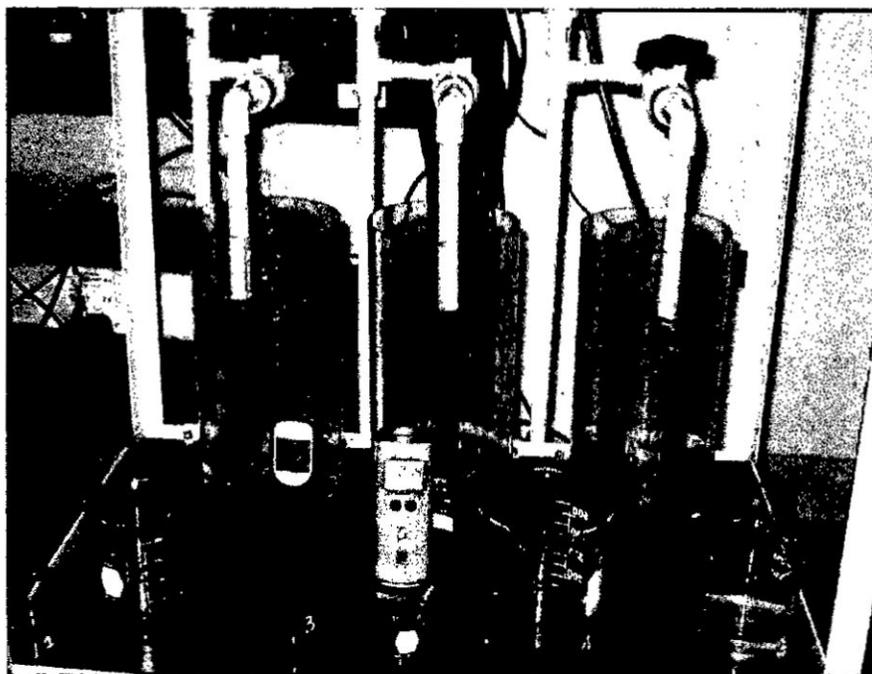
4.5.5 Procedimiento para determinar los parámetros de operación para alcanzar la estabilización tartárica del vino

- La experiencia se realizó siguiendo la matriz de experimentos (véase tabla N° 4.6, página 93), variando el caudal de las soluciones (vino, salmuera y solución de lavado de electrodos) de 400, 600 y 800 ml/min, la concentración de la salmuera (NaCl) de 0,06; 0,08 y 0,10 N; el voltaje de operación de 4, 7 y 10 voltios y la solución de lavado de electrodos (Na₂SO₄) con una concentración constante de 0,05 M.
- Se llenó a los tanques de almacenamiento el volumen de 1 litro de vino, salmuera y solución de lavado.
- Se conectó el equipo de electrodiálisis a la fuente eléctrica para hacer recircular los flujos del vino, salmuera y solución de lavado de electrodos al ser conectado el equipo de electrodiálisis a la fuente eléctrica, (véase figura N° 4.1, página 82)

- El muestreo de las soluciones se realizó cada 10 min utilizando un vaso precipitado de 100 ml, midiendo la conductividad eléctrica y pH en cada muestra.
- Al culminar cada corrida experimental se graficó la conductividad del vino y la salmuera vs. tiempo, porcentaje de desionización vs. tiempo, pH del vino vs. tiempo
- Se determinó el porcentaje de desionización usando su procedimiento adecuado (véase ítem 4.5.2, página 100).
- Se realizó una tabla con todos los datos recogidos durante cada corrida experimental, se consideró en ello el tiempo, voltaje, intensidad de corriente, conductividad del vino, salmuera y sulfato de sodio, el porcentaje de desionización del vino, y el pH del vino (véase tabla N° 5.11 a la tabla N° 5.19, página 112 al 129).
- Se seleccionó tres datos de menor tiempo con un mayor porcentaje de desionización de todas las corridas experimentales.
- Se graficó mediante un gráfico de barras el porcentaje de desionización del vino – N° de experiencia – tiempo, usando para los tiempos de 50, 60 y 70 min), (véase gráfico N° 5.32, página 134).
- Se determinó como óptimo el número de experiencia con mayor porcentaje de desionización en esos tres tiempos, determinando así que sus parámetros fueron los adecuados a usar en el equipo de electrodiálisis para alcanzar la estabilización tartárica del vino, (véase tabla N° 5.20, página 129).

FIGURA N° 4.15

RECIRCULACIÓN DEL VIÑO, SALMUERA Y SOLUCIÓN DE LAVADO DE ELECTRODOS EN EL EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS.



Fuente: Propia

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

Para la realización de este trabajo de investigación se usó el programa office 2013, generando las tablas y sus respectivos gráficos con Excel 2013, realizando los gráficos con:

- ✓ Columna agrupada
- ✓ X Y (dispersión)

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se muestran las condiciones de trabajo dadas en la matriz del diseño ortogonal de Taguchi. Las tablas de los datos obtenidos de cada experiencia y graficas de polarización nos ayudarán a la visualización de la corriente límite, una vez hallada se procedió a empezar las corridas experimentales de acuerdo a la matriz dada, determinándose finalmente la experiencia con los parámetros a usar en el equipo de electrodiálisis para estabilizar el vino de la variedad de uva Isabella.

5.1 Resultados de los análisis del vino antes de estabilizarlo

TABLA N° 5.1

INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

ENSAYO	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
1. Acidez Total (g/L de muestra original)(expresado como ácido tartárico)	7,64	NTP 212.047-2009
2. Acidez Volátil (g/L de muestra original)(expresado como ácido acético)	1,80	NTP 212.031-2009
3. Grado Alcohólico (% v/v a 20°C / 20 °C)	13,5	NTP 212.030-2009

FUENTE: La Molina Calidad Total Laboratorios (UNALM)

TABLA N° 5.2

CONCENTRACIÓN DE METALES CALCIO Y POTASIO EN EL VINO

Analito	Concentración (ppm)	Concentración (mg/L)
Ca	14,95	149,5
K	115,9	1159

Fuente: Resultados de análisis en SGS del Perú S.A.

TABLA N° 5.3

INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

ENSAYO	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
1. Acidez Total (g/L de muestra original) (expresado como ácido tartárico)	7,62	Volumétrico
2. pH	3,83	Equipo pHmetro

Fuente: Propia

5.2 Resultados del ensayo experimental para determinar la densidad de corriente límite.

5.2.1 Condiciones de trabajo de acuerdo a la matriz de diseño ortogonal L9 del método Taguchi (véase tabla N° 4.6, página 93)

TABLA N° 5.4

MATRIZ DE DISEÑO ORTOGONAL USANDO EL METODO TAGUCHI PARA DETERMINAR EL VOLTAJE DE OPERACIÓN

N° EXPERIENCIA	FACTORES			
	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Caudal (ml/min)	Concentración de Sulfato de Sodio (M)	Voltaje de operación (V)
1	0,06	400	0,05	Por determinar
5	0,08	600	0,05	Por determinar
6	0,10	600	0,05	Por determinar
9	0,10	800	0,05	Por determinar

De acuerdo a la Tabla N° 4.1, tomamos las nueve experiencias mediante una formula aleatoria en el programa Excel 2013, luego se toma las cuatro primeras experiencias del resultado aleatorio para determinar la corriente limitante en las experiencias N° 1, 5, 6, 9.

a) Condición para la corriente limitante N° 1 (experiencia N° 1)

N° EXPERIENCIA	Concentración de Salmuera (NaCl)	Caudal	Concentración de lavado (Na ₂ SO ₄)
1	0,06 N	0,4 L/min	0,05 M

TABLA N° 5.5

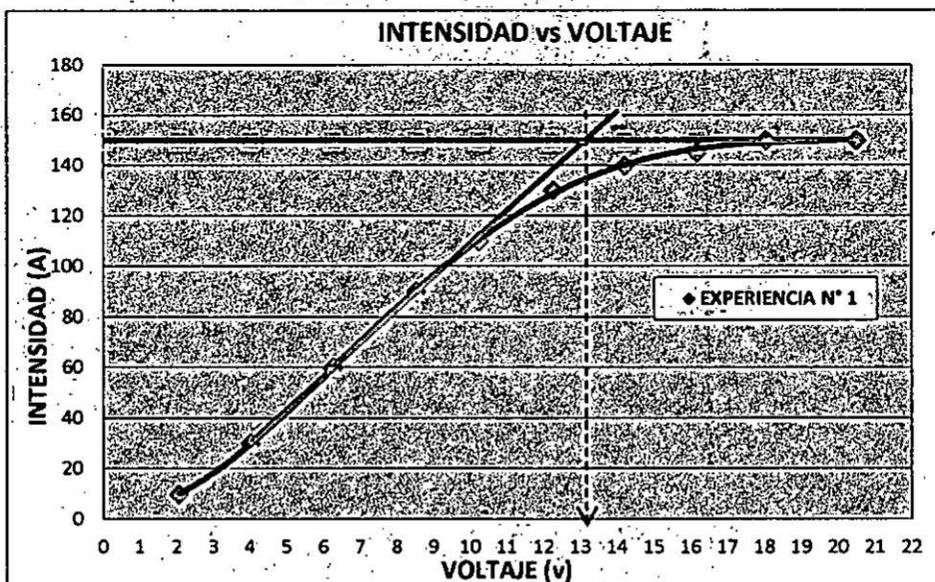
DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 1

t (min)	I (mA)	V (v)
0	10	2,05
10	30	4,01
20	60	6,26
30	90	8,53
40	110	10,24
50	130	12,26
60	140	14,21
70	145	16,16
80	150	18,05
90	150	20,5

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.1

CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LIMITE N° 1 - EXPERIENCIA N° 1



Fuente: Propia

b) Condición para la corriente limitante N° 2 (experiencia N° 5)

N° EXPERIENCIA	Concentración de Salmuera (NaCl)	Caudal	Concentración de lavado (Na ₂ SO ₄)
5	0,08 N	0,6 L/min	0,05 M

TABLA N° 5.6

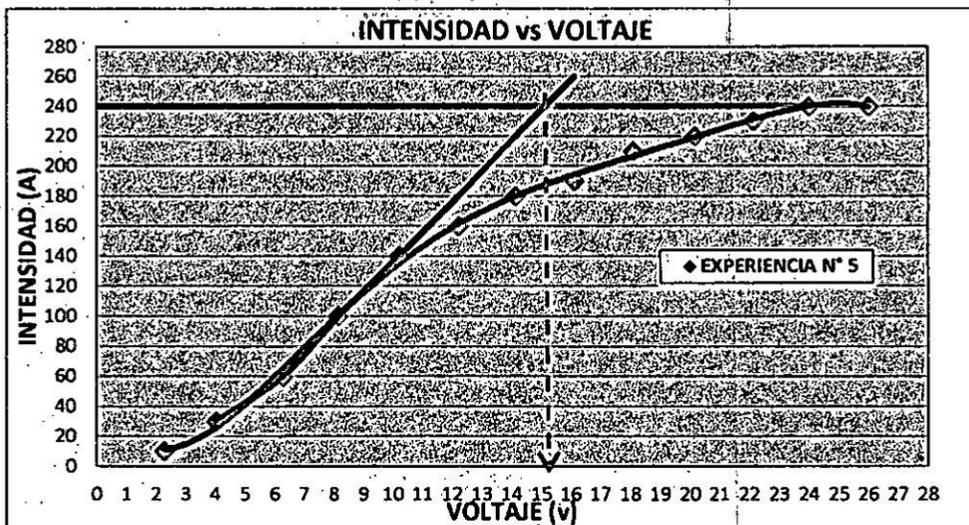
DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 2

t(min)	I(mA)	V(v)
0	10	2,26
10	30	4,02
20	60	6,27
30	100	8,14
40	140	10,20
50	160	12,20
60	180	14,13
70	190	16,11
80	210	18,08
90	220	20,16
100	230	22,14
110	240	24,00
120	240	26,00

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.2

CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LIMITE N° 2 - EXPERIENCIA N° 5



Fuente: Propia

c) Condición para la corriente limitante N° 3 (experiencia N° 6)

N° EXPERIENCIA	Concentración de Salmuera (NaCl)	Caudal	Concentración de lavado (Na ₂ SO ₄)
6	0,1 N	0,6 L/min	0,05 M

TABLA N° 5.7

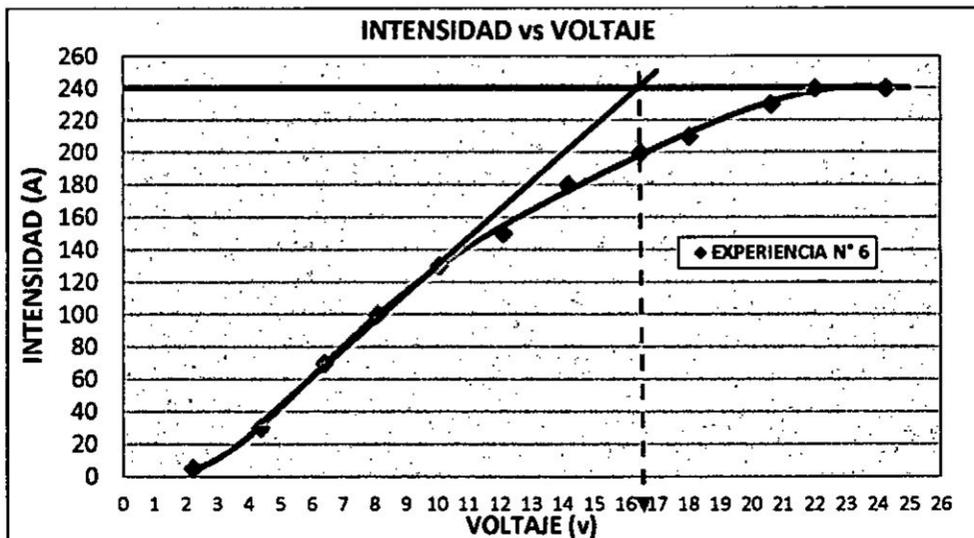
DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 3

t(min)	I(mA)	V(v)
0	5	2,21
10	30	4,37
20	70	6,39
30	100	8,08
40	130	10,05
50	150	12,1
60	180	14,17
70	200	16,47
80	210	18,01
90	230	20,6
100	240	22,01
110	240	24,25

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.3

CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LÍMITE N° 3 - EXPERIENCIA N° 6



Fuente: Propia

d) Condición para la corriente limitante N° 4 (experiencia N° 9)

N° EXPERIENCIA	Concentración de Salmuera (NaCl)	Caudal	Concentración de lavado (Na ₂ SO ₄)
9	0,1 N	0,8 L/min	0,05 M

TABLA N° 5.8

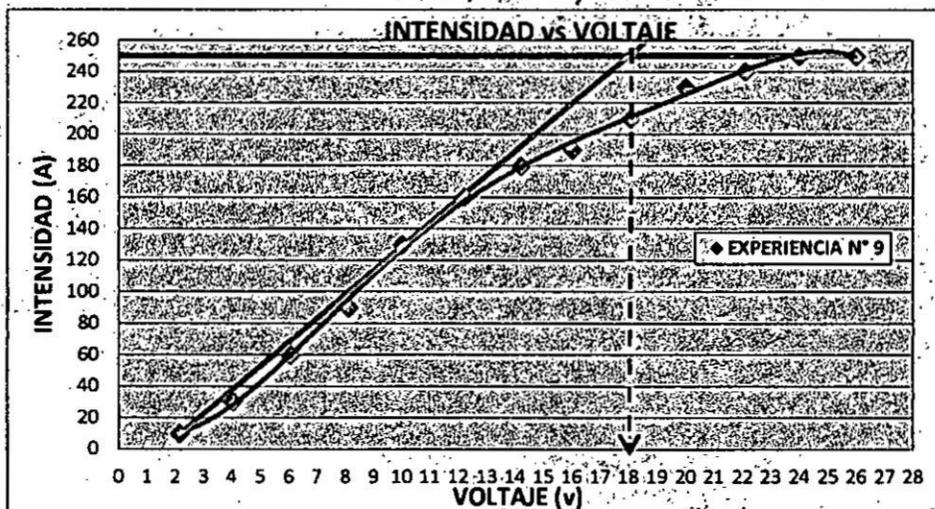
DATOS DE LA CURVA LIMITE PARA LA CORRIENTE LIMITANTE N° 4

t (min)	I (mA)	V (v)
0	10	2,15
10	30	4,03
20	60	6,06
30	90	8,11
40	130	10,00
50	160	12,20
60	180	14,20
70	190	16,00
80	210	18,06
90	230	20,00
100	240	22,10
110	250	24,00
120	250	26,00

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.4

CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA CORRIENTE LIMITE N° 4- EXPERIENCIA N° 9



Fuente: Propia

TABLA N° 5.9

RESULTADOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN LÍMITANTE

CONDICIONES DE TRABAJO			RESULTADOS			
Concentración de Salmuera (NaCl)	Caudal (ml/min)	Concentración de lavado (Na ₂ SO ₄)	Corriente límite (mA)	Tensión limitante (V)	Corriente límite (mA) al 80%	Tensión limitante (V) al 80%
0,06 N	0,4 L/min	0,05 M	150	13,1	120	10,48
0,08 N	0,6 L/min	0,05 M	240	15,2	192	12,16
0,1 N	0,6 L/min	0,05 M	240	16,5	192	13,2
0,1 N	0,8 L/min	0,05 M	250	18,1	200	14,48

Fuente: Propia

Dada las condiciones de trabajo se determinó la tensión limitante mínima al 80% como rango máximo del factor de voltaje de operación.

5.3 Resultados de ensayo de corridas experimentales con el diseño experimental Taguchi para obtener los parámetros de operación.

TABLA N° 5.10

MATRIZ DE DISEÑO ORTOGONAL USANDO EL METODO TAGUCHI

N° EXPERIENCIA	FACTORES			
	Caudal (mL/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)	Concentración de Sulfato de Sodio (M)
1	400	0,06	4	0,05
2	400	0,08	7	0,05
3	400	0,10	10	0,05
4	600	0,06	7	0,05
5	600	0,08	10	0,05
6	600	0,10	4	0,05
7	800	0,06	10	0,05
8	800	0,08	4	0,05
9	800	0,10	7	0,05

Fuente: Propia

Para el factor del voltaje de operación se experimentó con tres valores menores a la tensión limitante de 10,48 V. Los valores tomados fueron de 4; 7 y 10 V.

De las condiciones de trabajo dadas en la Tabla N° 5.10, se realizó las nueve corridas experimentales determinando para cada experiencia la conductividad de sus tres soluciones, el porcentaje de desionización del vino y su pH en el tiempo.

a) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 1

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
1	400	0,06	4

TABLA N° 5.11

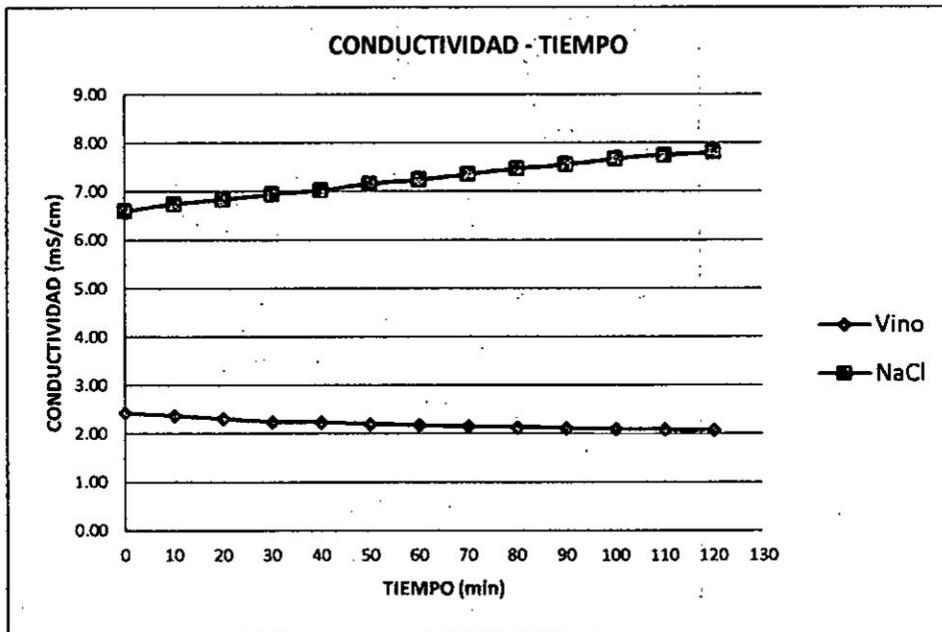
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 1

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	4,00	30	2,44	6,60	8,50	0,00	3,83
10	4,10	30	2,38	6,75	8,40	2,46	3,82
20	4,14	30	2,32	6,84	8,55	4,92	3,81
30	4,08	30	2,25	6,95	8,67	7,79	3,78
40	4,06	30	2,24	7,03	8,30	8,20	3,76
50	4,02	30	2,21	7,16	8,44	9,43	3,74
60	4,00	30	2,18	7,25	8,38	10,66	3,73
70	4,02	30	2,16	7,36	8,47	11,48	3,71
80	4,01	30	2,14	7,48	8,49	12,30	3,69
90	4,03	30	2,12	7,56	8,42	13,11	3,67
100	4,05	30	2,10	7,68	8,56	13,93	3,66
110	4,00	30	2,09	7,76	8,45	14,34	3,65
120	4,02	30	2,08	7,81	8,58	14,75	3,64

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.5

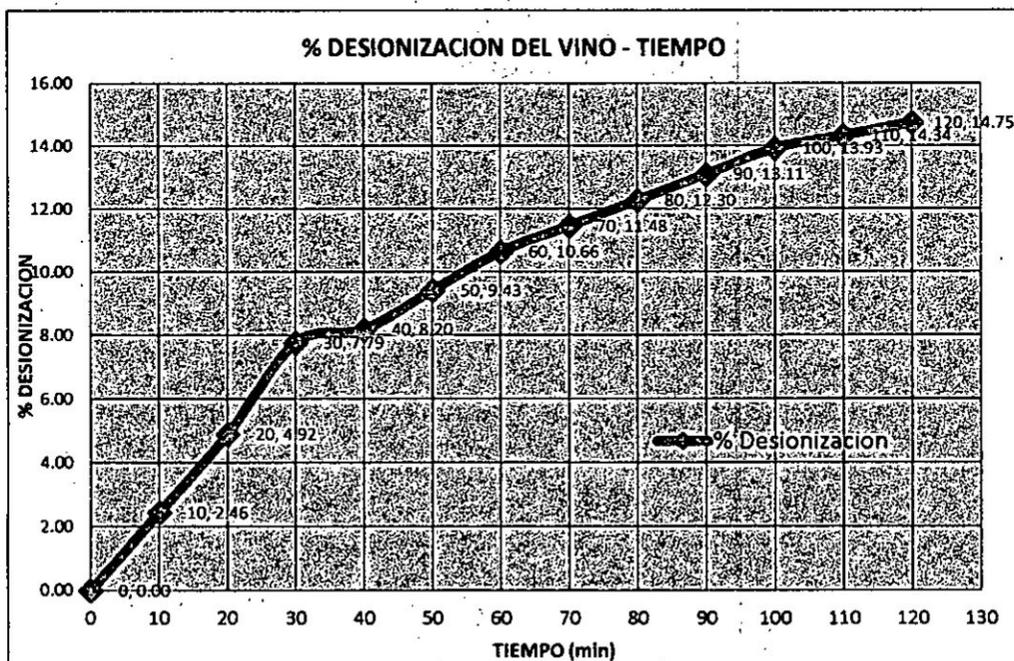
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.6

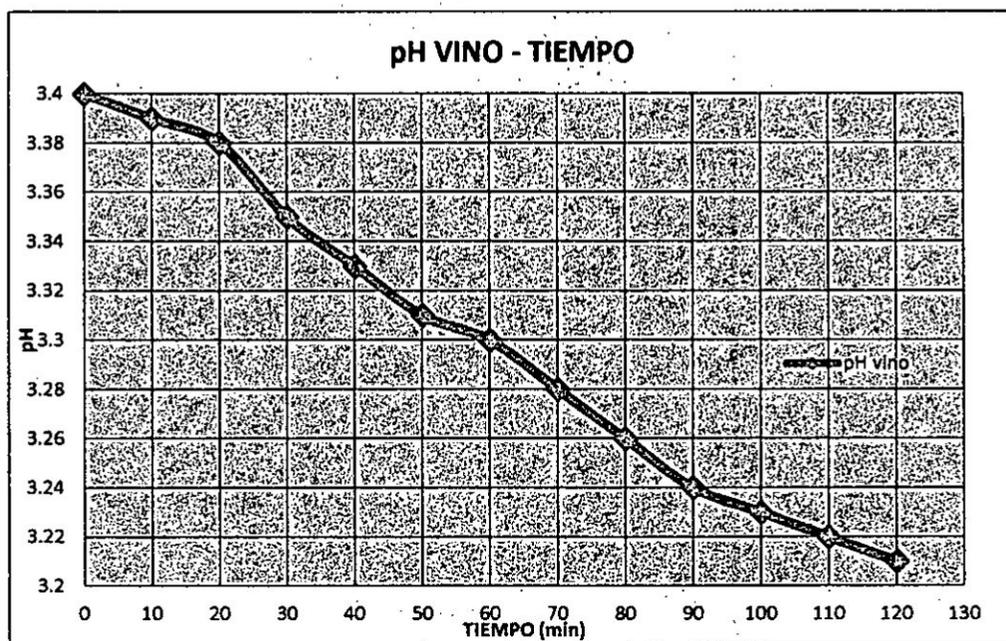
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.7

pH DEL VINO-TIEMPO - EXPERIENCIA N° 1



Fuente: Propia

b) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 2

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
2	400	0,08	7

TABLA N° 5.12

DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 2

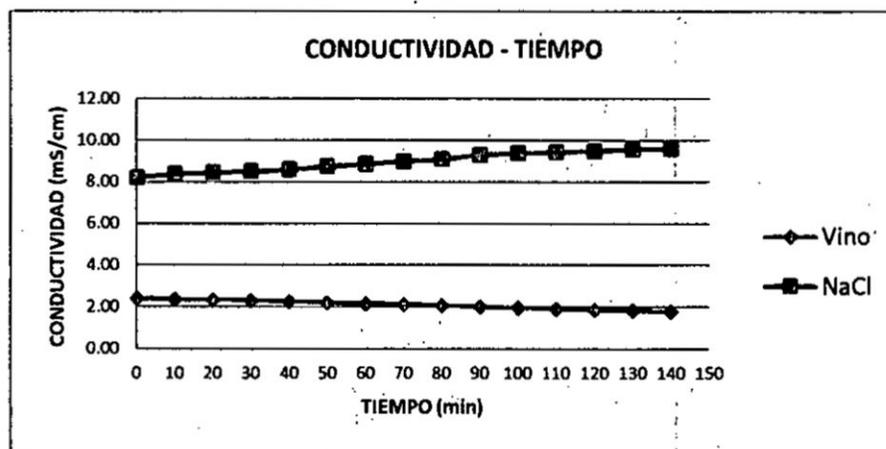
tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	7,00	70	2,44	8,20	8,55	0,00	3,83
10	7,20	70	2,39	8,38	8,40	2,05	3,82
20	7,00	70	2,35	8,46	8,50	3,69	3,82
30	7,20	70	2,33	8,52	8,47	4,51	3,81
40	7,20	70	2,28	8,61	8,60	6,56	3,81
50	7,30	70	2,21	8,76	8,55	9,43	3,79
60	7,30	70	2,18	8,86	8,40	10,66	3,79
70	7,40	70	2,13	9,00	8,54	12,70	3,78

80	7,50	70	2,09	9,10	8,55	14,34	3,78
90	7,40	70	2,03	9,32	8,54	16,80	3,76
100	7,10	70	1,98	9,39	8,53	18,85	3,76
110	7,20	70	1,93	9,45	8,51	20,90	3,73
120	7,10	70	1,89	9,50	8,50	22,54	3,71
130	7,10	70	1,85	9,57	8,54	24,18	3,70
140	7,20	70	1,81	9,60	8,51	25,82	3,69

Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.8

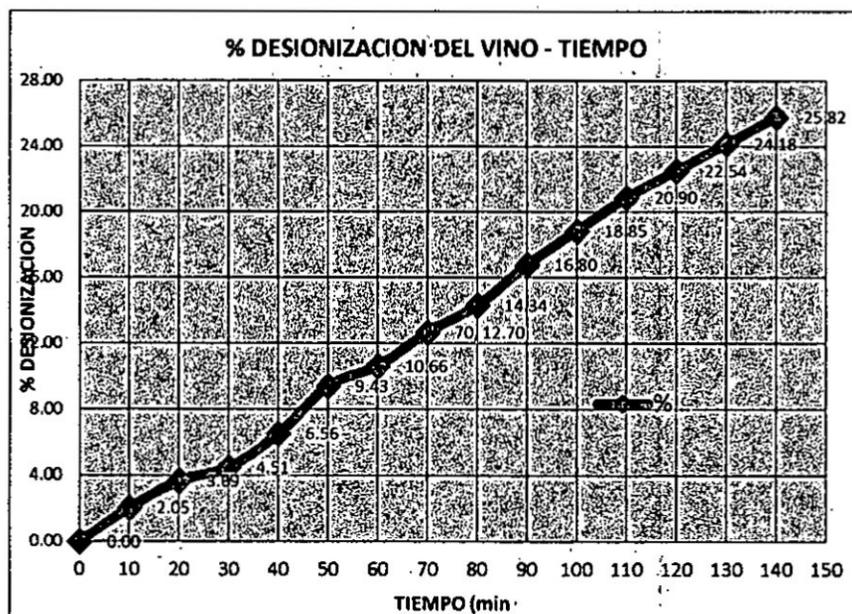
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.9

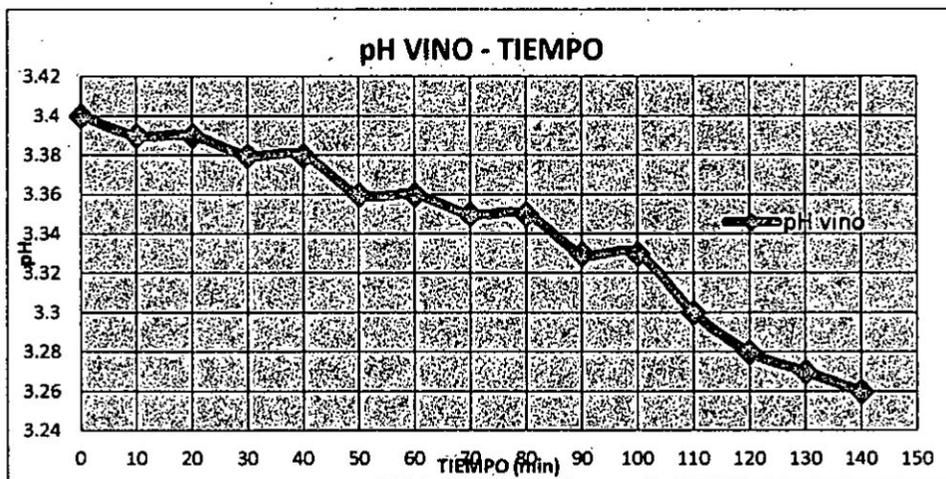
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.10

pH DEL VINO-TIEMPO - EXPERIENCIA N° 2



Fuente: Propia

c) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 3

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
3	400	0,10	10

TABLA N° 5.13

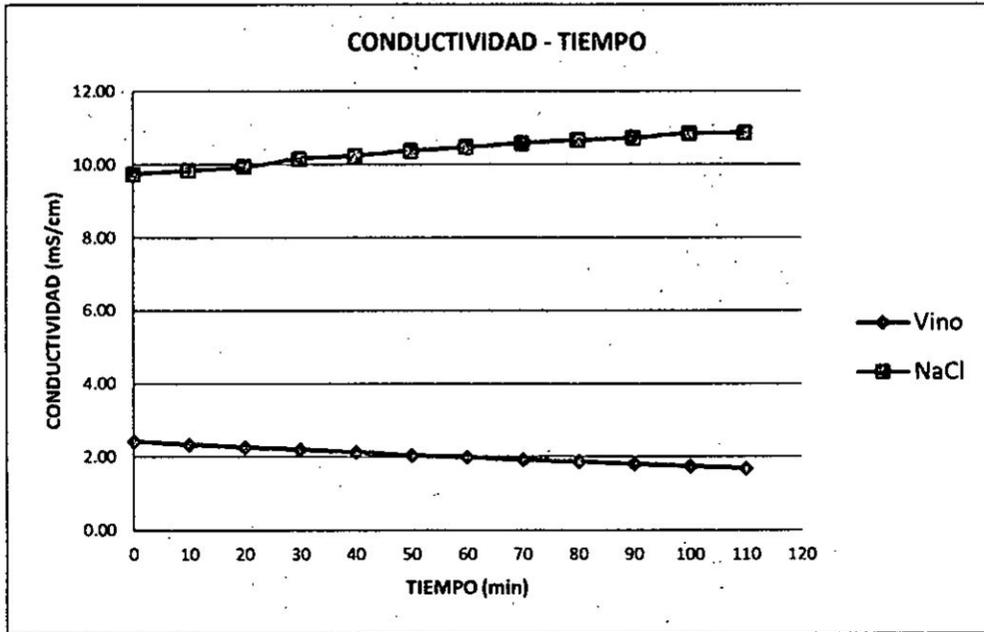
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 3

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	10,00	110	2,44	9,75	8,50	0,00	3,83
10	10,10	110	2,35	9,85	8,40	3,69	3,82
20	10,20	110	2,28	9,95	8,55	6,56	3,79
30	10,00	110	2,21	10,17	8,67	9,43	3,76
40	10,30	110	2,14	10,26	8,30	12,30	3,74
50	10,00	110	2,05	10,39	8,44	15,98	3,71
60	10,00	110	2,00	10,49	8,38	18,03	3,69
70	10,00	110	1,93	10,60	8,47	20,90	3,67
80	10,10	110	1,88	10,68	8,49	22,95	3,63
90	10,00	110	1,81	10,74	8,42	25,82	3,6
100	10,20	110	1,76	10,86	8,56	27,87	3,59
110	10,10	110	1,70	10,88	8,45	30,33	3,58

Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.11

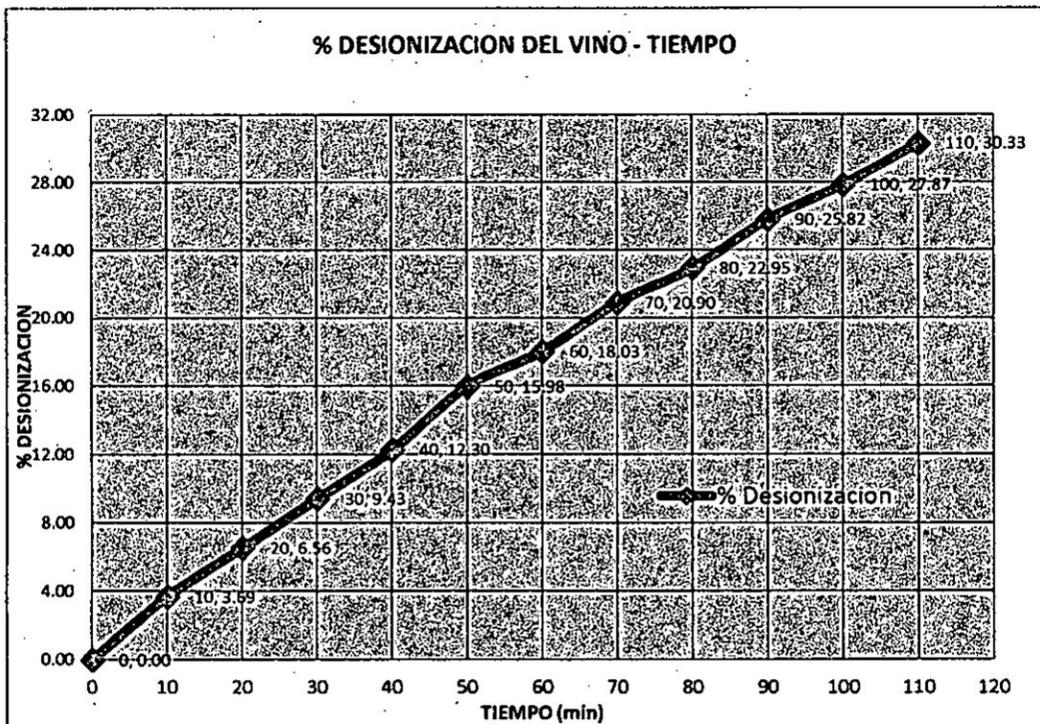
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.12

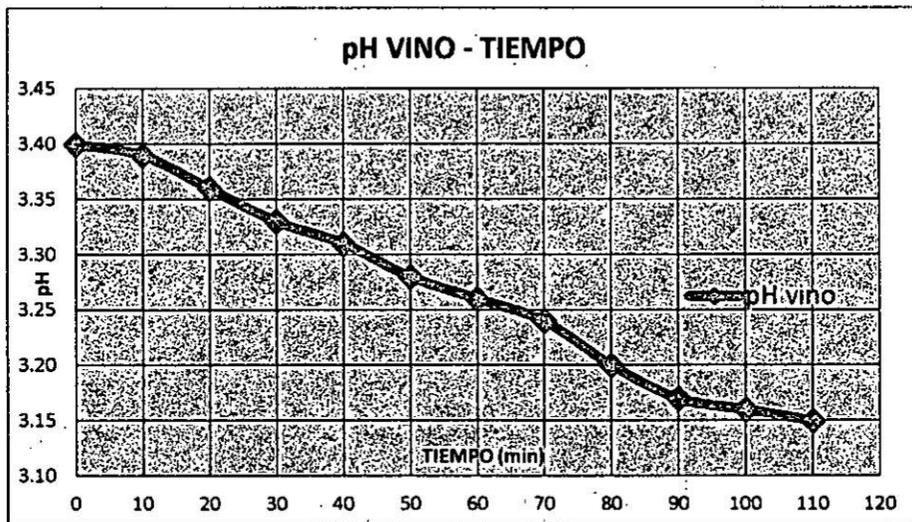
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.13

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 3



Fuente: Propia

d) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 4

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl(N)	Voltaje de operación (V)
4	600	0,06	7

TABLA N° 5.14

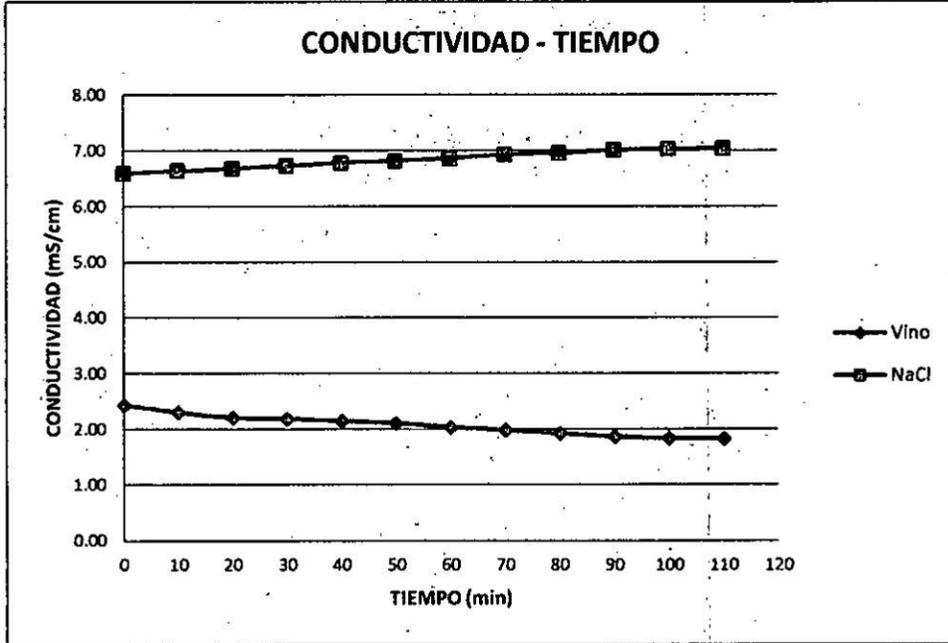
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 4

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	7,00	110	2,44	6,60	8,50	0,00	3,83
10	7,10	110	2,31	6,65	8,40	5,33	3,81
20	7,00	110	2,21	6,69	8,55	9,43	3,8
30	7,20	110	2,19	6,74	8,67	10,25	3,79
40	7,10	110	2,15	6,79	8,30	11,89	3,78
50	7,00	110	2,11	6,83	8,44	13,52	3,77
60	7,10	110	2,04	6,87	8,38	16,39	3,73
70	7,00	110	1,99	6,94	8,47	18,44	3,71
80	7,00	110	1,93	6,97	8,49	20,90	3,7
90	7,00	110	1,87	7,02	8,42	23,36	3,68
100	7,10	110	1,84	7,04	8,56	24,59	3,67
110	7,00	110	1,83	7,05	8,55	25,00	3,66

Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.14

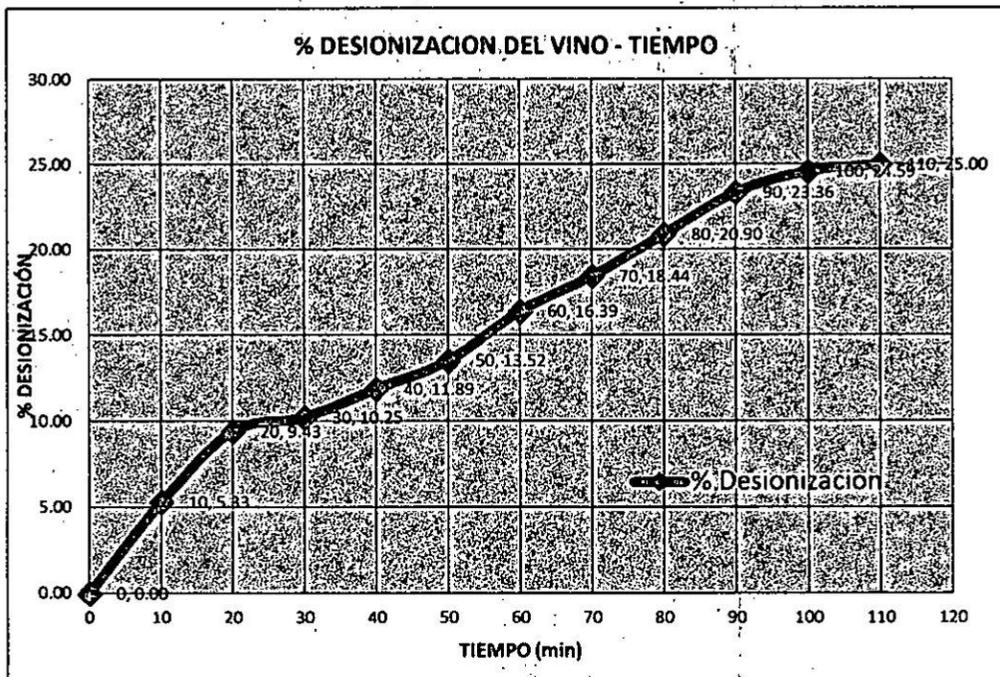
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.15

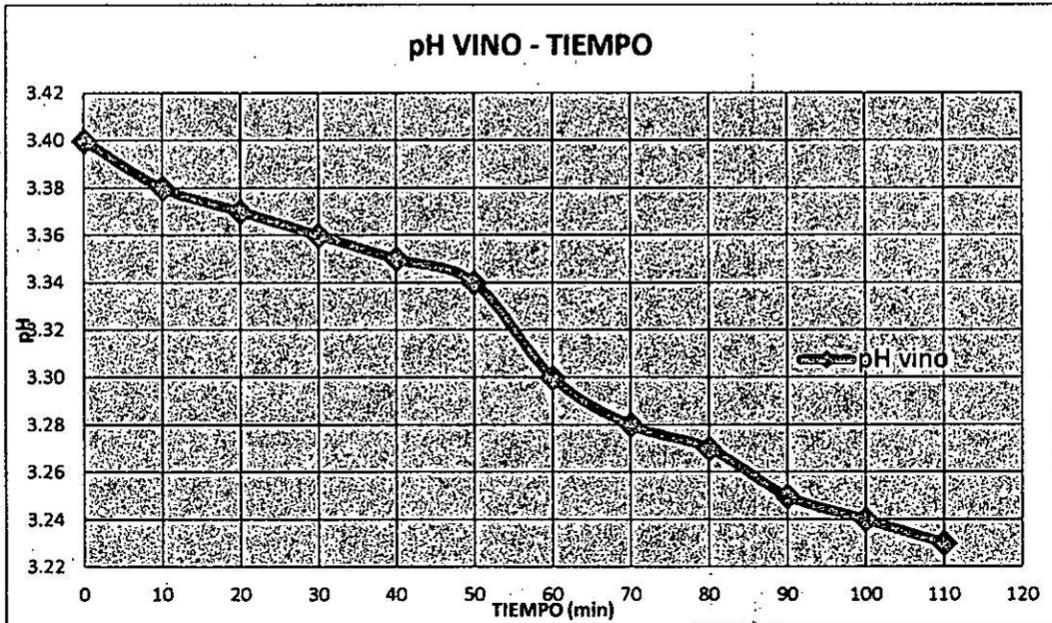
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.16

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 4



Fuente: Propia

e) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 5

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
5	600	0,08	10

TABLA N° 5.15

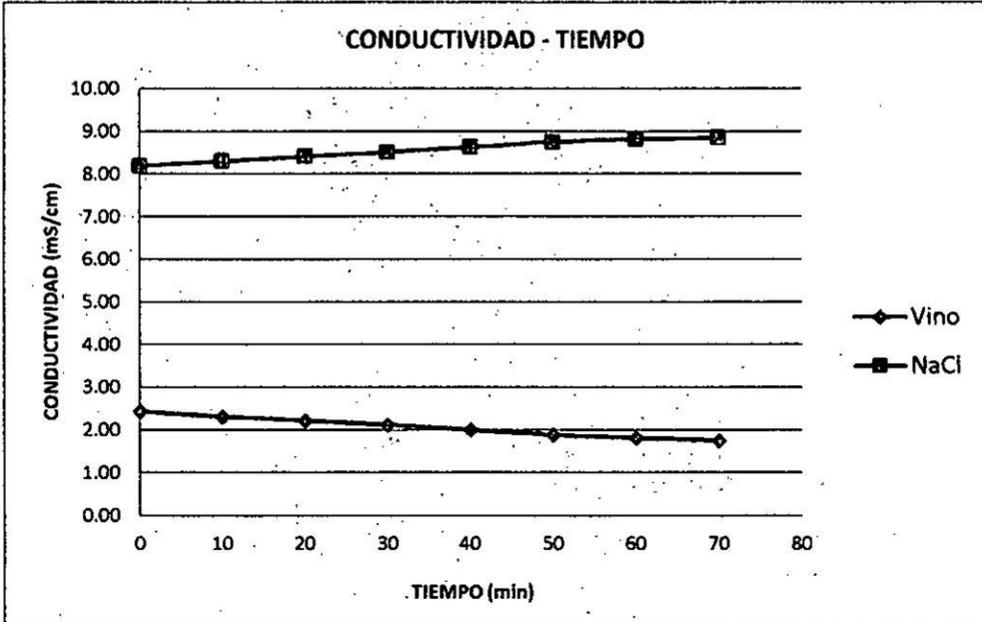
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 5

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	10,00	100	2,44	8,20	8,50	0,00	3,83
10	10,10	100	2,32	8,31	8,40	4,92	3,81
20	10,30	100	2,23	8,42	8,55	8,61	3,80
30	10,30	100	2,12	8,52	8,67	13,11	3,78
40	10,20	100	2,01	8,64	8,30	17,62	3,76
50	10,10	100	1,89	8,76	8,44	22,54	3,74
60	10,00	100	1,82	8,82	8,38	25,41	3,73
70	10,00	100	1,76	8,86	8,47	27,87	3,71

Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.17

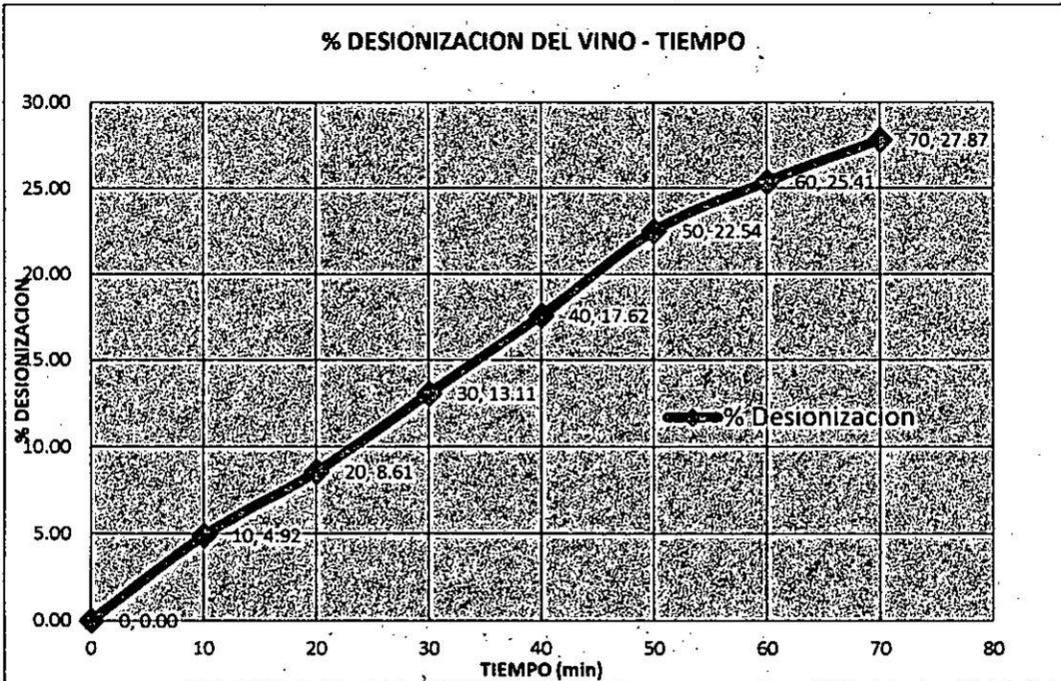
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.18

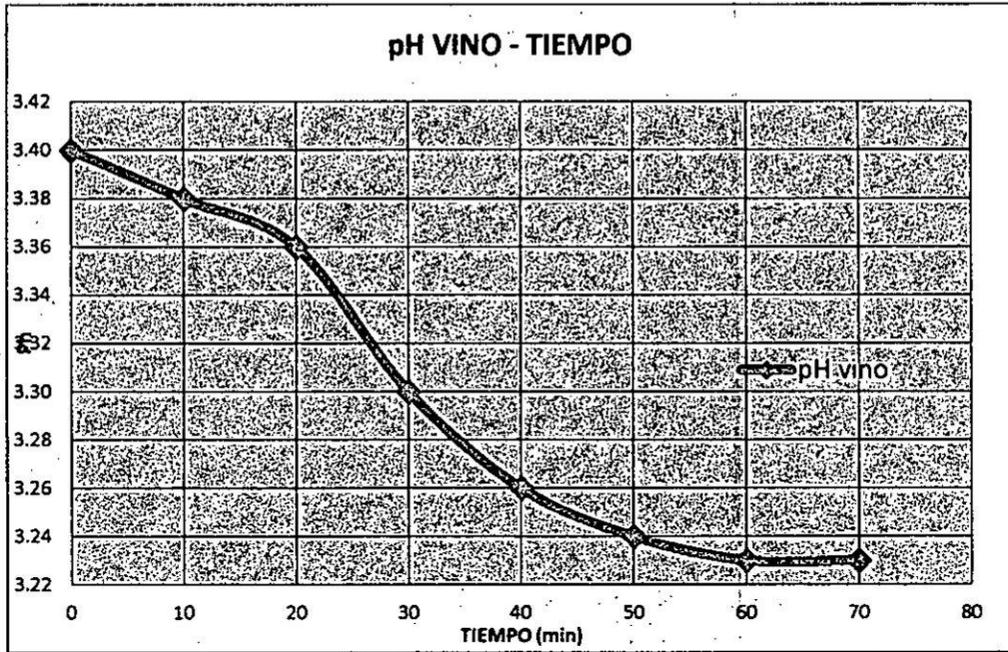
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.19

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 5



Fuente: Propia

f) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 6

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
6	600	0,10	4

TABLA N° 5.16

DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 6

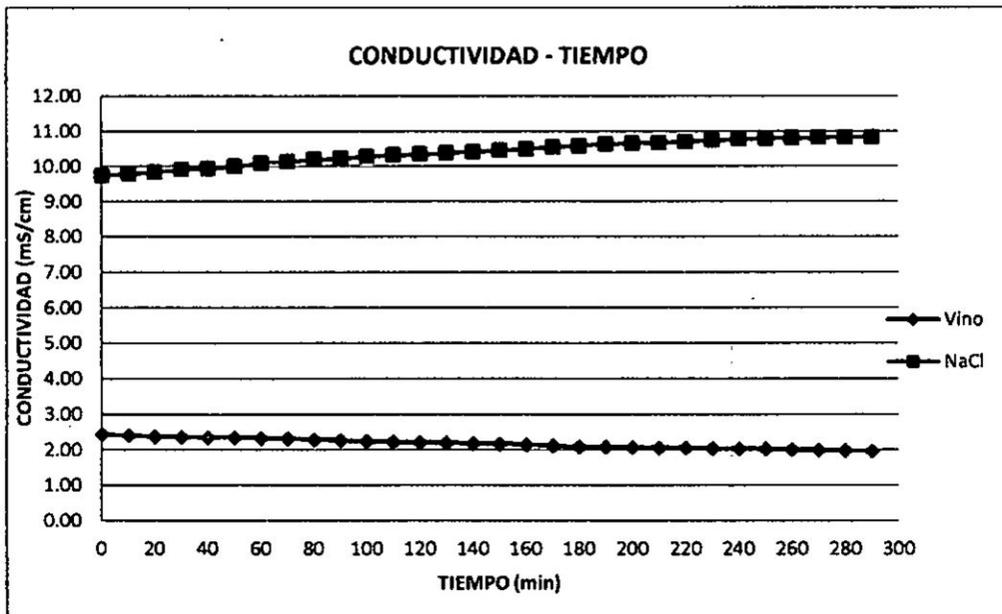
tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	4,00	30	2,44	9,75	8,50	0,00	3,83
10	4,10	30	2,42	9,80	8,40	0,82	3,82
20	4,00	30	2,39	9,84	8,55	2,05	3,81
30	4,10	30	2,37	9,91	8,67	2,87	3,8
40	4,20	30	2,36	9,95	8,30	3,28	3,8
50	4,10	30	2,35	10,00	8,44	3,69	3,79
60	4,00	30	2,34	10,10	8,38	4,10	3,79
70	4,00	30	2,32	10,14	8,47	4,92	3,78
80	4,10	30	2,30	10,20	8,49	5,74	3,78

90	4,10	30	2,27	10,23	8,42	6,97	3,78
100	4,00	30	2,24	10,28	8,56	8,20	3,77
110	4,10	30	2,23	10,32	8,55	8,61	3,77
120	4,10	30	2,22	10,35	8,65	9,02	3,77
130	4,00	30	2,20	10,39	8,55	9,84	3,76
140	4,10	30	2,19	10,42	8,46	10,25	3,76
150	4,00	30	2,17	10,46	8,57	11,07	3,76
160	4,10	30	2,16	10,50	8,45	11,48	3,75
170	4,00	30	2,12	10,56	8,45	13,11	3,75
180	4,10	30	2,10	10,59	8,47	13,93	3,75
190	4,00	30	2,09	10,64	8,45	14,34	3,74
200	4,10	30	2,08	10,66	8,51	14,75	3,74
210	4,00	30	2,07	10,68	8,56	15,16	3,73
220	4,10	30	2,06	10,71	8,46	15,57	3,73
230	4,00	30	2,05	10,75	8,51	15,98	3,72
240	4,00	30	2,04	10,78	8,47	16,39	3,72
250	4,10	30	2,03	10,80	8,49	16,80	3,71
260	4,00	30	2,02	10,81	8,42	17,21	3,71
270	4,10	30	2,00	10,82	8,56	18,03	3,71
280	4,10	30	1,99	10,83	8,55	18,44	3,70
290	4,00	30	1,98	10,83	8,60	18,85	3,70

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.20

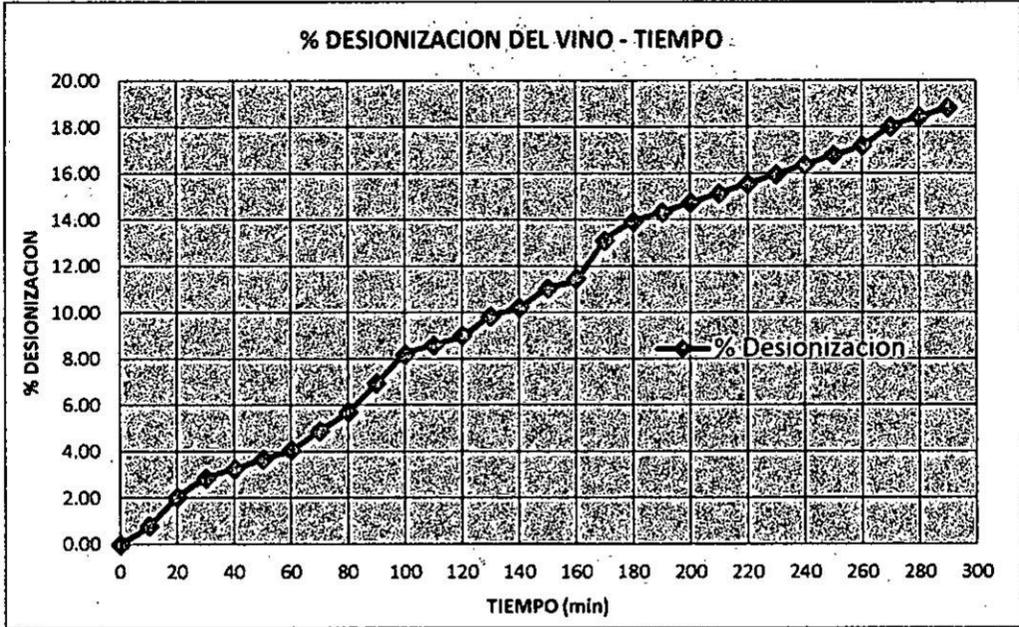
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6



Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.21

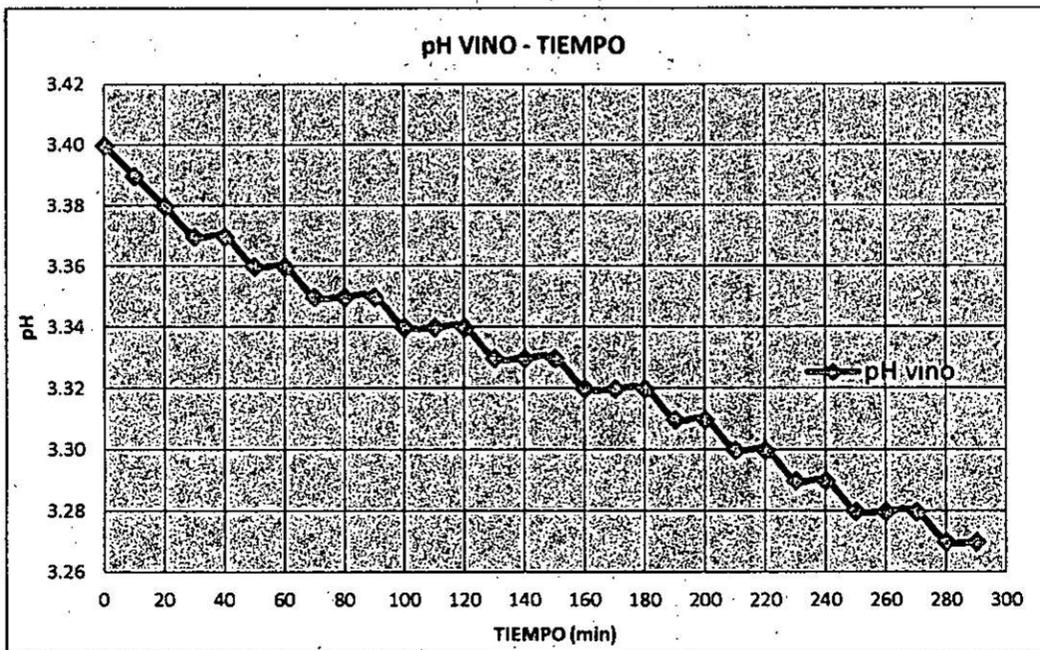
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6



Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.22

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 6



Fuente: Propia

g) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 7

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
7	800	0.06	10

TABLA N° 5.17

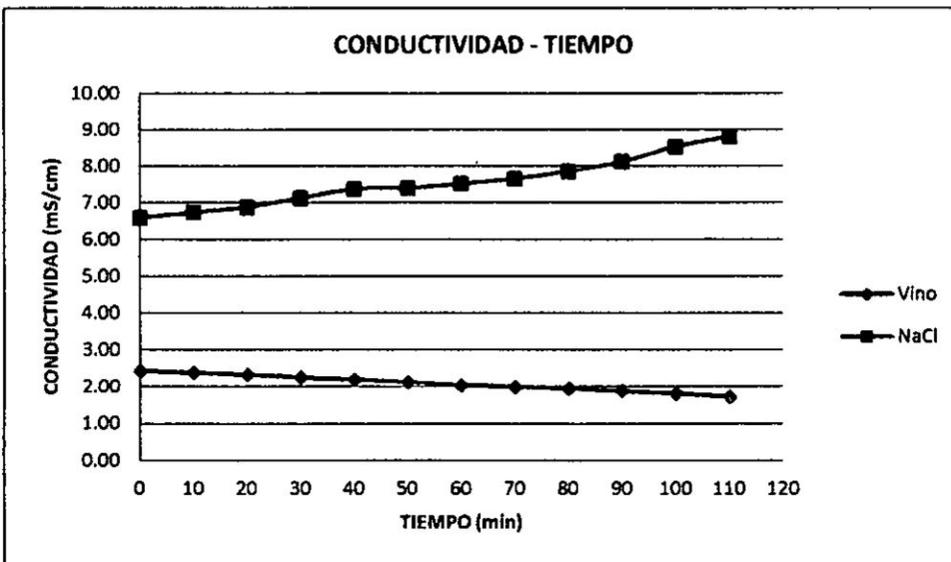
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 7

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	10,00	100	2,44	6,60	8,50	0,00	3,83
10	10,20	100	2,39	6,74	8,40	2,05	3,81
20	10,10	100	2,34	6,88	8,55	4,10	3,8
30	10,00	100	2,26	7,13	8,67	7,38	3,79
40	10,10	100	2,20	7,37	8,30	9,84	3,78
50	10,20	100	2,13	7,41	8,44	12,70	3,77
60	10,10	100	2,05	7,52	8,38	15,98	3,73
70	10,00	100	2,00	7,66	8,47	18,03	3,71
80	10,10	100	1,95	7,86	8,49	20,08	3,7
90	10,10	100	1,89	8,12	8,42	22,54	3,68
100	10,20	100	1,82	8,54	8,56	25,41	3,67
110	10,10	100	1,73	8,82	8,55	29,10	3,66

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.23

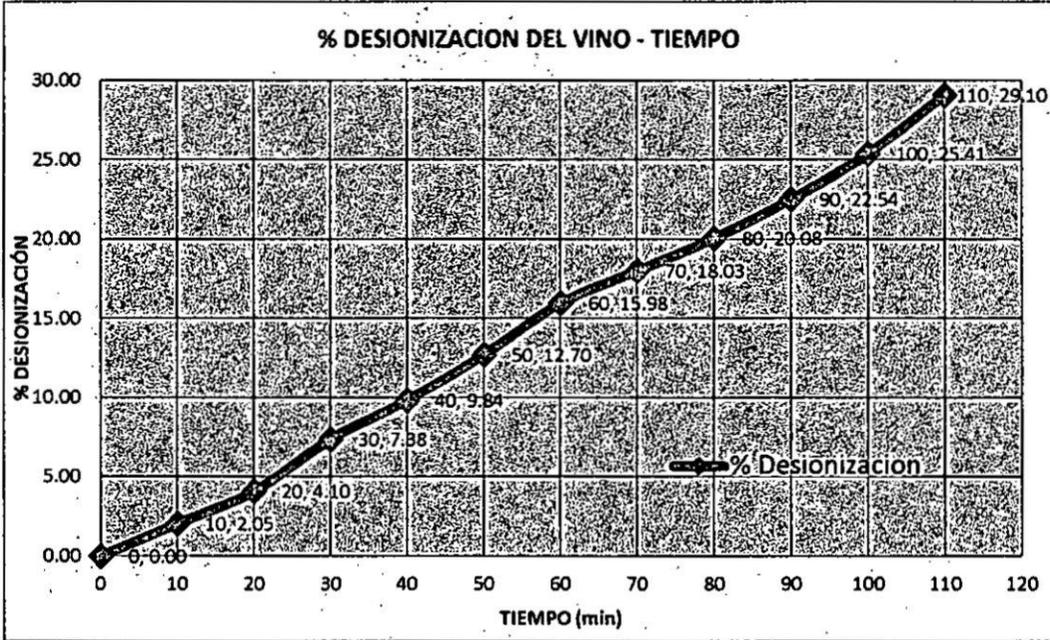
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 7



Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.24

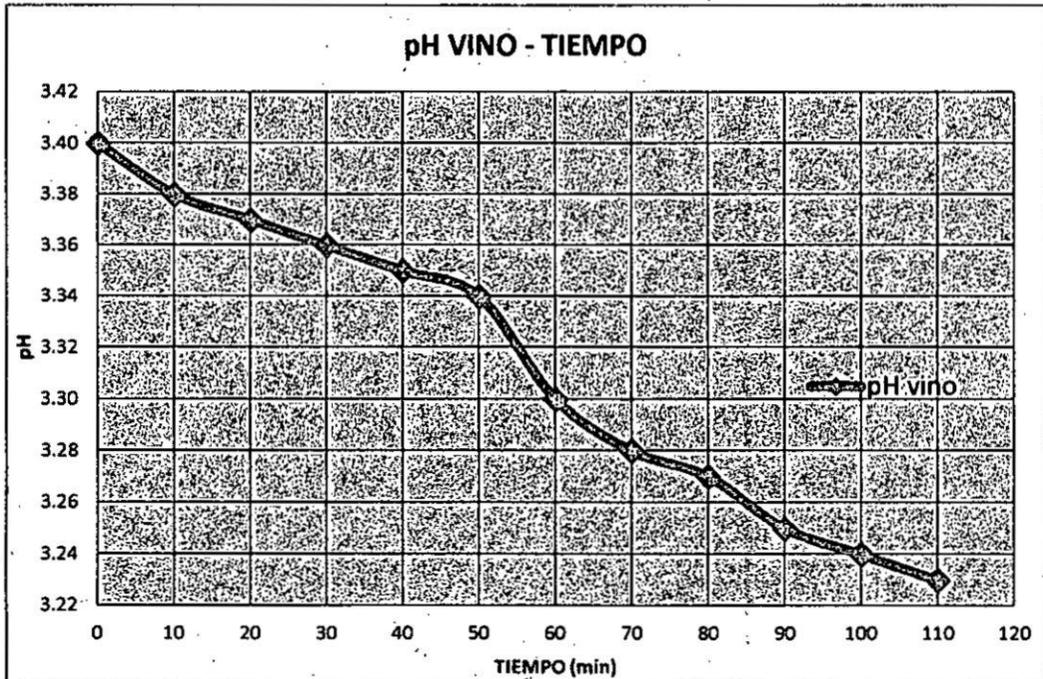
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 7



Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.25

pH DEL VINO - TIEMPO PARA LA EXPERIENCIA N° 7



Fuente: Propia

h) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 8

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
8	800	0,08	4

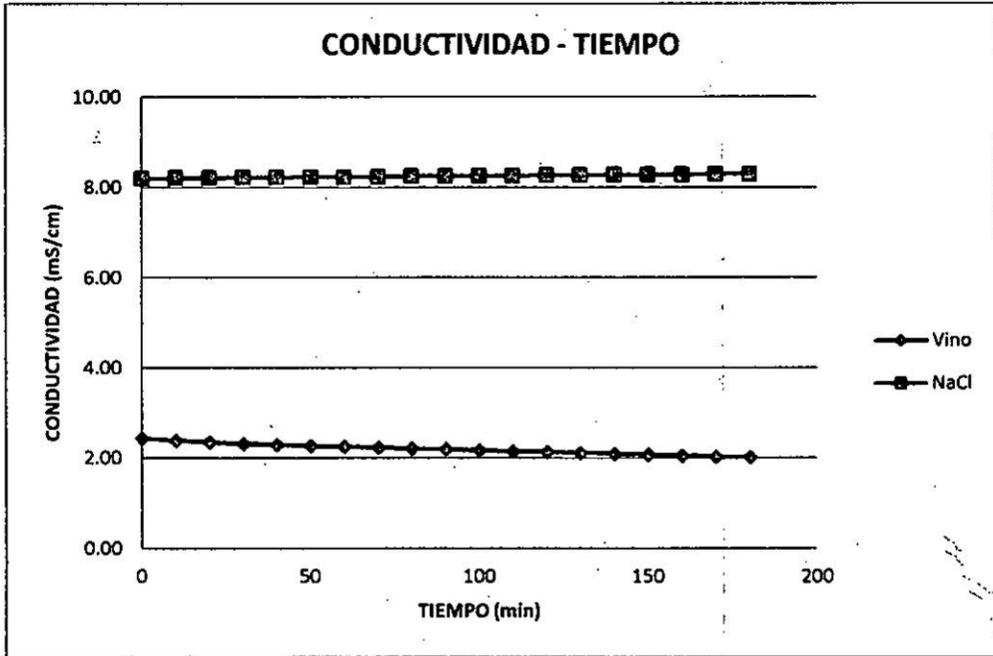
**TABLA N° 5.18
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 8**

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	4,00	30	2,44	8,20	8,50	0,00	3,83
10	4,10	30	2,40	8,21	8,40	1,64	3,82
20	4,00	30	2,36	8,21	8,55	3,28	3,82
30	4,10	30	2,32	8,22	8,67	4,92	3,81
40	4,10	30	2,30	8,22	8,30	5,74	3,81
50	4,20	30	2,28	8,23	8,44	6,56	3,8
60	4,30	30	2,26	8,23	8,38	7,38	3,79
70	4,10	30	2,24	8,24	8,47	8,20	3,78
80	4,00	30	2,22	8,25	8,49	9,02	3,78
90	4,10	30	2,20	8,25	8,42	9,84	3,77
100	4,00	30	2,18	8,26	8,56	10,66	3,76
110	4,10	30	2,16	8,26	8,55	11,48	3,76
120	4,20	30	2,14	8,27	8,54	12,30	3,75
130	4,10	30	2,12	8,27	8,56	13,11	3,74
140	4,20	30	2,10	8,28	8,54	13,93	3,74
150	4,10	30	2,08	8,28	8,53	14,75	3,73
160	4,20	30	2,06	8,29	8,56	15,57	3,73
170	4,10	30	2,04	8,30	8,54	16,39	3,73
180	4,00	30	2,02	8,30	8,52	17,21	3,73

Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.26

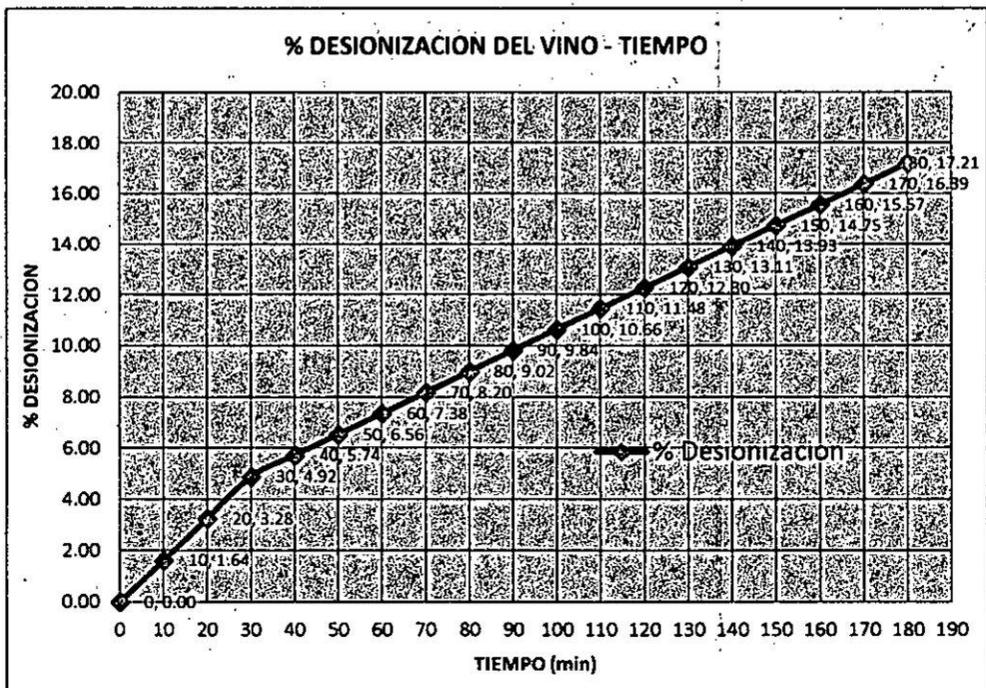
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 8



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.27

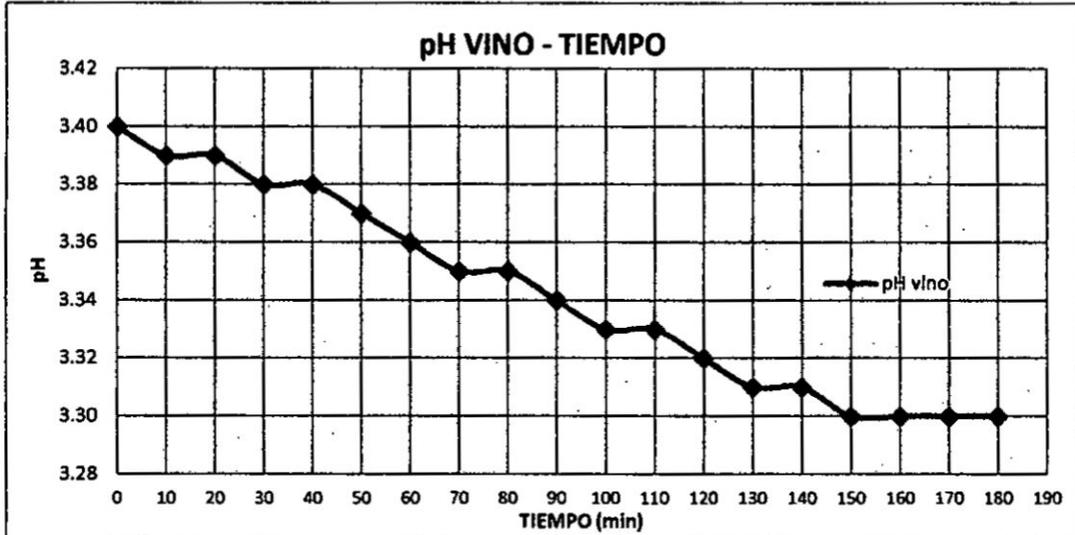
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 8



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.28

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 8



Fuente: Propia

i) Condiciones de trabajo para la experiencia N° 9

N° EXPERIENCIA	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)
9	800	0,10	7

TABLA N° 5.19

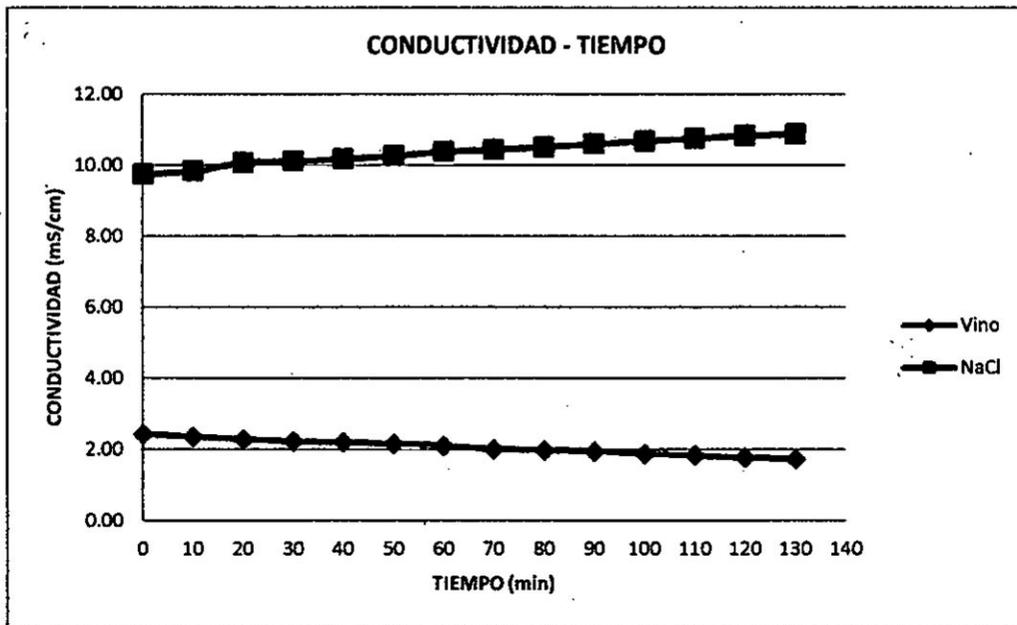
DATOS RECOGIDOS - EXPERIENCIA N° 9

tiempo (min)	Voltaje (V)	Corriente (mA)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)			% Desionización	pH vino
			Vino	NaCl	Na ₂ SO ₄		
0	7,00	80	2,44	9,75	8,50	0,00	3,83
10	7,00	80	2,37	9,84	8,40	2,87	3,81
20	7,10	80	2,29	10,07	8,55	6,15	3,8
30	7,10	80	2,24	10,12	8,67	8,20	3,79
40	7,20	80	2,21	10,18	8,30	9,43	3,77
50	7,20	80	2,16	10,27	8,44	11,48	3,74
60	7,10	80	2,11	10,39	8,38	13,52	3,73
70	7,10	80	2,02	10,45	8,47	17,21	3,72
80	7,10	80	1,99	10,52	8,49	18,44	3,70
90	7,20	80	1,96	10,61	8,42	19,67	3,68
100	7,10	80	1,89	10,69	8,56	22,54	3,66
110	7,10	80	1,84	10,76	8,55	24,59	3,63
120	7,00	80	1,78	10,84	8,54	27,05	3,62
130	7,00	80	1,74	10,89	8,53	28,69	3,60

Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.29

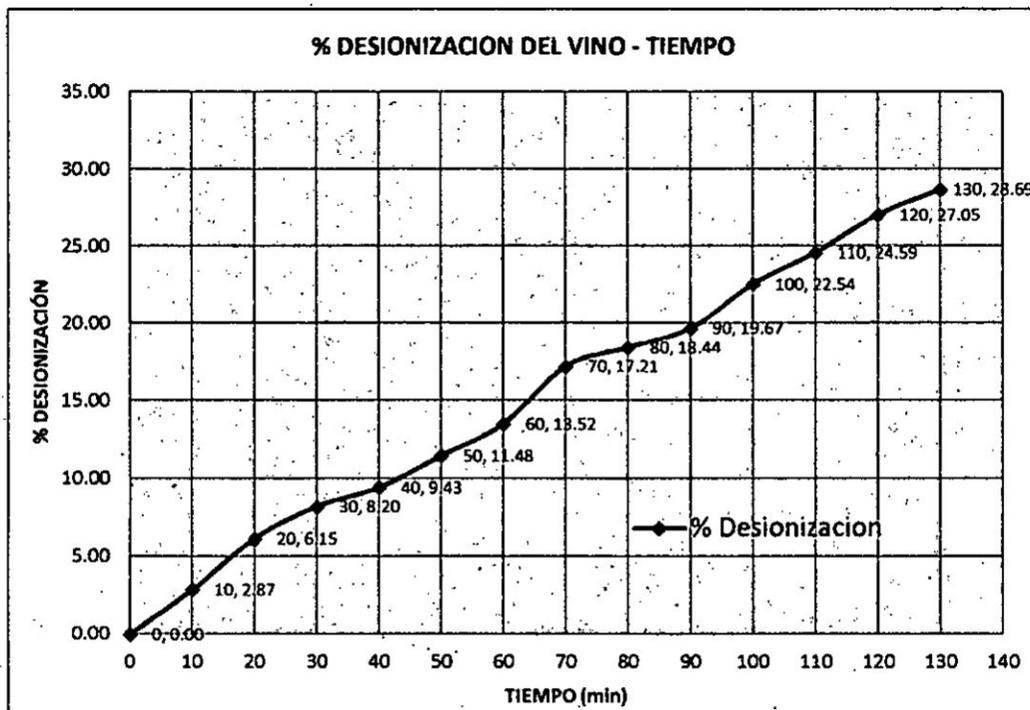
CONDUCTIVIDAD - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9



Fuente: Propia

GRÁFICO N° 5.30

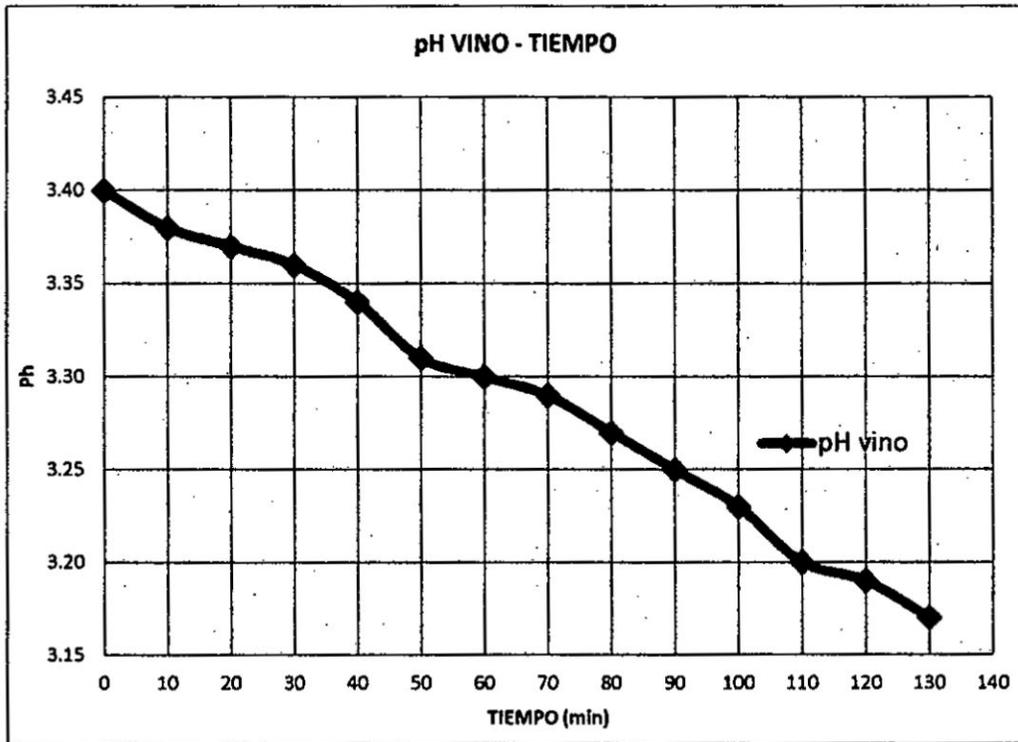
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9



Fuente: Propia

GRAFICO N° 5.31

pH DEL VINO - TIEMPO - EXPERIENCIA N° 9



Fuente: Propia

5.4 Resultados de análisis del vino después de estabilizarlo

En cada experiencia se tomó de una a dos muestras en diferentes tiempos, los cuales se determinó su porcentaje de desionización.

5.4.1 Porcentaje de desionización del vino de las muestras tomadas

Se observó los porcentajes de desionización mayores en un menor tiempo para cada experiencia, resultando la experiencia N° 5 como probable para los parámetros de operación para alcanzar la estabilidad tartárica del vino.

TABLA N° 5.20

PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN DEL VINO EN CADA EXPERIENCIA

N° EXPERIENCIA	FACTORES			Tiempo (min)	Porcentaje de Desionización (%GD)
	Caudal (ml/min)	Concentración de Salmuera NaCl (N)	Voltaje de operación (V)		
1	400	0,06	4	120	14,75
2	400	0,08	7	100	18,85
				140	25,82
3	400	0,10	10	70	20,90
				110	30,33
4	600	0,06	7	70	18,44
				110	25,00
5	600	0,08	10	50	22,54
				70	27,87
6	600	0,10	4	290	18,85
7	800	0,06	10	60	15,98
				110	29,10
8	800	0,08	4	180	17,21
9	800	0,10	7	90	19,67
				130	28,69

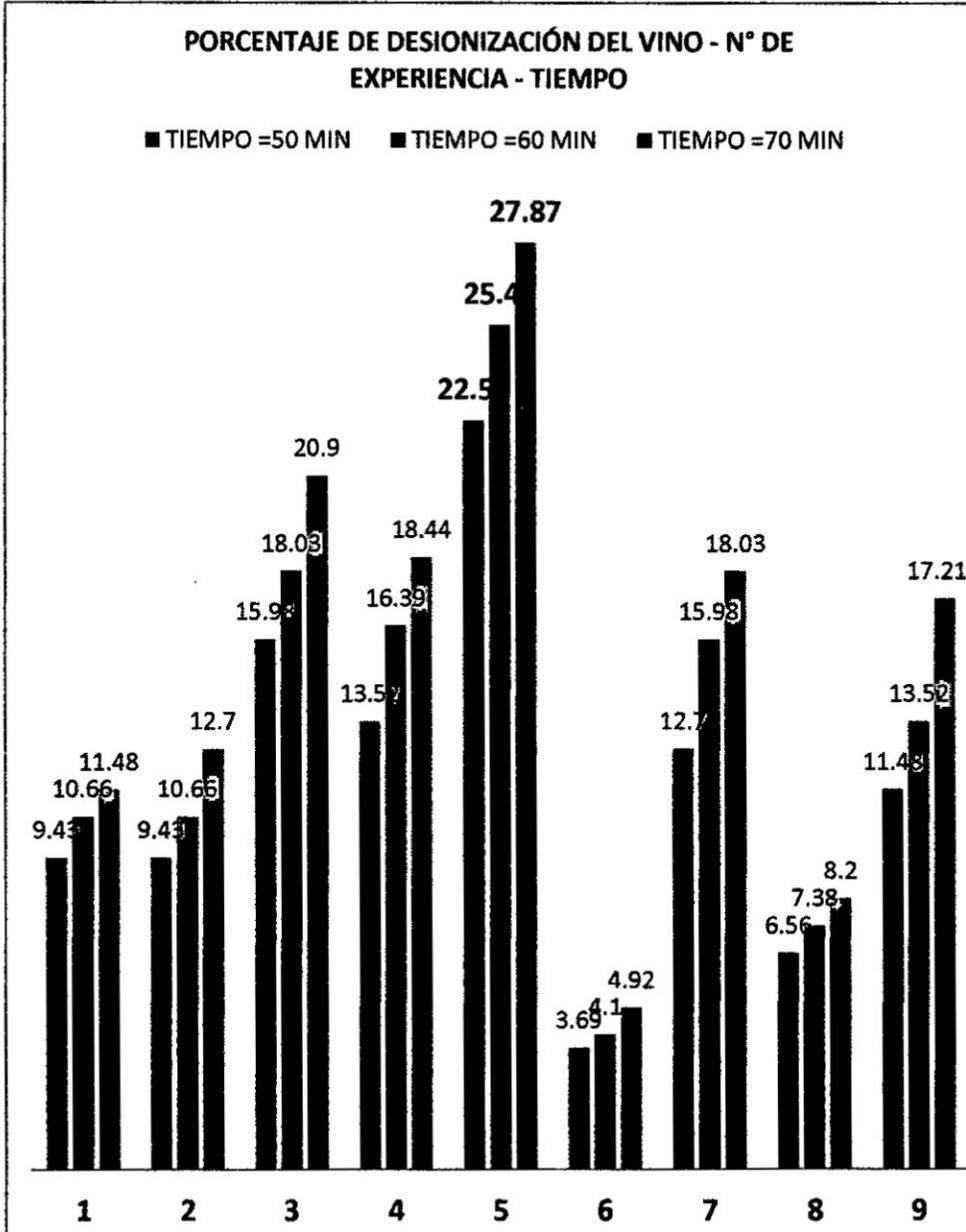
Fuente: Propia

5.4.2 Porcentaje de desionización del vino respecto al tiempo (50, 60, 70 min.)

De acuerdo al resultado de la experiencia N° 5 de la Tabla N° 5.20, se graficó los porcentajes de desionización del vino correspondientes a los tiempos 50, 60 y 70 minutos para cada experiencia realizada en el Gráfico N° 5.32.

GRAFICO N° 5.32

PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN DEL VINO RESPECTO AL TIEMPO



Fuente: Propia

De acuerdo al Gráfico N° 5.32 la experiencia N° 5 es la que tiene el mayor porcentaje de desionización en los tres tiempos (50, 60 y 70 min), siendo ésta la experiencia con los parámetros de operación adecuados para la estabilización tartárica mediante el proceso de electrodiálisis.

5.4.3 Porcentaje de desionización de iones potasio y calcio en las muestras tomadas para la experiencia N° 5

TABLA N° 5.21
PORCENTAJE DE DESIONIZACIÓN DE IONES POTASIO Y CALCIO
EXPERIENCIA N° 5

Tiempo (min)	Elementos	Concentración mg/L	% Desionización
0	Ca	149,5	0,00
	K	1159	0,00
50	Ca	103,2	30,97
	K	607	47,63
70	Ca	74,26	50,33
	K	476,6	58,88

Fuente: Propia

5.4.4 Concentración de iones Potasio y Calcio en cada muestra tomada de todas las experiencias

TABLA N° 5.22
CONCENTRACIÓN DE IONES POTASIO Y CALCIO EN LA EXPERIENCIA N° 1

Experiencia N°	Tiempo (min)	CONCENTRACIÓN DE IONES	
		Ca (mg/L)	K (mg/L)
1	120	92,67	701,10
2	100	108,4	688
	140	92,79	568,3
3	70	116,5	737,4
	110	100,3	612,5

4	70	117,5	647,7
	110	93,21	496,4
5	50	103,2	607
	70	74,26	476,6
6	290	99,06	677,9
7	60	119	772,5
	110	107,3	619,5
8	180	104,2	742,5
9	90	112,1	676
	130	90,42	520,9

Fuente: Propia

5.4.5 Análisis fisicoquímico del vino para la experiencia N° 5 después de la desionización.

TABLA N° 5.23

INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA EXPERIENCIA N° 5

ENSAYO	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
1. Acidez Total (g/L de muestra original) (expresado como ácido tartárico)	7,18	NTP 212.047-2009
2. Acidez Volátil (g/L de muestra original)(expresado como ácido acético)	1,79	NTP 212.031-2009
3. Grado Alcohólico (% v/v a 20°C / 20 °C)	13,5	NTP 212.030-2009

Fuente: La Molina Calidad Total Laboratorios (UNALM)

TABLA N° 5.24

INFORME DE ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA EXPERIENCIA N° 5

ENSAYO	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
1. Acidez Total (g/L de muestra original) (expresado como ácido tartárico)	7,16	Volumétrico
2. pH	3,74	Equipo pHmetro

Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias UNAC

TABLA N° 5.25

VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

ENSAYO	RESULTADO INICIAL	RESULTADO FINAL	$\Delta (R_i - R_f)$
1. Acidez Total (g/L de muestra original) (expresado como ácido tartárico)	7,64	7,18	0,46
2. Acidez Volátil (g/L de muestra original) (expresado como ácido acético)	1,80	1,79	0,01
3. Grado Alcohólico (% v/v a 20°C / 20 °C)	13,5	13,5	0
4. pH	3,83	3,74	0,09

Fuente: La Molina Calidad Total Laboratorios

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

- a) El vino usado para la investigación fue un tipo de vino joven de la variedad de uva Isabella, elaborado por la bodega ESB NEGOCIOS & PRODUCCIÓN SAC, al cual antes de usarlo en la experiencia para estabilizarlo se le hizo un análisis fisicoquímico en el Laboratorio de la Molina para determinar la acidez total, acidez volátil y el grado alcohólico (véase tabla N° 5.1, página 105), contrastándolo con el análisis volumétrico que se realizó para medir la acidez total del vino en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (véase tabla N° 5.3, página 106), resultando los valores muy cercanos.

- b) De acuerdo a la hipótesis general, se van variando los parámetros de operación tales como el caudal, la concentración de la salmuera y el voltaje hasta alcanzar la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella en la industria peruana, para lo cual se realizó una matriz de diseño ortogonal del método Taguchi L₉ (3)⁴ donde se consideró ciertos valores tomando en cuenta el diseño del equipo de electrodiálisis usado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

- c) De acuerdo al diseño del equipo de electrodiálisis, el rango del caudal de alimentación se consideró según el rotámetro del equipo entre 100 a 1000 ml/min, por ello consideramos los valores de 400, 600 y 800 ml/min, la

concentración de salmuera o NaCl fue tomada entre un rango de 0,06 a 0,10 N (véase tabla 5.4, página 106), considerando estos valores por tener la conductividad baja necesarios para retener los iones del vino, por lo tanto sus cationes y aniones de la salmuera variaron entre 6,6 y 9,75 mS/cm.

- d) Para conocer el rango del voltaje a usar en el equipo, aleatoriamente se tomó las experiencias N° 1, 5, 6, 9 como condiciones para determinar la corriente límite y el método que se usó para hallarlo fue elaborando una curva de polarización (Intensidad vs. Voltaje) (véase tabla 5.5, página 107) para cada una de estas experiencias, (véase gráfico 5.1, página 108).
- e) De los datos recogidos de las experiencias (véase tabla 5.11 al 5.19, página 110 a la página 127), se graficó la conductividad del vino y la salmuera en función del tiempo (véase gráfico N° 5.5, página 111), donde se observó que la conductividad del vino fue disminuyendo mientras que la conductividad de la salmuera fue aumentando, lo que se demuestra que en todas estas experiencias hubo una reducción de cationes minerales y aniones tartratos, cargándose estos iones a la salmuera por lo que se aprecia su aumento. También se graficó el porcentaje de desionización en función del tiempo para todas las experiencias (véase gráfico N° 5.6, página 113), lo que demostró que a mayor tiempo el porcentaje de desionización irá en aumento.
- f) Las concentraciones iniciales de potasio y calcio en el vino se determinaron mediante el método de ICP en el laboratorio de SGS del Perú (véase tabla

Nº 5.2, página 105), estos valores fueron necesarios para determinar al final el porcentaje de desionización de estos metales.

- g) De la experiencia Nº 5 se determinó la concentración (mg/L) de los iones potasio y calcio en los tiempos 50 y 70 minutos y con las concentraciones iniciales halladas (véase tabla Nº 5.2, página 105) se procedió a determinar el porcentaje de desionización tanto para el calcio y el potasio (véase tabla Nº 5.21, página 134).

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

- a) En relación al resultado del ensayo de corridas experimentales en la Tabla Nº 5.10 muestran: Que los niveles y la cantidad de los factores controlables para determinar los parámetros de operación están basados en el diseño ortogonal L9 del método Taguchi, tomando tres niveles y cuatro factores como el Caudal, la concentración de salmuera, el voltaje de operación y la concentración del sulfato de sodio (véase tabla Nº 5.10 página 111).

Resultados similares como el estudio realizado por Juan Medina Collana, determina los parámetros de operación para la desalinización del agua salobre mediante el proceso de electrodiálisis haciendo uso por del diseño experimental L9 de Taguchi, tomando tres niveles y cuatro factores.

Otra investigación sobre la separación de los iones cobre por electrodiálisis realizada por Mohammadia et al., hace uso de la ingeniería de calidad de Taguchi estudiando cuatro parámetros y tres niveles.

- b) En relación al resultado de la Tabla Nº 5.20 y el Gráfico Nº 5.32 mostrando el porcentaje de desionización del vino para cada experiencia realizada en

función del tiempo en 50, 60 y 70 minutos, se determina que la experiencia N° 5 es la que tiene el mayor porcentaje de desionización de 27,87%.

Resultados similares en el estudio realizado por Soares et al., en una prueba de minicontacto durante 65 horas con cristales de KTH con muestras de vino rosa se obtuvo un grado de desionización de 28,1% para alcanzar la estabilidad tartárica del vino.

Otro estudio realizado por Benito, con un equipo de electrodiálisis para alcanzar la estabilización tartárica de un vino se debe alcanzar por lo menos una desionización del 17%, aplicando a los vinos tintos una caída de la conductividad entre un 20%, y para vinos blancos otra del 20 a 30%”.

- c) De acuerdo a la Tabla N° 5.25, la variación del análisis fisicoquímico del vino realizado antes y después de la estabilización (véase tabla N° 5.25, página 136) para los ensayos de la acidez total (expresado como ácido tartárico) con 0,46; acidez volátil (expresado como ácido acético) con 0,01; grado alcohólico (% v/v a 20°C / 20 °C) con 0 y pH con 0,09.

Resultados similares se muestran en el trabajo realizado por Benito (2012), para un porcentaje de desionización del 20% (para un vino joven) donde el ácido tartárico es el más afectado, alcanzando una reducción del 10 a 15 %.

La disminución de la acidez volátil será inferior a 0,12 gramos / litro en ácido acético. La disminución del grado alcohólico será inferior a 0,1 % vol.

La disminución del pH del vino no será superior a 0,3 unidades.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

Se puede afirmar en el contenido de la presente tesis, que se pudo determinar los parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino mediante el proceso de electrodiálisis, el cual me permite obtener las conclusiones siguientes:

- a) Los parámetros de operación para alcanzar la estabilización tartárica del vino son el caudal con 600 mL/min, la concentración de la salmuera con 0,08 N y el voltaje con 10 V.
- b) Los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad de uva Isabella son la conductividad eléctrica con una caída del 22,5%; la concentración del ácido tartárico con una caída de 0,46 g/L; la concentración de la acidez volátil con una caída de 0,01; la concentración de iones potasio con 607 mg/L y calcio con 103,2 mg/L, el pH con una caída de 0,09 y el grado alcohólico con 13,5 %v/v.
- c) El porcentaje de desionización del vino es del 22,54%; de los iones potasio 47,63% y de los iones calcio 30,97% con los cuales se consiguió estabilizar el vino joven de la variedad de uva Isabella.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- a) Se debe tener el debido cuidado al momento de seguir desionizando el vino ya que el pH ira disminuyendo y si la caída de pH supera los 0,15 unidades entonces perderá la calidad organoléptica que caracteriza al vino joven de la variedad de uva Isabella.
- b) Al momento de realizar la experiencia para determinar la densidad de corriente, el voltaje no debe superar el máximo permitido por el diseño de la fuente de energía ya que podría dañar tanto la fuente como el equipo de electrodiálisis.
- c) Se recomienda la limpieza del equipo luego de cada corrida, ya que los iones del concentrado, podrían afectar el funcionamiento de las membranas.
- d) Se recomienda efectuar por lo menos dos réplicas de cada corrida experimental con el fin de evaluar los resultados utilizando métodos estadísticos.
- e) Se recomienda el uso de instrumentos debidamente calibrados para evitar resultados erróneos.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 Referencias bibliográficas

1. ANDRES, L; RODRIGUEZ, A; ALVAREZ, R. COCA, J. **Electrodiálisis Principios y Aplicaciones.** *Ingeniería Química.* N° 226: 235 al 243. 1991.
2. ANDREZ, L; PEREZ, A; ALVAREZ, R. COCA, J. **Polarización de Concentración en los Procesos con Membranas: Aplicación a la Electrodiálisis.** *Ingeniería Química.* N° 274: 241 al 245. 1992.
3. BERNACHEA VILLARREAL, NANCY ISABEL. **Evaluación de los parámetros de operación de un equipo de electrodiálisis para la recuperación de iones níquel a partir de efluentes galvánicos.** Tesis de pregrado Ingeniero Químico. Lima, Perú. Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, 2010.
4. BLOUIN J., PEYNAUD É. **Enología práctica: conocimiento y elaboración del vino.** España. Editorial Mundi Prensa. 2003
5. CONSTANTIN-WEYER, MAURICE. **L'Âme du vin.** Francia. Le Ronde, col. La Petite Vermillon. Primera Edición. 1932
6. COWAN, D.A; BROWN, J.H. **Efecto de la turbulencia en la corriente límite en las celdas de electrodiálisis.** *Int. Engng. Chem.* N° 51: 1445. 1959.

7. DELFINI, C., AND FORMICA, J. **Wine Microbiology. Science & technology.** Italy. L'artistica Sauigliano. 2001
8. DOMINÉ, A., SUPP, E. AND ULBRICHT, D. **Introducción al Vino.** Barcelona, España. Editorial Köneman. 2004.
9. GOLDSTEIN, DARRA. **La fiesta de Georgia: la cultura vibrante y guisados de la República de Georgia.** Estados Unidos. Editorial University of California. 1958
10. GÓMEZ-BENÍTEZ, J., PALACIOS-MACÍAS, V.M., SZEKELY-GOROSTIAGA, P., VEAS-LÓPEZ, R., and PÉREZ-RODRÍGUEZ, L. **Comparison of electrodialysis and cold treatment on an industrial scale for tartrate stabilization of sherry wines.** *J. Food Eng.* N° 58:373-378. 2003
11. GÓMEZ-BENÍTEZ, J., PALACIOS-MACÍAS, V.M., VEAS-LÓPEZ, R., VALCARCEL-MUÑOZ, M., and PÉREZ-RODRÍGUEZ, L. **Characterization, control and improvement of the cold treatment of sherry wines.** *Food Control* N° 15:111-116. 2004
12. GONCALVES F., FERNANDES, C., DOS SANTOS, P. C., and DE PINHO, M. N. 2003. **Wine tartaric stabilization by electrodialysis and its assessment by the saturation temperature.** *J. Food Eng.* N° 59:229-235. 2004
13. GORROCHOTEGUI, E. **Ácido láctico del lactosuero mediante un piloto de electrodiálisis.** Tesis de Pregrado. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes. 2004.

14. IGUAL, A; GARCÍA, J; GUIÑÓN, J; PÉREZ, V. **Planta piloto de Electrodiálisis: Aplicación a la Desalación de un Agua Salobre.** *Ingeniería Química.* N° 361: 390-394. 1999.
15. MACHADO, A. **Desalinización del Suero Lácteo por Electrodiálisis utilizando un Equipo Piloto de Asahi Glass, Co.** Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes. Mérida, 2002.
16. MAUJEAN, A. **Traitement par le froid artificiel des vins en relation avec leur stabilisation vis-à-vis des troubles cristallins tartriques.** *In Les acquisitions récents dans les traitements physiques du vin.* Paris, Francia. Editorial B. Doneche. 1994
17. MCRAE, W. **Electrodiálisis in Separations of Chemicals.** In: Europe-Japan Congress on Membrane and Membrane Processes. Editoriales Drioli E. y Nakagaki M. Plenum Press. 1986.
18. MEDINA COLLANA, Juan. **Desarrollo de módulos de electrodiálisis para la desalinización de aguas salobres, determinación de parámetros físicos y evaluación experimental de modelo difusional.** Tesis en Maestría de Ingeniería de Procesos. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química. 2009.
19. MEDINA ROA, ISRAEL. **Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis.** Tesis de pregrado Ingeniero Químico. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Química, 2007.
20. MELLER, F. H. **Electrodialysis (ED) & electrodialyis reversal (EDR technology).** Reino Unido. Editorial Ionics. 1984.

21. MOUTOUNET, M., ESCUDIER, J.L., and SA INT-PIERRE, B. **L'Électrodialyse, adaptation à la stabilisation tartrique des vins. In Les acquisitions récentes dans les traitements physiques des vins.** Paris, Francia. Editorial B. Doneche. 1994
22. OCHOA, J. **Electrosíntesis y electrodiálisis (Fundamentos, aplicaciones tecnológicas y tendencias).** Madrid, España. Editorial McGraw-Hill. 1996.
23. OCHOA, J. R. **Técnicas Electroquímicas para el Tratamiento de Efluentes industriales.** *Ingeniería Química.* Nº 312: 125-131. 1995.
24. OUGH, C.S. **Fermentación y Composición del Vino. Tratado de Enología.** España. Editorial Acribia. 1992
25. PARRA, M. E. **Estudio de la generación de acetaldehído y presencia de carbamato de etilo durante el proceso de elaboración del vino de uva (*vitis vinifera*) carigñane de sonora.** Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. 2006
26. RIBEREAU-GAYON G. et RIBEREAU-GAYON P. **Biochimie de la vigne et du raisin, Tomo 1.** París, Francia. Editorial Dunod. 1980
27. RIBEREAU-GAYON J., RIBEREAU-GAYON P., PEYNAUD E., SUDRAUD P. **Science et technique du vin, Tomo I, Analyses et contrôles.** París, Francia. Editorial Dunod. 1976.
28. RIBÉREAU-GAYON, P., Glories, Y., Maujean, A., and Dubourdiou, D. **Handbook of Enology. Vol. 2. The Chemistry of Wine: Stabilization and Treatments.** Reino Unido. Editorial Wiley & Sons, Chichester. 2006

29. ROBINSON, J. **The Oxford Companion to Wine**. Manhattan, Estados Unidos. Editorial Oxford University Press. Tercera edición. 2006
30. SANTOS, P.C., GONÇALVES, F., and DE PINHO, M.N. **Optimization of the method for determination of the temperature of saturation in wines**. *Anal. Chim. Acta*. N° 458:257-261. 2002
31. STRATHMANN, H. **Electrodialysis**. *In Synthetic Membranes: Science, Engineering and Applications*. Holanda. Editorial Springer Netherlands. 1986.
32. SUSIAL, P; GONZÁLEZ, J; CABRERA, I; FERNÁNDEZ, F. Dimensionamiento y Diseño de la Electrodialisis (I) Membranas y Módulos. *Ingeniería Química*. N° 375:291-298. 2001.
33. VINE, R. **Winemaking. From Grape Growing to Market Place**. Estados Unidos. Editorial Springer. Segunda edición. 2002.

9.2 Publicaciones Web:

- BANCO DE LA REPUBLICA COLOMBIA CULTURAL. Manejo y comercialización de la uva.
Disponible en:
<http://www.banrepcultural.org/sites/default/files/lablaa/ciencias/sena/cursos-de-capitacion/manejo-comercializacion-uva/modulo%201/modulo%201%20-%20iii.pdf> consultado el 09 de julio del 2015.
- BENITO SÁEZ, PEDRO. **Vinos y viñedos: Estabilización tartárica del vino mediante electrodialisis**. Disponible en:

- [http://urbinavinos.blogspot.com/2012/01/estabilizacion -tartarica-del-vino.html](http://urbinavinos.blogspot.com/2012/01/estabilizacion-tartarica-del-vino.html) artículo web consultado el 22 de Junio del 2012
- **BENITO SÁEZ, PEDRO. Vinos y Viñedos: Tratamientos por Frio para la precipitación Tartárica del Vino.** Disponible en:
<http://urbinavinos.blogspot.com/2012/01/tratamientos-por-frio-para-la.html> artículo web consultado el 19 de Julio del 2013
 - **BENITO SÁEZ, PEDRO. Vinos y Viñedos: Carboximetilcelulosa.**
Disponible en:
<http://urbinavinos.blogspot.com/2011/02/carboximetilcelulosa-cmc.html>
artículo web consultado el 19 de Julio del 2013
 - **ESCUDIER J.L. 2002 New physical technique for the treatment of wine: electrodialyse. *Wine international journal*, N°4.** Disponible en:
www.vinidea.net artículo web consultado el 19 de Julio del 2013.
 - **FORO DE ENOLOGIA. Estabilización tartárica por electrodiálisis.**
Disponible en:
<http://foro.e-nologia.com/thread-37987.html> consultado el 22 de junio del 2012.
 - **KELLER, JACK. Vinicultura Preguntas, Página 2: Isabella Uvas.**
Disponible en:
<http://winemaking.jackkeller.net/> artículo web consultado el 22 de junio del 2012
 - **KING, ROGER. Isabella.** Disponible en:

ANEXOS

- ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA
- ANEXO N° 2: ANÁLISIS DEL VINO ANTES DE ESTABILIZARLO - INFORME DE ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS N° 006265 – 2012, REALIZADO EN EL LABORATORIO “LA MOLINA CALIDAD TOTAL”
- ANEXO N° 3: ANÁLISIS DEL VINO DESPUÉS DE ESTABILIZARLO - INFORME DE ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS N° 006397 – 2012, REALIZADO EN EL LABORATORIO “LA MOLINA CALIDAD TOTAL”
- ANEXO N° 4: ANALISIS DE LAS EXPERIENCIAS EN EL LABORATORIO DE SGS DEL PERU
- ANEXO N° 5: EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS A NIVEL DE LABORATORIO USADO PARA LA ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO
- ANEXO N° 6: EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS A NIVEL DE LABORATORIO EN EL MOMENTO QUE SE REALIZAN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES
- ANEXO N° 7: REALIZANDO LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES EN EL EQUIPO DE ED
- ANEXO N° 8: MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD Y PH DEL VINO EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES.
- ANEXO N° 9: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO REALIZADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

ANEXO N° 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>Problema general</p> <p>¿Cuáles serán los parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella en la industria peruana mediante el proceso de electrodiálisis?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar los parámetros de operación para la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella en la industria peruana mediante el proceso de electrodiálisis</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Mediante el proceso de electrodiálisis se va variando los parámetros de operación tales como el caudal, la concentración de la salmuera y el voltaje hasta alcanzar la estabilización tartárica del vino joven de la variedad de uva Isabella en la industria peruana.</p>	<p>Tipo</p> <p>La investigación se tipifica de la siguiente manera; tiene un enfoque cuantitativo, de nivel aplicativo, de tipo experimental, de acuerdo al uso del instrumento es transversal, de acuerdo al tiempo de obtención de datos retrospectivo.</p> <p>Método</p> <p>El método usado es el inductivo empleando a la vez el arreglo ortogonal $L_9(3)^3$ de la metodología de Taguchi.</p>	<p>Población</p> <p>La población está constituida por el vino joven de la variedad de uva Isabella.</p> <p>Muestra</p> <p>1 litro en volumen de vino joven</p>
<p>Problema específico</p> <p>a. ¿Cuáles son los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad de uva Isabella?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Identificar los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad de uva Isabella.</p>	<p>Hipótesis específica</p> <p>a. Los factores que determinan la estabilidad del vino joven de la variedad de uva Isabella son la densidad de la corriente, la conductividad eléctrica del vino, la concentración del ácido tartárico, potasio y calcio, el pH y el grado alcohólico.</p>	<p>El arreglo ortogonal que representa $L_a(b)^c$ donde:</p> <p>L = Indica que es un arreglo ortogonal a = Número de corridas experimentales b = Número de niveles para cada factor c = Número de columnas o factores de un arreglo ortogonal</p> <p>Diseño de la investigación</p>	
<p>b. ¿Cuál es el porcentaje de desionización de los iones potasio, calcio y del ácido tartárico del vino joven de la variedad de uva Isabella?</p>	<p>b. Determinar el porcentaje de desionización de los iones potasio, calcio y del ácido tartárico del vino joven de la variedad de uva Isabella.</p>	<p>b. El porcentaje de desionización entre 20 y 40% de las sales tartáricas de potasio y calcio consigue estabilizar el vino joven de la variedad de uva Isabella.</p>	<p>La investigación que se desarrolla presenta un diseño experimental explicativo causal.</p>	

ANEXO N° 2

ANÁLISIS DEL VINO ANTES DE ESTABILIZARLO - INFORME DE ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS N° 006265 – 2012, REALIZADO EN EL LABORATORIO “LA MOLINA CALIDAD TOTAL”



LA MOLINA CALIDAD TOTAL
LABORATORIOS

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS

N° 006265 - 2012

SOLICITANTE : ENRIQUE ROSENDO SERRANO BAZÁN
DIRECCIÓN LEGAL : Pasaje Giribaldi 112 - La Victoria
 RUC: 10073459341 Teléfono: 3250161 Fax: 3250161
PRODUCTO : VINO BORGOÑA
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : SA
CANTIDAD RECIBIDA : 600 g (+ envase) de muestra proporcionada por el solicitante
MARCA(S) : SERRANO
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en botella de vidrio con 380 ml aprox.
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N° EN-004346 -2012
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 12/03/2012
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERIODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICO/QUÍMICOS:

ENSAYO	RESULTADO
1.- Acidez Total (g/L de muestra original) (Expresado como ácido tartárico)	7,64
2.- Acidez Volátil (g/L de muestra original) (Expresado como ácido acético)	1,80
3.- Grado Alcohólico (a 20°C / 20°C)	13,5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- NTP 212.047.2009
- 2.- NTP 212.031.2009
- 3.- NTP 212.030.2009

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 13/03/2012 AL 15/03/2012.

ADVERTENCIA:

- 1.- El presente, los resultados de ensayos, inspección e informe de la muestra bajo su firma o La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente informe sin autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido solo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del alcance de la acreditación otorgada por INOCOPRI - SNA.

La Molina, 06 de Marzo del 2012



LA MOLINA CALIDAD TOTAL - LABORATORIOS

M. Sc. DAVID ROLDAN AGERO
DIRECTOR TÉCNICO

Av. La Universidad 805 La Molina Lima - Perú
 Teléfonos: (511) 3495840 - 3495704 - 3491025 - 380 2181
 E-mail: cal@calidadmolinatotal.com / info@calidadmolinatotal.com
 Pagina Web: www.lamolina.edu.pe/calidadmolinatotal

ANEXO N° 3

ANÁLISIS DEL VINO DESPUÉS DE ESTABILIZARLO - INFORME DE ENSAYOS
FÍSICO QUÍMICOS N° 006397 - 2012, REALIZADO EN EL LABORATORIO "LA
MOLINA CALIDAD TOTAL"



LA MOLINA CALIDAD TOTAL
LABORATORIOS

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS

N° 006397 - 2012

SOLICITANTE : ENRIQUE ROSENDO SERRANO BAZÁN
DIRECCIÓN LEGAL : Pasaje Gribaldi 112 - La Victoria
RUC: 10073459341 Teléfono: 3250161 Fax: 3250161
PRODUCTO : VINO BORGOÑA
NUMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA : S.I.
CANTIDAD RECIBIDA : 600 g (+ envase) de muestra proporcionada por el solicitante
MARCA(S) : SERRANO
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en botella de vidrio con 300 ml aprox.
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N° EN-004676 - 2012
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 11/06/2012
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERIODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICO/QUÍMICOS:

ENSAYO	RESULTADO
1.- Acidez Total (g/L de muestra original) (Expresado como ácido tartárico)	7.18
2.- Acidez Volátil (g/L de muestra original) (Expresado como ácido acético)	1.79
3.- Grado Alcohólico (% v/v a 20°C / 20°C) A 4°	13.3

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- NTP 212.047.2009
- 2.- NTP 212.031.2009
- 3.- NTP 212.030.2009

FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS: Del 12/06/2012 Al 14/06/2012.

ADVERTENCIA:

- 1.- El receptor, las condiciones de muestra, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Valido solo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el sello de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI - SNA.

La Molina, 15 de Junio del 2012



LA MOLINA CALIDAD TOTAL - LABORATORIOS

M. Sc. DAVID ROLDÁN ACERO
DIRECTOR TÉCNICO



Av. La Universidad 505 La Molina Lima - Perú
Teléfonos: (511) 3425840 - 3425784 - 3491098 - 349 2181
E-mail: la.molina@calidadtotal.com / info@calidadtotal.com
Página Web: www.la.molina.com/calidadtotal

ANEXO N° 4

ANALISIS DE LAS EXPERIENCIAS EN EL LABOTARORIO DE SGS DEL PERU

	Sample ID	Analyte Name	Reported Conc 10X (Samp)	Valor mg/L
Muestra N° 1	1	Al 396.153	0.794	7.94
	1	Ca 315.887	14.95	149.5
	1	Cu 324.752	0.041	0.41
	1	Fe 259.939	0.672	6.72
	1	K 766.490	115.9	1159
	1	Mg 285.213	10.08	100.8
	1	Mn 257.610	0.058	0.58
	1	Na 589.592	22.98	229.8
	1	Zn 206.200	0.382	3.82
Muestra N° 2	2	Al 396.153	0.697	6.97
	2	Ca 315.887	15.12	151.2
	2	Cu 324.752	0.039	0.39
	2	Fe 259.939	0.661	6.61
	2	K 766.490	120	1210
	2	Mg 285.213	10.13	101.3
	2	Mn 257.610	0.057	0.57
	2	Na 589.592	23.63	236.3
	2	Zn 206.200	0.436	4.36
EXPERIENCIA N°1 TIEMPO: 120 MIN	3	Al 396.153	0.68	6.8
	3	Ca 315.887	9.267	92.67
	3	Cu 324.752	0.471	4.71
	3	Fe 259.939	0.524	5.24
	3	K 766.490	70.11	701.1
	3	Mg 285.213	6.269	62.69
	3	Mn 257.610	0.03	0.3
	3	Na 589.592	36.06	360.6
	3	Zn 206.200	2.454	24.54
EXPERIENCIA N°7 TIEMPO: 60 MIN	4	Al 396.153	0.633	6.33
	4	Ca 315.887	11.9	119
	4	Cu 324.752	0.177	1.77
	4	Fe 259.939	0.555	5.55
	4	K 766.490	77.25	772.5
	4	Mg 285.213	8.015	80.15
	4	Mn 257.610	0.043	0.43
	4	Na 589.592	22.39	223.9
	4	Zn 206.200	0.838	8.38

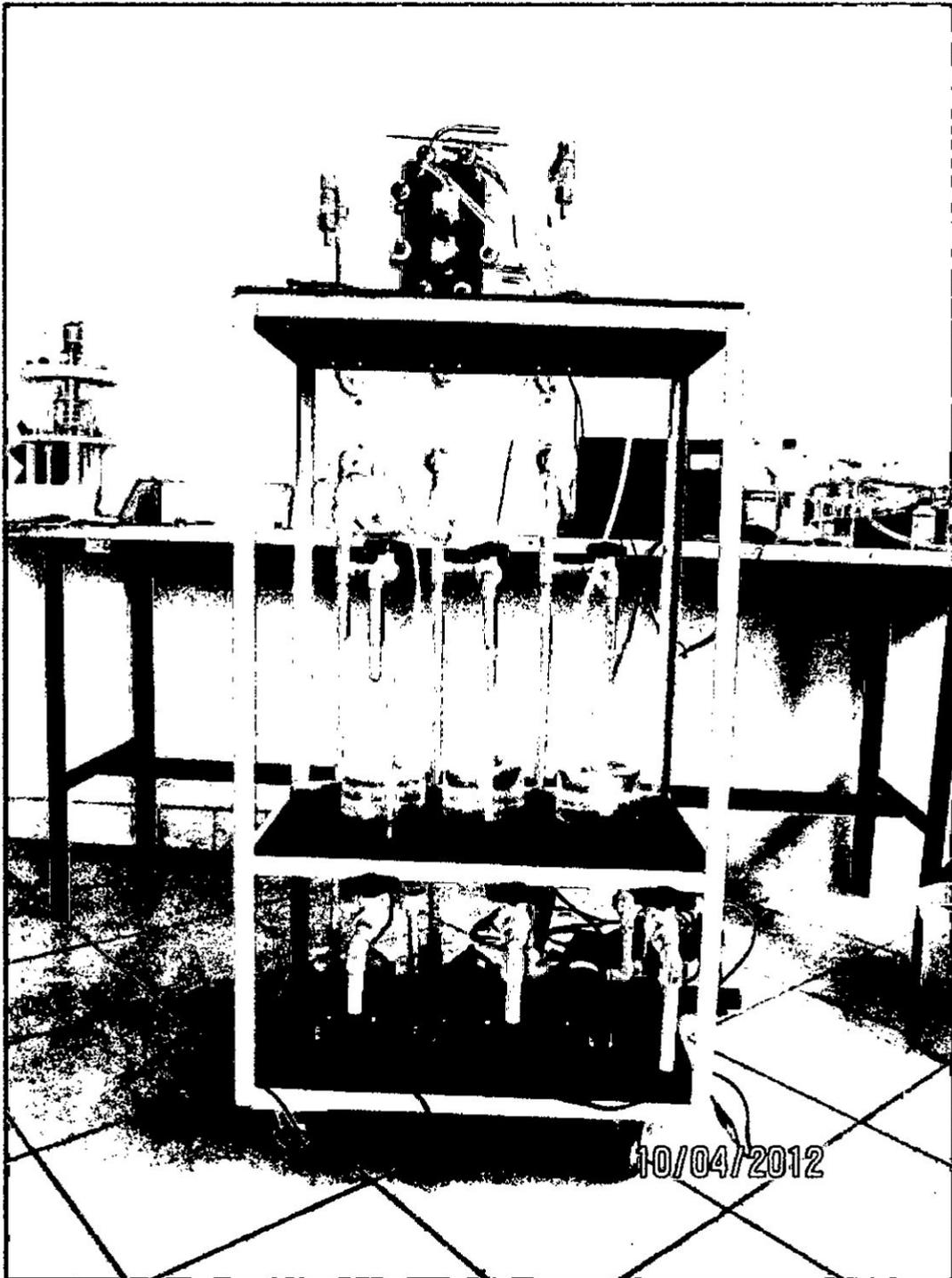
EXPERIENCIA N°7 TIEMPO: 110 MIN	5	Al 396.153	0.653	6.53
	5	Ca 315.887	10.73	107.3
	5	Cu 324.752	0.226	2.26
	5	Fe 259.939	0.554	5.54
	5	K 766.490	61.95	619.5
	5	Mg 285.213	7.189	71.89
	5	Mn 257.610	0.038	0.38
	5	Na 589.592	19.64	196.4
	5	Zn 206.200	0.881	8.81
EXPERIENCIA N°3 TIEMPO: 70 MIN	6	Al 396.153	0.675	6.75
	6	Ca 315.887	11.65	116.5
	6	Cu 324.752	0.334	3.34
	6	Fe 259.939	0.572	5.72
	6	K 766.490	73.74	737.4
	6	Mg 285.213	7.945	79.45
	6	Mn 257.610	0.04	0.4
	6	Na 589.592	28.18	281.8
	6	Zn 206.200	1.491	14.91
EXPERIENCIA N°3 TIEMPO: 110 MIN	7	Al 396.153	0.662	6.62
	7	Ca 315.887	10.03	100.3
	7	Cu 324.752	0.382	3.82
	7	Fe 259.939	0.538	5.38
	7	K 766.490	61.25	612.5
	7	Mg 285.213	7.065	70.65
	7	Mn 257.610	0.035	0.35
	7	Na 589.592	26.24	262.4
	7	Zn 206.200	1.406	14.06
EXPERIENCIA N°2 TIEMPO: 100 MIN	8	Al 396.153	0.681	6.81
	8	Ca 315.887	10.84	108.4
	8	Cu 324.752	0.356	3.56
	8	Fe 259.939	0.499	4.99
	8	K 766.490	68.8	688
	8	Mg 285.213	7.221	72.21
	8	Mn 257.610	0.038	0.38
	8	Na 589.592	28.86	288.6
	8	Zn 206.200	1.642	16.42
EXPERIENCIA N°2 TIEMPO: 140 MIN	9	Al 396.153	0.702	7.02
	9	Ca 315.887	9.279	92.79
	9	Cu 324.752	0.453	4.53
	9	Fe 259.939	0.496	4.96

	9	K 766.490	56.83	568.3
	9	Mg 285.213	6.57	65.7
	9	Mn 257.610	0.031	0.31
	9	Na 589.592	26.61	266.1
	9	Zn 206.200	1.677	16.77
EXPERIENCIA N°5 TIEMPO: 50 MIN	10	Al 396.153	0.711	7.11
	10	Ca 315.887	10.32	103.2
	10	Cu 324.752	0.109	1.09
	10	Fe 259.939	0.454	4.54
	10	K 766.490	60.7	607
	10	Mg 285.213	6.881	68.81
	10	Mn 257.610	0.033	0.33
	10	Na 589.592	16.37	163.7
EXPERIENCIA N°5 TIEMPO: 70 MIN	11	Al 396.153	0.63	6.3
	11	Ca 315.887	7.426	74.26
	11	Cu 324.752	0.277	2.77
	11	Fe 259.939	0.407	4.07
	11	K 766.490	47.66	476.6
	11	Mg 285.213	5.314	53.14
	11	Mn 257.610	0.021	0.21
	11	Na 589.592	23.77	237.7
EXPERIENCIA N°8 TIEMPO: 180 MIN	12	Al 396.153	0.808	8.08
	12	Ca 315.887	10.42	104.2
	12	Cu 324.752	0.254	2.54
	12	Fe 259.939	0.552	5.52
	12	K 766.490	74.25	742.5
	12	Mg 285.213	7.593	75.93
	12	Mn 257.610	0.038	0.38
	12	Na 589.592	29.25	292.5
	12	Zn 206.200	1.026	10.26
EXPERIENCIA N°4 TIEMPO: 70 MIN	13	Al 396.153	0.681	6.81
	13	Ca 315.887	11.75	117.5
	13	Cu 324.752	0.131	1.31
	13	Fe 259.939	0.568	5.68
	13	K 766.490	64.77	647.7
	13	Mg 285.213	7.642	76.42
	13	Mn 257.610	0.039	0.39
	13	Na 589.592	19.6	196

	13	Zn 206.200	0.57	5.7
EXPERIENCIA N°4 TIEMPO: 110 MIN	14	Al 396.153	0.663	6.63
	14	Ca 315.887	9.321	93.21
	14	Cu 324.752	0.146	1.46
	14	Fe 259.939	0.476	4.76
	14	K 766.490	49.64	496.4
	14	Mg 285.213	6.503	65.03
	14	Mn 257.610	0.032	0.32
	14	Na 589.592	16.41	164.1
	14	Zn 206.200	0.703	7.03
	EXPERIENCIA N°6 TIEMPO: 290 MIN	15	Al 396.153	0.695
15		Ca 315.887	9.906	99.06
15		Cu 324.752	0.328	3.28
15		Fe 259.939	0.52	5.2
15		K 766.490	67.79	677.9
15		Mg 285.213	7.009	70.09
15		Mn 257.610	0.035	0.35
15		Na 589.592	35.45	354.5
15		Zn 206.200	1.276	12.76
EXPERIENCIA N°9 TIEMPO: 90 MIN	16	Al 396.153	0.657	6.57
	16	Ca 315.887	11.21	112.1
	16	Cu 324.752	0.167	1.67
	16	Fe 259.939	0.517	5.17
	16	K 766.490	67.6	676
	16	Mg 285.213	7.685	76.85
	16	Mn 257.610	0.039	0.39
	16	Na 589.592	23.91	239.1
	16	Zn 206.200	0.624	6.24
EXPERIENCIA N°9 TIEMPO: 130 MIN	17	Al 396.153	0.651	6.51
	17	Ca 315.887	9.042	90.42
	17	Cu 324.752	0.179	1.79
	17	Fe 259.939	0.46	4.6
	17	K 766.490	52.09	520.9
	17	Mg 285.213	6.523	65.23
	17	Mn 257.610	0.03	0.3
	17	Na 589.592	21.3	213
	17	Zn 206.200	0.664	6.64

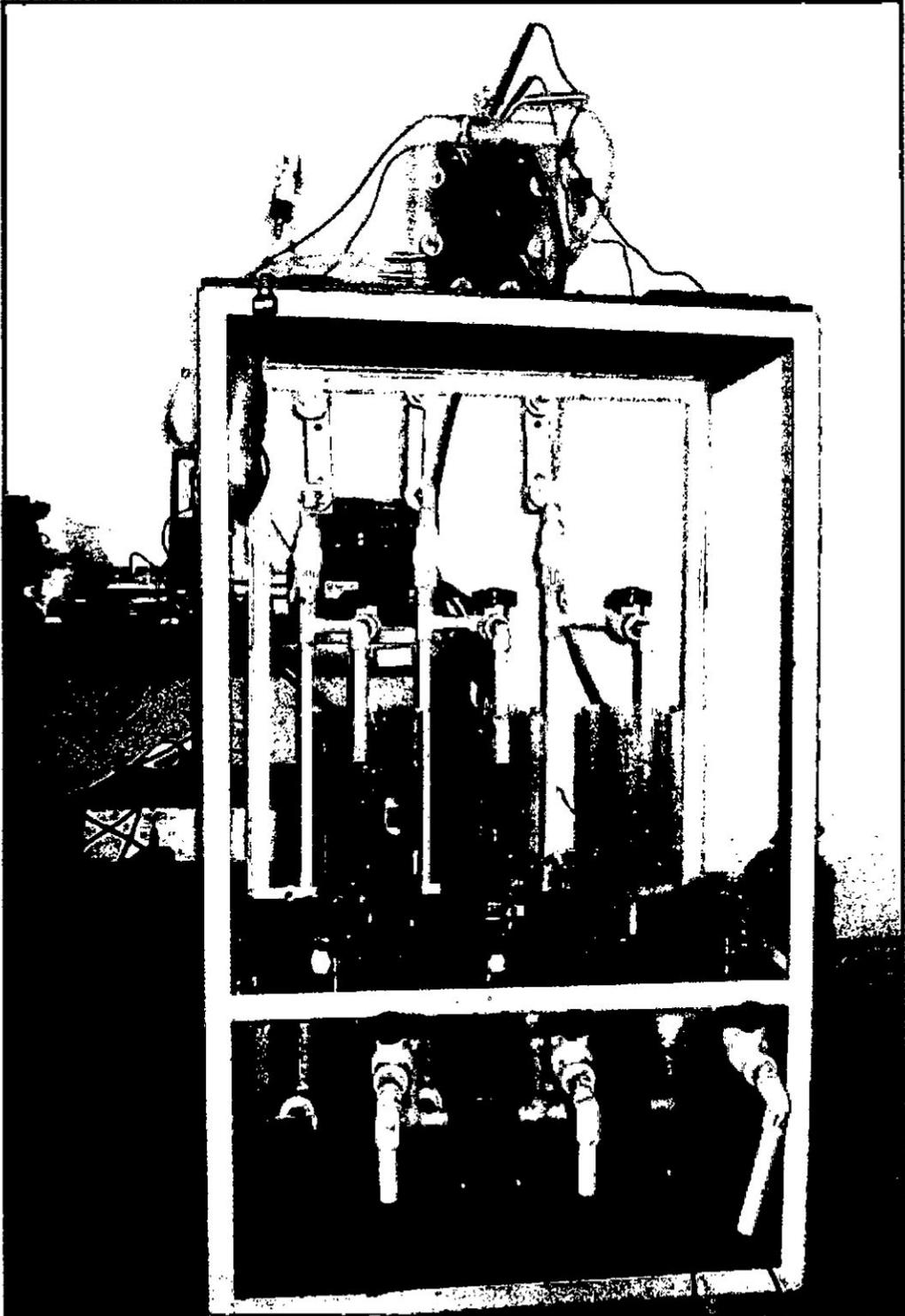
ANEXO Nº 5

EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS A NIVEL DE LABORATORIO USADO PARA LA
ESTABILIZACIÓN TARTÁRICA DEL VINO



ANEXO Nº 6

EQUIPO DE ELECTRODIÁLISIS A NIVEL DE LABORATORIO EN EL MOMENTO
QUE SE REALIZAN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES



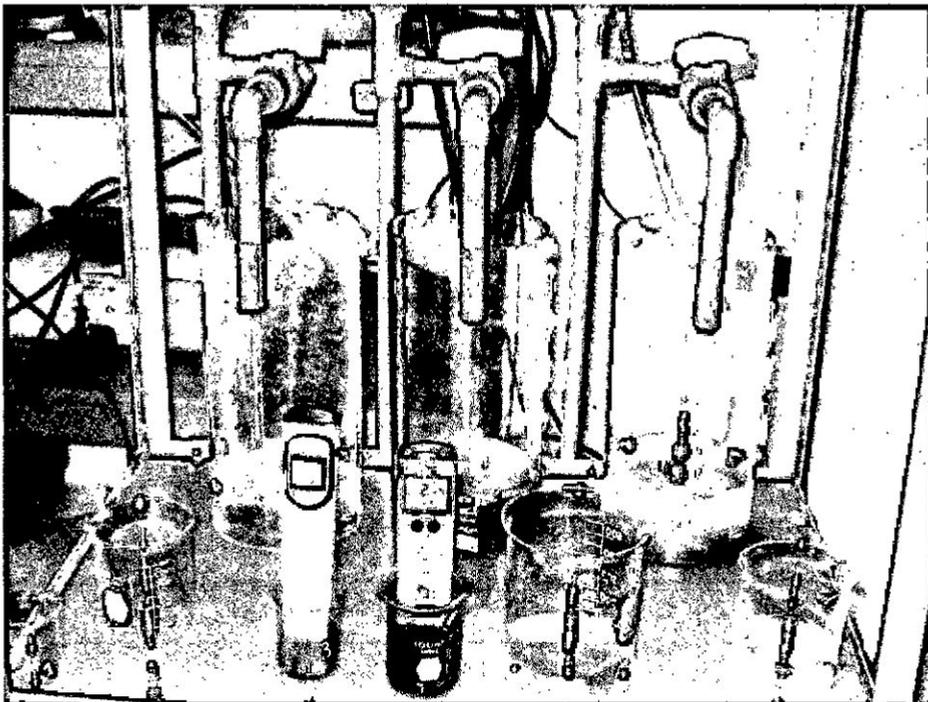
ANEXO N° 7

REALIZANDO LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES EN EL EQUIPO DE ED



ANEXO N° 8

**MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD Y PH DEL VINO EN LAS CORRIDAS
EXPERIMENTALES.**



ANEXO N° 9

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO REALIZADO EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS**

