

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

**“DISEÑO PRELIMINAR DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN  
DE AZÚCAR DE REMOLACHA EMPLEANDO EQUIPOS  
PILOTOS EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES  
UNITARIAS”**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Autores:

**MARÍA FERNANDA LALÓN LIMÓN  
NICOLE JAMILEX MOLINEROS ESCOBAR**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**AÑO 2017**

## RESUMEN

Debido a la carencia en metodologías prácticas de enseñanza para el estudio de una línea completa de producción, es necesario determinar si es factible implementar el proceso de obtención de azúcar empleando la remolacha (*Beta vulgaris* L.) como materia prima en los subprocesos desarrollados en equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de ESPO. En primer lugar, se realizó la comparación de las condiciones de los equipos con el Decreto 2393, OHSAS 18001:2007 y ARCSA 067:2015, también se realizó la identificación de peligros y evaluación de riesgos de cada subproceso. Posteriormente, se propuso una matriz de cambios a los equipos que mejorarán la eficiencia y seguridad del proceso, estos actualmente presentan una eficiencia de producción, que relaciona la eficiencia real sobre la nominal, menor al 67% a diferencia del evaporador, con eficiencia de producción del 96%. Finalmente se realizaron pruebas a escala de laboratorio para determinar la composición de la hortaliza y parámetros óptimos de operación durante todo el flujo de proceso.

**Palabras claves:** *Beta vulgaris* L, procesos, seguridad, eficiencia.

## ABSTRACT

Due to the lack of practical teaching methodologies for the study of a complete production line, it is necessary to determine if it is feasible to implement the process of obtaining sugar using beet (*Beta vulgaris* L.) as raw material in the sub processes developed in equipment of the Unitary Operations Laboratory of ESPOL. In first place, the comparison of the conditions of the equipment with Decree 2393, OHSAS 18001: 2007 and ARCSA 067: 2015 was made; the hazard identification and risk assessment of each sub process was also carried out. Subsequently, a matrix of changes was proposed to the equipment that will improve the efficiency and safety of the process, these currently present a production efficiency, which relates the real efficiency over the nominal, less than 67% unlike the evaporator, with production efficiency 96%. Finally, tests were carried out at laboratory scale to determine the composition of the vegetable and optimum operating parameters during the entire process flow.

**Keywords:** *Beta vulgaris* L, processes, safety, efficiency.

## DEDICATORIA

A mis padres Magaly Limón y Gabriel Lalón demostrándole el logro alcanzado al finalizar esta etapa de mi vida.

A mi sobrina Ariana Hungría para que este trabajo le incentive a que luche por sus metas y alcance su éxito.

A mis hermanas para que sigan adelante y se esfuercen en alcanzar sus metas.

**María Fernanda Lalón Limón**

A mis padres Carla Escobar y Eduardo Molineros por los consejos, el apoyo y las palabras de aliento que me permitieron alcanzar este logro.

A mis hermanos Carlos Molineros y Miguel Molineros como ejemplo de superación e incentivo para que cumplan con todos sus objetivos y metas trazadas.

A mi abuela Fátima Moncada por el amor incondicional, consejos y cuidados a lo largo de mi vida.

**Nicole Jamilex Molineros Escobar**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la fuerza para seguir adelante.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi etapa de estudios universitarios.

A mis hermanas que siempre estuvieron allí para regalarme sus consejos y levantarme el ánimo.

A mis tutores Ing. Camilo Ramírez e Ing. Francesca Escala por guiarnos en el proyecto.

A mi mejor amiga Jojaira Villón por ser quien me ha apoyado y dado ánimos a lo largo de vida.

**María Fernanda Lalón Limón**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme fortaleza y salud para culminar con esta etapa de mi vida, además de su infinito amor y bondad.

A mis padres y abuelos por ser un pilar fundamental en mi vida y por su apoyo incondicional durante mi etapa de estudios universitarios.

A mi tutor Ing. Camilo Ramírez y al Tnlgo. Julio Chuiza por su apoyo incondicional y guía en el desarrollo del proyecto.

A la Dra. Paola Almeida por las oportunidades de crecimiento, tanto personal como académico, además de la amistad, confianza y enseñanzas adquiridas en estos últimos años.

**Nicole Jamilex Molineros Escobar**

## DECLARACIÓN EXPRESADA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

María Fernanda Lalón Limón

Nicole Jamilex Molineros Escobar

Y el patrimonio intelectual de la mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.”

---

María Fernanda Lalón Limón

---

Nicole Jamilex Molineros Escobar

## SIGLAS

ARCSA	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria
$C_{12}H_{22}O_{11}$	Sacarosa
CaO	Oxido de calcio
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Calcio
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Difosfato tri cálcico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EPP	Equipo de protección personal
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FCNM	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
H <sub>2</sub> O	Agua
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de Hidrógeno
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido Fosfórico
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
ISO	International Organization for Standardization
LOPU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
NIPO	Número de identificación de las publicaciones oficiales
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PFD	Process flow diagram
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
S-L	Sólido- Líquido
USA	United States of America
USDA	United States Department of Agriculture



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DECLARACIÓN EXPRESADA .....	VI
SIGLAS .....	VII
TABLA DE CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN. ....	1
Capítulo 1.....	5
1 Marco teórico.....	5
1.1 Sacarosa.....	5
1.2 Proceso industrial del azúcar .....	5
1.2.1 Caña de azúcar .....	6
1.2.1.1. Ventajas y desventajas de trabajar con la caña de azúcar .....	7
1.2.1.1.1. Ventajas.....	7
1.2.1.1.2. Desventajas .....	8
1.2.1.2. Proceso de producción de azúcar a partir de la caña de azúcar.....	8
1.2.1.2.1. Cosecha.....	9
1.2.1.2.2. Picado de caña .....	9
1.2.1.2.3. Maceración .....	10
1.2.1.2.4. Pesaje del jugo .....	10
1.2.1.2.5. Evaporación, cristalización y secado. ....	10
1.2.2 Remolacha azucarera .....	11
1.2.2.1. Factores que actúan sobre la formación de azúcar .....	11
1.2.2.2. Ventajas y desventajas de trabajar con la remolacha .....	12
1.2.2.2.1. Ventajas.....	12
1.2.2.2.2. Desventajas .....	13
1.2.2.3. Proceso de producción del azúcar a partir de la remolacha.....	13

1.2.2.3.1.	Cosecha.....	14
1.2.2.3.2.	Recepción, lavado y pesado .....	14
1.2.2.3.3.	Extracción de jugo .....	15
1.2.2.3.4.	Purificación del jugo.....	16
1.2.2.3.5.	Evaporación .....	18
1.2.2.3.6.	Cristalización.....	18
1.2.3	Parámetros que considerar en el proceso de azúcar .....	19
1.2.3.1.	pH .....	20
1.2.3.2.	Temperatura.....	20
1.2.3.3.	Grados Brix .....	20
Capítulo 2.....		22
2	Metodología.....	22
2.1	Verificación del cumplimiento de normativa de inocuidad alimentaria y seguridad.....	22
2.1.1	Matriz de riesgo de seguridad .....	22
2.1.2	Plan de gestión de cambios .....	25
2.2	Obtención de azúcar.....	25
2.2.1	Pruebas de laboratorio .....	25
2.2.1.1.	Extracción Sólido- Líquido.....	26
2.2.1.1.1.	Cálculo del porcentaje de extracción .....	27
2.2.1.2.	Decoloración .....	29
2.2.1.3.	Clarificación.....	31
2.2.1.4.	Evaporación .....	33
2.2.1.5.	Cristalización.....	34
2.2.1.6.	Separación de cristales de la meladura .....	36
2.2.1.7.	Secado .....	37
2.2.1.8.	Cálculo para determinar la curva de secado .....	38
2.2.2.	Caracterización del jugo clarificado.....	38
2.2.2.1.	Determinación de fosfatos.....	39
2.2.2.2.	Determinación de turbidez y color por absorbancia .....	40
2.2.3	Pruebas en equipos piloto .....	40
2.2.3.1.	Extractor sólido líquido.....	40
2.2.3.1.1.	Cálculos para determinar la eficiencia del extractor S-L.....	42

2.2.3.2.	Evaporador.....	43
2.2.3.2.1.	Cálculos para la eficiencia del evaporador.....	44
2.2.3.3.	Cristalizador .....	48
2.2.3.3.1.	Cálculos para la eficiencia del cristalizador.....	49
2.2.3.4.	Cálculo de las eficiencias de producción de cada equipo .....	53
2.3	Manuales de operación.....	53
Capítulo 3.....		55
3	Resultados.....	55
3.1	Check list de normas para los equipos .....	55
3.2	Matriz de riesgos.....	56
3.3	Matriz de cambios.....	60
3.4	Pruebas de laboratorio.....	66
3.5	Pruebas en equipos .....	75
3.5.1	Resultados del Extractor Sólido-Líquido.....	75
3.5.2	Resultados del Evaporador .....	75
3.5.3	Resultados del Cristalizador.....	76
3.5.4	Resultados de la eficiencia de producción de cada equipo .....	77
3.6	PFD del proceso .....	78
Capítulo 4.....		80
4	Análisis de resultados.....	80
4.1	Análisis de resultados del estudio de calidad y seguridad industrial con referencia a los equipos empleados .....	80
4.2	Análisis de resultados de las pruebas de laboratorio .....	81
4.3	Análisis de resultados las pruebas en los equipos pilotos .....	84
Capítulo 5.....		88
5	Conclusiones y recomendaciones .....	88
5.1	Conclusiones .....	88
5.2	Recomendaciones .....	89
CAPÍTULO 6 .....		91
REFERENCIAS.....		92
GLOSARIO .....		96
SIMBOLOGIA.....		97
ANEXOS .....		98

Anexo A. Check list .....	99
Anexo B. Cálculos .....	123
Anexo C. Manuales de operación. ....	157
Anexo C-1 Extractor Sólido-Líquido.....	157
Anexo C-2 Evaporador .....	164
Anexo C-3 Cristalizador .....	171
Anexo D. Identificación de riesgos .....	177
Anexo E. Pruebas de PROTAL .....	182

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Comparación entre proceso de extracción de azúcar con remolacha y caña .....	6
Figura 1.2 Proceso de extracción de azúcar a partir de la caña .....	8
Figura 1.3 Proceso de extracción de azúcar a partir de la remolacha .....	13
Figura 1.4 Extracción de jugo.....	15
Figura 1.5 Clarificación del jugo .....	17
Figura 1.6 Evaporación del jugo.....	18
Figura 1.7 Cristalización del azúcar .....	19
Figura 2.1 Lavado, pelado y cortado de remolacha .....	26
Figura 2.2 Pesado de remolacha .....	26
Figura 2.3 Extracción Sólido-Líquido .....	27
Figura 2.4 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua .....	27
Figura 2.5 Decoloración con Peróxido de Hidrógeno por 20 min .....	30
Figura 2.6 Decoloración con Peróxido de Hidrógeno por 1 h con 30 min .....	30
Figura 2.7 Peróxido residual de la muestra.....	31
Figura 2.8 Clarificación del jugo con lechada de cal .....	32
Figura 2.9 Filtración de la muestra luego de clarificación .....	32
Figura 2.10 Peróxido residual luego de clarificación con cal.....	33
Figura 2.11 Sistema de evaporación de la muestra.....	34
Figura 2.12 Muestra cristalizada .....	35
Figura 2.13 Prueba visual de saturación de la muestra .....	35
Figura 2.14 Separación de cristales de la meladura .....	36
Figura 2.15 Cristales de azúcar húmedos.....	36
Figura 2.16 Secado de cristales en termobalanza KERN .....	37
Figura 2.17 Pruebas realizadas en los tubos reactivos .....	39
Figura 2.18 Alimentación de agua en cangilones.....	40
Figura 2.19 Alimentación de remolacha en cangilones.....	41
Figura 2.20 Jugo extraído de remolacha.....	41
Figura 2.21 Diagrama del proceso de extracción Sólido Líquido .....	42
Figura 2.22 Alimentación de solución azucarada al evaporador .....	43
Figura 2.23 Lectura de °Brix de muestras .....	44

Figura 2.24 Diagrama del Evaporador.....	44
Figura 2.25 Cristalizador.....	49
Figura 2.26 Diagrama del Cristalizador.....	49
Figura B.1 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua.....	123
Figura B.2 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua.....	124
Figura B.3 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua.....	131
Figura B.4 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua.....	137
Figura B.5. Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua.....	139
Figura B.6. Diagrama de Bloques del Evaporador.....	141
Figura B.7. Diagrama de Bloques del Cristalizador.....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Probabilidad de que ocurran incidentes .....	23
Tabla 2.2 Gravedad del incidente .....	23
Tabla 2.3 Evaluación y clasificación de riesgos .....	23
Tabla 2.4 Criterios de control de riesgos.....	24
Tabla 2.5 Metodología aplicada a los análisis.....	25
Tabla 2.6 Datos que se necesitan para los cálculos en cada etapa.....	28
Tabla 2.7 Datos de energía.....	46
Tabla 2.8 Solubilidad de la sacarosa con respecto a la temperatura .....	50
Tabla 3.1 Cumplimiento general de acuerdo a la OHSAS 18001:2007, Decreto 2393 y ARCSA 067-2015 aplicadas en cada equipo .....	55
Tabla 3.2 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con el Decreto 2393 .....	55
Tabla 3.3 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con OHSAS 18001:2007 .....	56
Tabla 3.4 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con ARCSA 067-2015 .....	56
Tabla 3.5 Matriz de riesgos .....	57
Tabla 3.6 Matriz de cambios a realizar en los equipos .....	60
Tabla 3.7 Composición de la remolacha .....	66
Tabla 3.8 Extracción sólido líquido en laboratorio relación 1:1 .....	66
Tabla 3.9 Extracción sólido líquido en laboratorio relación 2:1 .....	67
Tabla 3.10 Destilación de 1 L de jugo clarificado en laboratorio .....	68
Tabla 3.11 Pruebas de fosfatos realizadas al jugo Clarificado.....	70
Tabla 3.12 Pruebas de calidad para determinación de masa de cal en 200 ml de jugo .....	70
Tabla 3.13 Pruebas de calidad con muestras filtradas.....	71
Tabla 3.14 Color de las muestras clarificadas expresadas en unidades IU .....	72
Tabla 3.15 Turbidez de las muestras clarificadas expresadas en las unidades UT .....	73
Tabla 3.16 Prueba de calidad para determinar la cantidad de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en 200 ml de jugo .....	73
Tabla 3.17 Resultados de Prueba 1 en el Extractor Sólido-Líquido .....	75
Tabla 3.18 Resultados de Prueba 2 en el Extractor Sólido-Líquido .....	75
Tabla 3.19 Flujos teóricos y prácticos del evaporador .....	76

Tabla 3.20 Datos de eficiencia y economía del vapor en el evaporador .....	76
Tabla 3.21 Datos de la prueba realizada en el cristalizador .....	76
Tabla 3.22. Eficiencia y porcentaje de cristales en el Cristalizador.....	77
Tabla 3.23. Eficiencia de producción de cada equipo. ....	77
Tabla A.0.1. Check list de las normas por equipos .....	99
Tabla B.0.1. Datos de masa del extracto y del refinado.....	123
Tabla B.0.2. Datos Registrados: Sistema remolacha-agua relación 1:1. ....	125
Tabla B.0.3. Datos iniciales en la 1 etapa relación 1:1.....	125
Tabla B.0.4. Datos iniciales en la 2 etapa relación 1:1.....	126
Tabla B.0.5. Datos iniciales en la 3 etapa relación 1:1.....	127
Tabla B.0.6. Datos iniciales en la 4 etapa relación 1:1.....	128
Tabla B.0.7. Resultados de la primera prueba de extracción relación 1:1. ....	129
Tabla B.0.8. Datos Registrados: Sistema remolacha-agua relación 2:1. ....	131
Tabla B.0.9. Datos iniciales en la 1 etapa relación 2:1.....	132
Tabla B.0.10. Datos iniciales en la 2 etapa relación 2:1.....	133
Tabla B.0.11. Datos iniciales en la 3 etapa relación 2:1.....	134
Tabla B.0.12. Datos iniciales en la 4 etapa relación 2:1.....	135
Tabla B.0.13. Resultados de la segunda prueba de extracción relación 2:1.....	136
Tabla B.0.14. Datos de °Brix por etapa. ....	137
Tabla B.0.15. Datos de masa del extracto y del refinado.....	137
Tabla B.0.16. Datos de °Brix por etapa. ....	139
Tabla B.0.16. Datos de masa del extracto y del refinado.....	140
Tabla B.0.18. Datos del evaporador.....	141
Tabla B.0.19. Datos en la práctica sin vacío. ....	142
Tabla B.0.20. Datos del condensador .....	145
Tabla B.0.21. Datos de las tablas de vapor .....	146
Tabla B.0.22. Datos del cristalizador.....	149
Tabla B.0.23. Resultados de la masa de secado. ....	150
Tabla B.0.24. Porcentaje de humedad de las muestras.....	150
Tabla B.0.25. Cálculos de la velocidad de secado y humedad libre n base seca de la termobalanza prueba 1. ....	153
Tabla B.0.26. Cálculos de la velocidad de secado y humedad libre n base seca de la termobalanza prueba 2. ....	155



Tabla C.0.1. Simbología del Extractor Sólido-Líquido.....	157
Tabla C.0.2. Riesgos en la operación del Extractor Sólido-Líquido .....	157
Tabla C.0.3. Señalización de riesgos.....	158
Tabla C.0.4. Equipos de Protección Personal.....	160
Tabla C.0.5. Simbología del Evaporador de simple efecto .....	164
Tabla C.0.6. Riesgos en la operación del Evaporador .....	165
Tabla C.0.7. Simbología del Cristalizador .....	171
Tabla C.0.8. Riesgos en la operación del Cristalizador.....	171
Tabla C.0.9. Señalización de riesgos.....	172
Tabla C.0.10. Equipos de Protección Personal.....	172
Tabla C.0.11. Dimensiones del Cristalizador .....	173
Tabla D.0.1. Actos o acciones de peligros .....	177
Tabla D.0.2. Fuentes de peligros .....	178
Tabla D.0.3. Incidentes asociados a seguridad.....	180

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Curva de solubilidad de la sacarosa .....	50
Gráfico 3.1. Línea de tendencia de los grados Brix en relación con el volumen condesado.....	69
Gráfico 3.2. Masa de Cal vs Fosfato .....	70
Gráfico 3.3. Masa de Cal vs Absorbancia sin filtrado .....	71
Gráfico 3.4. Masa de Cal vs Absorbancia con muestras filtradas .....	72
Gráfico 3.5. Curva de secado de Prueba 1 en Termobalanza .....	74
Gráfico 3.6. Curva de secado de Prueba 2 en Termobalanza .....	74
Gráfico B.1. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas. .....	124
Gráfico B.2. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas. .....	139
Gráfico B.3. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas. .....	141

## INTRODUCCIÓN.

Este proyecto ha sido propuesto porque, como estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de FCNM-ESPOL, consideramos que no se profundiza adecuadamente en las formas de integración de las Operaciones Unitarias para definir una línea de producción completa. Si revisamos la definición de Ingeniería Química tenemos: *“La Ingeniería Química es la rama de la Ingeniería que aplica las Ciencias (Química, Física, Biología y Matemáticas) para la síntesis, desarrollo, diseño, operación y optimización de todos los procesos industriales que producen cambios físicos, químicos y/o biológicos en los materiales”* (ingenieriaquimica.org, n.d.), por lo cual, potenciar el estudio de procesos industriales es vital para la óptima formación de futuros ingenieros químicos.

A partir del término pasado (2017-I) la ESPOL implementó cambios en las mallas curriculares a sus 33 carreras, mismas que dividen las horas de formación de cada materia en módulos teóricos, prácticos y de formación autónoma. Esto supone un reto para materias que tradicionalmente han sido completamente teóricas y que carecen de espacio físico para sus módulos prácticos. Este proyecto tiene potencial práctico para las siguientes materias: balance de materia, balance de calor, fenómenos de transporte calor, fenómenos de transporte masa, manejo de productos químicos y prevención de riesgos, termodinámica I y II, tecnología química industrial, diseño de planta; mismas que actualmente no cuentan con módulo práctico.

Por otra parte, debido a los requerimientos de la industria y los avances en los métodos de aprendizaje, se requiere reforzar la formación de los estudiantes de Ingeniería Química con el estudio de al menos una línea de proceso completa que integre la mayor cantidad de equipos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL.

El LOPU, desde su inauguración, ha incorporado paulatinamente a su inventario equipos diseñados con fines didácticos, cada uno de ellos enfocados al estudio de una operación específica. Al realizar prácticas enfocadas solo en una Operación Unitaria se obtiene productos intermedios que, dado su nulo valor agregado, son eliminados depositándolos en los contenedores de desechos comunes o mediante

dilución y descarga al bosque protector. En la industria estos productos intermedios son la alimentación (materia prima) de la siguiente etapa del proceso esquematizado para la obtención del producto final deseado, debido a que esto no existe en el LOPU, se generan altos costos en materia prima e impactos ambientales reiterativos a lo largo de un término académico.

Por lo cual, se ha planteado la obtención de azúcar como línea de producción dado que se cuenta con los equipos principales necesarios, los cuales son: extractor Bollman (sólido-líquido), evaporador y cristizador. Los equipos complementarios: centrífuga, equipo de filtración y de mezclado; son de fácil adquisición o pueden ser reemplazos por otros métodos que generen un bajo costo de implementación.

Existen dos procesos de obtención de azúcar utilizados mayoritariamente a nivel industrial que difieren entre sí por la materia prima empleada característica de la zona climática del país productor, las cuales son: caña de azúcar (zona tropical) y la remolacha (zona templada). Los pasos del proceso productivo de ambas son iguales con excepción de la primera fase de producción: la caña es triturada y prensada mientras que la remolacha es rayada y sometida a extracción S-L.

De los equipos requeridos para este proyecto se encuentra en uso el evaporador de simple efecto, ya que es el único de los equipos principales que cuenta con un protocolo de seguridad y manual de operación adecuado. El cristizador no se emplea ya que no tiene protocolo de seguridad adecuado para su funcionamiento y se teme contaminación cruzada por el material con el que fue construido. Con respecto al extractor S-L, entregado al final del término pasado, se requiere elaborar un procedimiento de uso y protocolo de seguridad antes de incluirlo en la planificación académica.

Otro de los motivos por el cual se escogió este proyecto es incentivar la investigación para el aprovechamiento de diversos cultivos de fácil producción dadas las condiciones climáticas del Ecuador que, con la aplicación adecuada de tecnologías, podrían generar réditos importantes a la economía del país.

Por último, con el desarrollo de este proyecto los estudiantes de la carrera Ingeniería Química podrán enfrentar condiciones semejantes a la industria, mediante el uso de los equipos pilotos e integrar los conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera. Del mismo modo que desarrollan la habilidad de identificar las

variables críticas en los procesos para realizar análisis de eficiencia de procesos y levantar proyectos de optimización de subprocesos.

La hipótesis de este proyecto es: con los parámetros de operación del proceso establecidos durante el proyecto, se podrá obtener azúcar con los equipos pilotos existentes en el LOPU.

El objetivo general de este proyecto es evaluar la factibilidad del proceso de obtención de azúcar empleando los equipos pilotos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de docencia para la implementación semi-industrial. Teniendo como objetivos específicos: 1) Comparar las condiciones de los equipos con los parámetros establecidos en la normativa de seguridad e inocuidad alimentaria; 2) Determinar las condiciones óptimas de operación de toda la línea de operación; 3) Establecer medidas de mejoras orientadas a elevar la eficiencia del proceso.

El proyecto tuvo una duración de 4 meses y posterior a este, se presentarán los métodos y el desarrollo del mismo.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TÉORICO**

# Capítulo 1

## 1 Marco teórico

### 1.1 Sacarosa

El denominado azúcar común, es una importante fuente calórica en la dieta común, forma parte de la especie química sacarosa, su fórmula química es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ; la sacarosa es un disacárido que está conformado por una molécula de glucosa y una de fructosa, se encuentra en la mayor cantidad de especie vegetal. (Álvarez & Climent, 2016)

La sacarosa es un sólido cristalino, del tipo prisma monocíclico de color transparente y con un brillo, que se disuelve en agua y metanol. Su temperatura de fusión es de  $160^{\circ}C$ , su densidad a  $25^{\circ}C$  es de  $1,587\text{ g/cm}^3$  y su poder calorífico es de 3932 calorías. (Primo, 2007)

### 1.2 Proceso industrial del azúcar

A nivel industrial se utilizan mayoritariamente dos métodos de obtención de azúcar que se diferencian básicamente en la materia prima empleada en el proceso, las cuales son: caña de azúcar y remolacha. El azúcar es de gran importancia en nuestra cadena alimenticia, así como el rol fundamental que desempeña en el ciclo de las plantas. Todas las frutas y vegetales contienen dicho carbohidrato; sin embargo, la caña y remolacha contienen una reserva de sacarosa que puede ser extraída fácilmente en comparación con el resto de frutas y vegetales. (The Sugar Association, n.d.)

La materia prima empleada y el proceso seleccionado para la obtención de azúcar depende del clima que posee el país productor. La remolacha azucarera es cultivada en zonas templadas y actualmente aprovechada en países como: Unión Europea, Rusia, Ucrania, Japón,

China, Irán, Turquía y algunos estados de USA; mientras que, la caña de azúcar se desarrolla en zonas tropicales, es producida por: Brasil, Ecuador, China, India, México, Tailandia, Australia, Pakistán y algunos estados de USA. Como se observa en la figura 1.1 una diferencia fundamental es la primera etapa de extracción de azúcar, ya que en la caña de azúcar se emplea la molienda y extrusión mientras que en la remolacha se lo realiza por extracción sólido-líquido. (Sugar Industry Biotech Council, n.d.)

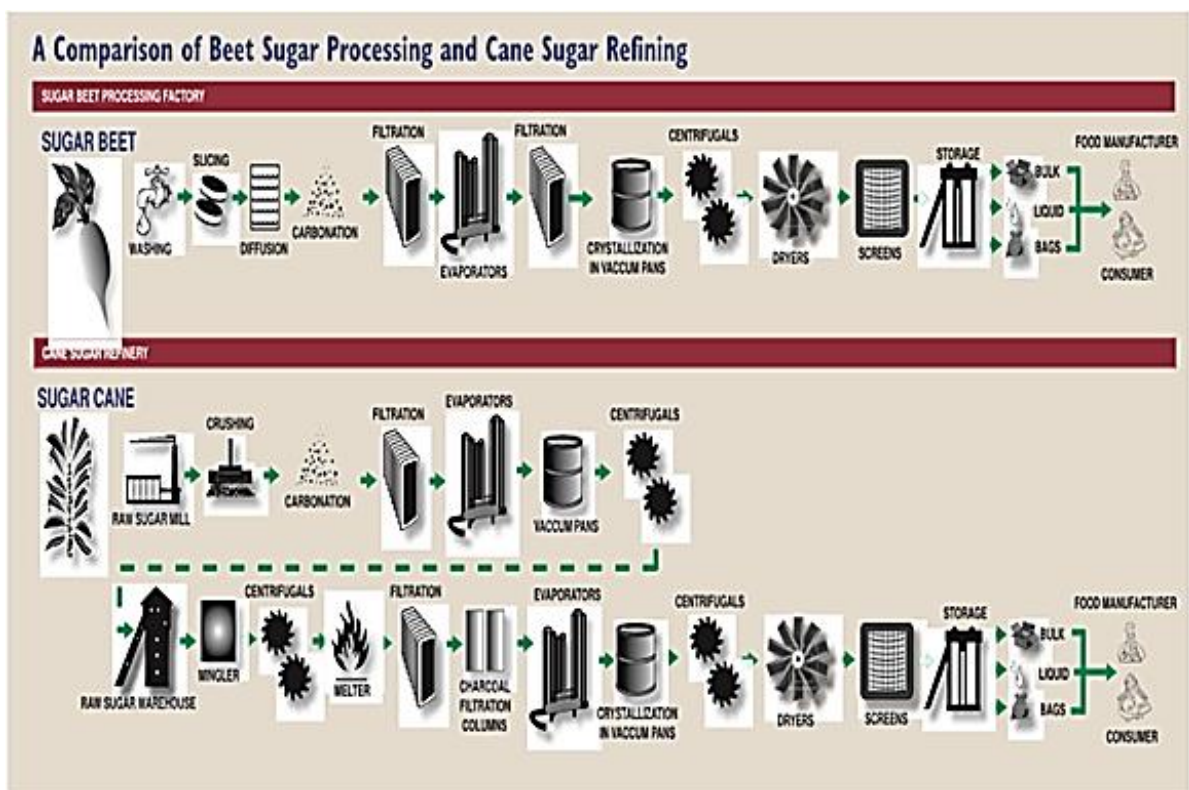


Figura 1.1 Comparación entre proceso de extracción de azúcar con remolacha y caña

Fuente: The Sugar Association, n.d.

### 1.2.1 Caña de azúcar

La caña de azúcar, conocida científicamente como *shaccharum officinarum*, pertenece a la familia de las poáceas, crece en zonas tropicales y tiene un tallo de 2 a 5 m con un diámetro de 5 a 6 cm. El tallo de la caña que constituye el 75% de la planta, está compuesta



por: agua, en un rango de 63 a 73%; fibra, con valores de 11 a 16%; azúcar soluble, con un porcentaje entre 12 y 16% y compuestos no azucarados, con un rango de 2 a 3%. (Benites & Burgos, 2015)

En la industria azucarera se trata de aprovechar al máximo la materia prima procesada y algunos subproductos o desechos generados durante el proceso. Por ejemplo, al finalizar la extracción del jugo de la caña, el bagazo producido es enviado a tamices con el fin de separar partículas más finas para luego ser empleada como filtro de los lodos producidos en la clarificación. El bagazo restante es quemado para producir vapor y electricidad para operar la planta; la melaza final generada sirve como reemplazo nutricional para algunos animales y a su vez para la producción de alcohol, por medio de fermentación, empleado en la elaboración de biocombustibles. (Pérez, 1997)

#### **1.2.1.1. Ventajas y desventajas de trabajar con la caña de azúcar**

Al trabajar con las cosechas de la caña de azúcar para la producción de azúcar se tiene algunas ventajas y desventajas y son las siguientes:

##### **1.2.1.1.1. Ventajas**

- Facilita un margen amplio de tiempo para cosechar un lote sin perjudicar al resto de la cosecha.
- La cosecha de la caña no deteriora la calidad del suelo, ni la actividad biológica del mismo.
- El residuo que queda por la cosecha del mismo sirve para evitar la erosión del suelo y el desarrollo de la maleza.
- Los residuos evitan que se pierda la humedad del suelo.

- Si se la cosecha verde, se obtiene una mejor calidad del jugo y se envía la caña fresca a la industria azucarera. (Subiros, 2001)

### 1.2.1.1.2. Desventajas

- Afecta la visibilidad del operador para colocar el equipo y proceder con el corte de la caña.
- Se necesitan operadores con experiencia, para que dejen la menor cantidad de caña en el campo y así no desperdiciar la misma.
- Cuando se quema la caña esta produce una gran contaminación al ambiente, se necesita un extremo cuidado.
- Cuando se la corta verde queda alrededor del 11% de la caña en el campo. (Subiros, 2001)

### 1.2.1.2. Proceso de producción de azúcar a partir de la caña de azúcar

El proceso de producción del azúcar a partir de la caña es un proceso muy amplio, comienza con la semilla de la caña germinada y termina en la comercialización del azúcar.

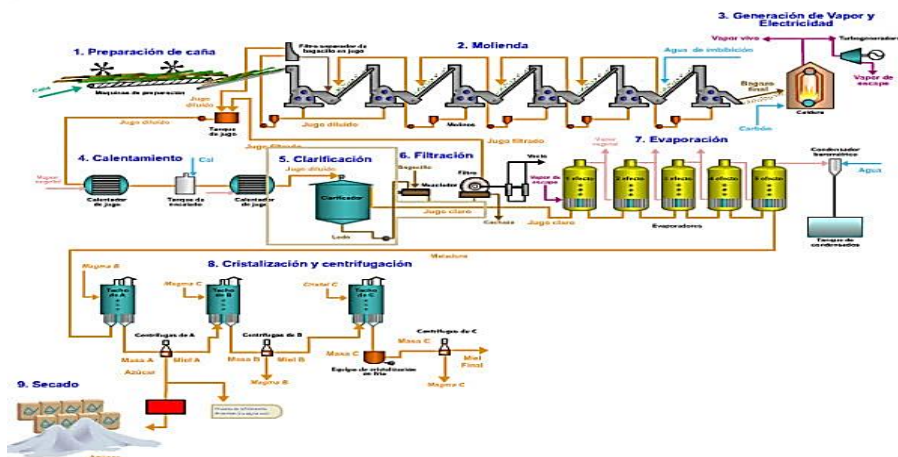


Figura 1.2 Proceso de extracción de azúcar a partir de la caña

Fuente: Dominguez, Candi, Bravo, & Sosa, 2014

Como se describe en la figura 1.2 se puede observar el proceso de extracción de azúcar. A continuación, se describirá el proceso de fabricación del azúcar.

#### **1.2.1.2.1. Cosecha**

Esta etapa inicia en la preparación del terreno, para luego proceder a la siembra y finalmente el corte de la caña. Se tiene una espera de 12 a 14 meses hasta que madure la caña, pasado este tiempo se realiza el corte ya sea a través de personas (manualmente) o por medio de alce mecánico. Estos cortes son llevados al patio de caña de los ingenios.

Para preparar la caña para la cosecha se le aplica un madurante, el cual ayuda a incrementar su contenido de sacarosa en la caña y esta se lo coloca entre 7 a 9 semanas antes de realizar su corte. (Subíros, 2001)

Corte manual: En este proceso los cortadores se agrupan en parejas y usan machetes para realizare el corte. La caña se corta en 6 surcos, el conjunto de surcos forma 1 manga, uniéndolas en forma de un rollo. Estos son levantados con una leñadora y colocados en camiones. (San Carlos, 2013)

Corte mecánico: Se la realiza por medio de cosechadoras, la caña es cortada, picada, limpiada y depositada directo en los camiones. Estas se encuentran ubicadas cerca de la cosechadora, este tipo de corte es más eficiente ya que reduce el tiempo de cosecha. (San Carlos, 2013)

#### **1.2.1.2.2. Picado de caña**

Una vez que la caña llega al patio es pesada en básculas y pasa por un juego de niveladores y picadoras, para preparar a la caña antes de entrar a la siguiente etapa.

Estas picadoras están colocadas sobre ejes que están conectadas a turbinas. Las cuchillas de las picadoras giran a una velocidad de 650 rpm, con el objetivo de cortar el tallo y volverlos astillas, con un tamaño uniforme para pasar a los molinos. (San Carlos, 2013)

#### **1.2.1.2.3. Maceración**

La caña pasa por un conjunto de molinos de tipo rodillo, con el fin de extraer todo su jugo, esta produce un residuo que es el bagazo. En el primer molino, la caña pierde entre 70 al 80% de su peso en jugo. Para realizar una extracción mejor de azúcar se lava el bagazo con agua o jugo pobre en sacarosa para realizar una extracción del 85% de azúcar. (San Carlos, 2013)

El bagazo es el residuo sólido que se produce en la etapa de la molienda, su composición es de: agua, entre el 50%; sacarosa, en un 3%; fibra, en un 47%. Esta es utilizada como combustible en la caldera para la producción de vapor. El mismo se produce a 300 psi y 580 °F. (Santana, 2007)

#### **1.2.1.2.4. Pesaje del jugo**

El jugo que sale del proceso de maceración pasa por unos filtros, para retirar partículas de bagazo, para su posterior pesaje en la báscula e iniciar con el proceso de producción del azúcar. (San Carlos, 2013)

#### **1.2.1.2.5. Evaporación, cristalización y secado.**

Estos mismos se realiza del mismo modo en la producción de azúcar a partir de la remolacha, por lo cual se los describirá más adelante.

## **1.2.2 Remolacha azucarera**

La remolacha, conocida científicamente como *beta vulgaris*, pertenece a la familia Quenopodiáceas. Se la utiliza para producir azúcar normalmente en los países de Europa del norte debido a que es un cultivo resistente, seguro, estable y es clave en la rotación de cultivos promoviendo así la biodiversidad vegetal del campo. La remolacha está constituida por: agua, en un 75%; azúcar, en un 10 al 14%; impurezas, de un 11 al 15% y el resto material sólido.

Al igual que la caña de azúcar, en el proceso de extracción de azúcar, se produce algunos subproductos y se trata de aprovecharlos al máximo. Por ejemplo: el agua que se extrae de la evaporación del jugo de remolacha, se lo utiliza para el lavado del mismo; la pulpa agotada, las hojas y la corona, se lo prensa, seca, granula y se lo comercializa como alimento para ganado. (Baquero, 1987)

### **1.2.2.1. Factores que actúan sobre la formación de azúcar**

Las hojas y partes verdes que poseen la remolacha producen hidratos de carbono a lo largo del día y gracias a la función de la clorofila, son llevados hasta la raíz para ser almacenados. Esto quiere decir, si la cosecha recibe mayor cantidad de sol, estas poseen mayor contenido de azúcar. En cambio, la zona que no posee mucha azúcar, pero si grandes cantidades de sales es la coronilla, por lo que se la debe quitar antes de realizar la extracción. (Santos, 1963)

Como se mencionó anteriormente, la actividad fotosintética de las hojas depende de la condición de la planta y el lugar donde se encuentre.

En cuanto a las condiciones de la planta tenemos: el contenido de clorofila, superficies de la hoja, longitud del peciolo, edad de

las hojas, equilibrio de los elementos de los fertilizantes, entre otras cosas.

Por otra parte, la actividad fotosintética está relacionada con el clima de la zona donde es cosechada y los factores importantes del clima son: luz, calor, humedad, concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, entre otras cosas.

Como se explicó, la luz es un factor importante para la concentración de azúcar en la remolacha, haciendo que este se pueda cosechar unos 2 meses antes, si ha recibido suficiente luz para que haya alcanzado el máximo almacenamiento de azúcar en su raíz. En cambio, si la luz es demasiado excesiva, lo que requiere un aumento de temperatura, puede ocasionar la reducción de la función que realiza la clorofila.

La temperatura óptima para su cultivo es de 22 °C, en casi todo el periodo de su plantación se requiere una humedad elevada en las plantas, por lo cual es ideal los climas parecidos a los de la sierra ecuatoriana. Otro aspecto por considerar, el suelo tiene que estar entre un pH cercano al neutro, entre 6.5 y 7.5, también, no deben poseer muchas piedras, debido a que pueden dañar la raíz. (Guerrero, 1999)

#### **1.2.2.2. Ventajas y desventajas de trabajar con la remolacha**

Para el cultivo de la remolacha en la industria azucarera se tiene las siguientes ventajas y desventajas:

##### **1.2.2.2.1. Ventajas**

- El tiempo de cultivo es de 6 meses.
- Es ideal cultivarla en suelos húmedos y ligeros (arenosos).
- Se realiza una siembra directa, es decir no requiere un proceso de germinado alterno. (Tituaña, 2011)

### 1.2.2.2. Desventajas

- Se requiere una gran cantidad de agua para su riego, de 60 a 70 L/m<sup>2</sup>.
- Se recomienda aplicar 220000 kg/ha de estiércol bien curado.
- Se debe tener un control del crecimiento de las malas hierbas.
- Existe las moscas de remolacha, se trata de una plaga cuya larva está en las hojas de la remolacha, entre las dos epidermis, por lo cual se requiere del uso de plaguicidas. (Tituaña, 2011)

### 1.2.2.3. Proceso de producción del azúcar a partir de la remolacha

El proceso de producción del azúcar a partir de la remolacha, es un proceso largo, comienza desde la cosecha de la remolacha hasta la comercialización del azúcar.

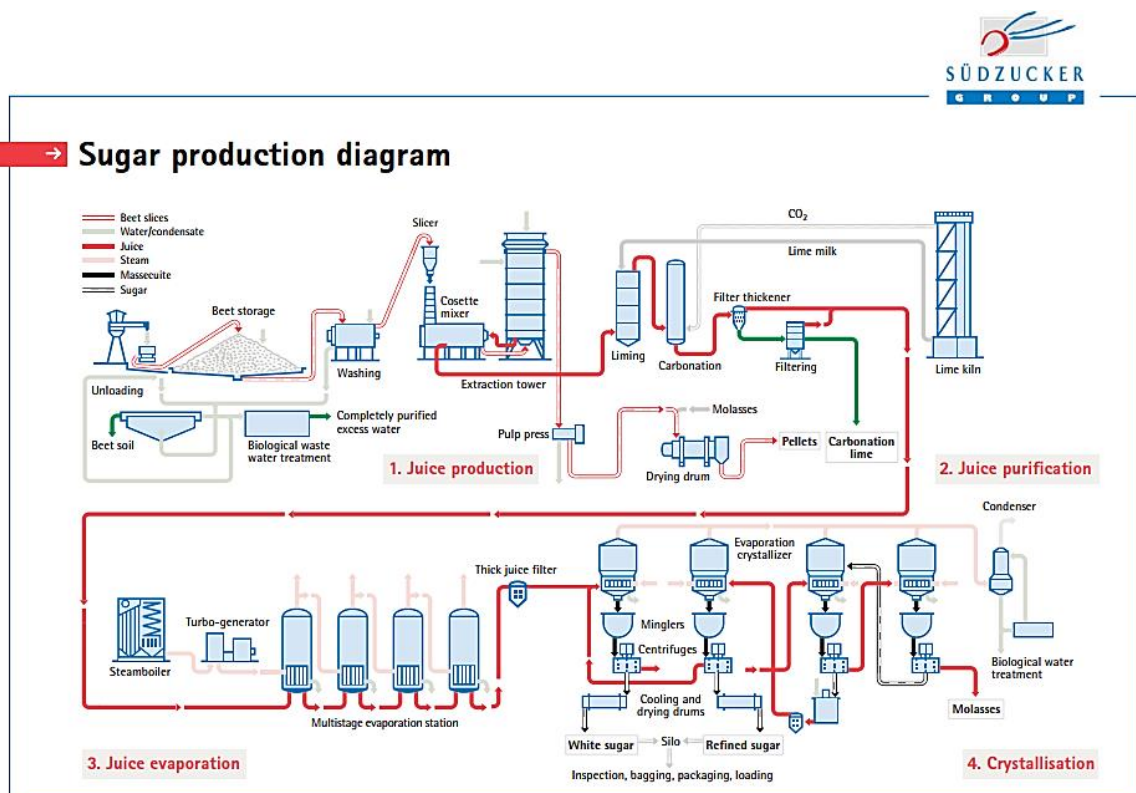


Figura 1.3 Proceso de extracción de azúcar a partir de la remolacha

Fuente: Südzucker, 2016

Como se observa la figura 1.3 el proceso de extracción del azúcar, lo describe en 4 etapas importantes. Entre las etapas importantes tenemos: extracción, purificación, evaporación del jugo y cristalización. A continuación se describirá la producción del azúcar desde la cosecha de la remolacha hasta la cristalización del azúcar.

#### **1.2.2.3.1. Cosecha**

La cosecha se lleva a cabo a los 6 meses después de su siembra, esto se lo realiza cuando la raíz tiene alrededor de 4 a 5 cm de diámetro, puede ser cosechada de forma manual o mecánica; sin embargo, en la industria azucarera se lo extrae principalmente de manera mecánica. Esto se lo realiza por dos tipos de máquinas: una máquina levanta la raíz y corta la parte de arriba y otras máquinas cortan el follaje y luego levantan la raíz.

Se deben separar la corona, las hojas del producto (raíz), esta operación se la puede realizar en el campo de cosecha o en la industria azucarera. El producto de desecho se lo da como alimento al ganado. (Cordero, 2013)

#### **1.2.2.3.2. Recepción, lavado y pesado**

Las remolachas son trasladadas a la planta de producción donde se pesan en básculas para llevar el control de los rendimientos. Luego, se retira las impurezas. Para su almacenamiento, se realiza por congelación entre 0 a 1 °C y una humedad del 95 al 100% y puede ser almacenados en un periodo de 4 a 6 meses. (Cordero, 2013)



### 1.2.2.3.3. Extracción de jugo

La remolacha se la corta en tiras finas y se lo realiza por medio de un disco de cuchillos que giran rápidamente. Posterior al corte, se lo lleva a una máquina de extractor de Boltzmann, en el cual en unas canastas se colocan la remolacha cortada y se las hace pasar por agua a 70 °C, para poder obtener el jugo azucarado, y allí mismo se extrae la pulpa sin azúcar.

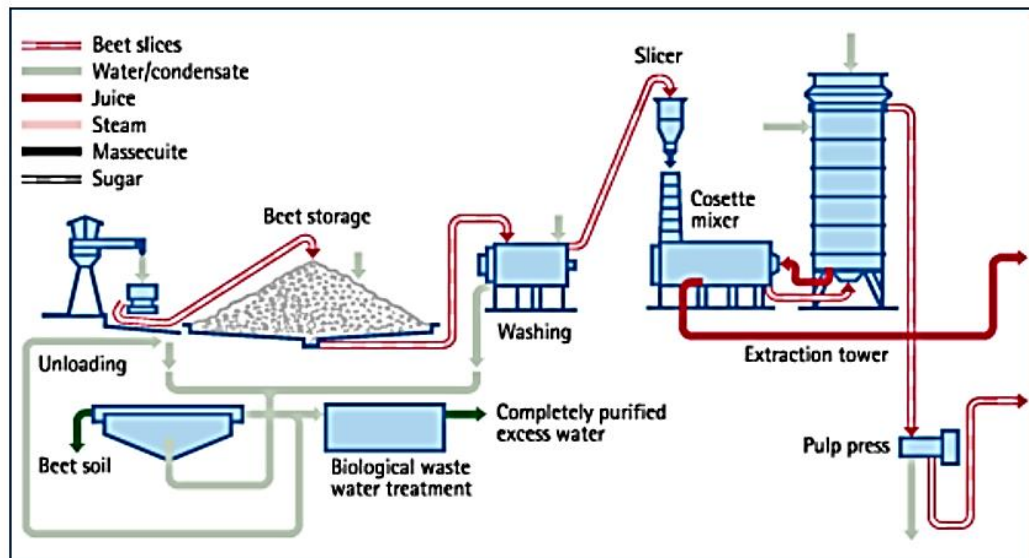


Figura 1.4 Extracción de jugo

Fuente: Südzucker, 2016

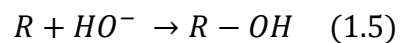
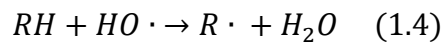
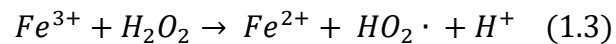
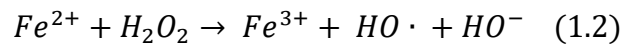
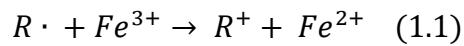
En el proceso de extracción del jugo, como se observa en la figura 1.4, el proceso termina con el prensado de la pulpa agotada. Es necesario la utilización de agua y de energía para calentar el agua que va a ser el solvente del azúcar para realizar la extracción. (Südzucker, 2016)

La pulpa agotada es el residuo sólido, que sale del extractor de Boltzmann, a esta pulpa agotada se le hace pasar por una prensa para eliminar el líquido que este en exceso, posterior a este se lo seca. Este residuo se lo utiliza o se lo comercializa para alimentación del ganado, debido a su gran contenido de

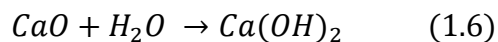
carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas que este aún posee. (Cordero, 2013)

#### 1.2.2.3.4. Purificación del jugo

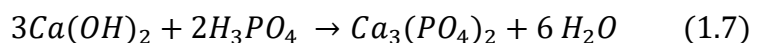
Además, del proceso de extracción se realiza la decoloración del jugo que consiste una reacción de oxidación fuerte, por medio de peróxido de hidrógeno, de compuestos orgánicos empleando el hierro presente en el jugo como catalizador, para completar las reacciones detalladas a continuación:



Luego de la decoloración se efectúa la purificación del jugo, que consiste en eliminar las impurezas orgánicas y eliminación de fosfatos presentes en el jugo azucarado, se lo realiza por medio de un reactor batch, que va a llevar las siguientes reacciones químicas:

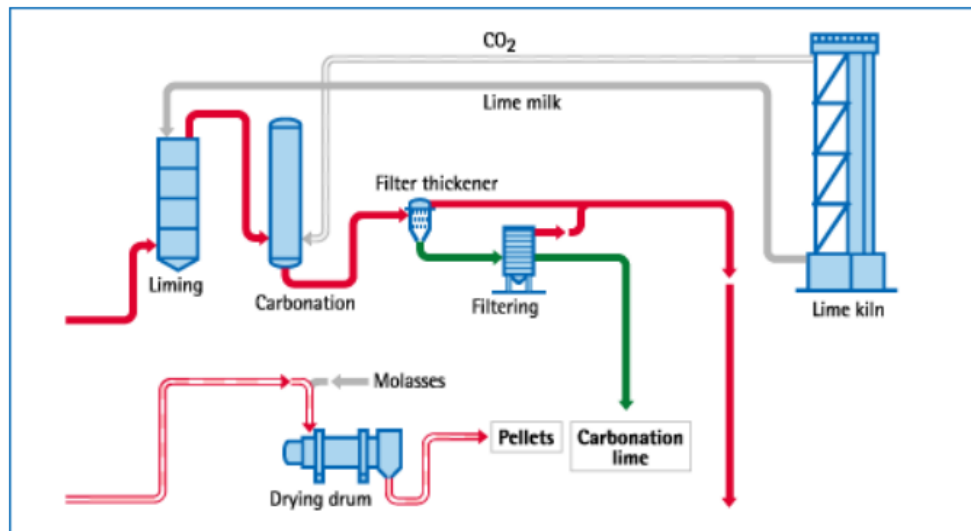


Formación de la leche de cal



Formación de trifosfato de calcio

El trifosfato de calcio es una sal insoluble, lo cual se lo separa por medio de un filtro. La agregación de cal se lo realiza en forma de la leche de cal, como consecuencia se pierde la coloración morada que este posee, y se obtiene un jugo claro y de color amarillento, y la concentración de azúcar permanece constante.



**Figura 1.5 Clarificación del jugo**

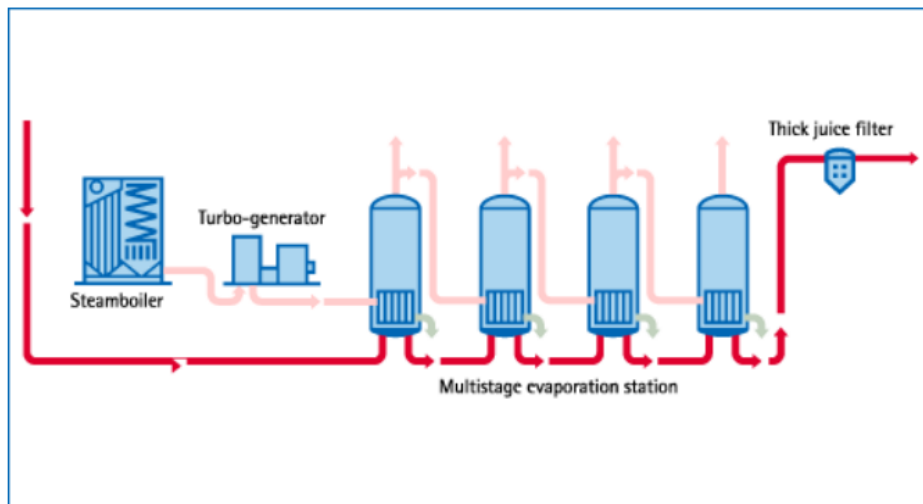
*Fuente: Südzucker, 2016*

En cuanto a los residuos que se produce en esta etapa tenemos, como se observa en la figura 1.5 el  $\text{CO}_2$  que va directo a la atmosfera y la cachaza. (Südzucker, 2016)

La cachaza es el lodo que se produce en la etapa de la clarificación del jugo. Este lodo tiene altos contenido de fosfatos, calcio, nitrógeno y materia orgánica, por lo cual se lo seca, se lo lleva a la máquina de pelets y se lo comercializa como abono, o por consiguiente se lo utiliza en el propio cultivo de las remolachas. (Fajardo & Saramiento, 2007)

### 1.2.2.3.5. Evaporación

En esta parte de la operación, el jugo concentrado es sometido a una serie de evaporadores más o menos unos 4 para llevar la concentración a unos 50 a 55% de azúcar. Produciendo un jugo de coloración marrón y con mayor viscosidad. Como se observa en la figura 1.6 se necesita de la generación de vapor y de 4 evaporadores para poder llegar a esta concentración industrialmente. El producto obtenido es la melaza. (Südzucker, 2016)

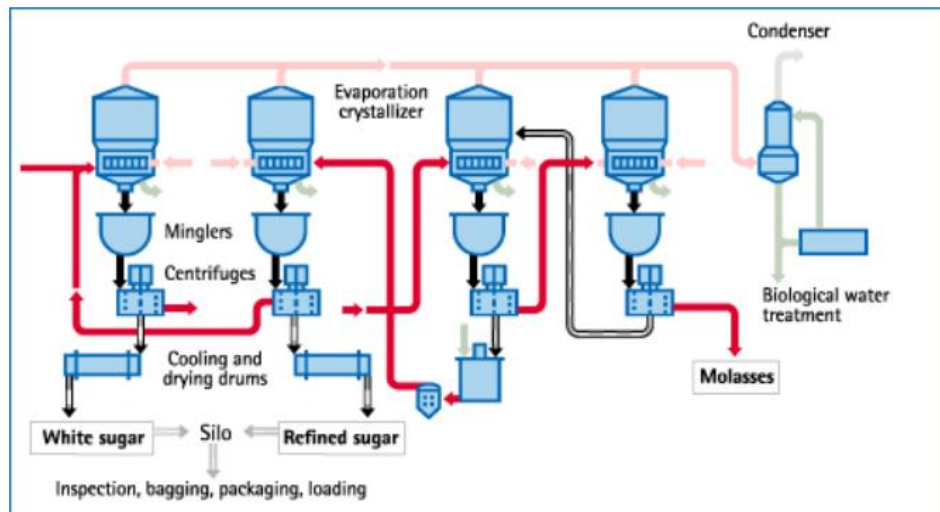


**Figura 1.6 Evaporación del jugo**

*Fuente: Südzucker, 2016*

### 1.2.2.3.6. Cristalización

Luego de obtener la melaza caliente, se procede a la cristalización, que consiste en la utilización de 3 evaporadores, como se observa en la figura 1.7, el diagrama de flujo de la cristalización los 2 primeros evaporadores, sirven para concentrar el jugo hasta un 90% de azúcar, en esta etapa ya comienza a formar cristales, y el ultimo equipo es un cristalizador.



**Figura 1.7 Cristalización del azúcar**

*Fuente: Südzucker, 2016*

En el cristalizador, el jugo concentrado se lo lleva a un cambio de temperatura, para que se cristalice de manera brusca y se produce unos cristales de color pardo, debido a que está mezclado con jugo pobre en azúcar. Esta mezcla de cristales y jarabe se lo llama templa.

La templa, se la lleva a una centrifugadora, el cual me va a dar dos productos: los cristales de azúcar, de color transparente y con un brillo blanco; jarabe pobre, este producto es retornado al primer evaporador, para concentrarlo y producir más cristales de azúcar. El retorno solo se lo puede realizar máximo unas 4 veces, posterior a esto, el jugo se lo debe desechar.

Los cristales se lo proceden a secar en un secador rotatorio para quitar el exceso de humedad que este posea. (Fajardo & Saramiento, 2007)

### 1.2.3 Parámetros que considerar en el proceso de azúcar

En el proceso de obtención de azúcar es necesario tener control sobre ciertos parámetros de operación para garantizar la obtención

del producto deseado y mejorar la eficiencia del proceso. A continuación, se detallan los parámetros que se deben tomar en consideración:

#### **1.2.3.1. pH**

El control del pH es muy importante en todo en proceso de producción, principalmente en la etapa de clarificación. El pH debe estar entre 6.2 y 7.5. Dado que, si el pH es inferior a esos valores, aumenta la probabilidad de que el azúcar se invierta. (Garro, Meza, & Jenkins, 2005)

#### **1.2.3.2. Temperatura**

Dado a que, la temperatura es un factor importante, tanto en la clarificación como en los evaporadores. La clarificación se la realiza a una temperatura de 92 °C, puesto que, la reacción se produce a esa temperatura. Por otro lado, en la evaporación se la realiza para que solo se evapore el agua y no se produzca la inversión de la sacarosa. (Garro et al., 2005)

#### **1.2.3.3. Grados Brix**

La medición de los grados brix se lo realiza en los evaporadores. Dado que, al finalizar la evaporación los mismos deben estar ente 55 y 70 °brix. Debido a que después se pueden presentar cristales en los evaporadores, o se puede concentrar tanto que la viscosidad del fluido aumente y no pueda funcionar la bomba de manera correcta. (Garro et al., 2005)

# **CAPÍTULO 2**

## **METODOLOGÍA**

# Capítulo 2

## 2 Metodología

### 2.1 Verificación del cumplimiento de normativa de inocuidad alimentaria y seguridad.

Las normativas de seguridad seleccionadas para este proyecto son el Decreto Ejecutivo 2393 y la ISO 18001:2007, OHSAS; mientras que la normativa de inocuidad alimentaria es el ARCSA067:2015. Se elaboró un check list con los artículos que aplican al proceso y a los equipos empleados y se anotó el cumplimiento o incumplimiento de las mismas. Si éstos no cumplían con alguno de los requisitos seleccionados, se anotaban las observaciones respectivas y se tomó evidencia del mismo para un posterior análisis.

#### 2.1.1 Matriz de riesgo de seguridad

La matriz de riesgo se realizó de acuerdo con el formato establecido por el INSHT para la evaluación de riesgo laborales, cuyo NIPO es 211-96-013-5. En dicha publicación, lo primero que se debe realizar es la clasificación de las actividades de trabajo, estas pueden ser catalogadas de dos formas: etapas en el proceso de producción o suministro de un servicio y trabajos planificados y/o de mantenimiento. Posterior a esto, se realiza el análisis de riesgos respectivo.

Para el análisis de riesgos se identificaron los peligros tomando en cuenta el acto, la fuente y situación del potencial incidente o accidente que puede ocurrir, los cuales se encuentran especificados en el Anexo D. Para facilitar la identificación de peligros se los clasificó por: mecánicos, ergonómicos, ambientales, psico-sociales, químicos y biológicos. Se estimó el riesgo por su severidad y probabilidad, como se especifica en la tabla 2.1 y 2.2.



**Tabla 2.1 Probabilidad de que ocurran incidentes**

Clasificación	Probabilidad de ocurrencia	Puntaje
<b>BAJA</b>	El incidente potencial se ha presentado una vez o nunca en el área, en el período de un año.	3
<b>MEDIA</b>	El incidente potencial se ha presentado 2 a 11 veces en el área, en el período de un año.	5
<b>ALTA</b>	El incidente potencial se ha presentado 12 o más veces en el área, en el período de un año.	9

Fuente: Ministerio de trabajo y asunto sociales, 1996

**Tabla 2.2 Gravedad del incidente**

Clasificación	Severidad o Gravedad	Puntaje
<b>LIGERAMENTE DAÑINO</b>	Primeros Auxilios Menores, Rasguños, Contusiones, Polvo en los Ojos, Erosiones Leves.	4
<b>DAÑINO</b>	Lesiones que requieren tratamiento médico, esguinces, torceduras, quemaduras, Fracturas, Dislocación, Laceración que requiere suturas, erosiones profundas.	6
<b>EXTREMADAMENTE DAÑINO</b>	Fatalidad – Para / Cuadriplejia – Ceguera. Incapacidad permanente, amputación, mutilación,	8

Fuente: Ministerio de trabajo y asunto sociales, 1996

Posteriormente, se estiman los niveles de riesgo en base la probabilidad y la severidad del mismo categorizándolos en 4 niveles: riesgo bajo, moderado, importante y crítico. La ponderación se lo especifica en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Evaluación y clasificación de riesgos**

Severidad \ Probabilidad	<b>LIGERAMENTE DAÑINO (4)</b>	<b>DAÑINO (6)</b>	<b>EXTREMADAMENTE DAÑINO (8)</b>
<b>BAJA (3)</b>	12 a 20 Riesgo Bajo	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado

Severidad Probabilidad	<b>LIGERAMENTE DAÑINO (4)</b>	<b>DAÑINO (6)</b>	<b>EXTREMADAMENTE DAÑINO (8)</b>
<b>MEDIA (5)</b>	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante
<b>ALTA (9)</b>	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante	60 a 72 Riesgo Crítico

Fuente: Ministerio de trabajo y asunto sociales, 1996

De acuerdo con la tabla 2.4 se identificaron las acciones que deben ser tomadas de acuerdo con los riesgos determinados.

**Tabla 2.4 Criterios de control de riesgos**

	Nivel de Riesgo	Control del Peligro "SEGURIDAD e HIGIENE OCUPACIONAL"
<b>Inaceptable</b>	Crítico	<b>SEGURIDAD:</b> No se debe continuar con la actividad, hasta que se hayan realizado acciones inmediatas para el control del peligro. Posteriormente, las medidas de control y otras específicas complementarias, deben ser incorporadas en plan o programa de seguridad y salud ocupacional del lugar donde se establezca este peligro. Se establecerán objetivos y metas a alcanzar con la aplicación del plan o programa. El control de las acciones incluidas en el programa debe ser realizado en forma mensual.
	Importante	<b>SEGURIDAD:</b> Se establecerá acciones específicas de control de peligro, las cuales deben ser incorporadas en plan o programa de seguridad y salud ocupacional del lugar donde se establezca este peligro. El control de las acciones debe ser realizado en forma trimestral.
	Moderado	<b>SEGURIDAD:</b> Se establecerá acciones específicas de control, las cuales deberán ser documentadas e incorporadas en plan o programa de seguridad del lugar donde se establezca este peligro. El control de estas acciones debe ser realizado en forma anual.
<b>Aceptable</b>	Bajo	<b>SEGURIDAD:</b> No se requiere acción específica, se debe reevaluar el riesgo en un período posterior.

Fuente: Ministerio de trabajo y asunto sociales, 1996

Finalmente, se realizan las medidas preventivas a tomar para la minimización de riesgos.

### **2.1.2 Plan de gestión de cambios**

Se identificaron los riesgos asociados con cada equipo, se estableció un listado de los posibles cambios que se deben realizar y se analizó la prioridad de los cambios a ejecutarse de acuerdo con el tipo de riesgo identificado.

## **2.2 Obtención de azúcar**

A continuación, se detalla el método empleado para la obtención de azúcar a partir de la remolacha y la caracterización del jugo obtenido. Las pruebas se realizaron en el LOPU, Laboratorio de Hidrocarburos y Laboratorio de Aguas de la FCNM ubicado en el Departamento de Ingeniería Química.

### **2.2.1 Pruebas de laboratorio**

Previo a realizar las pruebas de laboratorio, se enviaron 8 muestras de remolacha de 250 g cada una para realizar unos análisis en el laboratorio PROTAL-ESPOL. Las pruebas efectuadas en las muestras mencionadas son de humedad, sólidos solubles y azúcares por inversión. Los resultados entregados por PROTAL-ESPOL se los encuentra en el ANEXO E. Los análisis se realizaron según la metodología descrita en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Metodología aplicada a los análisis**

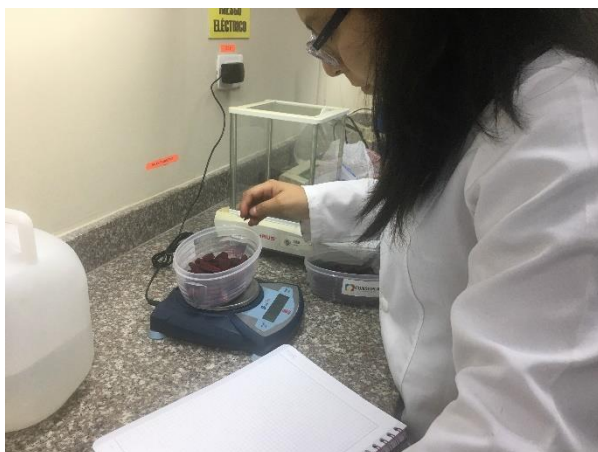
<b>Análisis</b>	<b>Metodología/ referencia</b>
Humedad	ISO 3726:1983
Sólidos solubles	ISO 2173:2003
Azúcares totales por inversión	Lane-eynon

### 2.2.1.1. Extracción Sólido- Líquido

Se realizó el lavado, pelado y corte de la remolacha, como se observa en la figura 2.1. Las pruebas fueron efectuadas en dos relaciones: 1:1 y 2:1 con respecto a la cantidad de agua y remolacha usada; cada muestra se llevó a cabo por duplicado y se usó en cada prueba 400 g de remolacha. Se mantuvo un rango de temperatura entre 70 a 80 °C (US6387186 B1, 2002) por un período de 25 min en cada una de las 4 etapas de extracción realizadas y se tomó muestra cada 5 minutos para la medición de los °Brix.



**Figura 2.1 Lavado, pelado y cortado de remolacha**



**Figura 2.2 Pesado de remolacha**

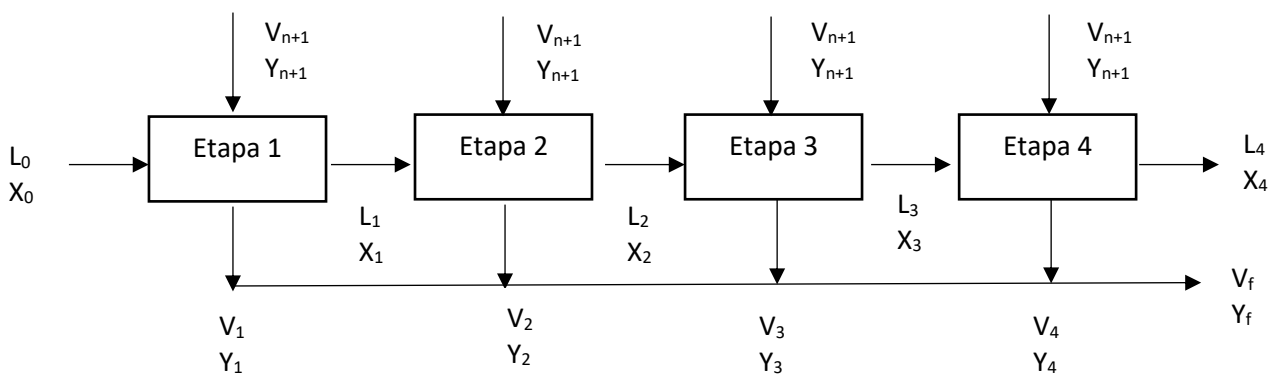


**Figura 2.3 Extracción Sólido-Líquido**

Como se aprecia, en la figura 2.2 se realizó el pesado de la remolacha y en la figura 2.3 se armó el sistema de extracción de laboratorio, que consiste en una plancha de calentamiento, termómetro y un vaso de precipitación de 1 L.

#### 2.2.1.1.1. Cálculo del porcentaje de extracción

Se observa en la figura 2.4 el diagrama del sistema empleado para la extracción de azúcar a partir de la remolacha, por lo que a través del mismo se pudo efectuar el cálculo del porcentaje de extracción.



**Figura 2.4 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua**

Donde:

$L_0$ : flujo de alimentación.

$X_0$ : concentración de alimentación.

$V_{n+1}$ : flujo de disolvente.

$Y_{n+1}$ : concentración del disolvente.

$V_f$ : flujo de salida del proceso.

$Y_f$ : concentración de la salida del proceso.

$V_n$ : flujo del extracto en cada etapa.

$Y_n$ : concentración de la salida de cada etapa.

$L_n$ : flujo del refinado.

$X_n$ : concentración del refinado.

$n$ : número de etapa correspondiente.

En cada etapa se realizó la toma de datos que se presenta en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Datos que se necesitan para los cálculos en cada etapa.**

Remolacha	Masa inicial	$L_0$
	Solubles	$X_0$
	Masa final	$L_1$
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$
	Concentración final	$Y_1$

Los cálculos se realizaron por medio de un balance general de materia y un balance de azúcar para determinar la masa del extracto y la concentración de azúcar en el mismo en cada etapa de extracción. La concentración inicial del soluto fue tomada de un valor estadístico de USDA, que es de 0,0676 (United States Department of Agriculture, 2016).

Balance general

$$L_0 + V_{n+1} = L_n + V_n \quad (2.1)$$

### *Balance de azúcares*

$$L_0X_0 + V_{n+1}Y_{n+1} = L_nX_n + V_nY_n \quad (2.2)$$

$$X_1 = \frac{L_0X_0 - V_nY_n}{L_n} \quad (2.3)$$

El porcentaje extraído se lo calculó con la finalidad de determinar cuánto azúcar se pudo extraer del sólido empleado y se lo obtuvo por medio de la siguiente ecuación.

$$\%Ext = \frac{L_0X_0 - L_nX_n}{L_0X_0} \quad (2.4)$$

Posteriormente, se calculó el porcentaje extraído final del proceso. Empleando la siguiente ecuación.

$$\%Extf = \frac{L_0X_0 - L_4X_4}{L_0X_0} \quad (2.5)$$

Para determinar el porcentaje de error se obtuvo de forma teórica la concentración del extracto al finalizar el proceso, esto se lo realizó por medio de un balance de materia de la corriente de salida de los extractos.

$$V_f = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (2.6)$$

$$y_fV_f = y_1V_1 + y_2V_2 + y_3V_3 + y_4V_4 \quad (2.7)$$

$$\%error = \frac{X_{fteo} - X_{fprac}}{X_{fteo}} * 100 \quad (2.8)$$

### **2.2.1.2. Decoloración**

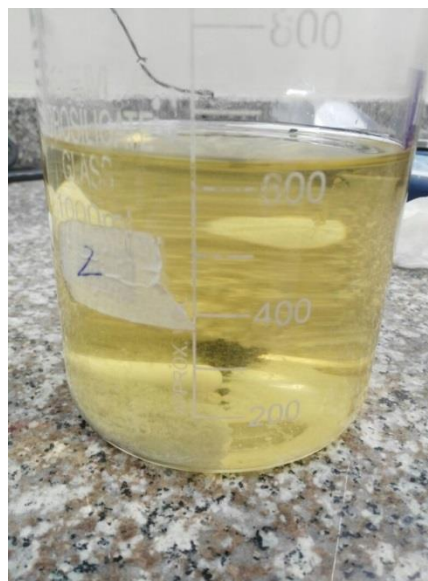
Dos pruebas se llevaron a cabo con cantidades diferentes de Peróxido de hidrógeno al 50% (US4432806 A, 1984), una con 1.2% y otra con 4%(US 4076552 A, 1978) en volumen de la cantidad inicial de jugo con la finalidad de eliminar los compuestos que le dan la coloración al mismo. El método se fundamenta en la reacción de fenton, eliminando los compuestos

fenólicos que le dan la coloración a través de oxidación con el peróxido y empleando el hierro presente en el jugo como catalizador.

Las pruebas se realizaron al jugo de remolacha extraído con 1 °Brix inicial, utilizando un volumen de 500 ml, medidos en una probeta, y calentándolo hasta llegar a la temperatura de 80 °C.



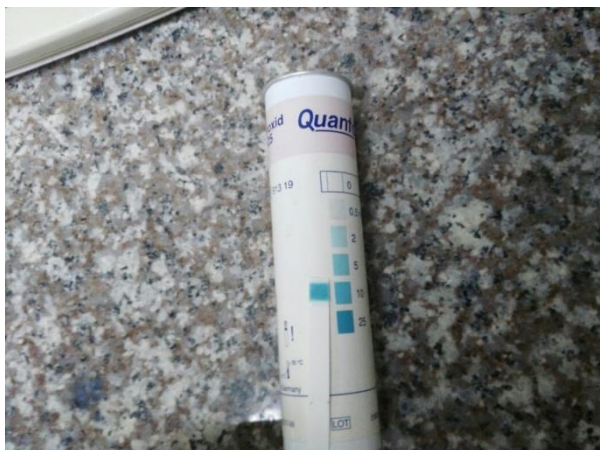
**Figura 2.5 Decoloración con Peróxido de Hidrógeno por 20 min**



**Figura 2.6 Decoloración con Peróxido de Hidrógeno por 1 h con 30 min**



En la figura 2.5 y 2.6 se puede observar la variación de la coloración del jugo extraído al aplicar la solución de peróxido de hidrogeno a los 20 min y al finalizar la decoloración.



**Figura 2.7 Peróxido residual de la muestra**

Luego, a través de tirillas reactivas, Quantofix Peroxide 25 con un rango de medición de 0-25 mg/L, se determinó la cantidad de peróxido residual. Como se observa en la figura 2.7 la cantidad de peróxido residual que queda en el jugo antes de que comience la clarificación es de 10mg/L.

### **2.2.1.3. Clarificación**

Varias pruebas fueron realizadas con el fin de encontrar la cantidad óptima de cal (US6156563A, 2000) a emplear en el proceso de clarificación sin que afecte características físico-químicas del jugo, tales como: turbidez, color, pH, entre otras. Para unas muestras de 200 mL que contenían 1.25 de brix iniciales, la cantidad de cal empleada comprendió el rango entre 2 a 12 g, que equivale a una cantidad de cal del 1-6% con respecto al jugo extraído (Phochuen, Somla, Laksameethanasana, & Janprem, 2012), siendo cada 2 g un punto establecido de prueba. La clarificación fue realizada en caliente y con agitación, al llegar a una temperatura de 90 °C se

agregó la cal, se esperó 30 min para que el sólido formado se precipite y finalmente se filtró la muestra. Una vez filtrado se colocó 0,3% en peso de carbón activado (Phochuen et al., 2012), se lo calentó hasta llegar a 70 °C y se dejó en reposo por 30 min. Debido a que el pH de la solución es muy alto se prepara ácido cítrico al 10% (Prati & Herminius, 2009) y se ajustó el pH acercándose a la neutralidad para asegurar que no se dé la inversión de la sacarosa y tener pérdidas durante el proceso. (Eldien, Ali, Sohily, & E.A, 2017)



**Figura 2.8 Clarificación del jugo con lechada de cal**



**Figura 2.9 Filtración de la muestra luego de clarificación**



**Figura 2.10 Peróxido residual luego de clarificación con cal**

Se puede apreciar en la figura 2.8 el sistema para realizar la clarificación, en la figura 2.9 se muestra la filtración de la muestra. Y en la figura 2.10 se observa la prueba de peróxido residual en la muestra.

#### **2.2.1.4. Evaporación**

Se armó un sistema de evaporación para condensar y a su vez cuantificar el agua evaporada. Se tomó 1 L de muestra clarificada y se la colocó en un balón conectado a un refrigerante, como se observa en la figura 2.11. Por cada 20 mL de agua recolectada se tomó muestra para determinar los grados Brix. Una vez que se evapora aproximadamente el 75% de agua contenida en la solución azucarada y a su vez entre 50 hasta 70 grados Brix el proceso de evaporación culmina.



**Figura 2.11 Sistema de evaporación de la muestra**

#### **2.2.1.5. Cristalización**

El jarabe obtenido de la evaporación anterior es calentado hasta llegar a 70-80 °Brix. A través de la curva de solubilidad en función de la temperatura se puede determinar el límite máximo de solubilidad, por lo que se procede a calcular la cantidad de cristales de azúcar (semilla) que debe ser agregada para que se sobresature la muestra y se produzca la formación de cristales. La muestra se dejó reposar un día. En la figura 2.12 se puede apreciar la formación de cristales en el vaso de precipitación.

Una vez alcanzada la concentración necesaria para la saturación de la muestra, 70 a 80 °Brix, es necesario controlar la formación de cristales en la muestra a través de pruebas visuales, que consisten en extender una muestra de meladura en una placa de vidrio, como se observa en la figura 2.13. Las pruebas son: textura, saturación y dilución.

La primera consiste en una prueba de sensibilidad por medio de los dedos, lo cual nos indica la presencia de cristales en la meladura. La segunda prueba se trata sobre la saturación de la muestra, colocando la placa de vidrio frente a un foco reflector y se observa la cantidad de cristales que se obtiene. Finalmente, se analiza la dilución de la muestra, la cual se pueden presentar

los siguientes resultados: muy rápida, un poco lenta, muy lenta e ineficiente, de las cuales el resultado óptimo es muy lento, eso quiere decir que tiene que ser menor a 30 s, ya que si es mayor a este tiempo el proceso debe ser parado, debido a que no cumple con las características adecuadas para la siguiente etapa del proceso (Villanueva, Posada, González, García, & Martínez, 2015).



**Figura 2.12 Muestra cristalizada**



**Figura 2.13 Prueba visual de saturación de la muestra**

### 2.2.1.6. Separación de cristales de la meladura

A través de una bomba de vacío fueron separados los cristales de la meladura. La muestra fue colocada en un papel filtro de 125 micras con la finalidad de que los cristales formados no traspasen el filtro y puedan ser retenidos por el mismo. La meladura obtenida luego de este proceso de separación es de 70 Brix por lo que esta puede ser evaporada nuevamente y reutilizada hasta 4 veces con el fin de obtener la mayor cantidad de cristales posibles.



Figura 2.14 Separación de cristales de la meladura



Figura 2.15 Cristales de azúcar húmedos

Se puede apreciar en la figura 2.14 el sistema de filtración al vacío y en la figura 2.15 una muestra del azúcar obtenido en la filtración.

#### 2.2.1.7. Secado

El secado de la muestra se realizó a través de una termobalanza KERN MLS\_N, la cual se puede observar en la figura 2.16, con el fin de obtener la variación de datos como humedad perdida y peso de la muestra en el transcurso del tiempo con la finalidad de obtener una curva de secado de dicho proceso. De acuerdo con la metodología sugerida por el manual de uso del equipo, la muestra de azúcar debe ser entre 3-5 g con una temperatura de 138 °C, a través de un secado estándar de la muestra. Cada 15 s del proceso de secado se toman datos significativos, con la cantidad de muestra recomendada el proceso de secado dura 10 minutos aproximadamente.



**Figura 2.16 Secado de cristales en termobalanza KERN**

### 2.2.1.8. Cálculo para determinar la curva de secado

Se determinó la curva de secado por medio de una gráfica que relaciona la velocidad de secado con respecto a la humedad en base seca. Esto se lo realiza teniendo los datos de la termobalanza tanto del tiempo como del peso del azúcar. El último dato de la termobalanza es la masa seca y la masa húmeda en equilibrio es el 0,03% más la masa seca. Para la gráfica se representa en el eje de la X la humedad total y en el eje de la Y la velocidad de secado. A continuación se presentan las ecuaciones a utilizarse para graficar

$$X_{i \text{ total}} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \quad (2.9)$$

$$X_{i \text{ libre}} = \frac{m_i - m_{Hs}}{m_s} \quad (2.10)$$

$$X_2 - X_1 = X_{i+1 \text{ libre}} - X_{i \text{ libre}} \quad (2.11)$$

$$t_2 - t_1 = t_{i+1} - t_i \quad (2.12)$$

$$N = - \frac{m_s (X_2 - X_1)}{a_s (t_2 - t_1)} \quad (2.13)$$

Donde:

$M_i$ = masa en el tiempo  $i$ .

$M_s$ = masa seca.

$M_{hs}$ = masa húmeda en equilibrio.

$N$ = velocidad de secado.

$T$ = tiempo.

$X_{i \text{ libre}}$ = humedad en base seca libre,

$X_{i \text{ total}}$ = humedad en base seca total.

$a_s$ = área de secado

### 2.2.2. Caracterización del jugo clarificado

Posterior a realizar las pruebas de clarificación a nivel de laboratorio, considerando las diferentes concentraciones de cal que se empleó



en el jugo descrita en la sección 2.2.1.3 y las diferentes concentraciones de peróxido de hidrogeno descrita en la sección 2.2.1.2, se procedió a validar la concentración óptima, de los mismos, analizando los datos que se obtuvieron por medio de las pruebas descritas a continuación.

### **2.2.2.1. Determinación de fosfatos**

Las muestras clarificadas deben ser filtradas previamente para evitar interferencias en la medición, el filtro usado fue de 0,47 micras en conjunto con una bomba de vacío. Se colocaron 5 mL de cada muestra en los tubos para determinar fosfatos de HACH (método 8114 de Molibdovanadato) con un rango de medición de 0 a 100 mg/L, se hizo un duplicado de las muestras, con la finalidad de corroborar los datos. Una vez transcurridos los 5 min que tarda en llevarse a cabo la reacción, el tubo es colocado en el espectrofotómetro HACH 3900 DR para realizar la medición respectiva. En la figura 2.17 se puede apreciar las pruebas que se realizaron a las distintas concentraciones de cal, como se observa en la ecuación 1.7, la cal elimina las impurezas orgánicas y los fosfos presentes, convirtiéndolos en trifosfato de calcio que es insoluble en agua.



**Figura 2.17 Pruebas realizadas en los tubos reactivos**

### **2.2.2.2. Determinación de turbidez y color por absorbancia**

Se realizaron dos pruebas para la determinación de color y turbidez por absorbancia, una con la muestra filtrada y otra sin filtrar. Se emplearon dos longitudes de onda distintas para poder determinar dichas características del jugo, para el color se usó 420 nm y para turbidez 900 nm.

### **2.2.3 Pruebas en equipos piloto**

Posteriormente, se describirán las pruebas realizadas en los equipos pilotos del LOPU de FCNM-ESPOL. Tomando en cuenta los pasos a seguir para el correcto funcionamiento de los equipos y analizando a su vez las variables óptimas de operación del proceso.

#### **2.2.3.1. Extractor sólido líquido**

Se realizaron dos pruebas con 5 kg de remolacha cada una, de las cuales se lavaron, pelaron y cortaron previamente, con medidas de 1 cm de ancho, 1 cm de espesor y 4 cm de largo. Se alimentó el tanque de agua y se lo llevó a la temperatura de 80 °C, se siguieron los pasos de funcionamiento descritos en el Anexo C-1. Se tomaron muestras cada min, para medir los °Brix de la muestra tomada.



**Figura 2.18 Alimentación de agua en cangilones**



**Figura 2.19 Alimentación de remolacha en cangilones**



**Figura 2.20 Jugo extraído de remolacha**

En la figura 2.18 y 2.19 se puede observar la alimentación del equipo tanto de agua como de la remolacha, además, en la figura 2.20 se obtiene el jugo extraído al finalizar esta etapa del proceso.

### 2.2.1.8.1. Cálculos para determinar la eficiencia del extractor S-L

Se empleó el método Mc. Cabe-Thiele para determinar el número de etapas teóricas del proceso y el porcentaje de extracción. En la figura 2.21 Muestra el diagrama de bloques que nos basamos para realizar los cálculos.

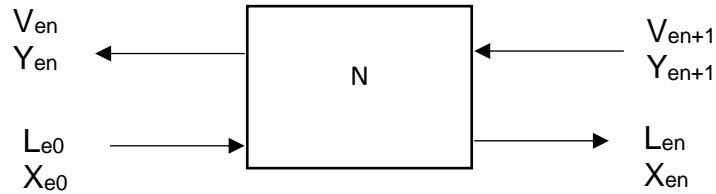


Figura 2.21 Diagrama del proceso de extracción Sólido Líquido

Estos cálculos se lo realizaron con un balance general y un balance de azúcar para posterior a este graficar en el eje de la Y la concentración en el extracto y en eje de las X la concentración en el refinado. Obteniendo así la recta de operación y graficando el número de etapas teóricas.

Balance general

$$L_{e0} + V_{en+1} = L_{en} + V_{e1} \quad (2.14)$$

Balance de azúcar

$$L_{e0} * X_{e0} + V_{en+1}Y_{en+1} = L_{en}X_{en} + V_{e1}Y_{e1} \quad (2.15)$$

$$X_{en} = \frac{L_{e0} * X_{e0} - V_{e1}Y_{e1}}{L_{en}} \quad (2.16)$$

Donde:

$L_{e0}$ : flujo de alimentación en el equipo.

$X_{e0}$ : concentración de alimentación en el equipo.

$V_{en+1}$ : flujo de disolvente en el equipo.

$Y_{en+1}$ : concentración del disolvente en el equipo.

$V_{en}$ : flujo del extracto en el equipo.

$Y_{en}$ : concentración de la salida de cada etapa en el equipo.

$L_{en}$ : flujo del refinado en el equipo.

$X_{en}$ : concentración del refinado en el equipo.

$n$ : número de etapa correspondiente en el equipo.

Para la recta de operación el primer punto se lo sacó graficando  $X_{e0}$  y  $Y_{e1}$  y el segundo punto  $X_{e1}$  y  $Y_{en+1}$ . Se calculó el porcentaje de extracción como en la sección 2.2.1.1.1.

$$\%Ext = \frac{L_{e0} * X_{e0} - L_{en} X_{en}}{L_{e0} * X_{e0}} \quad (2.17)$$

### 2.2.3.2. Evaporador

Se preparó una solución azucarada de 2 °Brix y se la alimentó al evaporador, como se aprecia en la figura 2.22. Durante la etapa de evaporación se realizaron 19 alimentaciones de 20 L cada una y se llevó a cabo el encendido y operación del equipo de acuerdo con el procedimiento especificado en el Anexo C-2. Cada 5 min fueron tomadas muestras, como se observa en la figura 2.23, para medir los °Brix de las mismas. La presión de vapor de trabajo fue de 20 psi y el flujo de agua de refrigeración de 1.5 m<sup>3</sup>/h durante toda la etapa.



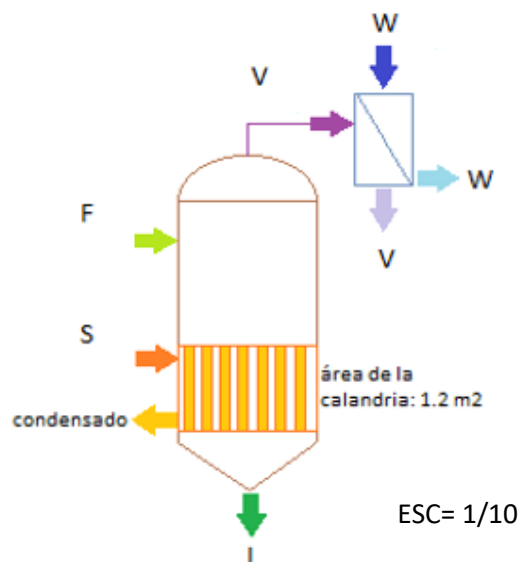
Figura 2.22 Alimentación de solución azucarada al evaporador



**Figura 2.23 Lectura de °Brix de muestras**

### 2.2.3.2.1. Cálculos para la eficiencia del evaporador

Se realizó por medio de un balance de materia y energía el cálculo de la eficiencia del evaporador. En la figura 2.24 se observa el diagrama a seguir para realizar dicho balance.



**Figura 2.24 Diagrama del Evaporador.**

Se tomaron los datos correspondientes en el evaporador con los que se realizó el balance global de materia y balance de azúcar:

### Balance global de materia

$$F = V + L \quad (2.18)$$

Donde:

F: alimentación del evaporador.

V: masa de vapor que sale del evaporador.

L: masa del producto obtenido.

### Balance de azúcar

$$F x_f = L x_l \quad (2.19)$$

Siendo:

X<sub>f</sub>: concentración de sacarosa en la alimentación.

X<sub>l</sub>: concentración de sacarosa del producto.

Debido a que las propiedades coligativas de las soluciones varían de acuerdo con la concentración, se calculó la elevación del punto de ebullición, en relación con la concentración de sacarosa del producto, expresada en molalidad, siguiendo las ecuaciones:

$$m = \frac{\text{mol soluto}}{\text{Kg solvente}} \quad (2.20)$$

$$EPE = \frac{R_g \times W_a \times T_{ao}^2 \times m}{L_v \times 1000} \quad (2.21)$$

Donde:

m: molalidad del producto obtenido.

R<sub>g</sub>: constante (8,314 J/mol\*K).

W<sub>a</sub>: peso molecular de agua.

T<sub>ao</sub>: punto de ebullición del agua pura.

L<sub>v</sub>: calor latente de evaporación (4,0626\*10<sup>4</sup>J/mol) a la temperatura de ebullición.

### Temperatura de ebullición real

$$T_{eb\ real} = 100 + EPE \quad (2.22)$$

Se calculó la cantidad de vapor de 20 psia, necesario para concentrar el jugo azucarado, esto se lo realizó por medio de un balance de energía siguiendo la ecuación:

### Balance global de energía

$$Fh_F + S\lambda = Lh_L + VH_V \quad (2.23)$$

Siendo:

$h_f$ : entalpía de la alimentación

$h_l$ : entalpía del producto.

$h_v$ : entalpía del vapor.

$\lambda$ : calor latente de vaporización a la temperatura del steam.

Por medio de las tablas de vapor se obtuvieron los datos de entalpía y calor latente de los fluidos del evaporador. Como se observa en la tabla 2.7 los datos ya determinados de la tabla de vapor.

**Tabla 2.7 Datos de energía.**

Datos prácticos		Datos de tabla de vapor	
$T_{v2}$	103,54 °C	$H_v$	2681,12 kJ/kg
$T_{w2}$	50 °C	$H_{w2}$	209,33 kJ/kg
$T_{w1}$	27 °C	$H_{w1}$	113,2 kJ/kg
$T_{v1}$	100 °C	$\lambda_s$	2256,47 kJ/kg
$P_v$	20 psia	$\Lambda$	2232,84 kJ/kg

Fuente: Cengel & Boles, 2013

Se calculó  $h_f$  y  $h_l$  por medio de su calor específico para azucares siguiendo la ecuación:



$$cp = 4,19 - 2,33x \quad (2.24)$$

$$h_l = Cp \times t_n \quad (2.25)$$

Siendo:

X: fracción másica del azúcar.

Cp: calor específico.

T<sub>n</sub>: temperatura del fluido.

n: es tanto la alimentación como el producto obtenido.

### **Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor**

Se determinó el calor que cede el vapor que pasa por la calandria y el coeficiente de transferencia de calor, de manera experimental y teórica, con las siguientes ecuaciones:

$$Q = S * \lambda \quad (2.26)$$

$$\Delta tm = Ts - Teb \quad (2.27)$$

$$U = \frac{Q}{A * \Delta T_m} \quad (2.28)$$

Donde:

Q: calor.

S: vapor de la calandria.

Δtm: diferencia entre la temperatura de ebullición y la de vapor.

T<sub>s</sub>: temperatura en la que se encuentra el vapor.

T<sub>eb</sub>: temperatura a la cual ebulle el producto.

U: coeficiente de transferencia de calor.

Por medio del balance de energía en la parte superior del evaporador se calculó el agua de enfriamiento utilizada.

### Cálculo de W teórico

$$W(H_{w2} - H_{w1}) = V\lambda_v \quad (2.29)$$

Donde:

W: masa de agua de enfriamiento.

$H_{w1}$ : entalpía del agua a la temperatura inicial.

$H_{w2}$ : entalpía del agua a la salida del intercambiador.

$\lambda_v$ : Calor latente de evaporación del vapor que sale del evaporador.

Se calculó el porcentaje de error para los datos de L, V, S, U. utilizando la siguiente ecuación:

$$\%error = \frac{Valor\ te\acute{o}rico - Valor\ experimental}{Valor\ te\acute{o}rico} * 100 \quad (2.30)$$

Se calculó la economía del vapor y el calor de la solución para así determinar la eficiencia del proceso por las siguientes ecuaciones:

$$Economía\ de\ vapor = \frac{masa\ de\ vapor\ de\ salida\ (v)}{masa\ de\ vapor\ de\ saturado(s)} * 100 \quad (2.31)$$

$$Q_{sol} = m_f C_{pf} * (T - T_f) + m_v * \lambda_v \quad (2.32)$$

$$Eficiencia = \frac{Q_{sol}}{Q} * 100 \quad (2.33)$$

#### 2.2.3.3. Cristalizador

Una muestra de 8 kg de meladura a 75 °Brix, que fue extraída del evaporador, se alimentó al cristalizador, en la figura 2.24 se puede apreciar el equipo empleado. Se siguieron los pasos de funcionamiento del equipo descrito en el Anexo C-3, y se puso la cantidad de cristales madres necesario para sobresaturar la solución siguiendo la ecuación 2.34:

$$Brix = \frac{\text{masa de sacarosa}}{\text{masa de solución}} * 100 \quad (2.34)$$

Se realizaron las pruebas descritas en la sección 2.2.1.5, cada 10 minutos. Hasta que la temperatura de la solución llegue a 30 °C.



Figura 2.25 Cristalizador

### 2.2.3.3.1. Cálculos para la eficiencia del cristalizador

Es necesario calcular la masa de cristales de azúcar teóricos a obtener, para poder determinar la eficiencia del proceso. Para realizar los balances de materia se tomó en cuenta la figura 2.26.

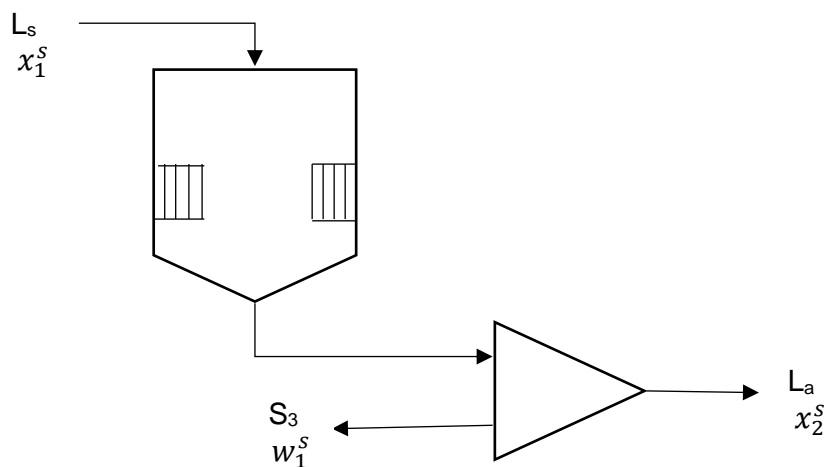
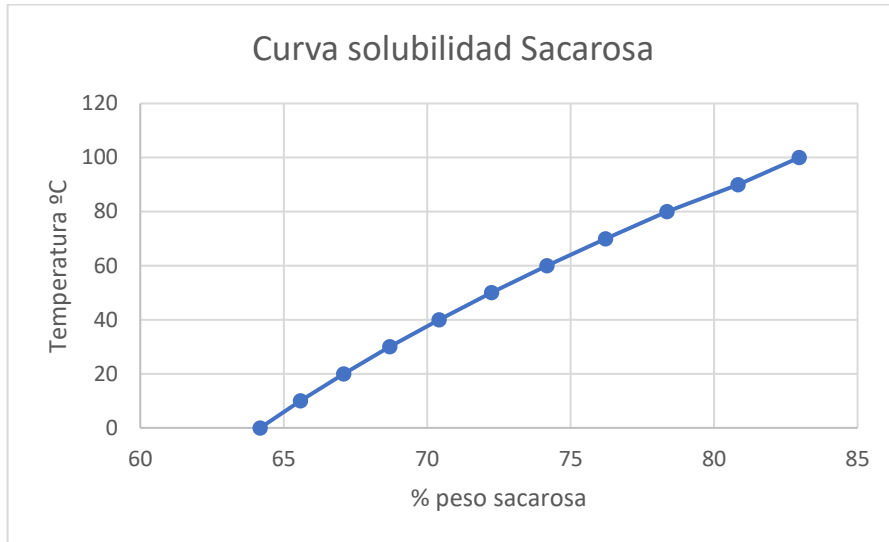


Figura 2.26 Diagrama del Cristalizador

Se tomó en cuenta la curva de solubilidad de la sacarosa para determinar la cantidad de cristales madres a colocar y las concentraciones de azúcar que presentan las corrientes.



**Gráfico 2.1 Curva de solubilidad de la sacarosa**

*Fuente: Mohos, 2010*

**Tabla 2.8 Solubilidad de la sacarosa con respecto a la temperatura**

T(°C)	(m/m%)	Solubilidad (g sacarosa/100 g de agua)
0	64,18	179,173
10	65,58	190,528
20	67,09	203,859
30	68,7	219,488
40	70,42	238,066
50	72,25	260,36
60	74,18	287,296
70	76,22	320,521
80	78,36	362,107
90	80,84	421,92
100	82,97	487,199

*Fuente: Mohos, 2010*

### Balance de materia

$$L_S = S_3 + L_a \quad (2.35)$$

$$L_S x_1^S = S_3 w_1^S + L_a x_2^S \quad (2.36)$$

Siendo:

$L_s$ : Masa que entra al cristizador.

$x_1^s$ : Concentración de sacarosa en la alimentación.

$S_3$ : Masa de cristales de azúcar.

$w_1^s$ : Pureza del azúcar.

$L_a$ : Licor madre desgastado

$x_2^s$ : Concentración del licor madre desgastado

En la tabla 2.8 o en la gráfica 2.1 se busca la concentración inicial sacarosa a 70°C, Concentración final sacarosa a 20°C, luego se calculó la cantidad de cristales teóricos.

Se obtiene la cantidad de cristales reales dejando el contenido que sale del cristizador en reposo, con el motivo de que se separen los cristales de la melaza. Obteniendo los siguientes datos:

- Licor madre desgastado.
- Cristales húmedos.

Se filtraron los cristales húmedos con una bomba al vacío y posterior a esto, se homogenizó los cristales húmedos.

Para determinar el porcentaje de humedad, se lo realizará por medio de NTE INEN 265:2012, consiste en seleccionar una caja Petri, lavarla y secarla en el la estufa por media hora, luego colocar muestras de 10 g de muestra en cada caja Petri y secarlas a la temperatura de 105 °C por 3 horas.

De esta masa de cristal húmedo se tomaron 6 muestras de 10 g cada una secar.

Para la determinación del porcentaje de humedad se realizará por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (2.37)$$

Siendo:

$m_1$ : masa de la caja Petri.

$m_2$ : masa de la caja Petri más masa de azúcar antes del secado.

$m_3$ : masa de la caja Petri más masa de azúcar después del secado.

Con el promedio del agua removida y el promedio del material seco se calcula el %H<sub>2</sub>O que tiene la muestra total y luego se calcula la cantidad de cristal seco contenido en la muestra total.

$$\%H_2O = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100 \quad (2.38)$$

$$\%cristal\ seco = 100 - \%H_2O \quad (2.39)$$

$$\%cristal\ seco = \frac{m_s}{m_t} * 100 \quad (2.40)$$

Siendo:

$m_s$ : masa seca.

$m_t$ : masa de cristales.

%H<sub>2</sub>O: porcentaje en masa de agua.

Se calcula el porcentaje de cristales contenido en la masa que sale del cristalizador.

$$\%cristal\ seco\ salida\ del\ cristalizador = \frac{m_s}{m_{tc}} * 100 \quad (2.41)$$

Siendo:

$m_s$ : masa seca.

$m_{tc}$ : masa total que sale del cristalizador.

Como se describió en la sección 2.2.3.3 se colocó una cantidad de cristal semilla, por lo cual se procede a calcular los cristales reales.

$$Cristal\ real = Cristal\ seco - semilla \quad (2.42)$$

Posteriormente, se calculó la eficiencia con la siguiente ecuación:

$$\%Eficiencia = \frac{Cristal\ real}{Cristal\ teórico} \cdot 100 \quad (2.43)$$

#### **2.2.3.4. Cálculo de las eficiencias de producción de cada equipo**

Se lo realizo entre una relación de la eficiencia real sobre la nominal de cada equipo, la eficiencia real es la que se calculó anteriormente, mientras que la eficiencia nominal es la que se presento en cada diseño del equipo.

La eficiencia nominal del Extractor Sólido-Líquido es del 95% (Dpto. Operaciones Unitaria en Ing. Química e Ing. Alimentos, n.d.), la eficiencia nominal del Evaporador es del 83% tomado como economía de vapor (Flores & Balseca, 2015), la eficiencia nominal del Cristalizador es del 91%. (Morocho & Zambrano, 2016)

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{eficiencia\ real}{eficiencia\ nominal} \cdot 100$$

### **2.3 Manuales de operación**

Se enumeraron todas las válvulas, bombas y termómetros presentes en los equipos. Se realizó los P&ID, se desarrolló el procedimiento para la puesta en marcha de los equipos. Se identificaron los riesgos y las medidas de seguridad que se deben tomar. Y se realizó un PFD del proceso en general.

# **CAPÍTULO 3**

## **RESULTADOS**



# Capítulo 3

## 3 Resultados

### 3.1 Check list de normas para los equipos

Se evaluó el cumplimiento de las normativas de seguridad y calidad de cada equipo. Teniendo como resultado descrito en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.

**Tabla 3.1 Cumplimiento general de acuerdo a la OHSAS 18001:2007, Decreto 2393 y ARCSA 067-2015 aplicadas en cada equipo**

Etiquetas de fila	Cumplimiento de normativa	Incumplimiento de normativa	Porcentaje de cumplimiento
Cristalizador	24	23	51,06%
Evaporador	44	7	86,27%
Extractor S-L	41	25	62,12%
Total	109	55	66,46%

**Tabla 3.2 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con el Decreto 2393**

Etiquetas de fila	Cumplimiento de normativa	Incumplimiento de normativa	Porcentaje de cumplimiento
Cristalizador	13	8	61,90%
Evaporador	20	4	83,33%
Extractor S-L	28	11	71,79%
Total	61	23	72,62%

**Tabla 3.3 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con OHSAS 18001:2007**

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cumplimiento de normativa</b>	<b>Incumplimiento de normativa</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
<b>Cristalizador</b>	5	8	38,46%
<b>Evaporador</b>	13		100,00%
<b>Extractor S-L</b>	5	8	38,46%
<b>Total</b>	23	16	58,97%

**Tabla 3.4 Cumplimiento de los equipos de acuerdo con ARCSA 067-2015**

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cumplimiento de normativa</b>	<b>Incumplimiento de normativa</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
<b>Cristalizador</b>	6	7	46,15%
<b>Evaporador</b>	11	3	78,57%
<b>Extractor S-L</b>	8	6	57,14%
<b>Total</b>	25	16	60,98%

### **3.2 Matriz de riesgos**

En la tabla 3.5 muestra la matriz de riesgo evaluados en cuatro niveles distintos: riesgo bajo, moderado, importante y crítico.

**Tabla 3.5 Matriz de riesgos**

EQUIPO	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS			EVALUACIÓN DE RIESGOS			
	ACTO	FUENTE/SITUACIÓN	POTENCIAL INCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVAL. RIESGO	NIVEL RIESGO
Extractor Sólido-Líquido	Mal manejo de materiales, equipos e insumos	Inexistencia de manuales de operación	Fallo en equipo y riesgo para el operador	9	6	54	<b>Riesgo Importante</b>
	Equipos con mantenimiento correctivo	Inexistencia de plan de mantenimiento	Fallo en equipo y riesgo para el operador	5	6	30	<b>Riesgo Moderado</b>
	No usar guantes para altas temperaturas	Superficies calientes	Quemaduras	3	6	18	<b>Riesgo Bajo</b>
	Contacto con animales o insectos	Ag. Biológicos (Virus, Bacterias, hongos, etc.)	Contaminación cruzada	5	4	20	<b>Riesgo Bajo</b>
	Incorrecto levantamiento de carga	Manejo manual de cargas	Exposición a manejo manual de carga - Agente Ergonómico	3	4	12	<b>Riesgo Bajo</b>
	Uso incorrecto de escaleras	Trabajo en altura (igual o superior a 1,8	Caída a diferente nivel	3	6	18	<b>Riesgo Bajo</b>

EQUIPO	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS			EVALUACIÓN DE RIESGOS			
	ACTO	FUENTE/SITUACIÓN	POTENCIAL INCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVAL. RIESGO	NIVEL RIESGO
		metros)					
	Entrenamiento inicial inadecuado	Operación de equipos o herramientas con partes en movimiento	Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento	3	6	18	Riesgo Bajo
	Falta de atención	Paso obstruido por objetos	Caída al mismo nivel	3	4	12	Riesgo Bajo
Evaporador	No usar guantes para altas temperaturas	Superficies calientes	Contacto con vapor o superficie caliente (Quemaduras)	3	6	18	Riesgo Bajo
	Contacto con animales o insectos	Ag. Biológicos (Virus, Bacterias, hongos, etc.)	Contaminación cruzada	3	4	12	Riesgo Bajo
	Incorrecto levantamiento de carga	Manejo manual de cargas	Exposición a manejo manual de carga - Agente Ergonómico	5	6	30	Riesgo Moderado

EQUIPO	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS			EVALUACIÓN DE RIESGOS			
	ACTO	FUENTE/SITUACIÓN	POTENCIAL INCIDENTE	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EVAL. RIESGO	NIVEL RIESGO
Cristalizador	No usar guantes para altas temperaturas	Superficies calientes	Contacto con superficie caliente (Quemaduras)	9	6	54	Riesgo Importante
	Incorrecto levantamiento de carga para la alimentación	Manejo manual de cargas y levantamiento de carga caliente a una altura mayor de 1 m	Exposición a manejo manual de carga - Agente Ergonómico	9	6	54	Riesgo Importante
	Falta de atención	Paso obstruido por objetos	Caída al mismo nivel	5	6	30	Riesgo Moderado
	Mal manejo de equipo	Conductores eléctricos sin protección o falta de aislación	Contacto con electricidad	3	6	18	Riesgo Bajo

### 3.3 Matriz de cambios

La tabla 3.6 muestra la matriz de cambios propuestos para los equipos de acuerdo a los riesgos evaluados previamente y al incumplimiento de la normativa seleccionada. En donde: Impacto, fue relaciona al grado de daño que produce el fallo identificado, siendo 1 el valor de mayor impacto y 5 el valor de menor impacto; Urgencia, se relacionó con el tiempo en el que puede retardarse la implementación de dicho cambio, 1 representa una urgencia mayor y 5 una urgencia menor. Finalmente, la prioridad indica la preferencia de dicho cambio, 1 indica una prioridad mayor y 5 una prioridad menor.

**Tabla 3.6 Matriz de cambios a realizar en los equipos**

Equipos	Propuestas de mejora	Justificación	Impacto	Urgencia	Prioridad
<b>EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO</b>	Elaborar un manual de operación.	Inexistencia de un manual de operación. No se puede realizar una correcta capacitación al estudiante sobre la operación del equipo y se lo expone a potenciales riesgos y al mal funcionamiento del equipo.	1	1	1
	Implementar tolva dosificadora por gravedad.	Existe una pérdida considerable de materia prima en la alimentación del equipo.	3	2	2
	Colocar un medidor de flujo a la salida del tanque de alimentación de agua.	No se puede cuantificar la cantidad de agua que sale del tanque de agua a los cangilones.	1	2	2

<b>Equipos</b>	<b>Propuestas de mejora</b>	<b>Justificación</b>	<b>Impacto</b>	<b>Urgencia</b>	<b>Prioridad</b>
	Colocar un control de nivel en el tanque de alimentación de agua.	Evitar que se quemé la resistencia, esta debe apagarse cuando el nivel del líquido sea bajo.	1	2	2
	Colocar aspersores a la salida del tanque de agua.	No existe una adecuada superficie de contacto entre el solvente y el sólido.	2	2	2
	Instalar potenciómetro en la banda giratoria.	No se puede regular la velocidad de la banda giratoria.	4	3	4
	Colocar un filtro de tubería en el fondo del reservorio.	Evitar que el sólido utilizado ingrese a la tubería.	1	1	1
	Desbastar el fondo perforado de los cangilones.	Contaminación de muestra con metales y oxidación del mismo	1	1	2
	Retirar pintura interna del reservorio de agua.	Incumplimiento de normativa de inocuidad alimentaria por contaminación del agua empleada en el proceso por pintura que recubre el reservorio.	1	2	2
	Cambio de cangilones.	Giro incorrecto de cangilones, soldadura en el interior y alineación	2	3	4
	Estructura en forma cónica en el reservorio 1	Aumentar la altura del líquido para recirculación	3	3	3
	Colocar rodapiés en la plataforma	Cumplimiento decreto 2393	5	5	5

<b>Equipos</b>	<b>Propuestas de mejora</b>	<b>Justificación</b>	<b>Impacto</b>	<b>Urgencia</b>	<b>Prioridad</b>
	Cambio de escalera, a una de peldaños.	No posee la profundidad de la huella en los escalones adecuada, el mismo tiene una profundidad de 40 mm, lo cual dificulta la utilización de la misma y genera un alto riesgo de caídas.	1	1	1
	Recubrir los barandales de las escaleras con material antideslizante	La superficie en contacto con agua se torna resbaladiza, generando un riesgo alto de caídas a distinto nivel.			
	Grasa de grado alimenticio en cadenas	Incumplimiento de normativa de inocuidad alimentaria	3	2	3
	Corregir el plan de mantenimiento del equipo	Aumentar la vida útil del equipo, incremento de la eficiencia del mismo y para evitar pérdidas e incidentes durante la operación del mismo	2	2	2
	Definir de forma correcta la señalización de la zona de seguridad del equipo.	El equipo no cuenta con la separación adecuada entre maquinarias, se encuentra en la mitad de dos señalizaciones de zonas de seguridad de las máquinas adyacentes. Dificulta la operación del mismo, aumentando el potencial de los riesgos existentes.	4	4	4
<b>EVAPORADOR</b>	Crear un plan de mantenimiento del equipo	Actualmente se realizar mantenimiento correctivo.	2	1	2



<b>Equipos</b>	<b>Propuestas de mejora</b>	<b>Justificación</b>	<b>Impacto</b>	<b>Urgencia</b>	<b>Prioridad</b>
	Instalar un botón de Parada de emergencia	Incumplimiento del decreto 2393	3	3	3
	Colocar un controlador de nivel con una válvula eléctrica en el vapor.	Con la finalidad de aumentar más la eficiencia del equipo, la válvula controlará el flujo de vapor que ingrese a la calandria dependiendo del volumen de la solución en el interior del equipo	3	2	3
<b>CRISTALIZADOR</b>	Corregir un manual de operación	No existe instructivo completo que indique peligros y riesgos asociados, medidas de mitigación de dichos riesgos, funcionamiento, parada y limpieza del equipo.	1	1	1
	Instalar un potenciómetro en el agitador.	La velocidad de agitación es un factor crítico en la formación de cristales, por lo que es necesario regularla. La velocidad de agitación a la que opera actualmente el equipo genera salpicaduras si este no tiene el volumen al máximo de su capacidad.	2	2	2
	Limpieza en el interior del equipo	El material del interior del equipo se encuentra corroído, por lo que produce contaminación al producto obtenido. Incumple la normativa de inocuidad alimentaria.	1	1	1

<b>Equipos</b>	<b>Propuestas de mejora</b>	<b>Justificación</b>	<b>Impacto</b>	<b>Urgencia</b>	<b>Prioridad</b>
	Instalación de un tanque de alimentación con su respectiva bomba para el ingreso de la materia prima	Debido al diseño del equipo, la alimentación de la solución caliente (70°C) se debe realizar a través de una escalera, la cual aumenta la probabilidad de que ocurra un incidente.	1	2	2
	Cubrir el interior del cristizador con láminas de acero inoxidable	Incumplimiento de la normativa de inocuidad. Aumentaría la eficiencia del proceso ya que la contaminación de la muestra influye directamente en la formación de cristales.	1	2	2
	Definir de forma correcta la señalización de la zona de seguridad del equipo y reubicar el equipo	El equipo no cuenta con la separación adecuada entre maquinarias, se encuentra en la mitad de dos señalizaciones de zonas de seguridad de las máquinas adyacentes. Dificulta e incómoda la operación del mismo, aumentando el potencial de los riesgos existentes.	1	1	1
	Realizar plan de mantenimiento del equipo	El material del interior del equipo no es apto para este tipo de operación, es más propenso a que ocurra la corrosión del mismo. Incumple la normativa de inocuidad alimentaria.	2	1	2

Equipos	Propuestas de mejora	Justificación	Impacto	Urgencia	Prioridad
	Colocar señalizaciones que indiquen los potenciales riesgos	No se han evaluado correctamente los riesgos generados por la operación del mismo.	1	1	1

### 3.4 Pruebas de laboratorio

La tabla 3.7 muestra los resultados de las pruebas realizadas a la remolacha en el Laboratorio PROTAL ESPOL.

**Tabla 3.7 Composición de la remolacha**

Ensayo realizado	Unidad	Resultado
Humedad	%	87.45
Sólidos solubles	%	12.78
Azúcares totales por inversión		10.14

Se puede observar en la tabla 3.8 los resultados de las pruebas realizadas de extracción a escala laboratorio en relación 1:1 y en la tabla 3.9 los resultados de la extracción efectuada en relación 2:1, especificando peso y concentración de azúcar en el sólido previo a la extracción y luego de la extracción en cada etapa realizada, también se detalla el porcentaje de extracción de las 4 etapas.

**Tabla 3.8 Extracción sólido líquido en laboratorio relación 1:1**

Etapa 1			
Extraído = 49,15%			
Entrada		Salida	
Lo	400 g	L1	357,11 g
Xo	6,76%	X1	3,85%
Etapa 2			
Extraído = 52,9%			
Entrada		Salida	
L1	357,11 g	L2	340,8 g
X1	3,85%	X2	1,96%
Etapa 3			
Extraído = 65,35%			
Entrada		Salida	
L2	340,8 g	L3	320,43 g
X2	1,96%	X3	0,7%
Etapa 4			
Extraído = 91,4%			

Entrada		Salida	
L3	320,43 g	L4	310,2 gr
X3	0,7%	X4	0,062%
Extracción final: 99,29%			
$Y_{fteo} = 0.016$	$Y_{frac} = 0.02$	%error= 25%	

**Tabla 3.9 Extracción sólido líquido en laboratorio relación 2:1**

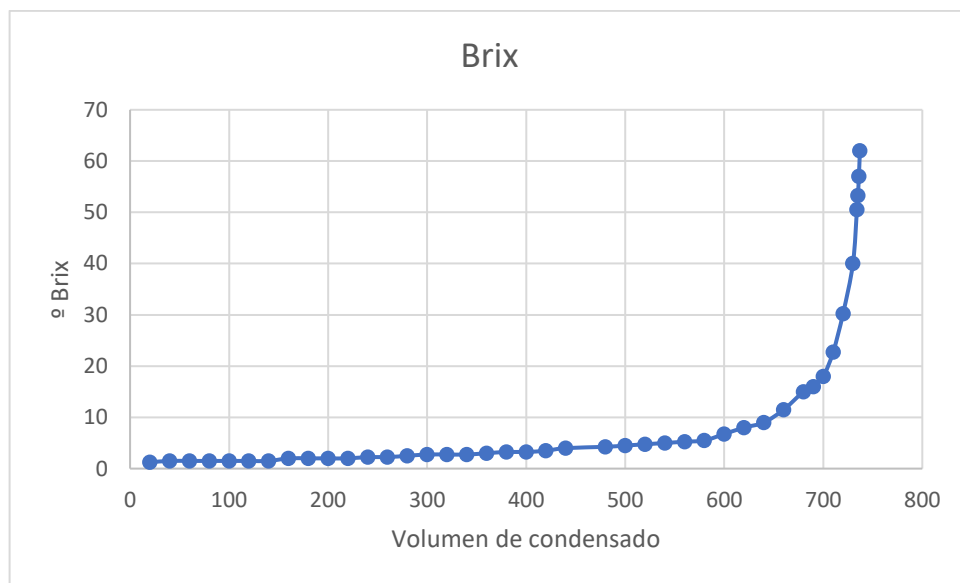
Etapa 1			
Extraído = 48,18%			
Entrada		Salida	
Lo	400,01 g	L1	358,14 g
Xo	6,76%	X1	4,024%
Etapa 2			
Extraído = 61,71%			
Entrada		Salida	
L1	358,14 g	L2	346,1 g
X1	4,024%	X2	1,818%
Etapa 3			
Extraído = 63,92%			
Entrada		Salida	
L2	346,1 g	L3	343,91 g
X2	1,818%	X3	0,66%
Etapa 4			
Extraído = 89,04%			
Entrada		Salida	
L3	343,91 g	L4	336,19 g
X3	0,66%	X4	0,074%
Extracción final: 99,07%			
$Y_{fteo} = 0.0082$	$Y_{frac} = 0.0075$	%error= 8,53%	

Los resultados de la prueba de evaporación realizada a escala de laboratorio, relacionando los Brix y el volumen de agua en función del tiempo, se muestran en la tabla 3.10 y la relación de forma gráfica de se indica en el gráfico 3.1.

**Tabla 3.10 Destilación de 1 L de jugo clarificado en laboratorio**

<b>Volumen de destilado (ml)</b>	<b>Brix</b>	<b>tiempo</b>
20	1,25	34:17:00
40	1,5	39:38:00
60	1,5	45:15:00
80	1,5	52:16:00
100	1,5	57:18:00
120	1,5	1:03:45
140	1,5	1:09:15
160	2	1:15:23
180	2	1:21:00
200	2	1:26:19
220	2	1:32:54
240	2,25	1:38:44
260	2,25	1:43:39
280	2,5	1:49:45
300	2,75	1:55:45
320	2,75	2:01:15
340	2,75	2:08:02
360	3	2:14:03
380	3,25	2:20:09
400	3,25	2:25:24
420	3,5	2:30:52
440	4	2:36:18
480	4,25	2:41:43
500	4,5	2:47:35
520	4,75	2:53:03
540	5	2:57:58
560	5,25	3:04:27
580	5,5	3:09:34
600	6,75	3:14:45
620	8	3:20:47
640	9	3:26:24
660	11,5	3:32:34
680	15	3:39:02

Volumen de destilado (ml)	Brix	tiempo
690	16	3:41:24
700	18	3:44:42
710	22,75	3:47:42
720	30,25	3:50:42
730	40	3:53:41
734	50,5	3:57:52
735	53,25	4:01:45
736	57	4:02:40
737	62	



**Gráfico 3.1. Línea de tendencia de los grados Brix en relación con el volumen condensado**

La tabla 3.11 muestra los resultados de las pruebas de fosfato realizadas a las muestras clarificadas con variaciones en la cantidad de cal empleada durante dicho proceso y el análisis de un estándar para comprobar la eficiencia de la prueba de la medición empleada. En la tabla 3.12 se detallan los resultados de las pruebas de calidad realizadas a las muestras sin filtrar con diferentes cantidades de cal

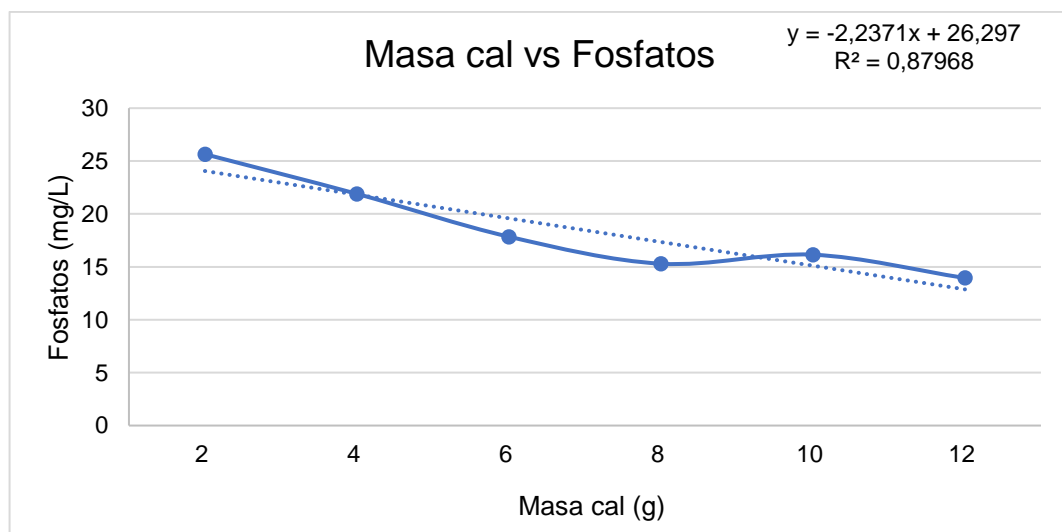
agregada a las mismas. Mientras que la relación entre los parámetros cantidad de cal y fosfatos se muestran en el gráfico 3.2 y la absorbancia (color y turbidez) con la cantidad de cal, se observa en el gráfico 3.3.

**Tabla 3.11 Pruebas de fosfatos realizadas al jugo Clarificado**

	Fosfatos (mg/L)		promedio
<b>2</b>	25,3	26	25.65
<b>4</b>	22,2	21,6	21.9
<b>6</b>	17,7	18	17.85
<b>8</b>	15	15.6	15.3
<b>10</b>	16,5	15,8	16.15
<b>12</b>	14,1	13,8	13.95
<b>e</b>	10.4	10.4	10.4

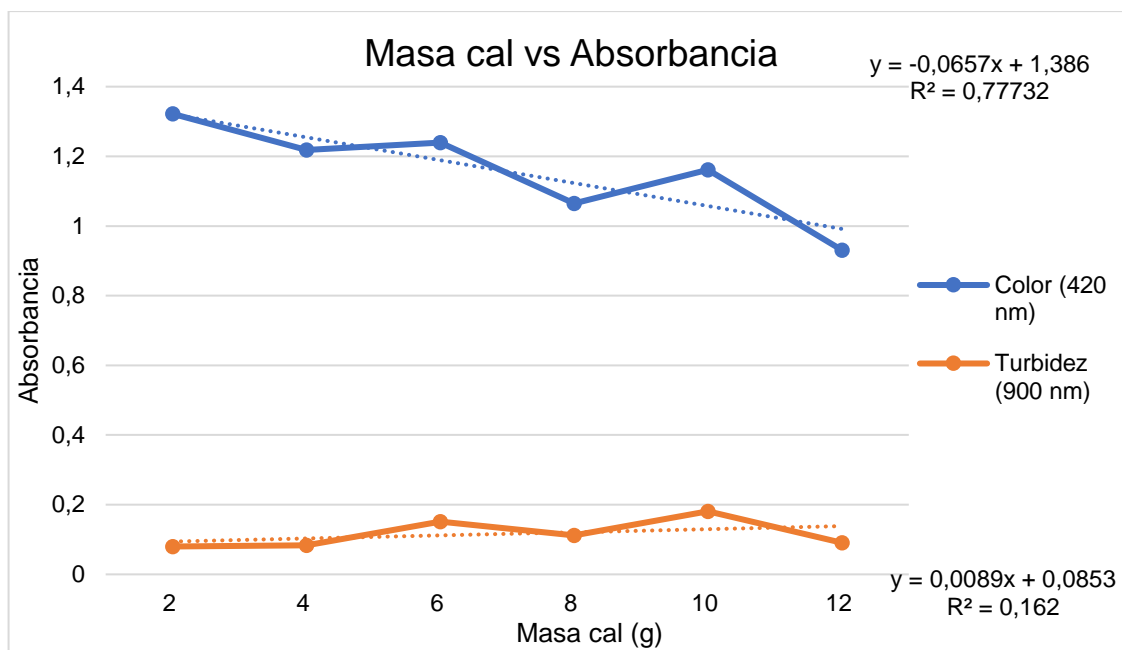
**Tabla 3.12 Pruebas de calidad para determinación de masa de cal en 200 ml de jugo**

Masa cal (g)	Absorbancia sin filtrar		Fosfatos (mg/L)
	420 nm(color)	900 nm(turbidez)	
2	1,322	0,08	25,65
4	1,218	0,083	21,9
6	1,239	0,151	17,85
8	1,065	0,112	15,3
10	1,161	0,181	16,15
12	0,931	0,091	13,95



**Gráfico 3.2. Masa de Cal vs Fosfato**



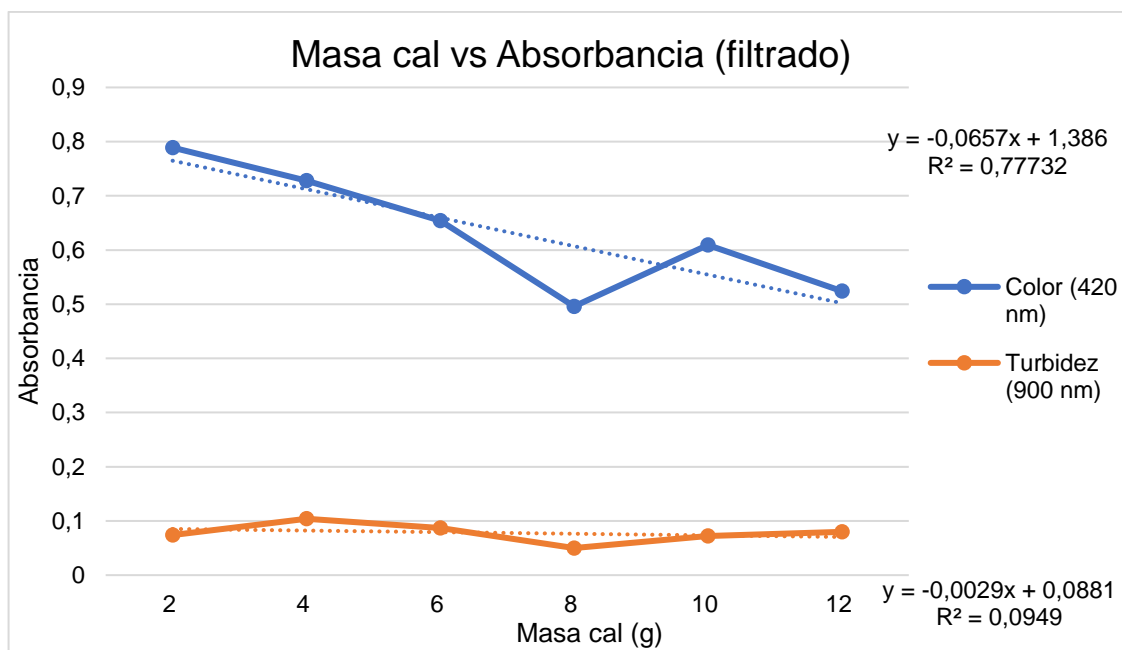


**Gráfico 3.3. Masa de Cal vs Absorbancia sin filtrado**

La tabla 3.13 muestra los resultados de las pruebas de calidad realizadas a las muestras filtradas con variaciones en la cantidad de cal agregada a las mismas. Mientras que la relación entre los parámetros cantidad de cal y la absorbancia (color y turbidez), se observa en el gráfico 3.4.

**Tabla 3.13 Pruebas de calidad con muestras filtradas**

Cal (g)	Absorbancia de 420 celda de 10	Absorbancia de 900 celda de 10
2	0,789	0,074
4	0,728	0,104
6	0,654	0,087
8	0,496	0,05
10	0,609	0,072
12	0,524	0,08



**Gráfico 3.4. Masa de Cal vs Absorbancia con muestras filtradas**

En la Tabla 3.14 y Tabla 3.15 se muestran los resultados anteriores de color y turbidez expresados en las unidades establecidas por ICUMSA, en conjunto con el porcentaje de remoción de color de la muestra obtenida de la extracción.

**Tabla 3.14 Color de las muestras clarificadas expresadas en unidades IU**

Cal (g)	SIN FILTRAR Absorbancia de 420 celda de 10	FILTRADA Absorbancia de 420 celda de 10	Brix	g/mL	SF Color (IU)	F Color (IU)	% Remoción SF	% Remoción F
2	1,322	0,789	1,25	0,012695	8330,8	4972,0	54,94	73,11
4	1,218	0,728	1,25	0,012695	7675,5	4587,6	58,49	75,19
6	1,239	0,654	1,25	0,012695	7807,8	4121,3	57,77	77,71
8	1,065	0,496	1,5	0,015170	4680,3	2179,7	74,69	88,21
10	1,161	0,609	1,5	0,015170	5102,2	2676,3	72,40	85,52
12	0,931	0,524	1,5	0,015170	4091,4	2302,8	77,87	87,55

**Tabla 3.15 Turbidez de las muestras clarificadas expresadas en las unidades UT**

<b>Cal (g)</b>	<b>SIN FILTRAR Absorbancia de 900 celda de 10</b>	<b>FILTRADA Absorbancia de 900 celda de 10</b>	<b>Brix</b>	<b>g/mL</b>	<b>Turbidez (UT) SF</b>	<b>Turbidez (UT) F</b>
2	0,08	0,074	1,25	0,012695	50,4	46,6
4	0,083	0,104	1,25	0,012695	52,3	65,5
6	0,151	0,087	1,25	0,012695	95,2	54,8
8	0,112	0,05	1,5	0,015170	49,2	22,0
10	0,181	0,072	1,5	0,015170	79,5	31,6
12	0,091	0,08	1,5	0,015170	40,0	35,2

Se presentan los resultados de las pruebas de color y turbiedad con diferentes cantidades de Peróxido de Hidrógeno al 50% en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16 Prueba de calidad para determinar la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 200 ml de jugo**

<b>FILTRADAS</b>		
	<b>Color</b>	<b>Turbiedad</b>
<b>Muestras</b>	<b>Absorbancia de 420 celda de 10</b>	<b>Absorbancia de 900 celda de 10</b>
<b>Blanco (agua destilada)</b>	0	0
<b>Inicial</b>	4,392	0,076
<b>100 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30 min</b>	0,426	0,001
<b>100 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> +sulfato Al</b>	0,527	0,039
<b>100 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + sulfato Al</b>	0,523	0,039
<b>6 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 2 Horas</b>	0,873	0,014
<b>20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1 Hora</b>	0,623	0,119
<b>20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 1.5 Horas</b>	0,604	0,062
<b>6 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 8 g Cal</b>	0,486	0,046
<b>20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 8 g Cal</b>	0,365	0,007

Los gráficos 3.5 y gráfico 3.6 muestran los resultados de las pruebas de secado realizadas a los cristales de azúcar obtenidos, dichas pruebas fueron realizadas por duplicado.



**Gráfico 3.5. Curva de secado de Prueba 1 en Termobalanza**



**Gráfico 3.6. Curva de secado de Prueba 2 en Termobalanza**

### 3.5 Pruebas en equipos

#### 3.5.1 Resultados del Extractor Sólido-Líquido

En la tabla 3.17 y 3.18 se presentan los resultados de las pruebas del extractor S-L. En donde se detalla la masa de agua que se utilizó, la concentración del refinado, el porcentaje de extracción y el número de etapas teóricas que se necesitan para tener esas concentraciones. La relación que se utilizó entre agua (solvente) y remolacha (sólido) fue de 2:1.

**Tabla 3.17 Resultados de Prueba 1 en el Extractor Sólido-Líquido**

Parámetro	Valor
$V_{e7}$	20,1 kg
$X_{e6}$	0,03069
% extracción	56,87%
n	1

**Tabla 3.18 Resultados de Prueba 2 en el Extractor Sólido-Líquido**

parámetro	Valor
$V_{e7}$	21,25 kg
$X_{e6}$	0,03369
% extracción	53,75%
n	1

#### 3.5.2 Resultados del Evaporador

Los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas en el evaporador pueden ser observados en la tabla 3.19 y 3.20. En la tabla 3.19 se muestran los valores de los flujos de las corrientes empleadas en esta etapa, también indica el porcentaje de error entre los flujos usados en la práctica y los calculados por medio de balances de materia y energía. Mientras que la Tabla 3.20 muestra el calor requerido para realizar la práctica, el coeficiente global de

transferencia de calor, así mismo la economía de vapor tanto teórica como práctica y la eficiencia del proceso teórica y práctica.

**Tabla 3.19 Flujos teóricos y prácticos del evaporador**

Corriente	Valor experimental	Valor teórico	%Error
F	380	-	-
V	377,22	369,18	2,17
L	8,14	10,82	24,76
S	473,15	426,14	11,03
W	-	8575,05	-

**Tabla 3.20 Datos de eficiencia y economía del vapor en el evaporador**

Parámetro	Valor
Calor por conducción y convección:	951502,43 kJ
Coefficiente global de transferencia de calor: U	149325,55 kJ/ m <sup>2</sup> °C
Economía teórica	86,63%
Economía experimental	79,72%
Eficiencia teórica	100,3%
Eficiencia práctica	92,11%

### 3.5.3 Resultados del Cristalizador

En la tabla 3.21 se detallan los resultados obtenidos de la prueba realizada en el cristalizador, detallándose la cantidad de cristales secos producidos y la humedad de los mismos. También enfatizando la eficiencia de esta etapa del proceso y el porcentaje de los cristales ya mencionados.

**Tabla 3.21 Datos de la prueba realizada en el cristalizador**

Parámetros	Teórico	Práctico
Cristales secos (kg)	2,83	1,7
% humedad de los cristales (%)	-	3,95

**Tabla 3.22. Eficiencia y porcentaje de cristales en el Cristalizador.**

<b>Criterio</b>	<b>Valor (%)</b>
Porcentaje de cristales a la salida del Cristalizador.	33,42
Eficiencia	60,07

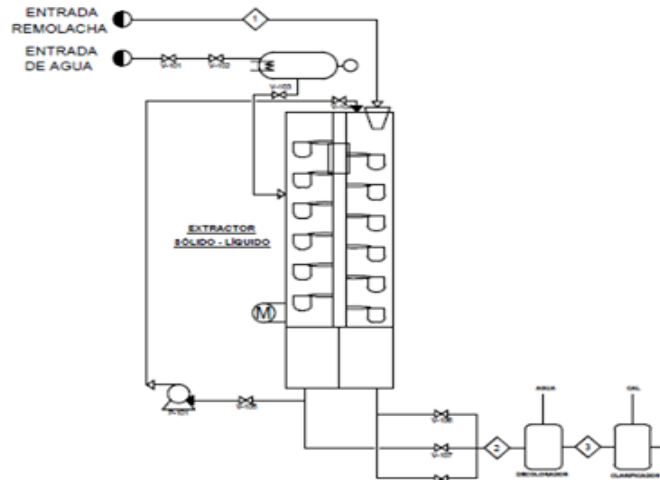
#### **3.5.4 Resultados de la eficiencia de producción de cada equipo**

En la tabla 3.23 se muestra las eficiencias de producción de cada equipo calculado como la relación entre la eficiencia real y la nominal.

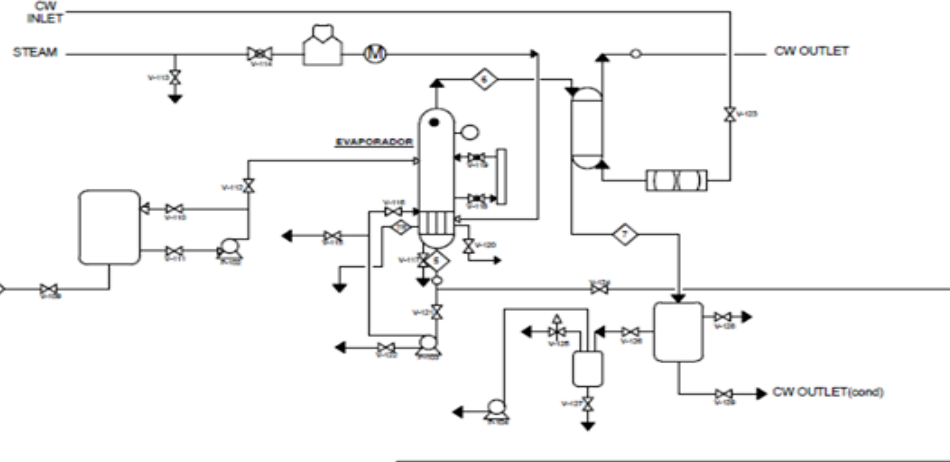
**Tabla 3.23. Eficiencia de producción de cada equipo.**

<b>Equipo</b>	<b>Eficiencia de producción (%)</b>
Extractor Sólido-Líquido	58,22
Evaporador	96,05%
Cristalizador	66,01%

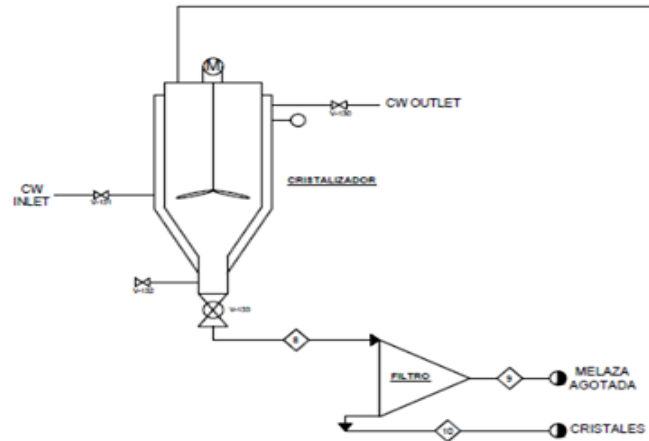
### 3.6 PFD del proceso



### PFD DEL PROCESO



Corriente	Descripción
1	Remolacha
2	Jugo de remolacha
3	Jugo de remolacha decolorada
4	Jugo de remolacha clarificada
5	Jugo de remolacha concentrado
6	Vapor del evaporador
7	Condensado
8	Melaza con cristales
9	Melaza agotada
10	Cristales de azúcar





# **CAPÍTULO 4**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

# Capítulo 4

## 4 Análisis de resultados

### 4.1 Análisis de resultados del estudio de calidad y seguridad industrial con referencia a los equipos empleados

Como se observa en la Tabla 3.1 el cumplimiento general de las normativas seleccionadas, Decreto 2393, OHSAS 18001:2007 y ARCSA 067:2015, es de 66.46%. Esto se debe a que el porcentaje de cumplimiento del extractor sólido-líquido y cristalizador es bajo en todas las normativas, siendo 62.12% y 51.06% respectivamente. Mientras que, el evaporador es el equipo con mayor porcentaje de cumplimiento, con un valor de 86.27%, por este motivo el valor general obtenido no es aceptable.

En la tabla 3.2 se puede observar el cumplimiento del Decreto 2393, el cual es el reglamento de seguridad y salud de los trabajadores, este tiene un porcentaje de cumplimiento de 72.62%; el equipo con mayor grado de incumplimiento es el cristalizador, seguido por el extractor sólido-líquido, con valores de 61.09% y 71.79% respectivamente. El valor de cumplimiento e incumplimiento de las OHSAS 18001:2007 se muestra en la Tabla 3.3, normativa que indica los requerimientos para prácticas adecuadas de Seguridad y Salud en el trabajo, el cristalizador y el evaporador tiene el mismo porcentaje de cumplimiento, de 38.46% mientras que el extractor tiene 100%. Finalmente, la Tabla 3.4 indica los resultados del ARCSA 067:2015, normativa técnica de inocuidad alimentaria, en donde el cristalizador nuevamente es el equipo con un valor menor al 50% de cumplimiento y el extractor sólido-líquido, con porcentajes de 46.15% y 57.14%. Con los resultados obtenidos de las Tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, se pudo determinar que los equipos que presentan más fallas son el cristalizador y el extractor sólido-líquido. Es necesario recalcar que estas valoraciones de las normativas aplicadas en seguridad del presente proyecto son referenciales, ya que estas

normas son aplicadas a nivel industrial y no aplica a los equipos pilotos de tipo didáctico en el laboratorio de docencia, pero se realizó esta evaluación para mejorar la seguridad de los estudiantes.

A través el check list realizado se pudo identificar las posibles mejoras para los equipos y a su vez sirvieron de base para elaborar la matriz de riesgo expresada en la Tabla 3.5, en donde se catalogaron los riesgos asociados a la operación de cuatro formas: riesgo bajo, riesgo moderado, riesgo importante y riesgo crítico. De acuerdo con lo previsto, el cristizador es el equipo que presenta un mayor número de riesgo moderado y riesgo importante. El extractor sólido-líquido presenta pocos riesgos moderados y riesgos importantes, con varios riesgos bajos; mientras que el evaporador tiene un riesgo moderado y otros riesgos bajos. Recopilando la información obtenida en la matriz de riesgos y los incumplimientos de las normativas se realizó la matriz de cambios, expresada en la Tabla 3.6, estos cambios fueron valorados de acuerdo con el impacto que genera la falla, la urgencia y prioridad del cambio. Los equipos con mayor cantidad de cambios a realizar son los ya mencionados con anterioridad, cristizador y extractor sólido-líquido, haciendo énfasis en mejorar la seguridad y facilidad de operación de los equipos.

#### **4.2 Análisis de resultados de las pruebas de laboratorio**

Se realizó un análisis previo a la remolacha en el laboratorio PROTAL-ESPOL, con la finalidad de determinar la composición de la misma, estos resultados se muestran en la Tabla 3.7. La cantidad de azúcares (sacarosa) presente en la muestra es de 12.78%, valor que se encuentra por encima del valor nutricional establecido por la FAO, este valor es de 9.56%. Esto se debe a que existen varios factores en el desarrollo de la hortaliza que determinan la cantidad de azúcar presente en la raíz, estos factores son: madurez, calidad de la semilla, época de siembra y condiciones climáticas, la cantidad de azúcar presente en la raíz crece de forma ascendente en el transcurso del

proceso de maduración, una vez que esta se encuentra totalmente madura alcanza el valor máximo de azúcar que puede contener, este puede ser hasta el 10% de su peso.

Se efectuaron dos pruebas de extracción sólido-líquido con diferentes relaciones en función de la masa del solvente, las cuales fueron 1:1 y 2:1, en la Tabla 3.8 se puede observar el resultado de la extracción 1:1 realizado, indicando el número de etapas, porcentaje de extracción por etapa y final, corrientes y concentraciones inicial y final en cada etapa. El porcentaje de extracción va aumentando a medida que van aumentando el número de etapas, los valores son de 49,15%, 52,29%, 65,35% y 91,4% respectivamente. A través de balance de materia se determinó que la concentración final de la muestra debe ser 0.016 y de forma práctica se obtuvo un valor de 0.02, superando al valor calculado y generando un porcentaje de error de 25%. En la Tabla 3.9 también indican las variables mencionadas anteriormente, pero con el resultado de la prueba realizada con una relación 2:1, siendo los porcentajes de extracción en cada una de las 4 etapas de 48,18%, 61,71%, 63,92% y 89,04%, la concentración final calculada fue de 0.0082 y la que se obtuvo de forma práctica fue de 0.0075, por lo que se obtuvo un porcentaje de error del 8.53%.

Ya que no se podía cuantificar la cantidad de cal de forma estequiometría a través de la concentración inicial de fosfatos de la muestra por interferencia de color, se efectuaron pruebas con variaciones en la masa de cal a utilizar, con la finalidad de determinar la cantidad óptima a emplear en el subproceso de clarificación del jugo extraído. La cantidad de cal empleada se encuentra en un rango de 1-6% del jugo extraído, por este motivo se tomó 200 mL de jugo y cada 1% era un punto de análisis, en la tabla 3.12 se puede observar el resultado de las pruebas realizadas a las 6 muestras, por lo cual se puede determinar que la cantidad óptima de cal a emplear es de 8 g en los 200 mL correspondiéndole el 4% del jugo extraído, ya que tanto los valores de absorbancia a 420nm,

empleada para determinar el color; la absorbancia a 900nm, para determinar la turbidez de la muestra, en conjunto con los resultados de los fosfatos son los menores en comparación al resto de puntos analizados, esto puede observarse en los gráficos 3.2 y 3.3. En la Tabla 3.14 se puede observar el color de las muestras expresadas en IU, unidades establecidas por ICUMSA, tanto de las muestras filtradas y no filtradas, este paso produce una gran diferencia entre ambos valores ya que retira los sólidos que no pudieron precipitarse y se encuentran en suspensión, también se puede observar que el 4% es el que tiene el mayor porcentaje de remoción, siendo 76.49% en la muestra sin filtrar y 88.21% en las filtradas. Así mismo, en la Tabla 3.15 especifica la turbidez que presentan en cada punto analizado, en donde también los 8 g son el punto con menor valor de turbidez, expresados en UT, con valores de 49.2 y 22.

En la Tabla 3.10 se especifican los valores de la evaporación realizada a escala de laboratorio, la cual indica que los grados Brix y el volumen de condensado aumentan a través del tiempo, por lo que por medio de la Gráfico 3.1 se planeó determinar la relación entre estos. Los grados Brix antes del llegar al condensado del 70% del volumen inicial de la muestra tiene un crecimiento gradual, una vez alcanzado ese punto, estos suben de forma exponencial, dificultando el control de estos en el proceso. Los Gráficos 3.5 y 3.6 muestran los resultados de las pruebas de secado realizadas, previo a esto se realizó una separación de cristales-meladura por medio de sistema de filtración al vacío que entregaba como resultados cristales con poca cantidad de humedad, a través de las gráficas se puede determinar que esta separación genera cristales que se encuentran en la humedad de equilibrio, por lo que a través de la termobalanza se determinó los otros dos periodos de secado, el de secado linealmente decreciente y el de secado decreciente.

### 4.3 Análisis de resultados las pruebas en los equipos pilotos

Se realizó dos pruebas en el equipo de extracción Sólido Líquido, como se observa en las tablas 3.17 y 3.18 los resultados. En las pruebas se usaron 8 y 7,5 kg respectivamente, en el cual se me obtuvieron 56,87% y 53,75% de extracción respectivamente, esto es debido a que el equipo posee diversos problemas entre los cuales tenemos: la alimentación, debido a que ciertos cangilones no giran de manera correcta; la tolva no está alineada, de tal manera que al alimentar mucho sólido cae al exterior de los cangilones, haciendo que ciertos cangilones lleguen vacíos en el proceso. Otra posible causa es el flujo del solvente no se puede regular y no cae en forma de rocío, disminuyendo la superficie de contacto entre el sólido y el solvente. De manera teórica se calcularon la masa de solvente que se utilizó dándonos valores de 20,1 y 21,25 kg respectivamente y la concentración de azúcar en el sólido agotado fue de 3,069% y 3,3699%. Se puede observar que en la segunda prueba se obtuvo una menor concentración de en el sólido agotado, haciendo que el valor del porcentaje de extracción aumentara, esto es debido a que como se observa se utilizó menor cantidad de sólido y se usó mayor cantidad de solvente, entonces el solvente fue distribuido de manera uniforme en el sólido haciendo que este se agotara la mayor cantidad. El número de etapas teóricas obtenido es de 1 etapa en ambos casos, esto es consecuencia de que el equipo no está funcionando de manera correcta, por los problemas descritos anteriormente, ya que el equipo posee 6 etapas con la cual se tenía planeado que tenga un porcentaje de extracción del 80%.

En el evaporador se ingresó una alimentación de 2 °Brix y se la concentró hasta 70,25 °Brix, en un lapsus de tiempo de 495 min. El tiempo es relativamente alto, pero debemos considerar que se alimentó 380 kg de solución. El tiempo de operación se lo podría disminuir usando vacío. Como se observa en la tabla B.18 los grados Brix no aumentan conforme pasa el tiempo, esto se debe a que se ingresaba

alimentación diluida conforme se observa que el visor de nivel se encontraba en el mínimo del evaporador. En la tabla 3.19 se observa que la masa de vapor es de 377,22 Kg y teóricamente es de 369,18 kg obteniendo un error del 2,17%, lo que me indica que no hubo pérdidas, de modo que me sugiere que el intercambiador de calor funciona de manera correcta, también se obtuvo un valor práctico mayor que el teórico y esto puede ser causado a que el producto final es menor al teórico es decir que se evaporó más muestra de la que dice teóricamente. Para el producto obtenido L se tiene un dato teórico del 10,82 kg y el práctico de 8,14 kg dando como error el 24,76%, el error es mayor, pero puede ser causado por pérdidas para tomar muestras y medir los grados brix, también la válvula de toma muestra se encontraba averiada y se procuró tomar muestras con la válvula de salida del producto, generando pérdidas en el balde para tomar muestra. Para el vapor que pasa por la calandria se obtuvo 473,15 kg y en el teórico 426,14 kg con un error del 11,03% esto se debe a que se necesitó mayor vapor que el cálculo, debido a que cuando no se ingresaba la alimentación a tiempo, el vapor seguía pasando por la calandria haciendo que este se consumiera. En la tabla 3,20 se determina que el calor necesario para que se produjera el proceso fue de 951502,43 kJ, dando un coeficiente de transferencia de calor del 14932,55 kJ/m<sup>2</sup> °C, la economía experimental de vapor que se obtuvo fue del 105,9% esto se debe a que se necesitó mayor cantidad de vapor en la calandria que el vapor generado por la evaporación. Y la eficiencia del proceso fue del 92,11% que es alta, es decir que el equipo funciona de manera correcta.

Los resultados de la prueba de cristalización se los observa en la tabla 3.21 en los cuales nos indica que el porcentaje de cristales que se genera de la masa de alimentación es del 33,42%, se debe a que no se puede regular la velocidad de agitación del cristalizador disminuyendo el tiempo de contacto entre los cristales semillas y la solución saturada. Los cristales salen con una humedad del 3,95% que se encuentra dentro del parámetro de calidad del azúcar. La eficiencia del proceso

es del 60,07%, el valor representado pudo ser causado por una posible contaminación de la muestra debido al interior del cristizador, lo que afecta directamente a la formación de cristales, además de que existen pérdidas de sacarosa durante el proceso de extracción, clarificación, evaporación y una que es indeterminada.



**CAPÍTULO 5**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

# Capítulo 5

## 5 Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se determinó la eficiencia de los equipos de acuerdo a la eficiencia nominal y real de los mismos. El Extractor Sólido-Líquido, Evaporador y Cristalizador tienen una eficiencia de 58.22%, 96.05% y 66.01% respectivamente, por lo que la implementación de la línea de producción de azúcar se considera factible tanto en el ámbito de producción como en el enfoque académico dado.

El Cristalizador y Extractor Sólido-Líquido presentan un bajo porcentaje de cumplimiento de las normativas seleccionadas, siendo estos los principales equipos en los que se enfoca el plan de mejoras por la incomodidad y riesgo que existe en la operación de los mismos. Mientras que el alto porcentaje de cumplimiento del Evaporador permitió que el proceso tenga un porcentaje mayor al 50%.

Por el diseño actual y las fallas que presenta el Extractor Sólido-Líquido, se produjeron pérdidas significativas en la operación del mismo, dando como resultado un porcentaje de eficiencia menor al 60%. La eficiencia del Cristalizador fue baja, 60%, debido a que el material del interior del mismo no es el adecuado para el proceso, generando contaminación a la muestra e inhibiendo la formación de cristales. El Evaporador fue el equipo con mayor eficiencia y por ende, mejores resultados obtenidos en las pruebas; sin embargo, el tiempo de operación del equipo para obtener la cantidad de producto requerido en el Evaporador fue extenso pero este puede ser reducido usando el sistema con una presión de vacío.

A través de las pruebas a escala laboratorio y las condiciones de los equipos se determinaron los parámetros óptimos de operación, estos fueron divididos por subprocesos. En la etapa de extracción se

determinó que la temperatura a la que se debe calentar el solvente es 80 °C, por la pérdida de temperatura que se produce por el diseño del equipo, la relación más óptima de extracción es 1:1 pero debido a que no se puede controlar el flujo del agua la relación resultante es 2:1. Para la decoloración del jugo la temperatura óptima para que se produzca la oxidación es 80 °C o superiores a esta, ya que esa es el valor límite para que se produzca la reacción, mientras que, la cantidad de Peróxido de Hidrógeno al 50% empleado debe ser el 3% del volumen de la solución a decolorar. En la clarificación del jugo la temperatura a la que se efectúa la reacción es de 90 °C y la cantidad de cal determinada el 4% en peso de la solución a clarificar. Si el pH de la muestra es menor a 6 y mayor a 8, este debe ser regulado ya que puede producir pérdidas por inversión de la sacarosa, generalmente el pH una vez realizada la clarificación es alcalino, por lo que hay que regularlo con ácido cítrico al 10% en peso. Durante la evaporación la temperatura de ebullición no debe ser mayor a 105 °C ya que se puede producir la inversión de la sacarosa, la presión de vapor de trabajo es de 20 psi, el flujo de agua de reposición de 1.5 m<sup>3</sup>/h y alimentar con 20L de solución cuando el nivel sea bajo. Finalmente, la cristalización debe realizarse con una disminución de temperatura a 20 °C y la sobresaturarla de acuerdo con la curva de solubilidad.

Las medidas de mejora detalladas en la matriz de cambio no solo se encuentran enfocadas en aumentar la eficiencia del proceso, sino también en mejorar las condiciones de seguridad en las que trabaja el estudiante.

## **5.2 Recomendaciones**

Después de implementar el plan de cambios en el rango de tiempo de 2 años, se deberá realizar inspecciones, llevar un registro del check list para ver las mejoras en el cumplimiento de las normativas.

Realizar pruebas corridas para la obtención del azúcar con la utilización de los equipos pilotos, para así obtener la eficiencia del proceso, medir

la calidad del azúcar antes de implementar los cambios establecidos en el plan. Luego de realizar los cambios, ejecutar pruebas corridas del proceso y volver a evaluar la calidad del azúcar para observar si ha tenido mejoras en la calidad del mismo.

Eliminar el color de la muestra inicial a través de ácido, estos pueden ser clorhídrico, nítrico y sulfúrico, ya que valores bajos de pH no interfieren en la lectura de fosfatos, pero no excediéndose de una concentración de 0.5 N final en la muestra.

Buscar un método para la determinación de fosfatos iniciales del jugo extraído antes de la clarificación, para así compararlos, y determinar el porcentaje de remoción de fosfatos, calculándolos con los fosfatos finales posterior al proceso de clarificación.

Para las incrustaciones del evaporador causadas por la eliminación de agua, se debe realizar los lavados con soda caustica al 32° be o ácido clorhídrico al 3.5%.

Efectuar los cambios necesarios descritos en el plan, para corregir las fallas que generan pérdidas significativas durante el proceso para aumentar la eficiencia del mismo.

Para realizar las pruebas es necesario hacerlo por procesos separados, debido a la disponibilidad del tiempo, por este motivo es necesario almacenar los productos obtenidos entre cada proceso, el almacenamiento se lo debe realizar en un ambiente de 4°C para evitar la degradación de la sacarosa y disminuir las pérdidas del mismo.

# **CAPÍTULO 6**

## **REFERENCIAS Y ANEXOS**

## REFERENCIAS

- Álvarez, E., & Climent, D. (2016). *Proceso de depuración calcocarbónica en la obtención de azúcar de la remolacha*. Universidad de Cádiz.
- Baquero, J. (1987). La industria del azúcar de remolacha. *Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación*. Retrieved from [http://magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1987\\_08.pdf](http://magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1987_08.pdf)
- Benites, R., & Burgos, L. (2015). Elaboración de azúcar. *Universidad Católica Santo Toribio de Morovejo*.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2013). *Termodinámica*. (P. Riog, Ed.) (McGraw Hill). Mexico. Retrieved from [https://archive.org/stream/TermodinamicaCengel7th\\_201704/Termodinamica-Cengel-7th#page/n9/mode/2up](https://archive.org/stream/TermodinamicaCengel7th_201704/Termodinamica-Cengel-7th#page/n9/mode/2up)
- Cordero, C. (2013). *Proyecto para la creación de un empresa productora y comercializadora de azúcar de remolacha orgánica en el distrito metropolitano de Quito*. Universidad de las Americas.
- Dominguez, M., Candi, A., Bravo, H., & Sosa, R. (2014). Prevention, Minimization and Control of Environmental Pollution at Mexico Sugar Mill. *SciELO Analytics*. Retrieved from <http://www.elsevier.es/en-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-prevencion-minimizacion-control-contaminacion-ambiental-S1405774314706535>
- Dpto. Operaciones Unitaria en Ing. Química e Ing. Alimentos. (n.d.). lixiviación Líquido-Sólido. In *Transferencia de Calor y Masa 2* (p. 17). Retrieved from [https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/cm2/teorico/Lixiviación\\_líquido\\_sólido\\_2011.pdf](https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/cm2/teorico/Lixiviación_líquido_sólido_2011.pdf)
- Eldien, W. N., Ali, E. H. . M., Sohily, A., & E.A, M. H. (2017). Evaluation and Optimization of Hot Liming Process in Kenana Sugar Factory, White Nile State, Sudan. *International Journal of Scientific and Research Publication*, 7(4).
- Fajardo, E., & Saramiento, S. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. Pontificia universidad javeriana. Retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>

- Farag, S. A., & Norman, L. W. (1978). *US 4076552 A*. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US4076552>
- Flores, K., & Balseca, I. (2015). *Reingeniería del evaporador de simple efecto del Laboratorio de Operaciones Unitarias-FCNMESPOL*. Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Garro, M., Meza, J., & Jenkins, C. (2005). *Aplicaciones de los Sistemas de Control en la Industria del Azúcar*. Universidad de Costa Rica. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/323992009/Control-Automatico-en-La-Industria-Azucarera>
- Guerrero, A. (1999). *Cultivo herbáceos extensivos*. España: Ediciones mundiprensa. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=lmilbpnsKr0C&printsec=frontcover&dq=cultivo+de+la+remolacha+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_2-LAI6XXAhXEQyYKHZhMC7sQ6AEIKTAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=lmilbpnsKr0C&printsec=frontcover&dq=cultivo+de+la+remolacha+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi_2-LAI6XXAhXEQyYKHZhMC7sQ6AEIKTAB#v=onepage&q&f=false)
- ingenieriaquimica.org. (n.d.). Ingeniería Química - Definición. Retrieved from [http://www.ingenieriaquimica.org/ingenieria\\_quimica](http://www.ingenieriaquimica.org/ingenieria_quimica)
- Kampen, W. H. (2000). *US6156563A*. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US6156563A/en>
- Madsen, R. F., Nielsen, W. K., & Kristensen, S. (1984). *US4432806 A*. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US4432806>
- Ministerio de trabajo y asunto sociales. Evaluación de riesgos laborales (1996). España. Retrieved from [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias\\_Ev\\_Riesgos/Ficheros/Evaluacion\\_riesgos.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias_Ev_Riesgos/Ficheros/Evaluacion_riesgos.pdf)
- Mohos, F. Á. (2010). *Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications*.
- Morocho, R., & Zambrano, E. (2016). *Diseño, construcción e instalación de una unidad de cristalización batch para el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la ESPOL*. Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Pérez, R. (1997). Sugar Cane. In *Feeding pigs in the tropics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/003/w3647e/W3647E03.htm#ch3>
- Phochuen, N., Somla, N., Laksameethanasana, P., & Janprem, S. (2012).

- Aclaración del jugo de caña de azúcar para la producción de jarabe.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1248>
- Prati, P., & Herminius, R. M. (2009). Estudio de la clarificación de proceso de azúcar de azúcar para consumo. *Instituto de Tecnología de Los Alimentos*.  
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000300033>
- Primo, E. (2007). *Química orgánica básica y aplicada*. (Universidad Politécnica de Valencia, Ed.). Valencia: Editorial Reverte. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=aU\\_aBXvAB3MC&pg=PA895&dq=sac arosa&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwixjpSO-qDXAhVC1CYKHyonD1kQ6AEISjAH#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=aU_aBXvAB3MC&pg=PA895&dq=sac+arosa&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwixjpSO-qDXAhVC1CYKHyonD1kQ6AEISjAH#v=onepage&q&f=false)
- Reisig, R. C., & Mannapperuma, J. D. (2002). *US6387186 B1*. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US6387186>
- San Carlos. (2013). Proceso de producción. *Ing. San Carlos, TOMO 1*, 1–7.
- Santana, M. (2007). *Propuesta de un nuevo proceso Tecnológico de la extracción del azúcar de remolacha con cualidades organolépticas comerciales para el consumo humano*. Universidad de las Américas Laureate International University.
- Santos, D. (1963). *Azúcar obtenida a partir de la remolacha*. Universidad las Palmas de G. Canaria.
- Subíros, F. (2001). *El cultivo de la caña de azúcar*. (Universidad estatal a distancia, Ed.) (Vazques, A). Costarrica: Camara Costarricense del libro. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=2wpC1j2AmkAC&pg=PA319&lpg=PA319&dq=ventajas+y+desventajas+del+cultivo+de+la+caña+de+azucar&source=bl&ots=B0kZKJbrBQ&sig=Nvxb1ZQngrBRVQhhD3I4t5307iU&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwivkuOwoqPXAHVJFuwKHeu3DNYQ6AEIQjAF#v=onepage>
- Südzucker. (2016). Sugar Processing. Retrieved from <http://www.suedzucker.de/en/Zucker/Zuckergewinnung/>
- Sugar Industry Biotech Council. (n.d.). Biotechnology-Enhanced Sugar Beets and Sugar Cane. Retrieved from <http://www.sugarindustrybiotechcouncil.org/sugar-beet-faq>
- The Sugar Association. (n.d.). Refining and Processing Sugar. *Consumer Fact Sheet*, 4. Retrieved from <https://www.sugar.org/images/docs/refining-and->



processing-sugar.pdf

Tituaña, M. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de remolacha azucarera forrajera (Beta vulgaris var. altissima) en el cantón Quito, provincia de Pichincha*. Universidad San Francisco de Quito. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/728/1/99927.pdf>

United States Department of Agriculture. (2016). National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Retrieved from <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2863?fg=&manu=&facet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=11080&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>

Villanueva, D., Posada, R., González, I., García, Á., & Martínez, A. (2015). Monitoring of a Sugar Crystallization Process with Fuzzy Logic and Digital Image Processing. In *Journal of food process engineering* (Vol. 38, pp. 19–30). <https://doi.org/10.1111 / jfpe.12122>

## GLOSARIO

Poáceas	Pertenece a al grupo de las plantas herbáceas, perteneciente a la clase liliopsidas, entre las cuales tenemos el trigo, caña de azúcar, maíz, entre otros.
Shaccharum officinarum	Nombre científico de la caña de azúcar, también conocida como cañaduz
Beta vulgaris	Nombre científico de la remolacha, también conocida como beteraba.
Quenopodiáceas	Son plantas herbáceas anuales, con hojas alternas, simples y a veces, gruesas o suculentas; flores verdosas hermafroditas o unisexuales en inflorescencias compuestas.
Meladura	Jarabe preparado para la elaboración de azúcar.


## SIMBOLOGIA

°C	Centígrados
cm	Centímetro
°Be	Grados Baumé.
°Brix	Grados Brix
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramos
g/cm <sup>3</sup>	Gramos por centímetro cubico
J/mol	Joule por mol
J/mol*k	Joule sobre moles por kelvin
kg/ha	Kilogramo por hectárea
kg/kmol	Kilogramo por kilo mol
kJ	Kilo joule
kJ/kg	Kilo joule por kilogramo
kJ/m <sup>2</sup> °C	Kilo joule por metro cuadrado grados centígrados
psi	Libra por pulgada cuadrada
L/m <sup>2</sup>	Litro por metro cuadrado
m	Metro
mL	Mililitro
mg/L	Miligramo por litro
min	Minutos
mol	Gramo mol
nm	Nanómetro
pH	Potencial de hidrógeno
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos

# **ANEXOS**

## Anexo A. Check list

Tabla A.0.1. Check list de las normas por equipos

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
<b>DECRETO 2393</b>					
Art. 24.- PASILLOS. 2. La separación entre máquinas u otros aparatos, será suficiente para que los trabajadores puedan ejecutar su labor cómodamente y sin riesgo.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		Ingreso de materia prima 
Art. 26.- ESCALERAS FIJAS Y DE SERVICIO. 1. (Reformado por el Art. 19 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Todas las escaleras, plataformas y descansos ofrecerán suficiente resistencia para soportar una	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
carga móvil no menor de 500 kilogramos por metro cuadrado y con un coeficiente de seguridad de cuatro.					
2. Las escaleras y plataformas de material perforado no tendrán intersticios u orificios que permitan la caída de objetos. El ancho máximo de dichos intersticios, en las zonas donde puedan pasar por debajo personas, será de 14 milímetros, y en caso de que dicho material perforado tuviera orificios con superior abertura, será complementado con una malla metálica que cumple dicho requisito.	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	
3. (Reformado por el Art. 20 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Ninguna escalera debe tener más de 2,70 metros de altura de una plataforma de descanso a otra. Los descansos internos tendrán como mínimo 1.10 metros en la dimensión medida en dirección a la escalera.	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	
5. Toda escalera de cuatro o más escalones	S-L	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
deberá estar provista de su correspondiente barandilla y pasamanos sobre cada lado libre.	EVAP			X	
	CRIST			X	
8. Las escaleras de servicio, tales como gradas de salas de máquinas o calderos, o las gradas que conducen a plataformas o servicio de máquinas, deben ser al menos de 600 milímetros de ancho.	S-L		X		Tiene de ancho 510 milímetros.
	EVAP			X	
	CRIST			X	
9. La inclinación de las escaleras de servicio no será mayor de 60 grados y la profundidad de la huella en los escalones no menor de 150 milímetros.	S-L		X		Tiene una inclinación de 90° y los escalones tiene una profundidad de 40 milímetros. 
	EVAP				
	CRIST				


ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
Art. 27.- ESCALERAS FIJAS DE SERVICIO DE MÁQUINAS E INSTALACIONES. 1. Las partes metálicas de las escaleras serán de acero, hierro forjado, fundición maleable u otro material equivalente y estarán adosadas sólidamente a los edificios, depósitos, máquinas o elementos que las precisen.	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	
2. En las escaleras fijas la distancia entre el frente de los escalones y las paredes más próximas al lado de ascenso será por lo menos de 750 milímetros. La distancia entre la parte posterior de los escalones y el objeto fijo más próximo será por lo menos de 160 milímetros. Habrá un espacio libre de 500 milímetros a ambos lados del eje de la escalera, si no está provisto de áreas metálicas protectoras u otros dispositivos equivalentes.	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	
Art. 29.- PLATAFORMA DE TRABAJO. 1. Las plataformas de trabajo, fijas o	S-L	X			
	EVAP			X	





ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
móviles, estarán construidas de materiales sólidos y su estructura y resistencia serán proporcionales a las cargas fijas o móviles que hayan de soportar.	CRIST			X	
2. Los pisos de las plataformas de trabajo y los pasillos de comunicación entre las mismas, estarán sólidamente unidos, se mantendrán libres de obstáculos y serán de material antideslizante; además, estarán provistos de un sistema para evacuación de líquidos.	S-L		X		No existe un sistema para evacuación de líquidos
	EVAP			X	
	CRIST			X	
3. Las plataformas situadas a más de tres metros de altura, estarán protegidas en todo su contorno por barandillas y rodapiés de las características que se señala en el Art. 32.	S-L	X			
	EVAP			X	
	CRIST			X	
Art. 30.- ABERTURAS EN PISOS. 1. Las aberturas en los pisos, estarán siempre protegidas con barandillas y rodapiés de acuerdo a las disposiciones del Art. 32.	S-L		X		No existe rodapiés
	EVAP			X	
	CRIST			X	
Art. 32.- BARANDILLAS Y RODAPIÉS.	S-L		X		

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
1. Las barandillas y rodapiés serán de materiales rígidos y resistentes, no tendrán astillas, ni clavos salientes, ni otros elementos similares susceptibles de producir accidentes.	EVAP			X	
	CRIST			X	
2. La altura de las barandillas será de 900 milímetros a partir del nivel del piso; el hueco existente entre el rodapié y la barandilla estará protegido por una barra horizontal situada a media distancia entre la barandilla superior y el piso, o por medio de barrotes verticales con una separación máxima de 150 milímetros.	S-L		X		Tiene 1,025 m de altura.
	EVAP			X	
	CRIST			X	
3. Los rodapiés tendrán una altura mínima de 200 milímetros sobre el nivel del piso y serán sólidamente fijados	S-L		X		No existen rodapiés.
	EVAP			X	
	CRIST			X	
Art. 34.- LIMPIEZA DE LOCALES. 1. Los locales de trabajo y dependencias anexas deberán mantenerse siempre en buen estado de limpieza.	S-L	X			
	EVAP	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
	CRIST	X			
2. En los locales susceptibles de que se produzca polvo, la limpieza se efectuará preferentemente por medios húmedos o mediante aspiración en seco, cuando aquélla no fuera posible o resultare peligrosa.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
5. Las operaciones de limpieza se realizarán con mayor esmero en las inmediaciones de los lugares ocupados por máquinas, aparatos o dispositivos, cuya utilización ofrezca mayor peligro.	S-L		X		Se realiza limpieza del equipo solo al culminar cada práctica
	EVAP		X		Se realiza limpieza del equipo solo al culminar cada práctica
	CRIST		X		Se realiza limpieza del equipo solo al culminar cada práctica
6. Los aparatos, máquinas, instalaciones, herramientas e instrumentos deberán mantenerse siempre en buen estado de limpieza.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
7. Se evacuarán los residuos de materias primas o de fabricación, bien directamente	S-L	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
por medio de tuberías o acumulándolos en recipientes adecuados que serán incombustibles y cerrados con tapa si los residuos resultan molestos o fácilmente combustibles.	EVAP	X			
	CRIST	X			
Art. 56. ILUMINACIÓN, NIVELES MÍNIMOS. 1. Todos los lugares de trabajo y tránsito deberán estar dotados de suficiente iluminación natural o artificial, para que el trabajador pueda efectuar sus labores con seguridad y sin daño para los ojos.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
APARATOS, MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS Art. 73. UBICACIÓN 1. Las máquinas estarán situadas en áreas de amplitud suficiente que permita su correcto montaje y una ejecución segura de las operaciones.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		<p>Espacio insuficiente</p> 

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
2. Se ubicarán sobre suelos o pisos de resistencia suficiente para soportar las cargas estáticas y dinámicas previsible.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
Art. 74. SEPARACIÓN DE LAS MÁQUINAS. 1. La separación de las máquinas será la suficiente para que los operarios desarrollen su trabajo holgadamente y sin riesgo, y estará en función: c) De las necesidades de mantenimiento. En cualquier caso, la distancia mínima entre las partes fijas o móviles más salientes de máquinas independientes nunca será inferior a 800 milímetros.	S-L	X			
	EVAP		X		Tiene 600 milímetros de distancia.
	CRIST		X		Tiene 500 milímetros de distancia.
3. Se establecerá una zona de seguridad entre el pasillo y el entorno del puesto de trabajo, o en su caso la parte más saliente de la máquina que en ningún caso será inferior a 400 milímetros. Dicha zona se señalizará en forma clara y visible para los trabajadores.	S-L		X		

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
	EVAP	X			
	CRIST		X		
Art. 85. ARRANQUE Y PARADA DE MÁQUINAS FIJAS.	S-L	X			
2. Las máquinas fijas deberán disponer de los mecanismos de mando necesarios para su puesta en marcha o parada. Las máquinas accionadas por un motor principal deberán disponer de un mando de paro que permita detener cada una de ellas por separado.	EVAP		X		No posee parada de emergencia
	CRIST			X	
Art. 91. UTILIZACIÓN.	S-L	X			
1. Las máquinas se utilizarán únicamente en las funciones para las que han sido diseñadas.	EVAP	X			
	CRIST	X			
2. Todo operario que utilice una máquina	S-L	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
deberá haber sido instruido y entrenado adecuadamente en su manejo y en los riesgos inherentes a la misma. Asimismo, recibirá instrucciones concretas sobre las prendas y elementos de protección personal que esté obligado a utilizar.	EVAP	X			
	CRIST	X			
3. No se utilizará una máquina si no está en perfecto estado de funcionamiento, con sus protectores y dispositivos de seguridad en posición y funcionamiento correctos.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
Art. 92. MANTENIMIENTO. 1. El mantenimiento de máquinas deberá ser de tipo preventivo y programado.	S-L		X		No se ha usado
	EVAP		X		No tiene un control de mantenimiento y ni un plan de mantenimiento
	CRIST		X		No se ha usado
4. La eliminación de los residuos de las máquinas se efectuará con la frecuencia necesaria para asegurar un perfecto orden y limpieza del puesto de trabajo.	S-L	X			Se lo efectúa cada vez que se realiza una práctica.
	EVAP	X			Se lo efectúa cada vez que se realiza una práctica.
	CRIST	X			Se lo efectúa cada vez que se realiza una práctica.
SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD. -	S-L		X		No hay señalización de equipos de protección.

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
<b>NORMAS GENERALES</b> Art. 164. OBJETO.  1. La señalización de seguridad se establecerá en orden a indicar la existencia de riesgos y medidas a adoptar ante los mismos, y determinar el emplazamiento de dispositivos y equipos de seguridad y demás medios de protección.	EVAP	X			
	CRIST		X		No hay señalización de riesgo
3. La señalización de seguridad se empleará de forma tal que el riesgo que indica sea fácilmente advertido o identificado.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		No posee señalización de riesgo
4. Los elementos componentes de la señalización de seguridad se mantendrán en buen estado de utilización y conservación.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
5. Todo el personal será instruido acerca de la existencia, situación y significado de la señalización de seguridad empleada en el centro de trabajo, sobre todo en el caso en que se utilicen señales especiales.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST			X	
6. La señalización de seguridad se basará	S-L	X			






ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
en los siguientes criterios:	EVAP	X			
a) Se usarán con preferencia los símbolos evitando, en general, la utilización de palabras escritas. <sup>[SEP]</sup>	CRIST			X	
b) Los símbolos, formas y colores deben sujetarse a las disposiciones de las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización y en su defecto se utilizarán aquellos con significado internacional.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
Art. 174. SEÑALIZACIÓN EN TRANSPORTE DE FLUIDOS POR TUBERÍAS. 1. En las tuberías de conducción de fluidos a presión, se identificará la naturaleza del fluido por medio de colores básicos, con las indicaciones convencionales (colores, accesorios y signos), de acuerdo con las normas del INEN.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
<b>OHSAS 18001:2007</b>					
4.3.1 Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de controles a) Actividades rutinarias y no rutinarias	S-L		X		No existe un control de peligros, no se han reconocido los peligros y riesgos que estos poseen.


ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
	EVAP	X			
	CRIST		X		No existe un control de peligros, no se han reconocido los peligros y riesgos que estos poseen.
b) Actividades para todas las personas que tienen acceso al sitio de trabajo (incluyendo <sup>[1]</sup> contratistas y visitantes); <sup>[2]</sup>	S-L		X		No existe un control de peligros
	EVAP	X			
	CRIST		X		No se ha evaluado los peligros que existe en esa zona de trabajo.
c) Comportamiento humano, capacidades y otros factores humanos; <sup>[1]</sup>	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
f) Infraestructura, equipos y materiales en el sitio de trabajo, que sean proporcionados por la organización u otros; <sup>[1]</sup>	S-L		X		No se entregan EPP antes de trabajar
	EVAP	X			
	CRIST		X		No se entregan EPP antes de trabajar
g) Cambios o cambios propuestos en la organización, sus actividades, o materiales; <sup>[1]</sup>	S-L		X		Es nuevo
	EVAP	X			
	CRIST		X		Es nuevo

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
j) El diseño de áreas de trabajo, procesos, instalaciones, maquinaria/equipos, procedimientos operativos y trabajo de la organización, incluyendo su adaptación a [SEP] las capacidades humanas.	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
4.4.2 Competencia, formación y toma de conciencia c) Las consecuencias potenciales que tiene apartarse de los procedimientos especificados. [SEP]	S-L		X		No tiene protocolo de seguridad
	EVAP	X			
4.4.3 Comunicación, participación y consulta 4.4.3.2 Participación y consulta La organización debe establecer, implementar y mantener un procedimiento(s) para: a) La participación de los trabajadores por su: 1. Participación apropiada en la identificación de peligros, evaluación de riesgo y determinación de controles; [SEP]2.Participación apropiada en la investigación de incidentes; [SEP][SEP]	CRIST		X		No tiene protocolo de seguridad
	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
4.4.6 Control operacional Para esas operaciones y actividades, la organización debe implementar y mantener: a) Controles operacionales, aplicables a la organización y sus actividades; la organización deberá integrar estos controles operacionales en todo su sistema de gestión S&SO;	S-L		X		No posee control operacional
	EVAP	X			
	CRIST	X			
b) Controles relacionados con buenas adquisiciones, equipos y servicios; [SEP]	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
e) Determinar Criterios de operación donde su ausencia podría llevar a desviaciones de [SEP] la política y objetivos S&SO. [SEP]	S-L		X		No posee control operacional
	EVAP	X			
	CRIST		X		No posee control operacional
4.4.7 Preparación y respuesta ante emergencias La organización debe establecer, implementar y mantener un procedimiento(s): a) Para identificar el potencial de situaciones de emergencia; [SEP]	S-L		X		No se ha evaluado los riesgos, por ende, no tiene respuesta ante emergencia
	EVAP	X			
	CRIST		X		No se ha evaluado los riesgos, por ende, no tiene respuesta ante emergencia

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
b) Para responder a tales situaciones de emergencia. 	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		No existe un botón de paro de emergencia.
ARCSA 067-2015					
Art. 78.- De los equipos. a. Construidos con materiales tales que sus superficies de contacto no transmitan sustancias tóxicas, olores ni sabores, ni reaccionen con los ingredientes o materiales que intervengan en el proceso de fabricación	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		Acero al carbón 
b. En aquellos casos en los cuales el proceso de elaboración del alimento requiera la utilización de equipos o utensilios que generen algún grado de contaminación se deberá validar que el producto final se encuentre en los niveles aceptables	S-L			X	
	EVAP			X	
	CRIST				

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
c. Debe evitarse el uso de madera y otros materiales que no puedan limpiarse y desinfectarse adecuadamente, cuando no pueda ser eliminado el uso de la madera debe ser monitoreado para asegurarse que se encuentra en buenas condiciones, no será una fuente de contaminación indeseable y no representará un riesgo físico	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
d. Sus características técnicas deben ofrecer facilidades para la limpieza, desinfección e inspección y deben contar con dispositivos para impedir la contaminación del producto por lubricantes, refrigerantes, sellantes u otras sustancias que se requieran para su funcionamiento	S-L		X		Banda giratoria 
	EVAP	X			
	CRIST		X		No es de fácil limpieza
e. Cuando se requiera la lubricación de	S-L			X	

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
algún equipo o instrumento que por razones tecnológicas esté ubicado sobre las líneas de producción, se debe utilizar sustancias permitidas (lubricantes de grado alimenticio) y establecer barreras y procedimientos para evitar la contaminación cruzada, inclusive por el mal uso de los equipos de lubricación.	EVAP			X	
	CRIST			X	
f. Todas las superficies en contacto directo con el alimento no deben ser recubiertas con pinturas u otro tipo de material desprendible que represente un riesgo físico para la inocuidad del alimento	S-L		X		<p>Cubierto con pintura el tanque de agua, la canalización del agua</p> 
	EVAP	X			
	CRIST	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
g. Las superficies exteriores y el diseño general de los equipos deben ser contruidos de tal manera que faciliten su limpieza	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			
h. Las tuberías empleadas para la conducción de materias primas y alimentos deben ser de materiales resistentes, inertes, no porosos, impermeables y fácilmente desmontables para su limpieza y lisos en la superficie que se encuentra en contacto con el alimento. Las tuberías fijas se limpiarán y desinfectarán por recirculación de sustancias previstas para este fin, de acuerdo a un procedimiento validado	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST			X	
i. Los equipos se instalarán en forma tal que permitan el flujo continuo y racional del material y del personal, minimizando la posibilidad de confusión y contaminación	S-L			X	No existe flujo de proceso
	EVAP			X	No existe flujo de proceso
	CRIST			X	No existe flujo de proceso
j. Todo el equipo y utensilios que puedan entrar en contacto con los alimentos deben	S-L			X	
	EVAP			X	



ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
estar en buen estado y resistir las repetidas operaciones de limpieza y desinfección. En cualquier caso, el estado de los equipos y utensilios no representará una fuente de contaminación del alimento	CRIST			X	
Art. 79.- Del monitoreo de los equipos.	S-L		X		No existe recomendaciones del fabricante
a. La instalación de los equipos debe realizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante	EVAP	X			
	CRIST	X			
b. Toda maquinaria o equipo debe estar provista de la instrumentación adecuada y demás implementos necesarios para su operación, control y mantenimiento. Se contará con un procedimiento de calibración que permita asegurar que, tanto los equipos y maquinarias como los instrumentos de control proporcionen lecturas confiables.	S-L	X			
Con especial atención en aquellos instrumentos que estén relacionados con el control de un peligro	EVAP	X			
	CRIST		X		No posee sistema de control
Art. 83.- Higiene y medidas de protección.	S-L	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
c. Todo el personal manipulador de alimentos debe lavarse las manos con agua y jabón antes de comenzar el trabajo, cada vez que salga y regrese al área asignada, cada vez que use los servicios sanitarios y después de manipular cualquier material u objeto que pudiese representar un riesgo de contaminación para el alimento. El uso de guantes no exime al personal de la obligación de lavarse las manos	EVAP	X			
	CRIST	X			
Art. 86.- Señalética. Debe existir un sistema de señalización y normas de seguridad, ubicados en sitios visibles para conocimiento del personal de la planta y personal ajeno a ella	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST		X		No posee señalización
Art. 88.- Condiciones Mínimas. No se aceptarán materias primas e ingredientes que contengan parásitos, microorganismos patógenos, sustancias tóxicas (tales como, químicos, metales pesados, drogas veterinarias, pesticidas), materia extraña a menos que dicha	S-L	X			
	EVAP	X			
	CRIST	X			

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
contaminación pueda reducirse a niveles aceptables mediante las operaciones productivas validadas					
Art. 136.- Métodos y proceso de aseo y limpieza.	S-L		X		No tiene un procedimiento de aseo.
a. Escribir los procedimientos a seguir, donde se incluyan los agentes y sustancias utilizadas, así como las concentraciones o forma de uso y los equipos e implementos requeridos para efectuar las operaciones. También debe incluir la periodicidad de limpieza y desinfección	EVAP		X		No tiene un procedimiento de aseo.
	CRIST		X		No tiene un procedimiento de aseo.
b. En caso de requerirse desinfección se deben definir los agentes y sustancias, así como las concentraciones, formas de uso, eliminación y tiempos de acción del tratamiento para garantizar la efectividad de la operación	S-L		X		No se ha definido sustancias de desinfección
	EVAP		X		No se ha definido sustancias de desinfección.
	CRIST		X		No se ha definido sustancias de desinfección.
c. También se deben registrar las inspecciones de verificación después de la limpieza y desinfección, así como la	S-L		X		No se lleva un control de aseo.
	EVAP		X		No se lleva un control de aseo

ARTICULO	EQUIPOS	CUMPLE	NO CUMPLE	N/A	COMENTARIOS O EVIDENCIAS
validación de estos procedimientos	CRIST		X		No se lleva un control de aseo

## Anexo B. Cálculos

Cálculo de extracción sólido líquido pruebas laboratorio:

Cálculo del número de etapas para pruebas de laboratorio.

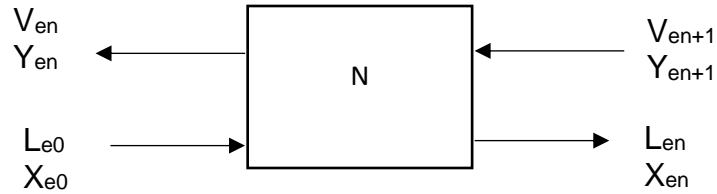


Figura B.1 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua

Tabla B.0.1. Datos de masa del extracto y del refinado.

$L_{e0}$	400 g
$X_{e0}$	0,0676
$V_{en+1}$	400 g
$Y_{e1}$	0,035
$Y_{en+1}$	0

Balance de azúcar

$$L_{e0} * X_{e0} + V_{en+1} Y_{en+1} = L_{en} X_{en} + V_{e1} Y_{e1}$$

$$400 * 0,0676 + 400 * 0 = 10 + V_{e1} * 0,035$$

$$V_{e1} = 486,85$$

Balance general

$$L_{e0} + V_{en+1} = L_{en} + V_{e1}$$

$$400 \text{ g} + 400 \text{ g} = L_{en} + 486,85$$

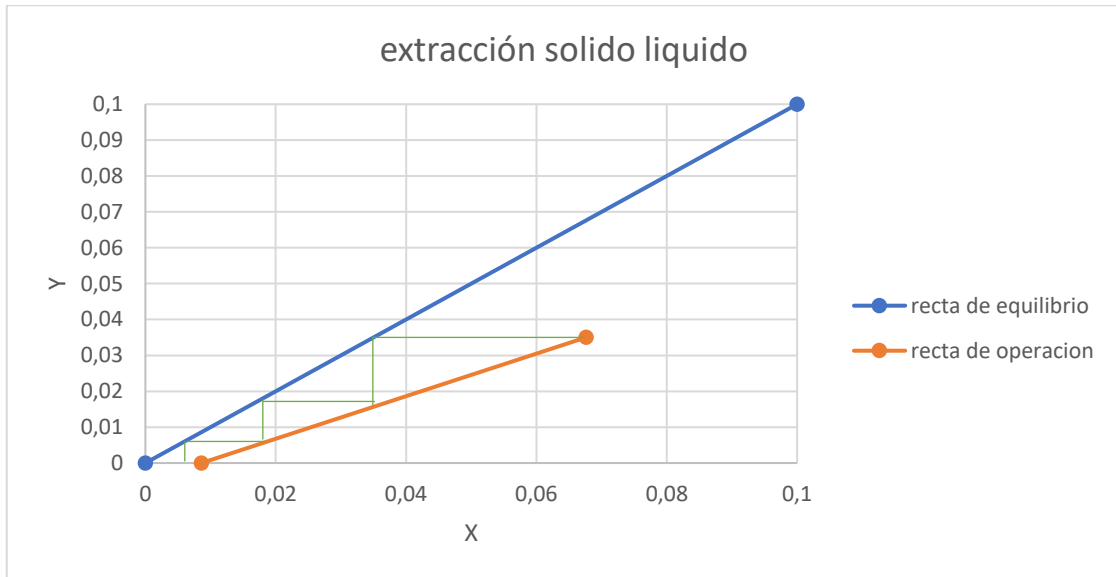
$$L_{en} = 313,14$$

% extracción

$$\%Ext = \frac{L_{e0} * X_{e0} - L_{en} X_{en}}{L_{e0} * X_{e0}}$$

$$0,9 = \frac{400 * 0,0676 - 313,14 * X_{en}}{400 * 0,0676}$$

$$X_{en} = 0,0086$$

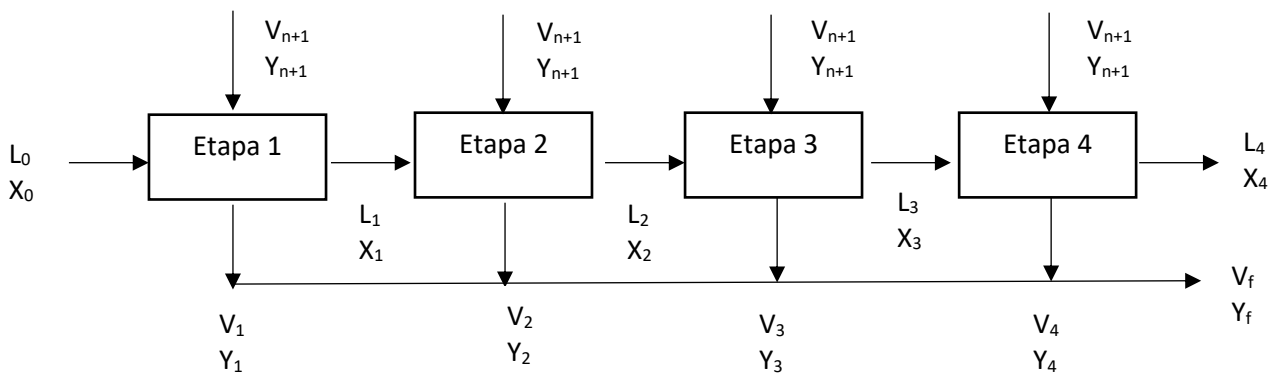


**Gráfico B.1. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas.**

$N=3$

Por seguridad en las pruebas de laboratorio se realizará 4 etapas.

### Sistema Remolacha-Agua 1:1 (4 etapas)



**Figura B.2 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua**

**Tabla B.0.2. Datos Registrados: Sistema remolacha-agua relación 1:1.**

Relación 1:1		
Tiempo (min)	Brix	Masa de remolacha (g)
1 etapa		400,00
5	1.5	
10	2	
15	2	
20	2.5	
25	3	
2 etapa		357,11
5	0.75	
10	1	
15	1.25	
20	1.5	
25	1.75	
3 etapa		340,8
5	0.75	
10	0.75	
15	1	
20	1	
25	1	
4 etapa		320,43
5	0.5	
10	0.5	
15	0.5	
20	0.5	
25	0.5	310,2

**1 etapa**

**Tabla B.0.3. Datos iniciales en la 1 etapa relación 1:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_0$	400,00 g
	Solubles	$X_0$	6,76%
	Masa final	$L_1$	357,11 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	400 g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_1$	0,03%

Cálculos

Balance general

$$L_0 + V_{n+1} = L_1 + V_1$$

Masa etapa 1  $V_1$

$$400 + 400 = 357,11 + V_1$$

$$V_1 = 442,89 \text{ g}$$

Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_1$ )

Balance de azúcares

$$L_0 X_0 + V_{n+1} Y_{n+1} = L_1 X_1 + V_1 Y_1$$

$$X_1 = \frac{L_0 X_0 - V_1 Y_1}{L_1}$$

$$X_1 = \frac{400 \text{ g}(0,0676) - 442,89 \text{ g}(0,03)}{357,11 \text{ g}}$$

$$X_1 = 0,0385$$

Porcentaje extraído

$$\%Ext1 = \frac{L_0 X_0 - L_1 X_1}{L_0 X_0}$$

$$\%Ext1 = \frac{400(0,0676) - 357,11(0,0385)}{400(0,0676)}$$

$$\%Ext1 = 0,4915$$

**Etapla 2**

**Tabla B.0.4. Datos iniciales en la 2 etapa relación 1:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_1$	357,11 g
	Solubles	$X_1$	0,0385
	Masa final	$L_2$	340,8 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	400g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_2$	0,0175%



Cálculos

Balance general

$$L_1 + V_{n+1} = L_2 + V_2$$

Masa etapa V<sub>2</sub>

$$357,11g + 400g = 340,8g + V_2$$

$$V_2 = 416,31g$$

Concentración de azúcares en la remolacha (X<sub>2</sub>)

Balance de azúcares

$$L_1x_1 + V_{n+1}y_{n+1} = L_2x_2 + V_2y_2$$

$$X_2 = \frac{L_1X_1 - V_2Y_2}{L_2}$$

$$X_2 = \frac{357,11g (0,0385) - 416,31g (0,0175)}{340,8g}$$

$$X_2 = 0,019$$

Porcentaje extraído

$$\%Ext2 = \frac{L_1X_1 - L_2X_2}{L_1X_1}$$

$$\%Ext2 = \frac{357,11(0,0385) - 340,8(0,019)}{357,11(0,0385)}$$

$$\%Ext2 = 0,529$$

### Etapa 3

Tabla B.0.5. Datos iniciales en la 3 etapa relación 1:1.

Remolacha	Masa inicial	L <sub>2</sub>	340,8 g
	Solubles	X <sub>2</sub>	0,019
	Masa final	L <sub>3</sub>	320,43 g
Agua	Masa inicial	V <sub>n+1</sub>	400 g
	Concentración inicial	Y <sub>n+1</sub>	0%
	Concentración final	Y <sub>3</sub>	0,01%

Cálculos

Balance general

$$L_2 + V_{n+1} = L_3 + V_3$$

Masa etapa  $V_3$

$$340,8 \text{ g} + 400 \text{ g} = 320,43 \text{ g} + V_3$$

$$V_3 = 420,37 \text{ g}$$

Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_3$ )

Balance de azúcares

$$L_2x_2 + V_{n+1}y_{n+1} = L_3x_3 + V_3y_3$$

$$X_3 = \frac{L_2X_2 - V_3Y_3}{L_3}$$

$$X_3 = \frac{340,8 \text{ g}(0,019) - 420,37 \text{ g}(0,01)}{320,43 \text{ g}}$$

$$X_3 = 0,007$$

Porcentaje extraído

$$\%Ext3 = \frac{L_2X_2 - L_3X_3}{L_2X_2}$$

$$\%Ext3 = \frac{340,8 \text{ g}(0,019) - 320,43(0,007)}{340,8 \text{ g}(0,019)}$$

$$\%Ext3 = 0,6535$$

#### Etapa 4

**Tabla B.0.6.Datos iniciales en la 4 etapa relación 1:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_3$	320,43 g
	Solubles	$X_3$	0,007
	Masa final	$L_4$	310,2 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	400 g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_4$	0,005%

Cálculos

Balance general

$$L_3 + V_{n+1} = L_4 + V_4$$

Masa etapa  $V_4$

$$320,43 \text{ g} + 400 \text{ g} = 310,2 \text{ g} + V_4$$

$$V_4 = 410,23 \text{ g}$$

Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_4$ )

Balance de azúcares

$$L_3x_3 + V_{n+1}y_{n+1} = L_4x_4 + V_4y_4$$

$$X_4 = \frac{L_3X_3 - V_4Y_4}{L_4}$$

$$X_4 = \frac{320,43 \text{ g}(0,007) - 410,23 \text{ g}(0,005)}{310,2 \text{ g}}$$

$$X_4 = 0,00062$$

Porcentaje extraído

$$\%Ext4 = \frac{L_3X_3 - L_4X_4}{L_3X_3}$$

$$\%Ext4 = \frac{320,43 \text{ g}(0,007) - 310,2(0,00062)}{320,43 \text{ g}(0,007)}$$

$$\%Ext4 = 0,914$$

Porcentaje extraído final.

$$\%Extf = \frac{L_0X_0 - L_4X_4}{L_0X_0}$$

$$\%Extf = \frac{400(0,0676) - 310,2(0,00062)}{400(0,0676)}$$

$$\%Extf = 0,9928$$

**Tabla B.0.7. Resultados de la primera prueba de extracción relación 1:1.**

Etapa 1	
Extraído = 49,15 %	
Entrada	Salida

Lo	400 g	L1	357,11 g
Xo	6,76%	X1	3,85%
Etapa 2			
Extraído = 52,9%			
Entrada		Salida	
L1	357,11 g	L2	340,8 g
X1	3,85%	X2	1,96%
Etapa 3			
Extraído = 65,35%			
Entrada		Salida	
L2	340,8 g	L3	320,43 g
X2	1,96%	X3	0,7%
Etapa 4			
Extraído = 91,4 %			
Entrada		Salida	
L3	320,43 g	L4	310,2 g
X3	0,7%	X4	0,062%
Extracción final: 99,29%			
$Y_{fteo} = 0.016$		$Y_{fprac} = 0.02$	$\%error = 25\%$

Corriente de agua

$$V_f = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$y_f V_f = y_1 V_1 + y_2 V_2 + y_3 V_3 + y_4 V_4$$

$$Y_f(1679,7) = 0,03 (442,89) + 0,0175 (416,31) + 0,01 (420,37) + 0,005 (410,23)$$

$$Y_f = 0,016 \text{ (teórico)}$$

$$Y_f = 0,02 \text{ (experimental)}$$

$$\%error = \frac{Y_{fteo} - Y_{fprac}}{Y_{fteo}} * 100$$

$$\%error = \frac{0,016 - 0,02}{0,016} * 100$$

$$\%error = 25 \%$$

### Sistema Remolacha-Agua 2:1 (4 etapas)

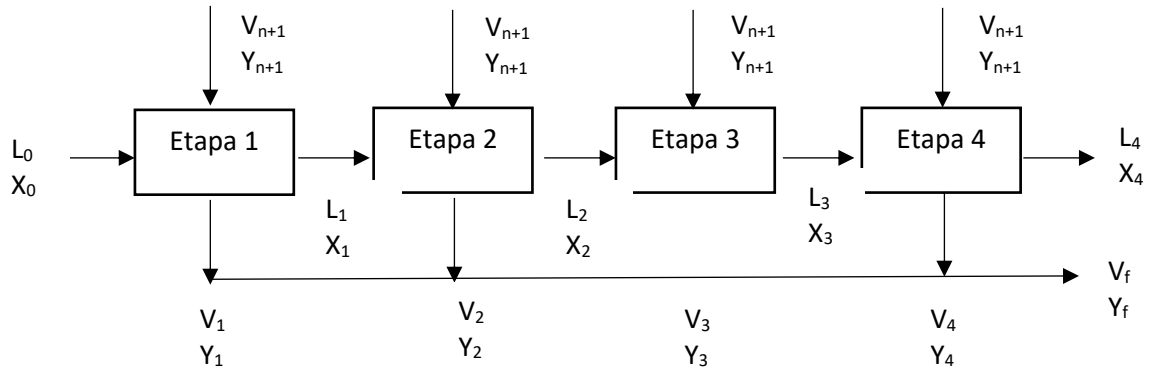


Figura B.3 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua

Tabla B.0.8. Datos Registrados: Sistema remolacha-agua relación 2:1.

Relación 2:1		
Tiempo (min)	Brix	Masa de remolacha (g)
1 etapa		400,01
5	0,25	
10	0,75	
15	0,75	
20	1,25	
25	1,5	
2 etapa		358,14
5	0,5	
10	0,75	
15	1	
20	1	
25	1	
3 etapa		346,1
5	0,5	
10	0,5	
15	0,5	
20	0,5	
25	0,5	
4 etapa		343,91
5	0,25	
10	0,25	

Relación 2:1		
Tiempo (min)	Brix	Masa de remolacha (g)
15	0,25	
20	0,25	
25	0,25	336,19

### 1 etapa

**Tabla B.0.9. Datos iniciales en la 1 etapa relación 2:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_0$	400,01 g
	Solubles	$X_0$	6,76%
	Masa final	$L_1$	358,14 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	800 g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_1$	0,015%

### Cálculos

#### Balance general

$$L_0 + V_{n+1} = L_1 + V_1$$

#### Masa etapa 1 $V_1$

$$400,01 + 800 = 358,14 + V_1$$

$$V_1 = 841,87 \text{ g}$$

#### Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_1$ )

#### Balance de azúcares

$$L_0 X_0 + V_{n+1} Y_{n+1} = L_1 X_1 + V_1 Y_1$$

$$X_1 = \frac{L_0 X_0 - V_1 Y_1}{L_1}$$

$$X_1 = \frac{400,01 \text{ g}(0,0676) - 841,87 \text{ g}(0,015)}{358,14 \text{ g}}$$

$$X_1 = 0,04024$$

#### Porcentaje extraído

$$\%Ext1 = \frac{L_0 X_0 - L_1 X_1}{L_0 X_0}$$

$$\%Ext1 = \frac{400,01(0,0686) - 358,14(0,04024)}{400,01(0,0676)}$$

$$\%Ext1 = 0,4818$$

## Etapa 2

**Tabla B.0.10. Datos iniciales en la 2 etapa relación 2:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_1$	358,14 g
	Solubles	$X_1$	0,04024
	Masa final	$L_2$	346,1 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	800 g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_2$	0,01%

### Cálculos

#### Balance general

$$L_1 + V_{n+1} = L_2 + V_2$$

#### Masa etapa $V_2$

$$358,14g + 800g = 346,1g + V_2$$

$$V_2 = 812,04 g$$

#### Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_2$ )

#### Balance de azúcares

$$L_1x_1 + V_{n+1}y_{n+1} = L_2x_2 + V_2y_2$$

$$X_2 = \frac{L_1X_1 - V_2Y_2}{L_2}$$

$$X_2 = \frac{358,14g(0,04024) - 812,04 g (0,01)}{346,04 g}$$

$$X_2 = 0,01818$$

#### Porcentaje extraído

$$\%Ext2 = \frac{L_1X_1 - L_2X_2}{L_1X_1}$$

$$\%Ext2 = \frac{358,14g(0,04024) - 346,04(0,01818)}{358,14g(0,04024)}$$

$$\%Ext2 = 0,6171$$

### Etapa 3

**Tabla B.0.11. Datos iniciales en la 3 etapa relación 2:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_2$	346,1 g
	Solubles	$X_2$	0,01818
	Masa final	$L_3$	343,91 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	800 g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_3$	0,005%

#### Cálculos

##### Balance general

$$L_2 + V_{n+1} = L_3 + V_3$$

##### Masa etapa $V_3$

$$346,1 \text{ g} + 800 \text{ g} = 343,91 \text{ g} + V_3$$

$$V_3 = 802,19 \text{ g}$$

##### Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_3$ )

##### Balance de azúcares

$$L_2x_2 + V_{n+1}y_{n+1} = L_3x_3 + V_3y_3$$

$$X_3 = \frac{L_2X_2 - V_3Y_3}{L_3}$$

$$X_3 = \frac{346,1 \text{ gr}(0,01818) - 802,19 \text{ gr} (0,005)}{343,91 \text{ gr}}$$

$$X_3 = 0,0066$$

##### Porcentaje extraído

$$\%Ext3 = \frac{L_2X_2 - L_3X_3}{L_2X_2}$$



$$\%Ext3 = \frac{346,1 \text{ g}(0,01818) - 343,91(0,0066)}{346,1 \text{ g}(0,01818)}$$

$$\%Ext3 = 0,6392$$

#### Etapa 4

**Tabla B.0.12. Datos iniciales en la 4 etapa relación 2:1.**

Remolacha	Masa inicial	$L_3$	343,91 g
	Solubles	$X_3$	0,006
	Masa final	$L_4$	336,19 g
Agua	Masa inicial	$V_{n+1}$	800g
	Concentración inicial	$Y_{n+1}$	0%
	Concentración final	$Y_4$	0,0025%

#### Cálculos

##### Balance general

$$L_3 + V_{n+1} = L_4 + V_4$$

##### Masa etapa $V_4$

$$343,91 \text{ g} + 800 \text{ g} = 336,19 \text{ g} + V_4$$

$$V_4 = 807,72 \text{ g}$$

##### Concentración de azúcares en la remolacha ( $X_4$ )

##### Balance de azúcares

$$L_3x_3 + V_{n+1}y_{n+1} = L_4x_4 + V_4y_4$$

$$X_4 = \frac{L_3X_3 - V_4Y_4}{L_4}$$

$$X_4 = \frac{343,91 \text{ g}(0,0066) - 807,72 \text{ g} (0,0025)}{336,19 \text{ g}}$$

$$X_4 = 0,00074$$

##### Porcentaje extraído

$$\%Ext4 = \frac{L_3X_3 - L_4X_4}{L_3X_3}$$

$$\%Ext4 = \frac{343,91 \text{ g}(0,0066) - 336,19(0,00074)}{343,91 \text{ g}(0,0066)}$$

$$\%Ext4 = 0,8904$$

Porcentaje extraído final.

$$\%Extf = \frac{L_0X_0 - L_4X_4}{L_0X_0}$$

$$\%Extf = \frac{400,01(0,0676) - 336,19(0,00074)}{400,01(0,0676)}$$

$$\%Extf = 0,9907$$

**Tabla B.0.13. Resultados de la segunda prueba de extracción relación 2:1.**

Etapa 1			
Extraído = 48,18%			
Entrada		Salida	
Lo	400,01 g	L1	358,14 g
Xo	6,76%	X1	4,02%
Etapa 2			
Extraído = 61,71%			
Entrada		Salida	
L1	358,14 g	L2	346,1 g
X1	4,02%	X2	1,818%
Etapa 3			
Extraído = 63,92 %			
Entrada		Salida	
L2	346,1 g	L3	343,91 g
X2	1,818 %	X3	0,66 %
Etapa 4			
Extraído = 89,04%			
Entrada		Salida	
L3	343,91 g	L4	336,19 g
X3	0,66%	X4	0,074%
Extracción final: 99,07%			
Y <sub>fteo</sub> = 0.0082	Y <sub>fprac</sub> = 0.0075	%error = 8,53%	

Corriente de agua

$$V_f = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$y_f V_f = y_1 V_1 + y_2 V_2 + y_3 V_3 + y_4 V_4$$

$$x_f(3263,82) = 0,015 (841,87) + 0,01 (812,04) + 0,005 (802,19) + 0,0025 (807,72)$$

$$x_f = 0,0082 \text{ (teórico)}$$

$$x_f = 0,0075 \text{ (experimental)}$$

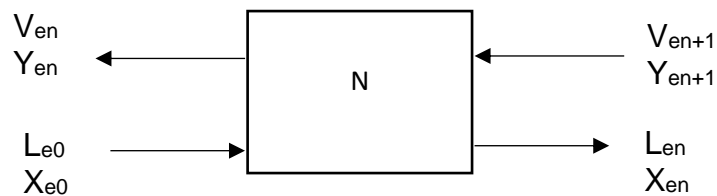
$$\%error = \frac{X_{fteo} - X_{fprac}}{X_{fteo}} * 100$$

$$\%error = \frac{0,0082 - 0,0075}{0,0082} * 100$$

$$\%error = 8,53 \%$$

**Cálculos de extracción sólido líquido prueba en equipo piloto:**

**Prueba 1.**



**Figura B.4 Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua**

M sólido= 8 kg ----- 250g por cangilon----- 32 cangilones

**Tabla B.0.14. Datos de °Brix por etapa.**

etapa	°Brix
1	0,25
2	0,4
3	0,5
4	0,25
5	0,25
6	0,25

**Tabla B.0.15. Datos de masa del extracto y del refinado.**

L <sub>e0</sub>	8 kg
X <sub>e0</sub>	0,0676
V <sub>e1</sub>	20,5 kg
Y <sub>e1</sub>	0,015
Y <sub>en+1</sub>	0
L <sub>en</sub>	7,6 kg

Balance general

$$L_{e0} + V_{en+1} = L_{en} + V_{e1}$$

$$8 \text{ kg} + V_{en+1} = 7,6 \text{ kg} + 20,5 \text{ kg}$$

$$V_{en+1} = 20,1 \text{ kg}$$

Balance de azúcar

$$L_{e0} * X_{e0} + V_{en+1} Y_{en+1} = L_{en} X_{en} + V_{e1} Y_{e1}$$

$$X_{en} = \frac{L_{e0} * X_{e0} - V_{e1} Y_{e1}}{L_{en}}$$

$$X_{en} = \frac{8 * 0,0676 - 20,5 * 0,015}{7,6}$$

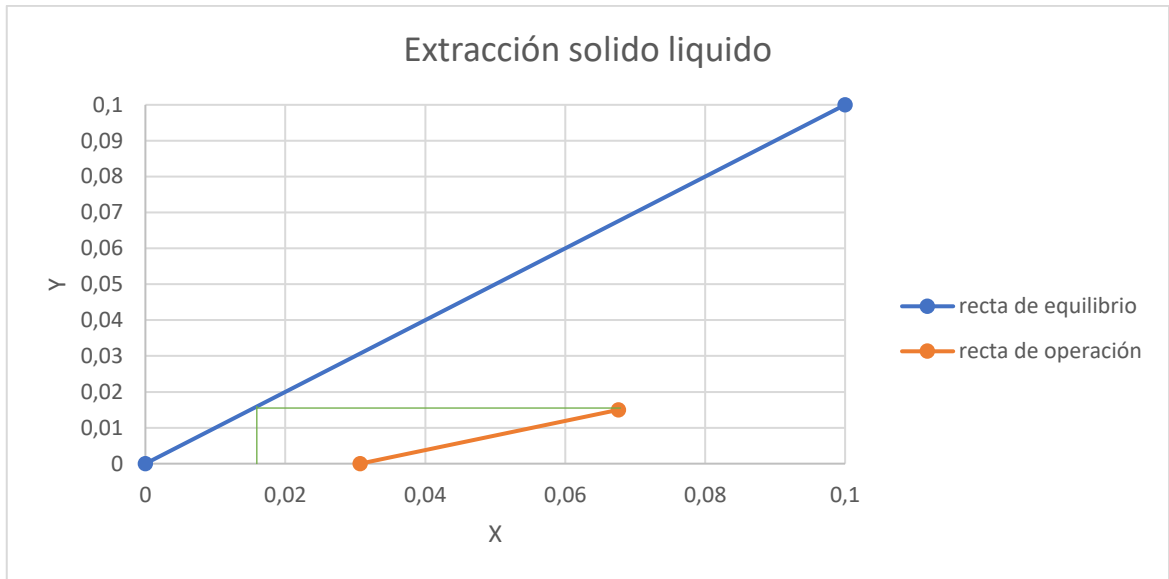
$$X_{en} = 0,03069$$

% extracción

$$\%Ext = \frac{L_{e0} * X_{e0} - L_{en} X_{en}}{L_{e0} * X_{e0}}$$

$$\%Ext = \frac{8 * 0,0676 - 7,6 * 0,03069}{8 * 0,0676}$$

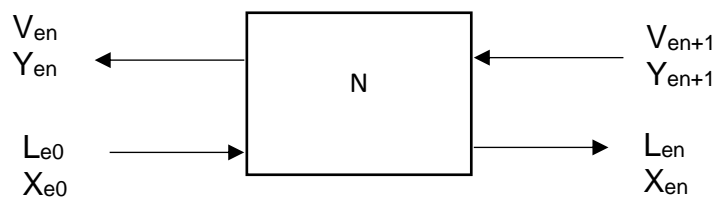
$$\%Ext = 0,5687$$



**Gráfico B.2. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas.**

N=1

**Prueba 2**



**Figura B.5. Diagrama de Bloques del Sistema remolacha-agua**

M sólido= 7,5 kg ----- 250g por cangilon----- 30 cangilones

**Tabla B.0.16. Datos de °Brix por etapa.**

etapa	°Brix
1	0
2	0
3	0,25
4	0,25
5	0,5
6	0,75

**Tabla B.0.17. Datos de masa del extracto y del refinado**

$L_{e0}$	7,5 kg
$X_{e0}$	0,0676
$V_{e1}$	21,8 kg
$Y_{e1}$	0,0125
$Y_{en+1}$	0
$L_{en}$	6,96 kg

Balance general

$$L_{e0} + V_{en+1} = L_{en} + V_{e1}$$

$$7,5 \text{ kg} + V_{en+1} = 6,96 \text{ kg} + 21,8 \text{ kg}$$

$$V_{en+1} = 21,26 \text{ kg}$$

Balance de azúcar

$$L_{e0} * X_{e0} + V_{en+1} Y_{en+1} = L_{en} X_{en} + V_{e1} Y_{e1}$$

$$X_{en} = \frac{L_{e0} * X_{e0} - V_{e1} Y_{e1}}{L_{en}}$$

$$X_{en} = \frac{7,5 * 0,0676 - 21,8 * 0,0125}{6,96}$$

$$X_{en} = 0,03369$$

% extracción

$$\%Ext = \frac{L_{e0} * X_{e0} - L_{e6} X_{e6}}{L_{e0} * X_{e0}}$$

$$\%Ext = \frac{7,5 * 0,0676 - 6,96 * 0,03369}{7,5 * 0,0676}$$

$$\%Ext = 0,5375$$

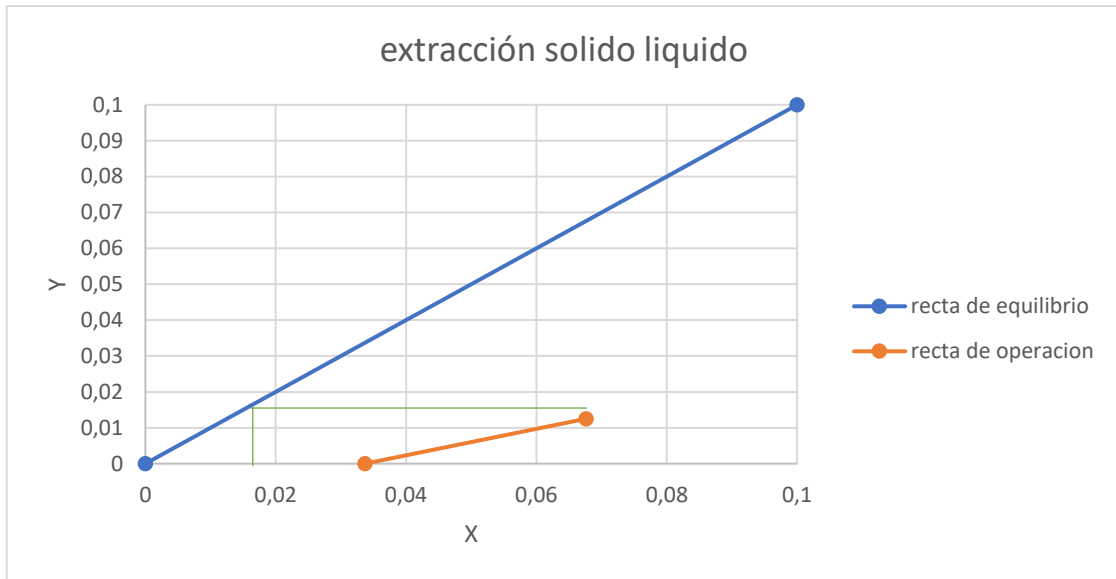


Gráfico B.3. Recta de operación y equilibrio para determinar el número de etapas.

$N=1$

Cálculos del evaporador:

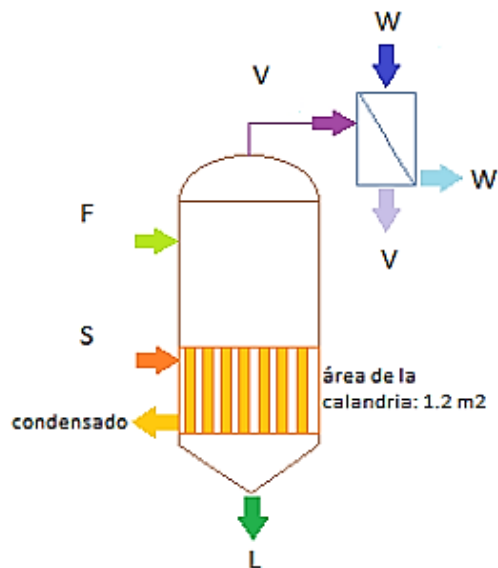


Figura B.6. Diagrama de Bloques del Evaporador.

Datos:

Tabla B.0.18. Datos del evaporador

EVAPORADOR		
Datos	Valor	Unidad
Área de la calandria	1,2	m <sup>2</sup>

<b>EVAPORADOR</b>		
Datos	Valor	Unidad
Presión de vapor	20	Psia
Tf	26	°C
Xf	0,02	---
TI	94	°C
XI	0,7025	---
Ts	100	°C
L	8,14	kg
S	473,15	kg
F	380	kg
V	377,22	kg

**Tabla B.0.19. Datos en la práctica sin vacío.**

<b>TIEMPO(MIN)</b>	<b>BRIX</b>
0	2
5	2
10	3,75
15	2,75
20	3,5
25	5,5
30	13,25
35	4,75
40	4,75
45	13
50	6,25
55	4,75
60	6,25
65	8,5
70	11
75	28,25
80	26
85	9,25
90	10,5
95	17,75
100	34,25
105	35,5
110	34,25



<b>TIEMPO(MIN)</b>	<b>BRIX</b>
115	10,75
120	9,75
125	40
130	40,75
135	17,5
140	11,25
145	15,25
150	26,25
155	37,5
160	35,75
165	31,5
170	37,5
175	12,25
180	16,5
185	24,5
190	41,25
195	50,5
200	52,5
205	53
210	11,75
215	14,25
220	20,25
225	31,75
230	41
235	40,25
240	11,75
245	13,75
250	23,5
255	47,25
260	51,25
265	14
270	17,25
275	48
280	26,5
285	56,5
290	16
295	19,25
300	19,75

<b>TIEMPO(MIN)</b>	<b>BRIX</b>
305	20
310	47,75
315	50
320	49,75
325	20,75
330	36,25
335	53,25
340	58,75
345	27,5
350	46,5
355	57,5
360	59,75
365	56,75
370	16,25
375	14,5
380	28,25
385	42,75
390	65
395	35
400	23
405	37,25
410	37,75
415	60,5
420	22,5
425	27,25
430	34,75
435	26
440	63,5
445	65,5
450	25
455	33
460	62,25
465	63,25
470	22,25
475	30,25
480	38
485	67
490	68,5

TIEMPO(MIN)	BRIX
495	70,25

**Tabla B.0.20. Datos del condensador**

Condensador		
Datos	Valor	Unidad
Tv	100	°C
Tw2	50	°C
Tw1	27	°C
V	377.22	kg

**Cálculos:**

**Balance global de materia**

$$F = V + L$$

$$380 \text{ Kg} = V + L$$

**Balance de azúcar**

$$F x_f = L x_l$$

$$380 \text{ Kg} \times 0,02 = L \times 0,7025$$

$$L = 10,82 \text{ Kg}$$

$$380 \text{ Kg} = V + 10,82 \text{ Kg}$$

$$V = 369,18 \text{ Kg}$$

**EPE**

$$70,25 \text{ g soluto} * \frac{1 \text{ mol soluto}}{342 \text{ g soluto}} = 0,2054 \text{ mol soluto}$$

$$m = \frac{\text{mol soluto}}{\text{Kg solvente}}$$

$$m = \frac{0,2054 \text{ mol}}{0,02975 \text{ kg}}$$

$$m = 6,9 \frac{\text{mol soluto}}{\text{Kg solvente}}$$

$$EPE = \frac{R_g \times W_a \times T_{a0}^2 \times m}{L_v \times 1000}$$

$$EPE = \frac{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \times 139240,92 \text{ k}^2 \times 6,9 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}}{4,0626 \times 10^4 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times 1000}$$

$$EPE = 3,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Temperatura de ebullición real

$$T_{eb \text{ real}} = 100 + EPE$$

$$T_{eb \text{ real}} = 100 + 3,54$$

$$T_{eb \text{ real}} = 103,54^\circ\text{C}$$

### Balance global de energía

$$Fh_F + S\lambda = Lh_L + VH_V$$

$$S = \frac{Lh_L + VH_V - Fh_F}{\lambda}$$

Tabla B.0.21. Datos de las tablas de vapor

Datos prácticos		Datos de tabla de vapor	
$T_{v2}$	103,54°C	$H_v$	2681,12 kJ/kg
$T_{w2}$	50°C	$H_{w2}$	209,33 kJ/kg
$T_{w1}$	27°C	$H_{w1}$	113,2 kJ/kg
$T_{v1}$	100°C	$\lambda_s$	2256,47 kJ/kg
$P_v$	20 psia	$\Lambda$	2232,84 kJ/kg

### Para el de $h_f$ y $h_l$

$$cp = 4,19 - 2,33x$$

Para F a  $x=0,02$

$$cp = 4,19 - 2,33(0,02) = 4,14 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C kg}}$$

$$h_f = Cp \times t_f = 4,14 * 26 = 107,64 \text{ kJ/kg}$$

Para L a  $x=0,7025$

$$cp = 4,19 - 2,33(0,7025) = 2,55 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C kg}}$$

$$h_l = Cp \times t_l = 2,55 * 94 = 239,99 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = 960.127 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} * \frac{1,055 \text{ kJ}}{1 \text{ BTU}} * \frac{2.20463 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 2232,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$S = \frac{(10,82\text{kg}) (239,99 \text{ kJ/kg}) + (369,18\text{kg})(2681,12 \text{ kJ/kg}) - (380\text{kg} * 107,64 \text{ kJ/kg})}{2232,84 \text{ kJ/kg}}$$

$$S = 426,14 \text{ kg}$$

### Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor

$$Q_{teo} = S * \lambda$$

$$Q_{teo} = 426,14 \text{ kg} * 2232,84 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{teo} = 951502,43 \text{ kJ}$$

$$\Delta t_m = T_s - T_{eb} = 108,85 - 103,54 = 5,31^\circ\text{C}$$

$$U_{teo} = \frac{Q}{A * \Delta T_m}$$

$$U_{teo} = \frac{951502,43 \text{ kJ}}{1,2 \text{ m}^2 * (108,85 - 103,54)^\circ\text{C}}$$

$$U_{teo} = 149325,55 \text{ kJ/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{exp} = S * \lambda$$

$$Q_{exp} = 473,15 \text{ kg} * 2232,84 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{exp} = 1056468,25 \text{ kJ}$$

$$\Delta t_m = T_s - T_{eb} = 108,85 - 103,54 = 5,31^\circ\text{C}$$

$$U_{exp} = \frac{Q}{A * \Delta T_m}$$

$$U_{exp} = \frac{1056468,25 \text{ kJ}}{1,2 \text{ m}^2 * (108,85 - 103,54)^\circ\text{C}}$$

$$U_{exp} = 165798,53 \text{ kJ/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\%error = \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} * 100$$

$$\%error = \frac{149325,55 - 165798,53}{149325,55} * 100 = 11,03\%$$

### Cálculo de W teórico

$$W(H_{w2} - H_{w1}) = V\lambda_v$$

$$W(209,33 \text{ kJ/Kg} - 113,2 \text{ kJ/kg}) = (369,18 \text{ Kg})(2232,84 \text{ kJ/kg})$$

$$W = 8575,05 \text{ kg}$$

### Cálculo de porcentajes de error

$$\%error = \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} * 100$$

Para L

$$\%error = \frac{10,82 - 8,14}{10,82} * 100 = 24,76\%$$

Para V

$$\%error = \frac{369,18 - 377,22}{369,18} * 100 = 2,17\%$$

Para S

$$\%error = \frac{426,14 - 473,15}{426,14} * 100 = 11,03 \%$$

### **Economía del evaporador**

$$Economía\ de\ vapor = \frac{masa\ de\ vapor\ de\ salida}{masa\ de\ vapor\ de\ saturado} * 100$$

$$Economía\ teorica = \frac{369,18}{426,14} * 100 = 86,63\%$$

$$Economía\ practico = \frac{377,22}{473,15} * 100 = 79,73\%$$

$$\%error = \frac{86,63 - 98,52}{86,63} * 100 = 13,72\%$$

$$Q_{sol.exp} = m_f C_{pf} * (T - T_f) + m_v * \lambda_v$$

$$Q_{sol.exp} = 380\ kg * 4.14 \frac{kJ}{^{\circ}C\ kg} * (103.54 - 26) + 377,22\ kg * 2256,47\ kJ/kg$$

$$Q_{sol.exp} = 973171,54\ kJ$$

$$Q_{sol.teo} = m_f C_{pf} * (T - T_f) + m_v * \lambda_v$$

$$Q_{sol.teo} = 380\ kg * 4.14 \frac{kJ}{^{\circ}C\ kg} * (103.54 - 26) + 369.18\ kg * 2256,47\ kJ/kg$$

$$Q_{sol.teo} = 955029,52\ kJ$$

$$Eficiencia_{teo} = \frac{Q_{sol}}{Q} * 100$$

$$Eficiencia_{teo} = \frac{955029,52}{951502,43} * 100$$

$$Eficiencia_{teo} = 100,37$$

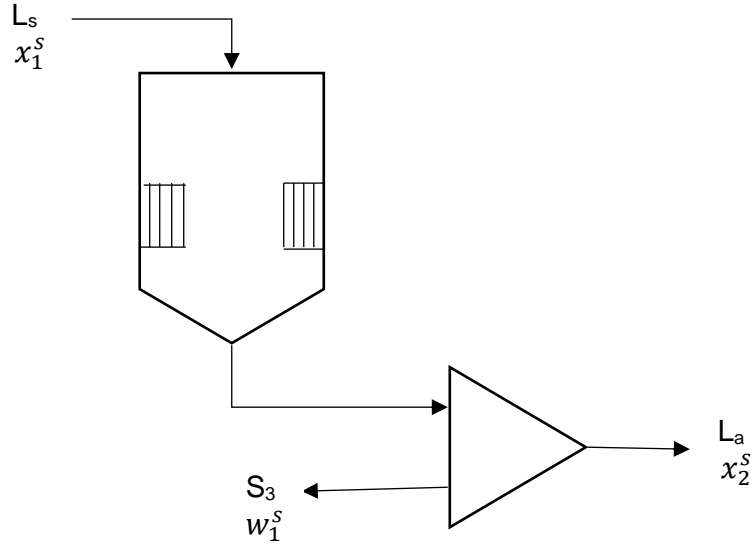
$$Eficiencia_{exp} = \frac{Q_{sol}}{Q} * 100$$

$$Eficiencia_{exp} = \frac{973171,54}{1056468,25} * 100$$

$$Eficiencia_{exp} = 92,11$$

**Cálculo del cristalizador:**

Solución azucarada.



**Figura B.7. Diagrama de Bloques del Cristalizador.**

**Tabla B.0.22. Datos del cristalizador.**

Alimentación	7,76 Kg
Masa de semilla	756,6 g
Concentración inicial	70,25%
Concentración final	67 %

**Balance de materia**

$$L_s = S_3 + L_a$$

$$L_s x_1^s = S_3 w_1^s + L_a x_2^s$$

Concentración inicial sacarosa:  $T = 70^\circ\text{C}$

$$x_1^s = 0.7622$$

Concentración final sacarosa:  $T = 20^\circ\text{C}$

$$x_2^s = 0.6709$$

$$7.76(0.7622) = S_3 (0.95) + 4.7985 (0.6709)$$

$$S_3 = \frac{5.914 - 3.219}{0.95}$$

$$S_3 = 2.83 \text{ kg}$$

### Calculo del cristal real

- Licor madre desgastado= 4798.5 g
- Cristales húmedos= 2555.06 g

De esta masa de cristal húmedo se tomaron 6 muestras de 10 g cada una secar y obtener los siguientes resultados.

**Tabla B.0.23. Resultados de la masa de secado.**

Pruebas	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	m2-m3 (g)	m2-m1 (g)
1	29,52	39,52	39,13	0,39	9,61
2	38,53	48,53	48,14	0,39	9,61
3	40,17	50,18	49,82	0,36	9,65
4	32,03	42,04	41,65	0,39	9,62
5	33,85	43,85	43,49	0,36	9,64
6	33,13	43,13	42,74	0,39	9,61
promedio				0,38	9,62

Para la determinación del porcentaje de humedad se realizará por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

**Tabla B.0.24. Porcentaje de humedad de las muestras.**

pruebas	% humedad
1	4,06
2	4,06
3	3,73
4	4,05
5	3,73
6	4,06



El promedio de la humedad es 3,95%, con el promedio del agua removida y el promedio del material seco se calcula el %H<sub>2</sub>O que tiene la muestra total y luego se calcula la cantidad de cristal seco contenido en la muestra total.

$$\%H_2O = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

$$\%H_2O = \frac{0,38}{10} \cdot 100$$

$$\%H_2O = 3,8 \%$$

$$\%cristal\ seco = 100 - \%H_2O$$

$$\%cristal\ seco = 100 - 3,8$$

$$\%cristal\ seco = 96,2\%$$

$$\%cristal\ seco = \frac{m_s}{m_t} * 100$$

$$96,2 = \frac{m_s}{2555,06\ g} * 100$$

$$m_s = 2457,97\ g$$

Se calcula el porcentaje de cristales contenido en la masa que sale del cristalizador.

$$\%cristal\ seco\ salida\ del\ cristalizador = \frac{m_s}{m_{tc}} * 100$$

$$\%cristal\ seco\ salida\ del\ cristalizador = \frac{2457,97}{7353,65} * 100$$

$$\%cristal\ seco\ salida\ del\ cristalizador = 33,42\%$$

Pero no hay que olvidar que se debe restar la cantidad de semilla agregada en la Cristalización, por lo tanto, se procederá a calcular los cristales reales.

$$Cristal\ real = Cristal\ seco - semilla$$

$$Cristal\ real = 2,46\ kg - 0,7566\ Kg$$

$$Cristal\ real = 1,7\ Kg$$

Sabiendo los cristales reales se procederá a calcular la eficiencia del cristizador.

$$\%Eficiencia = \frac{Cristal\ real}{Cristal\ teórico} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia = \frac{1,7\ Kg}{2,83\ Kg} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia = 60,07\ \%$$

**Secado:**

**Tabla B.0.25. Cálculos de la velocidad de secado y humedad libre n base seca de la termobalanza prueba 1.**

TIEMPO(s)	masa	Xi total	Xlibre	X2-x1	DELTA T	N	Xi total	SUPERFICIE DE SECADO	muestra húmeda en equilibrio
15	5,308	0,057	0,011437	-0,00095	15	2,31481E-06	0,011819	144	5,248
30	5,303	0,169	0,010484	-0,00191	15	4,62963E-06	0,010865		
45	5,293	0,632	0,008578	-0,00057	15	1,38889E-06	0,008959		
60	5,290	0,377	0,008006	-0,00038	15	9,25926E-07	0,008387		
75	5,288	0,452	0,007625	-0,00095	15	2,31481E-06	0,008006		
90	5,283	0,527	0,006672	-0,00057	15	1,38889E-06	0,007053		
105	5,280	0,565	0,0061	-0,00057	15	1,38889E-06	0,006481		
120	5,277	0,621	0,005528	-0,00038	15	9,25926E-07	0,005909		
135	5,275	0,659	0,005147	-0,00038	15	9,25926E-07	0,005528		
150	5,273	0,716	0,004766	-0,00038	15	9,25926E-07	0,005147		
165	5,271	0,734	0,004384	-0,00038	15	9,25926E-07	0,004766		
180	5,269	0,772	0,004003	-0,00019	15	4,62963E-07	0,004384		
195	5,268	0,791	0,003812	-0,00038	15	9,25926E-07	0,004194		
210	5,266	0,829	0,003431	-0,00019	15	4,62963E-07	0,003812		
225	5,265	0,866	0,003241	-0,00038	15	9,25926E-07	0,003622		
240	5,263	0,865	0,002859	-0,00019	15	4,62963E-07	0,003241		
255	5,262	0,904	0,002669	-0,00019	15	4,62963E-07	0,00305		

TIEMPO(s)	masa	Xi total	Xlibre	X2-x1	DELTA T	N	Xi total	SUPERFICIE DE SECADO	muestra húmeda en equilibrio
270	5,261	0,923	0,002478	-0,00019	15	4,62963E-07	0,002859		
285	5,260	0,942	0,002287	-0,00019	15	4,62963E-07	0,002669		
300	5,259	0,960	0,002097	-0,00019	15	4,62963E-07	0,002478		
315	5,258	0,979	0,001906	-0,00019	15	4,62963E-07	0,002287		
330	5,257	0,998	0,001716	-0,00019	15	4,62963E-07	0,002097		
345	5,256	1,017	0,001525	-0,00019	15	4,62963E-07	0,001906		
360	5,255	1,036	0,001334	-0,00019	15	4,62963E-07	0,001716		
375	5,254	1,055	0,001144	-0,00019	30	2,31481E-07	0,001525		
405	5,253	1,073	0,000953	-0,00019	15	4,62963E-07	0,001334		
420	5,252	1,092	0,000762	-0,00019	15	4,62963E-07	0,001144		
435	5,251	1,111	0,000572	-0,00019	30	2,31481E-07	0,000953		
465	5,250	1,130	0,000381	-0,00038	30	4,62963E-07	0,000762		
495	5,248	1,168	0	-0,00019	30	2,31481E-07	0,000381		
525	5,247	1,186	-0,00019	-0,00019	30	2,31481E-07	0,000191		
555	5,246	1,205	-0,00038				0		

**Tabla B.0.26. Cálculos de la velocidad de secado y humedad libre n base seca de la termobalanza prueba 2.**

<b>TIEMPO(S)</b>	<b>masa (g)</b>	<b>Xlibre</b>	<b>X2-x1</b>	<b>DELTA T</b>	<b>N</b>	<b>Xi total</b>	<b>area de secado (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>muestra húmeda en equilibrio (g)</b>
15	5,309	0,004923	-0,00095	15	2,31E-06	0,005302	144	5,283
30	5,304	0,003977	-0,00057	15	1,39E-06	0,004355		
45	5,301	0,003408	-0,00038	15	9,26E-07	0,003787		
60	5,299	0,00303	-0,00038	15	9,26E-07	0,003408		
75	5,297	0,002651	-0,00019	15	4,63E-07	0,00303		
90	5,296	0,002462	-0,00038	15	9,26E-07	0,00284		
105	5,294	0,002083	-0,00019	15	4,63E-07	0,002462		
120	5,293	0,001894	-0,00019	15	4,63E-07	0,002272		
135	5,292	0,001704	-0,00038	15	9,26E-07	0,002083		
150	5,290	0,001326	-0,00019	15	4,63E-07	0,001704		
165	5,289	0,001136	-0,00019	15	4,63E-07	0,001515		
180	5,288	0,000947	-0,00019	15	4,63E-07	0,001326		
195	5,287	0,000757	-0,00019	15	4,63E-07	0,001136		
210	5,286	0,000568	-0,00019	15	4,63E-07	0,000947		
225	5,285	0,000379	-0,00019	15	4,63E-07	0,000757		
240	5,284	0,000189	-0,00019	30	2,31E-07	0,000568		
270	5,283	0	-0,00019	30	2,31E-07	0,000379		
300	5,282	-0,00019	-0,00019	15	4,63E-07	0,000189		
315	5,281	-0,00038				0		

### **Eficiencia del Extractor Sólido-Líquido:**

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{eficiencia\ real}{eficiencia\ nominal} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{55,31\%}{95\%} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = 58,22\%$$

### **Eficiencia del Evaporador:**

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{eficiencia\ real}{eficiencia\ nominal} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{79,72\%}{83\%} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = 96,05\%$$

### **Eficiencia del Cristalizador:**

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{eficiencia\ real}{eficiencia\ nominal} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = \frac{60,07\%}{91\%} \cdot 100$$

$$\%Eficiencia\ de\ producción = 66,01\%$$

## Anexo C. Manuales de operación.

### Anexo C-1 Extractor Sólido-Líquido.

#### 1. Simbología del equipo

**Tabla C.0.1. Simbología del Extractor Sólido-Líquido**

Simbología	Descripción
V-01	Válvula permite paso de agua
V-02	Válvula de ingreso de agua al tanque
V-03	Válvula salida de agua del tanque
V-04	Válvula salida de jugo extraído para recirculación
V-05	Válvula de ingreso del jugo recirculado al equipo
V-06	Válvula de salida del jugo del reservorio 1
V-07	Válvula de salida del jugo del reservorio 2 en el lado derecho
V-08	Válvula de salida del jugo del reservorio 2 en el lado izquierdo
T-01	Termómetro para la solución en el interior del cristalizador
M-01	Motor para el funcionamiento de la banda
P-01	Bomba de recirculación
R-01	Resistencia eléctrica del tanque de agua

#### 2. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

**Tabla C.0.2. Riesgos en la operación del Extractor Sólido-Líquido**

Peligro	Riesgo	Descripción	Medidas de prevención
Trabajo en caliente	Quemaduras por altas temperaturas	Manipulación de la solución azucarada para alimentar el equipo, puede causar quemaduras de segundo grado	Capacitar al personal para realizar este tipo de trabajos. Usar los equipos de seguridad adecuado, mandil, guantes de protección contra el calor, gafas de seguridad
Mal manejo de cargas, mala postura y sobreesfuerzos	Lesiones osteomusculares, fatiga, cansancio	Levantamiento de solución azucarada para ingresar al cristalizador	Capacitación sobre higiene postural y manejo de cargas
Caída a distinto nivel	Golpes, heridas, esguinces,	Levantamiento de carga en escalera, no se utilizan los	Capacitar al personal para realizar el trabajo

	contusiones, fractura.	tres puntos de apoyo y puede haber pérdida de equilibrio	
Caídas al mismo nivel	Traumas del sistema osteomuscular, heridas, golpes contusiones	Área de seguridad del equipo mal delimitada, tuberías fuera de estos límites	Capacitación de los estudiantes, aplicar normas de prevención de caídas. Evitar distracciones durante la operación del equipo
Mecánico: Atrapamiento, golpes y cortes	Heridas, cortes, golpes, trastornos de tejidos blandos	Tomar muestra en cada etapa de extracción puede haber atrapamiento con la cadena, corte y golpes con los cangilones.	Usar equipos de protección personal durante la operación del equipo. Concentrarse en el trabajo que realice.
Eléctrico	Electrocución, quemaduras, shock eléctrico	Conexión del agitador expuesta a salpicaduras	Mantenimiento de redes y equipos eléctricos. Reparaciones eléctricas y correcto aislamiento de instalaciones eléctricas
Contacto con macroorganismos	Enfermedades virales	Picaduras de insectos	Limpieza del equipo previo a su uso. Bloquear el acceso al interior de los equipos. Programa de control de plagas





**Tabla C.0.3. Señalización de riesgos**

<b>Altas temperaturas</b>	
---------------------------	--



<p>Ergonómico</p>	
<p>Caída a distinto nivel</p>	
<p>Caída al mismo nivel</p>	 <p>¡PELIGRO! CAIDAS AL MISMO NIVEL</p>
<p>Mecánico: Corte, golpes atrapamiento</p>	 <p>¡ATENCIÓN! RIESGO DE ATRAPAMIENTO</p>
<p>Eléctrico</p>	 <p>PELIGRO RIESGO ELECTRICO</p>
<p>Biológico</p>	 <p>RIESGO BIOLOGICO</p>

**Tabla C.0.4. Equipos de Protección Personal**

Guantes para altas temperaturas	Mandil	Botas de seguridad	Gafas de seguridad
 <p data-bbox="331 701 520 790"><b>USO OBLIGATORIO DE GANTES</b></p> <p data-bbox="331 790 520 801"><small>ISO 15418</small></p>	 <p data-bbox="619 701 821 790"><b>ES OBLIGATORIO EL USO DE LA BATA</b></p> <p data-bbox="619 790 821 801"><small>NORMA LIZ. PISO 0002 UNE 1115</small></p>	 <p data-bbox="917 707 1112 797"><b>USO OBLIGATORIO DE CALZADO DE SEGURIDAD</b></p>	 <p data-bbox="1193 707 1388 797"><b>ES OBLIGATORIO EL USO DE GAFAS</b></p> <p data-bbox="1193 797 1388 808"><small>ISO 15418</small></p>

### 3. Materiales, equipos y reactivos

#### Materiales

- Balde plástico
- Recipientes plásticos
- Vasos plásticos
- Tabla de picar
- Cuchillo

#### Equipos

- Refractómetro
- Balanza analítica
- Termómetro

#### Reactivos

- Agua
- Remolacha

### 4. Protocolo de operación

#### I. Preparación de la alimentación

- Lavar, cortar y pelar la remolacha.
- Pesar la cantidad de remolacha de acuerdo a la relación a la que va a ser trabajada, ya sea 1:1 o 1:2, de acuerdo a la masa de remolacha y de agua empleada.
- Dividir la masa de remolacha a usar para el número de cangilones del equipo.

## II. Operación del equipo

- Cerrar V-03 y abrir V-01, V-02 para llenar el tanque de almacenamiento de agua.
- Asegurarse de que V-04, V-05, V-06, V-07 y V-08 se encuentren cerradas.
- Encender R-01 y cerrar V-02 cuando se haya obtenido el volumen requerido.
- Cuando T-01 marque una temperatura de 80°C, encender M-01 para que puedan girar los cangilones. Apagar R-01.
- Alimentar la remolacha por la tolva en cada cangilón y cuando los cangilones pasen al lado izquierdo del equipo abrir V-03 para suministrar agua caliente en cada etapa de extracción.
- Tomar muestras en cada etapa de extracción. Una vez tomada dichas muestras continuar la operación hasta que se acabe la cantidad de remolacha pesada.
- Dependiendo de la relación de trabajo, volver a realizar el procedimiento de alimentación y calentamiento de agua para su posterior suministro a los cangilones.
- Cuando haya suficiente líquido en el reservorio 1, abrir V-04, V-05 y encender P-01. Una vez llega a la altura mínima para la succión de la bomba apagar P-01 y cerrar V-04.
- Una vez culminada la extracción apagar M-01 y abrir V-06, V-07 para descargar el jugo.
- Retirar el sólido agotado del depósito y pesarlo. También pesar el jugo obtenido.

## 5. Limpieza del equipo

- Abrir V-01 y V-02 para alimentar agua al tanque.

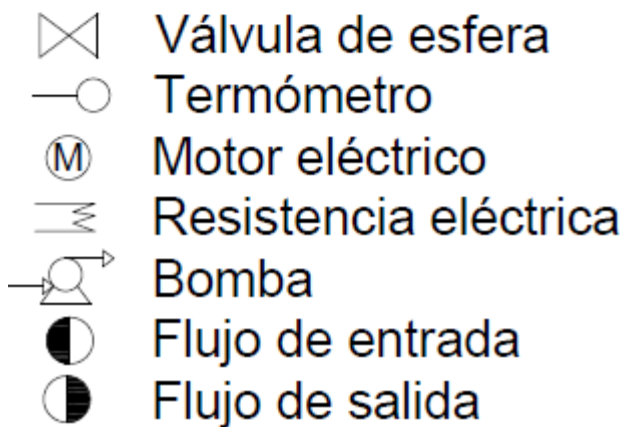
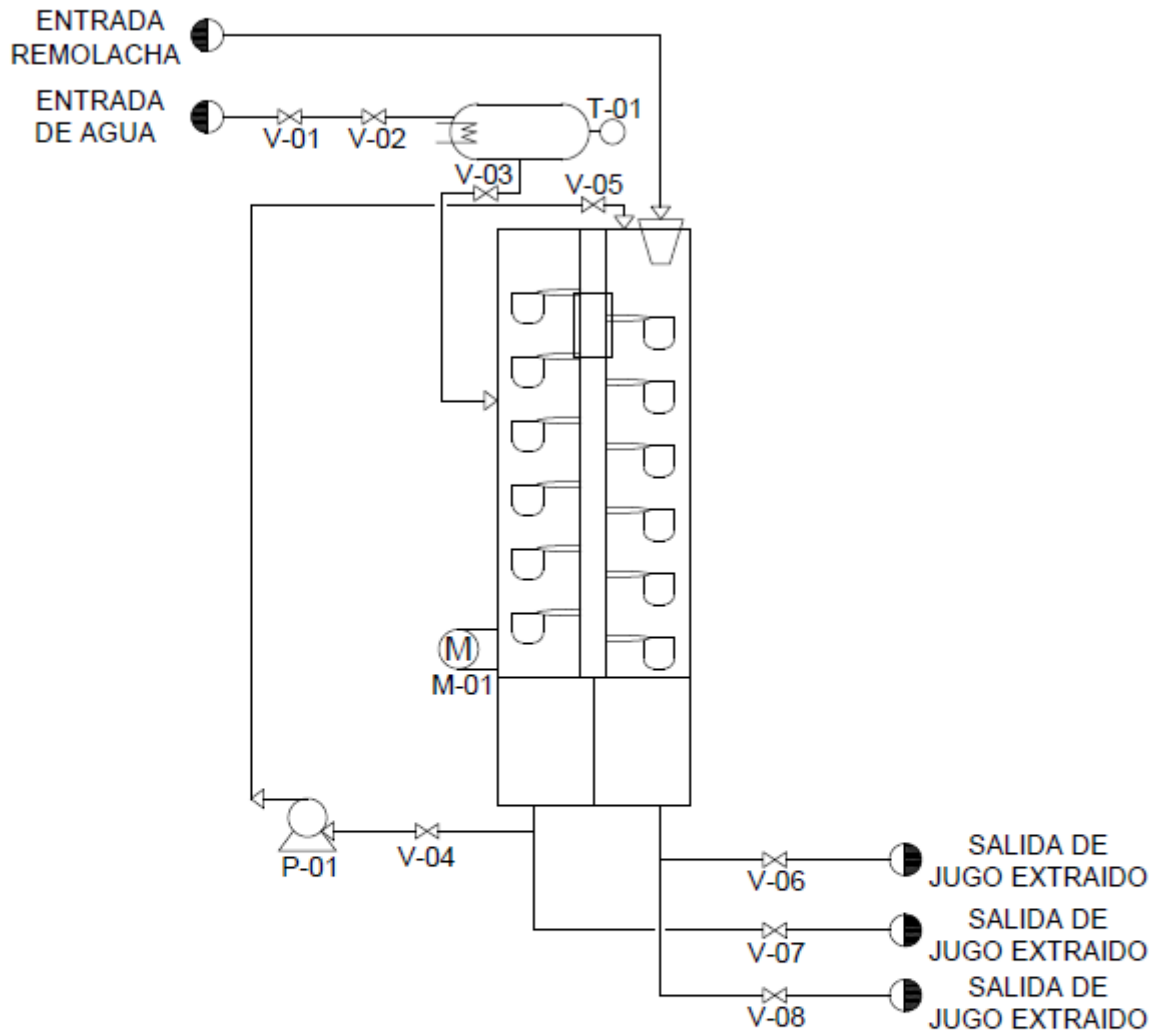
- Verificar que las válvulas V-03, V-04, V-05, V-06, V-07 y V-08 se encuentren cerradas.
- Una vez alcanzado el nivel de agua deseado en el tanque encender M-01 para hacer girar los cangilones. Abrir V-03 para suministrar agua al equipo.
- Cuando se llenen los reservorios del producto obtenido abrir V-06, V-07 y V-08.
- Repetir el proceso hasta que el agua de lavado haya perdido casi por completo su coloración.
- Cerrar V-03, V-06, V-07 y V-08. Abrir V-04, V-05 y encender P-01 para recircular el agua.
- Apagar P-01 y cerrar V-04 y V-05.
- Apagar M-01 y abrir V-06, V-07 y V-08.
- Cerrar V-01.

## **6. Parada del equipo**

- Cerrar V-01, V-02 y apagar R-01.
- En caso de que se esté recirculando: apagar P-01 y Cerrar V-04, V-05.
- Apagar M-01.
- Abrir V-06, V-07 y V-08.
- Una vez vaciado tanto el reservorio 1 como reservorio 2, cerrar V-06, V-07 y V-08.
- Asegurarse que todas las válvulas se encuentren cerradas.

## 7. P&ID del equipo

# P&ID DEL EXTRACTOR SÓLIDO - LÍQUIDO



## Anexo C-2 Evaporador

### 1. Simbología del equipo



**Tabla C.0.5. Simbología del Evaporador de simple efecto**


<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>
V-01	Válvula de alimentación a la bomba
V-02	Válvula de alimentación al evaporador
V-03	Válvula para el reflujo del alimento
V-04	Válvula inferior del nivel de la solución en el evaporador
V-05	Válvula superior del nivel de la solución en el evaporador
V-06	Válvula de purga del vapor procedente de la caldera
V-07	Válvula de ingreso del vapor procedente de la caldera
V-08	Regulador de presión del flujo de vapor procedente de la caldera
V-09	Válvula de purga de la calandria
V-10	Válvula de ingreso del líquido refrigerante
V-11	Válvula de evacuación del tanque de condensado
V-12	Válvula de alivio del tanque de condensado
V-13	Válvula para la extracción del aire (crear vacío al sistema)
V-14	Válvula de ingreso de la solución a la bomba de recirculación
V-15	Válvula de ingreso de la solución desde la bomba de recirculación al evaporador.
V-16	Válvula toma muestra de la solución
V-17	Válvula de evacuación del producto
V-18	Válvula de purga de la bomba de recirculación
V-19	Válvula de purga del tanque de alimentación
V-20	Válvula de alivio del tanque de protección para la bomba de vacío
V-21	Válvula de purga del condensado que se forma al extraer el aire húmedo del sistema ubicado en el tanque de protección para la bomba de vacío
TR-01	Trampa de vapor del condensado de la calandria
N-01	Nivel de la solución en el evaporador
P-01	Bomba de alimentación
P-02	Bomba de vacío

P-03	Bomba de recirculación
TK-01	Tanque de alimentación
TK-02	Tanque de condensado
TK.03	Tanque de protección para la bomba de vacío
C-01	Condensador
T-01	Termómetro para el vapor generado en la evaporación
T-02	Termómetro para el producto
T-03	Termómetro para el flujo de salida del líquido refrigerante
M-01	Manómetro para el flujo de vapor procedente de la calandria
M-02	Vacuómetro
R-01	Medidor de flujo del líquido refrigerante

## 2. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

**Tabla C.0.6. Riesgos en la operación del Evaporador**

Riesgo	Identificación	descripcion
Físico	Falta de uso de EPP's	<p>Para prevenir accidentes laborales, es de uso obligatorio los elementos de protección personal, caso contrario el equipo no puede ser operado</p>  <p><b>USO OBLIGATORIO DEL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL</b></p>
	Quemadura por altas temperaturas	<p>La manipulación del producto obtenido del evaporador, el vapor que ingresa a la calandria y el equipo en sí, sin las debidas protecciones podrian causar quemaduras hasta de segundo grado debido a temperaturas elevadas</p>  <p><b>¡ATENCIÓN! SUPERFICIE CALIENTE</b>      <b>PELIGRO ALTA TEMPERATURA</b></p>
	Descargas electricas	<p>Al exponer a las bombas y la caja de control a condiciones de humedad podria conllevar a una carga electrica por la inadecuada manipulacion de los equipos</p>

		
Biológicos	Propagación de enfermedades transmitidas por insectos	La limpieza impropiedades de los tanques o la acumulación de agua estancada en ellos ocasionan que insectos se proliferen de manera rápida provocando severos problemas en la salud
Ergonómicos	Esfuerzos físicos	El traslado de los recipientes del producto y condensado tanto de la calandria como del vapor generado de la solución, pueden causar lesiones óseas o musculares

### 3. Materiales, equipos y reactivos

#### Materiales

- Refractómetro

#### Equipos

- Vaso de precipitación
- Balanza
- 3 recipiente de vaso plástico
- Piseta

#### Reactivos

- Solución azucarada
- Agua destilada

### 4. Protocolo de operación

- I. Preparación de la solución
  - Preparar una solución azucarada con una concentración deseada y tomar su respectiva temperatura.
  - Verificar que la válvula V-19 se encuentra encerrada.
  - Colocar la solución en el tanque de alimentación TK-01.
- II. Puesta en marcha del equipo



a. Sistema a presión atmosférica

- Verificar la disponibilidad del agua, vapor y electricidad.
- Asegurar que las válvulas V-02, V-03, V-06, V-07, V-09, V-11, V-13, V-14, V-15, V-16, V-17, V-18, se encuentren cerradas y V-01, V-04, V-05, V-12 se encuentren abiertas.
- Colocar un recipiente a la salida del condensado de la calandria y otro a la salida del producto.
- Encender el foco, para iluminar el interior del evaporador.
- Abrir las válvulas V-02 y V-03 y proceder a prender la bomba P-01. Controlar el nivel de la solución.
- Una vez alimentado el evaporador, cerrarlas válvulas V-02 y V-03.
- Abrir la válvula V-06 para purgar el agua retenida en la tubería de ingreso del vapor procedente de la caldera.
- Abrir la válvula V-07 y colocar la presión a la que se quiera trabajar mediante el regulador de presión V-08, verificar dicha presión con el manómetro M-01.
- Purgar la calandria abriendo la válvula V-09.
- Abrir la válvula de ingreso del refrigerante V-10, y colocarlo a un flujo deseado de tal manera que la salida del refrigerante tenga una temperatura igual o menor a 45°C.
- Registrar cada 5 minutos, las temperaturas T-01, T-02, T-03 y la temperatura del condensado de la calandria.

b. Sistema a presión atmosférica

- Verificar la disponibilidad del agua, vapor y electricidad.
- Abrir las válvulas V-20 y V-21 para purgar el tanque, una vez realizado esto cerrarlas.
- Asegurar que las válvulas V-02, V-03, V-04, V-05, V-06, V-07, V-09, V-11, V-12, V-14, V-15, V-16, V-17, V-18 y V-01, V-13 se encuentren abiertas.
- Colocar un recipiente a la salida del condensado de la calandria y otro en la salida del producto.
- Encender el foco, para iluminar el interior del evaporador.
- Prender la bomba P-02 hasta que alcance el vacío (-20 a -22 inHg).
- Mediante el vacío proceder a alimentar el evaporador abriendo el evaporador abriendo la válvula V-02 (controlar el nivel de la solución

mediante la mirilla de inspección). Una vez terminada la alimentación cerrar las válvulas V-01 y V-02.

- Abrir la válvula V-06 para purgar el agua retenida en la tubería de ingreso del vapor procedente de la caldera.
- Abrir la válvula V-07 y colocar la presión a la que se quiera trabajar mediante el regulador de presión V-08, verificar dicha presión con el manómetro M-01.
- Purgar la calandria abriendo la válvula V-09.
- Abrir la válvula de ingreso del refrigerante V-10, y colocarlo a un flujo deseado de tal manera que la salida del refrigerante tenga una temperatura igual o menor a 45°C.
- Registrar cada 5 minutos, las temperaturas T-01, T-02, T-03 y la temperatura del condensado de la calandria.

c. Sistema a presión atmosférica

- Simultáneamente abrir las válvulas V-14 y V-15, y prender la bomba P-03.
- Dejar un minuto encendido la recirculación antes de llegar a los 5 minutos de toma de muestra.
- A los 5 minutos tomar la muestra de la solución concentrada con un vaso de precipitación, abriendo la válvula V-16 y a la vez cerrando la válvula V-16 hasta que tenga una temperatura de 45°C.
- Apagar la bomba P-03 y cerrar las válvulas V-14 y V-15.
- Realizar este procedimiento cada 5 minutos hasta obtener la solución con la concentración deseada.

III. Parada del equipo

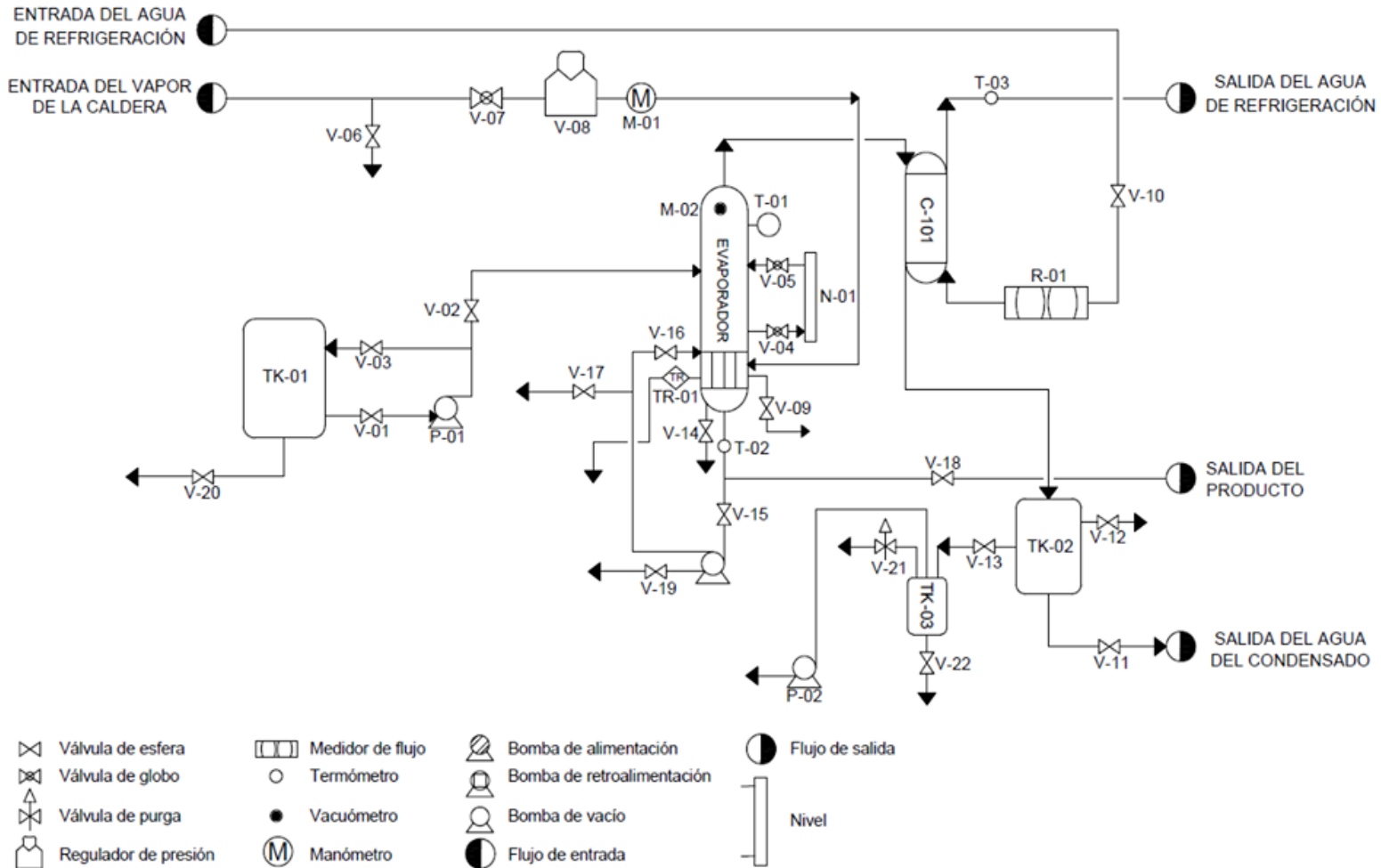
a. Sistema a presión atmosférica

- Cerrar la válvula V-07.
- Abrirlas válvulas V-17 y V-11 para evacuar el producto y el condensado generado del vapor de la solución.
- Proceder a pesar el producto, el condensado generado del vapor de la solución y el condensado de la calandria.
- Abrir la válvula V-18 para purgar la bomba de recirculación. Pesarse la solución recolectada de la purga.
- Abrir la válvula V-19 (purga del tanque de alimentación).
- Apagar el foco LED de 8W.

- Asegurar dejar las válvulas cerradas.
  
- b. Sistema a presión negativa (vacío)
  - Cerrar la válvula V-07.
  - Abrir la válvula V-12 para eliminar el vacío.
  - Abrirlas válvulas V-17, V-11 y V-12 para evacuar el producto y el condensado generado del vapor de la solución.
  - Proceder a pesar el producto, el condensado generado del vapor de la solución y el condensado de la calandria.
  - Abrir la válvula V-18 para purgar la bomba de recirculación. Pesar la solución recolectada de la purga.
  - Abrir la válvula V-19 (purga del tanque de alimentación).
  - Apagar el foco LED de 8W.
  - Abrir las válvulas V-20 y V-21 para purgar el tanque de protección para la bomba de vacío.
  - Asegurar dejar las válvulas cerradas.

#### IV. P&ID del equipo

### DIAGRAMA DE FLUJO DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO



## Anexo C-3 Cristalizador

### 1. Simbología del equipo

Tabla C.0.7. Simbología del Cristalizador

Simbología	Descripción
V-01	Válvula de ingreso de agua a la chaqueta
V-02	Válvula de salida de agua de la chaqueta a la torre
V-03	Válvula toma muestra
V-04	Válvula evacuación del producto
T-01	Termómetro para la solución en el interior del cristalizador
M-01	Motor eléctrico para el agitador



### 2. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

Tabla C.0.8. Riesgos en la operación del Cristalizador





Peligro	Riesgo	Descripción	Medidas de prevención
Trabajo en caliente	Quemaduras por altas temperaturas	Manipulación de la solución azucarada para alimentar el equipo, puede causar quemaduras de segundo grado	Capacitar al personal para realizar este tipo de trabajos. Usar los equipos de seguridad adecuado, mandil, guantes de protección contra el calor, gafas de seguridad
Mal manejo de cargas, mala postura y sobreesfuerzos	Lesiones osteomusculares, fatiga, cansancio	Levantamiento de solución azucarada para ingresar al cristalizador	Capacitación sobre higiene postural y manejo de cargas
Caída a distinto nivel	Golpes, heridas, esguinces, contusiones, fractura.	Levantamiento de carga en escalera, no se utilizan los tres puntos de apoyo y puede haber pérdida de equilibrio	Capacitar al personal para realizar el trabajo
Eléctrico	Electrocución,	Conexión del	Mantenimiento de redes y

	quemaduras, shock eléctrico	agitador expuesta a salpicaduras	equipos eléctricos. Reparaciones eléctricas y correcto aislamiento de instalaciones eléctricas
Contacto con macroorganismos	Enfermedades virales	Picaduras de insectos	Limpieza del equipo previo a su uso. Bloquear el acceso al interior de los equipos. Programa de control de plagas

**Tabla C.0.9. Señalización de riesgos**

Altas temperaturas	Ergonómico	Caída a distinto nivel	Eléctrico	Biológico
 <p><b>¡ATENCIÓN! ALTA TEMPERATURA</b></p>			 <p><b>PELIGRO RIESGO ELECTRICO</b></p>	 <p><b>RIESGO BIOLOGICO</b></p>

**Tabla C.0.10. Equipos de Protección Personal**

Guantes para altas temperaturas	Mandil	Botas de seguridad	Gafas de seguridad
 <p><b>USO OBLIGATORIO DE GUANTES</b></p>	 <p><b>ES OBLIGATORIO EL USO DE LA BATA</b></p>	 <p><b>USO OBLIGATORIO DE CALZADO DE SEGURIDAD</b></p>	 <p><b>ES OBLIGATORIO EL USO DE GAFAS</b></p>

### 3. Materiales, equipos y reactivos

#### Materiales

- Balde plástico
- Vaso de precipitación
- Papel filtro 0,37 micras
- Espátula
- Cajas Petri
- Funda ziploc

#### Equipos

- Torre de enfriamiento
- Tanque con serpentín
- Caldera
- Refractómetro
- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Termobalanza

#### Reactivos

- Solución a cristalizar
- Agua destilada
- Cristales madre

### 4. Especificaciones del equipo

Tabla C.0.11. Dimensiones del Cristalizador

	Diámetro interior (in)	Diámetro interior (cm)	Radio interior (cm)	Espesor (mm)
Tanque	16	40.64	20.32	8
Camisa	20	50.8	25.4	8

## 5. Protocolo de operación

### I. Preparación del licor madre

- Encender la caldera.
- Una vez que haya generado vapor, abrir la línea que alimenta al tanque con serpentín.
- Determinar los grados Brix de la solución.
- Colocar mínimo 10 Kg de la solución a cristalizar y calentar hasta que llegue a los 80 °C.
- Depositar la solución en un balde.

### II. Cristalización

- Verter la solución caliente en el cristizador.
- Encender M-01 para accionar el agitador.
- Encender la torre de enfriamiento y la bomba que alimenta la chaqueta del cristizador. Abrir las válvulas V-01, V-02 para permitir el paso del agua de enfriamiento.
- Usando la curva de solubilidad de la solución, determinar el límite de solubilidad a 60 °C. Con la concentración de la solución determinada previamente calcular la cantidad de cristales madre para sobresaturar la solución.
- Colocar los cristales madre (semilla) en el cristizador cuando T-01 marque una temperatura igual a 50 o 60°C.
- Abrir V-03 y tomar muestra en una caja Petri. Realizar las pruebas para comprobar la sobresaturación de la muestra.
- Esperar a que la temperatura descienda a 30-20°C.
- Abrir la válvula V-04 y colocar el producto en un balde.
- Dejar en reposo por 1 semana.

### III. Separación de fases

- Colocar la fase líquida en otro recipiente y pesar.
- Agitar los cristales y tomar una muestra de 500 gr.



- Armar el sistema para filtrar al vacío, colocar muestra sobre el papel filtro.
- Una vez que haya cambiado la coloración de los cristales colocarlos en un vaso de precipitación.
- Repetir el proceso hasta separar toda la muestra.
- El jarabe resultante de la filtración, pesarlo y sumarlo a la cantidad inicial de fase líquida pesada.

#### IV. Secado

- Encender la termobalanza y en ingresar los siguientes datos. Tiempo de secado, tipo de secado, tiempo en que se va a realizar las mediciones y las unidades en que se va a medir el resultado.
- Colocar la caja Petri en la termobalanza, tararla y agregar 5 gr de azúcar. Iniciar el programa seleccionado.
- Tomar los datos en el tiempo establecido.
- Elaborar la curva de secado de la muestra.

### 6. Limpieza del equipo

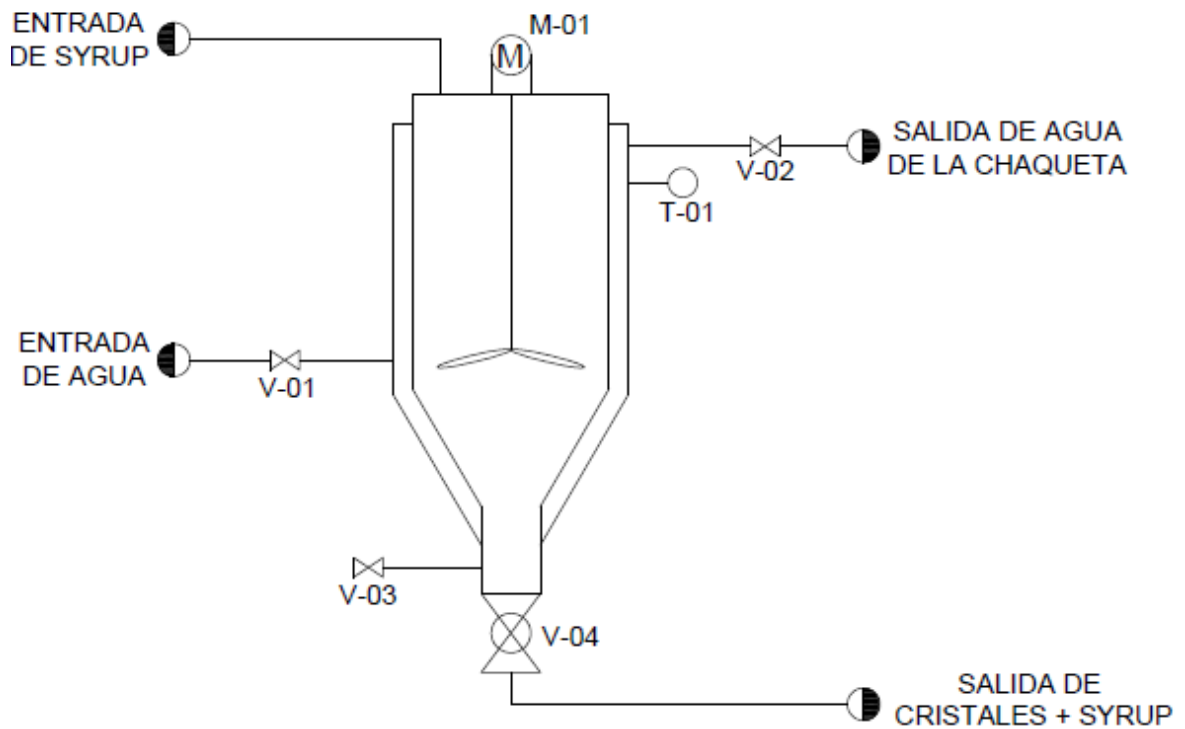
- Ingresar agua al tanque con serpentín y calentarla.
- Verificar que las válvulas V-03 y V-04 se encuentren cerradas.
- Alimentar el agua al cristalizador, agregar jabón y encender M-01, para homogenizar la mezcla.
- Abrir V-03 y V-04. Realizar lavados con agua hasta que no queden residuos de jabón.
- Una vez vaciado el cristalizador, cerrar las válvulas V-03 y V-04.







### 7. Parada del equipo

- Apagar M-01.
- Cerrar V-01 y V-02.
- Apagar la bomba y torre de enfriamiento.
- Descargar el contenido del cristalizador.
- Cerrar V-03 y V-04.

8. P&ID del equipo

## P&ID DEL CRISTALIZADOR



-  Válvula de esfera
-  Válvula de globo
-  Termómetro
-  Motor eléctrico
-  Flujo de entrada
-  Flujo de salida

## Anexo D. Identificación de riesgos

**Tabla D.0.12. Actos o acciones de peligros**

<b>Acto (o acción de peligro)</b>
Acción de terceros
Actuar sin autorización
Conducta / comportamiento inadecuado
Desviarse de los Métodos /normativas aceptadas
Intervenir equipos energizados y/o en movimientos
Mal manejo de materiales, equipos e insumos
No advertir /señalizar
No usar equipo de protección personal
Omitir dispositivos de protección
Presentarse al trabajo en condiciones de salud anormales
Uso de vestuario o elementos extraños
Uso inadecuado de datos /información
Uso inadecuado de herramientas y equipos de protección
Almacenamiento defectuoso.
Falta de experiencia
Orientación inadecuada
Entrenamiento inicial inadecuado
Instrucciones mal interpretadas
Falta de conocimiento
Instrucción inicial inadecuada
Práctica inadecuada
Desempeño inestable
Falta de práctica
Falta de Habilidad, Entrenamiento / Otra
Altura, peso, tamaño, fuerza, extensión inadecuada
Rango de movimiento corporal restringido
Habilidad limitada para mantener posiciones del cuerpo
Sensibles a sustancias o alergias
Sensibles a límites sensoriales (temperatura, ruido, entre otros)
Deficiencia visual / deficiencia auditiva
Otras deficiencias corporales (tacto, gusto, olfato, equilibrio)
Incapacidad respiratoria
Otras deficiencias físicas permanentes / temporales
Capacidad Física, Fisiológica / Otra
Temores o fobias

<b>Acto (o acción de peligro)</b>
Desequilibrio emocional
Discernimiento pobre; coordinación y aptitudes de aprendizaje insuficiente.
Tiempo de reacción lenta
Aptitud mecánica escasa
Fallas de memoria (olvidadizo)
Frustración excesiva / agresión inapropiada
Instrucción inicial inadecuada
Lesión o enfermedad
Fatiga debido a carga o duración laboral
Fatiga debido a falta de reposo
Fatiga debido a sobrecarga sensorial
Limitaciones de movimiento
Insuficiencia de azúcar en la sangre
Estrés físico o fisiológico

**Tabla D.0.13. Fuentes de peligros**

<b>FUENTE</b>	<b>Equipos:</b>	Protección de maquinaria inexistente o insuficiente
		Inexistencia de manuales de operación
		Falla en el sistema de aislación
		Conductores eléctricos sin protección o falta de aislación
		Sistemas de bloqueo inexistente o desconectados
		Advertencias o poco claras o inexistentes (auditiva u visual)
		Equipos sin mantenencias o revisiones de funcionamiento
		Equipo con partes alteradas o defectuosas
		Falta de manual de instrucciones (original)
	<b>Materiales:</b>	Falta de rotulación
		Falta de la Hoja de Datos de Seguridad
		Envase dañado o con defectos
		Almacenamiento incorrecto
		Productos incompatibles o reactivos
	<b>Ambiente</b>	Iluminación insuficiente
		Presencia de gases o agentes peligrosos
		Piso fuera de norma o especificaciones
		Espacio reducido
		Espacio confinado
		Falta de orden y aseo
		Falta de delimitación de pisos

	Superficies calientes
	Carga de combustible
	Falta de señalización
	<b>HIGIENE OCUPACIONAL:</b>
	Manejo manual de carga - Agente Ergonómico
	Movimiento repetitivo -Agente Ergonómico
	Trab. altura geográfica - Agente Ergonómico
	Ruido
	Sílice - Agente Químicos
	Polvo - Agentes Químicos
	Gases - Agentes Químicos
	Vapores - Agentes Químicos
	Rocios - Agentes Químicos
	Nieblas - Agentes Químicos
	Humos metálicos - Agentes Químicos
	Calor
	Frío
	Rad. Ionizante (rayos X, alfa, beta, gama)
	Rad. no Ionizante (campos electromagnéticos baja, media y alta frecuencia; UV)
	Ag. Biológicos (Virus, Bacterias, hongos, etc.)
	Vibración cuerpo entero
	Vibración mano-brazo
<b>SITUACIÓN</b>	Administrativas de oficina
	Administrativas de Terreno
	Labores de vigilancia y protección industrial
	Manipulación de herramientas manuales
	Preparación de alimentos
	Manejo manual de cargas
	Manejo de corto punzantes con material biológico
	Trabajo en altura (igual o superior a 1,8 metros)
	Labores en espacios confinados
	Operación y/o mantención de equipos energizados
	Operación de equipos o herramientas con partes en movimiento
	Conducción de vehículos
	Operación de maquinarias en Superficies (tractor, grúa horquilla)
	Izamiento de cargas u operaciones de levante (uso de tecles, grúas torre, etc.)

	Manejo con objetos calientes o fundidos
	Operaciones con sustancias peligrosas
	Excavaciones
	Operaciones de Calderas y/o Autoclaves
	Manejo de Animales

**Tabla D.0.14. Incidentes asociados a seguridad**

<b>Incidente Asociados a Seguridad (Referencia Según norma ANSI Z 16.2)</b>
Caída a diferente nivel
Caída al mismo nivel
Contacto con objetos calientes
Contacto con fuego
Contacto con electricidad
Contacto con objetos cortantes
Contacto con objetos punzantes
Contacto con sustancias químicas
Golpeado con objeto o herramienta
Golpeado por objeto
Golpeado contra objetos o equipos
Choque por otro vehículo
Choque contra elementos móviles
Choque contra objetos o estructura fija
Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento
Atrapamiento entre objetos en movimiento o fijo y movimiento
Inmersión
Incendio
Explosión
Picadura o mordedura causado por animal o insecto
Atropello
Intoxicación por alimentos
<b>Incidentes Asociados a Higiene Ocupacional</b>
Exposición a manejo manual de carga - Agente Ergonómico
Exposición a movimiento repetitivo -Agente Ergonómico
Exposición a trabajo en altura geográfica - Agente Ergonómico
Exposición a ruido
Exposición a sílice - Agente Químicos
Exposición a polvo - Agentes Químicos
Exposición a gases - Agentes Químicos

<b>Incidente Asociados a Seguridad (Referencia Según norma ANSI Z 16.2)</b>
Exposición a vapores - Agentes Químicos
Exposición a rocíos - Agentes Químicos
Exposición a nieblas - Agentes Químicos
Exposición a humos metálicos - Agentes Químicos
Exposición a Calor
Exposición a Frío
Exposición a Rad. Ionizante (rayos X, alfa, beta, gama)
Exposición a radiaciones no Ionizante (campos electromagnéticos de baja, media y alta frecuencia; UV)
Exposición a agentes biológicos (Virus, Bacterias, hongos, etc.)
Exposición a vibración cuerpo entero
Exposición a vibración mano-brazo

# Anexo E. Pruebas de PROTAL



Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Laboratorio PROTAL-ESPOL



Informe: 17-10/0103-M001

GCR -4.1-01-00-03

### Datos del cliente

Nombre: LALON LIMON MARIA FERNANDA	Teléfono: 0987999219
Dirección: VILLA ESPAÑA MZ 2191 V. 10	

### Identificación de la muestra / etiqueta

Nombre: PULPA DE REMOLACHA	Código muestra: 17-10/0103-M001
Marca comercial: S/M	Lote: N/A
Referencia: Frutas, Hortalizas y Derivados	Fecha elaboración: 20/10/2017
Envase: N/A	Fecha expiración: N/A
Conservación de la muestra: Refrigeración 0°C - 4 °C	Fecha recepción: 20/10/2017
Fecha análisis: 20/10/2017	Vida útil:
Contenido neto declarado: N/A	
Contenido neto encontrado: N/A	
Presentaciones: N/A	
Condiciones climáticas del ensayo: Temperatura 22.5 °C ± 2.5 °C Y Humedad Relativa 55% ± 15%	

### Análisis Físico - Químicos

Ensayos realizados	Unidad	Resultado	Requisitos	Métodos/Ref.
Humedad *	%	87.45	---	ISO 3726:1983 *
Sólidos solubles *	%	12.78	---	ISO 2173:2003 *
Azúcares Totales Por Inversión *	---	10.14	---	Lane-cynon *

Los resultados emitidos corresponden exclusivamente a la muestra proporcionada por el cliente.

Las opiniones / interpretaciones / etc. que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

#### \* Observaciones:

Se analizaron los parámetros solicitados por el cliente.

Los resultados bromatológicos se encuentran registrados en el Cuaderno Interno de Trabajo de Vegetales, frutas y derivados N°22 pagina 3255.

Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

^ Representa el Exponente

\* Subcontratado

En microbiología los valores expresados como < 1.8, < 2, < 3, y < 10 se estiman ausencia

Guayaquil, 1 de Noviembre del 2017.

Dra. Gloria Bajahá de Pácheo  
Directora General y Gerente Técnico

Ing. María Teresa Amador  
Gerente de Calidad