

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



**“EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN INTERCAMBIADOR
DE PLACAS DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE
AZÚCAR LÍQUIDA Y PROPUESTAS PARA EL
MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA”**

CRISTIAN ALEJO MANCILLA VARGAS.

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

PROFESOR GUÍA: DR. ING. MARIO TOLEDO T.
PROFESOR CORREFERENTE: DR. ING. JAIME NÚÑEZ S.

Junio 2019

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero agradecer a mis padres, Alejo y Marcela por entregarme su amor, comprensión y cariño, además de los valores que forjaron a la persona que soy hoy en día.

A mi pareja e hijos, que sin lugar a dudas se han transformado en un pilar fundamental de mi vida, con su apoyo y soporte incondicional.

A mi hermana, por estar siempre en los buenos y malos momentos, dándome palabras de aliento para lograr este último gran paso.

A mi profesor guía por la paciencia y los consejos otorgados.

A Dios Padre por su eterna comprensión y ayuda incondicional.

Gracias a todas las personas que me apoyaron durante este largo proceso.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar técnicamente el intercambiador de calor de placas modelo Front 10, construido por la empresa Alfa Laval, y que se encuentra ubicado en el área de suministros en las instalaciones de la empresa Coca Cola Andina, comuna de Renca, en Santiago de Chile. Se logra determinar la manera más eficiente de operación considerando los diferentes flujos, temperaturas y fluidos que este equipo utiliza.

Uno de los motivos principales de la elección de este intercambiador se debe a que en el proceso de pasteurización se pueden generar grandes ahorros de energía. Para iniciar este estudio se realiza un levantamiento de la información referente al equipo, como son marca, función, año, fecha instalación, manuales, registros históricos de mantención, reparaciones, etc. Posteriormente, se evalúa su funcionamiento y modo de operación actual.

Para evaluar el intercambiador, se realizó un balance de energía, en donde se consideró el cálculo de diseño como el punto óptimo de máxima eficiencia y se contrastó con los resultados de la operación actual.

Se plantean modificaciones de parámetros operacionales, lo que permite mejorar la eficiencia operacional del equipo.

En conclusión, el sistema logra operar continuamente con una mayor eficiencia, la cual se ve reflejada en un menor gasto energético, mayor disponibilidad y menor costo de operación y producción.

ABSTRACT

The general objective of this work is to technically evaluate the plate heat exchanger model Front 10, built by Alfa Laval, which is located in the supply area of the Coca Cola Andina company facilities, in the municipality of Renca, Santiago, Chile. It is possible to determine the most efficient way of operation considering the different flows, temperatures and fluids used by this equipment.

One of the main reasons for choosing this exchanger is that it can generate large energy savings in the pasteurization process. To begin this study, information about the equipment is collected, such as brand, function, year, date of installation, manuals, historical records of maintenance, repairs, etc. Subsequently, its operation and current mode of operation is evaluated.

To evaluate the exchanger, an energy balance was performed, where the design calculation was considered as the optimum point of maximum efficiency and contrasted with the results of actual operation.

Modifications of operational parameters are proposed to improve the operational efficiency of the equipment.

In conclusion, the system is able to operate continuously with greater efficiency, which is reflected in lower energy consumption, higher availability and lower operating and production costs.

GLOSARIO

ASTM: American Society for Testing and Materials o ASTM International es una organización de normas internacionales.

°BRIX: Los grados brix son una unidad de cantidad (símbolo °Bx) y sirven para determinar el cociente total de materia seca (generalmente azúcares) disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx contiene 30 g de sólido disuelto por 1000 g de disolución total.

CIP (Clean in place): Es un método para limpiar las superficies interiores de tuberías, recipientes, equipos de proceso, filtros, y accesorios asociados, sin desensamblar.

Despasivación: Efecto contrario a la pasivación.

DIN: Es un acrónimo de 'Deutsches Institut für Normung', o bien, Instituto Alemán de Normalización.

EPDM: Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM, es un termopolímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste con grado alimenticio.

FDA: Palabra en inglés que significa Food and Drug Administration y en español administración de alimentos y medicamentos.

Fouling: Palabra en inglés que significa suciedad, impureza, incrustaciones, ensuciamiento.

Herrumbre: Sustancia que se forma sobre el hierro metálico expuesto a la humedad, es una sustancia color marrón cuya tonalidad varía de amarillento a rojizo, según la composición que corroe su superficie hasta llegar a perforarlo.

LUP: Lección de un punto, es una herramienta de comunicación, utilizada para la transferencia de conocimientos y habilidades simples o breves.

Nitrilo: Compuesto químico orgánico cuya molécula se obtiene al sustituir un átomo de hidrógeno del ácido cianhídrico por un radical orgánico, puede ser usado para

aplicaciones alimentarias y una amplia gama de productos minerales con base a aceites y grasas.

Organolépticas: Las propiedades organolépticas son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color o temperatura.

Pasivación: Es la formación de una película relativamente inerte sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos, en otras palabras, es una capa protectora.

SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos): ERP utilizado para soportar gran parte de la operación de la Compañía.

Tierra de diatomeas: Es un grupo de algas unicelulares que constituye uno de los tipos más comunes de fitoplancton, y son utilizadas como medio de filtración, su granulometría es ideal para la filtración de agua.

TPM: Programa de implementación del mantenimiento productivo total, qué tiene como pilares a mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejoras enfocadas, gestión temprana de equipos y procesos, capacitación y entrenamiento, calidad, y seguridad y medio ambiente.

UC: Unit Cases, unidad de producto convencional utilizada para medir volúmenes de venta de bebidas en el Sistema Coca Cola a nivel mundial. Equivale a 24 botellas de 237cc. ó alrededor de 5,678 litros.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	Objetivo general.....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
2.3	Justificación e importancia.....	2
2.4	Alcances y limitaciones.....	3
3	PLAN DE TRABAJO.....	4
3.1	Planteamiento del problema.....	4
3.2	Antecedentes generales de los principales embotelladores de bebidas analcohólicas en Chile.....	4
3.3	Antecedentes históricos Coca Cola Andina.....	6
3.4	Planta de Coca Cola Andina Renca.....	8
4	MARCO REFERENCIAL.....	10
4.1	Intercambiadores de calor.....	10
4.2	Clasificación de intercambiadores.....	11
4.2.1	Intercambiadores con tubo.....	11
4.2.2	Intercambiadores superficies planas.....	13
4.2.3	Intercambiadores compactos.....	14
4.2.4	Materiales de construcción de los intercambiadores de calor.....	15
4.2.5	Selección de un intercambiador.....	16
4.2.6	Equipos y accesorios de intercambiadores.....	17
4.2.7	Calidad del agua en circuitos cerrados.....	17
4.3	Principales fallas de los intercambiadores de calor.....	22

4.4	Ventajas del intercambiador de placas v/s intercambiadores tubulares.	26
4.5	Mantenimiento en intercambiadores.	29
4.6	Normas y reglamentos que rigen para intercambiadores de calor.....	32
5	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y SUS PROCESOS DE OPERACIÓN.	34
5.1	Descripción del intercambiador pasteurizador.	34
5.2	Características del intercambiador Front 10 Alfa Laval.....	35
5.2.1	Características generales del intercambiador de calor.	36
5.2.2	Componentes principales del intercambiador de placas pasteurizador.	37
5.2.3	Descripción del proceso dónde opera el intercambiador de calor.....	40
5.2.4	Descripción de la operación del jarabe simple.....	41
5.2.5	Descripción de funcionamiento según diagrama de flujo.	42
6	EVALUACIÓN TECNICA DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR.	44
6.1	Balance de energía.....	44
6.2	Análisis de diseño del sistema de pasteurización de azúcar líquida.....	46
6.3	Evaluación de operación de diseño del sistema de pasteurización de azúcar líquida.....	48
6.4	Evaluación de operación actual del sistema de pasteurización de azúcar líquida.....	56
6.5	Evaluación de operación optimizada del sistema de pasteurización de azúcar líquida.....	61
6.6	Comparación de costos de mantención del pasteurizador.....	65
6.6.1	Principales beneficios al realizar el mantenimiento preventivo interno.	67
6.7	Mantención básica del intercambiador de placas.	68
6.8	Limpieza intercambiador de placas.	69

6.9	Sistemas de limpieza CIP.	71
6.9.1	¿Cuáles son los objetivos de un sistema CIP?	74
6.10	Generación de procedimiento para el mantenimiento del intercambiador pasteurizador de placas.....	74
6.11	Proponer alternativas técnicas de mejora de eficiencia.	79
6.11.1	Condiciones óptimas de operación.....	79
7	CONCLUSIONES.	81
7.1	Problemas identificados.	81
7.2	Propuestas de mejora de eficiencia	81
7.3	Proyección de operación	83
8	BIBLIOGRAFÍA	84
9	ANEXOS	86
9.1	Anexo A	87
9.2	Anexo B.....	88
9.3	Anexo C.....	89
9.4	Anexo D	90
9.5	Anexo E	91
9.6	Anexo F	92
9.7	Anexo G	93
9.8	Anexo H	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Líneas de producción Coca Cola Andina Chile.	5
Tabla N° 2. Cajas unitarias producidas por sucursal.	6
Tabla N° 3. Clasificación de aguas. Fuente [14].....	20
Tabla N° 4. Ablandamiento y desmineralización del agua. Fuente [14]	20
Tabla N° 5. Resistencia al ensuciamiento para fluidos industriales. Fuente [15]	24
Tabla N° 6. Resumen componentes intercambiador de placas.	38
Tabla N° 7. Datos técnicos intercambiador.	39
Tabla N° 8. Condiciones de proceso de diseño etapa 1. Fuente [18], [19]	48
Tabla N° 9. Condiciones de proceso de diseño. etapa 2.	51
Tabla N° 10. Condiciones de proceso de diseño etapa 3.	52
Tabla N° 11. Condiciones de proceso de diseño etapa 4.	53
Tabla N° 12. Cuadro resumen eficiencias de diseño.	55
Tabla N° 13. Condiciones de operación actual etapa 1.....	57
Tabla N° 14. Condiciones de operación actual etapa 2.....	57
Tabla N° 15. Condiciones de operación actual etapa 3.....	58
Tabla N° 16. Condiciones de operación actual etapa 4.....	58
Tabla N° 17. Cuadro resumen de eficiencias actuales del proceso.....	59
Tabla N° 18. Condiciones de proceso optimizado etapa 1.	61
Tabla N° 19. Condiciones de proceso optimizado etapa 2.	62
Tabla N° 20. Condiciones de proceso optimizado etapa 3.	62
Tabla N° 21. Condiciones de proceso optimizado etapa 4.	63
Tabla N° 22. Cuadro resumen en eficiencias optimizadas.....	64
Tabla N° 23. Presupuesto asociado al mantenimiento del IC	66
Tabla N° 24. Tabla de torque de pernos.....	78
Tabla N° 25. Densidad de la azúcar líquida en función de °brix y temperatura	87
Tabla N° 26. Propiedades térmicas del agua.....	88
Tabla N° 27. Conductividad térmica del azúcar.	89
Tabla N° 28. Propiedades térmicas del agua en estado líquido.	90

Tabla N° 29. Viscosidad de la azúcar líquida en función de °brix y temperatura	91
Tabla N° 30. Propiedades térmicas del propilenglicol.....	92
Tabla N° 31. Planilla de control análisis de azúcar líquida.	93
Tabla N° 32. Propiedades térmicas del acero inoxidable.....	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Perfil de temperatura proceso de diseño 1.....	50
Gráfico N° 2. Perfil de temperatura proceso de diseño 2.....	52
Gráfico N° 3. Perfil de temperatura proceso de diseño 3.....	53
Gráfico N° 4. Perfil de temperatura proceso de diseño 4.....	54
Gráfico N° 5. Resumen eficiencia de diseño.	55
Gráfico N° 6. Resumen eficiencias de operación actual.	59
Gráfico N° 7. Resumen eficiencias de operación optimizada.....	63
Gráfico N° 8. Comparación de costos de mantenimiento.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Planta Coca Cola Andina.	3
Figura N° 2. Edificio corporativo y planta de producción Coca Cola Andina Renca. Fuente [13]	8
Figura N° 3. Vista aérea planta Coca Cola Andina Renca. Fuente Google maps.....	9
Figura N° 4. Diagrama de intercambiador de calor. Fuente [4].....	10
Figura N° 5. Clasificación de intercambiadores.	11
Figura N° 6. Composición del agua.	18
Figura N° 7. Incrustaciones en intercambiadores. Fuente [14].....	19
Figura N° 8. Calidades del agua. Fuente [14]	21
Figura N° 9. Corrosión en tubería. Fuente [14]	22
Figura N° 10. Falla por frame.	25
Figura N° 11. Espacio intercambiadores. Fuente [16]	27
Figura N° 12. Canales en intercambiadores. Fuente [16]	27
Figura N° 13. Capacidad de ampliación intercambiador de placa. Fuente [16]	28
Figura N° 14. Evitar zonas muertas en intercambiadores. Fuente [16]	28
Figura N° 15. Costo operativo en intercambiadores. Fuente [16]	29
Figura N° 16. Placas desmontables. Fuente [21]	35
Figura N° 17. Intercambiador pasteurizador.	36
Figura N° 18. Componentes intercambiador de placas. Fuente [21]	37
Figura N° 19. Elaboración jarabe simple.	41
Figura N° 20. Diagrama de flujo jarabe simple.	43
Figura N° 21. Esquema intercambiador de placas pasteurizador. Fuente [17]	47
Figura N° 22. Receta de lavado pasteurizador.	70
Figura N° 23. Diagrama de flujo sistema de limpieza tipo cip.	71
Figura N° 24. Esquema de una tubería con flujo laminar y flujo turbulento.	72
Figura N° 25. Bolas de pulverización.	73
Figura N° 26. Medición de placas. Fuente [21]	77
Figura N° 27. Montaje correcto de placas. Fuente [21]	78

1 INTRODUCCIÓN.

La situación energética actual tanto en Chile como en el resto del mundo es un tema discutido en todos los sectores de la industria. Esta situación ha provocado un fuerte incremento en los costos de los combustibles y de los asociados a las fuentes de energía, que presentan un mayor consumo y gasto energético.

Como resultado de esta situación es necesario buscar nuevas fuentes de energía o promover la optimización en el uso de los recursos disponibles. En este caso analizaremos el área industrial, específicamente el proceso productivo de licuación de azúcar granulada en la planta de Coca Cola Andina, ubicada en Renca. Expuesto lo anterior, se evaluará el proceso en que la energía está directamente relacionada con el proceso industrial, por lo tanto, se hace imperativo mejorar las metodologías de trabajo realizando las optimizaciones necesarias del proceso. Los indicadores nos entregarán evidencia inmediata de los menores costos de producción y posibles ahorros de energía.

En este trabajo se contempla la revisión de los parámetros de diseño y de operación del intercambiador pasteurizador, siempre buscando el punto óptimo de máxima eficiencia de acuerdo con los parámetros de operación.

En síntesis, lo que se busca es proponer técnicas de mejora de eficiencia del equipo analizado (pasteurizador), también se incluirá una evaluación de costos cuando se contemple el realizar el mantenimiento con personal interno (operadores de planta) y personal externo (contratistas), ya sea de manera preventiva o correctiva.

Una vez obtenido los datos de diseño y de operación, estos serán analizados para comprobar su actual importancia y de esta forma verificar su real estado de funcionamiento.

Para Coca Cola Andina es de suma importancia el desarrollar procesos de clase mundial con el fin de aumentar su productividad y calidad de servicio.

2 OBJETIVOS.

En este capítulo se presentan los objetivos propuestos para el trabajo, la justificación, alcances y limitaciones.

2.1 Objetivo general.

El objetivo general del trabajo es evaluar técnicamente el intercambiador de calor de placas que utiliza vapor de agua, agua tratada y glicol, y a su vez determinar cuál es la manera más eficiente de funcionamiento considerando las diferentes temperaturas, flujos y fluidos que utiliza.

2.2 Objetivos específicos.

- Determinar el punto óptimo de máxima eficiencia del intercambiador de calor de acuerdo con los parámetros de operación.
- Evaluar costos de mantenimiento, considerando la realización de este, con personal interno operadores de planta versus personal externo, contratista o tercero.
- Generar procedimiento para el mantenimiento del equipo.
- Proponer alternativas técnicas de mejora de eficiencia.

2.3 Justificación e importancia.

Se plantean los motivos que justifican el presente estudio:

Justificación teórica: La percepción de la información sobre los intercambiadores de calor y el bajo conocimiento de este en la compañía.

Justificación práctica: Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar el nivel de desempeño del equipo, además de informar el estado del intercambiador al área de mantenimiento.

Justificación metodológica: Se desea explicar, describir e identificar el proceso que conlleva este tipo de intercambiador de calor.

Importancia: Conocer la función que cumple este intercambiador "pasteurizador" en el proceso de filtración de azúcar granulada.

2.4 Alcances y limitaciones.

Este estudio es llevado a cabo en el Área de Suministros, específicamente en el sector de Filtración y Pasteurización de azúcar líquida.

El trabajo contempla la descripción del sistema de filtración y los equipos asociados a él, además se indica en que parte física del mapa de suministros se ubica el intercambiador y su rol en el proceso, ver Figura N°1.

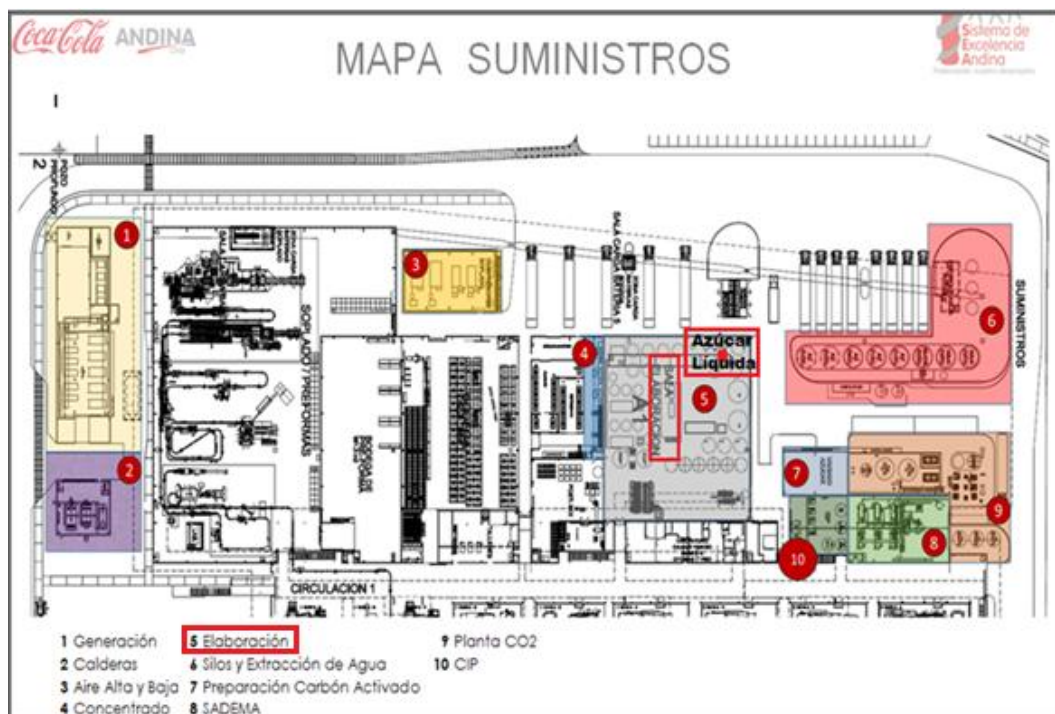


Figura N° 1. Planta Coca Cola Andina.

3 PLAN DE TRABAJO.

A continuación, se describe las etapas y actividades a realizar para enfrentar el problema.

3.1 Planteamiento del problema.

La empresa Coca Cola Andina dentro de sus procesos de fabricación y elaboración de bebidas analcohólicas busca como uno de sus principales objetivos a nivel de compañía que todos sus procesos sean sustentables, perfeccionados y optimizados. Según lo anterior, el trabajo se enfoca en el proceso de licuación de azúcar granulada que es en donde se genera un elevado gasto energético. Entiéndase que el gasto energético es la relación entre el consumo de energía y la energía que necesita el equipo. Para mantener el organismo en equilibrio, la energía consumida debe de ser igual a la utilizada, o sea que las necesidades energéticas diarias han de ser igual al gasto energético total diario. En este caso se puede decir que lo anterior se debe al uso de vapor de agua, gas natural, agua, energía eléctrica, productos químicos, etc. El desarrollo del trabajo anterior determinará cuál es la manera más eficiente desde el punto de vista de la operación, además de generar un conocimiento transversal del proceso a operadores, supervisores y nuevos integrantes al área. También servirá para fortalecer y robustecer el proceso de filtración de azúcar líquida, sin dejar de lado que Coca Cola trabaja bajo estrictas normas y estándares de calidad.

3.2 Antecedentes generales de los principales embotelladores de bebidas analcohólicas en Chile.

Si bien en la industria existen numerosas empresas, el mercado está concentrado principalmente en tres embotelladoras, las que a su vez están divididas en 2 grupos de competidores entre sí. Estos grupos pertenecen al sistema de

franquicias de Coca Cola Co. que no compiten entre sí (Coca Cola Andina, Embonor) y ECCUSA (filial de CCU). Ambos grupos representan el 89% del mercado en Chile. En nuestro caso en particular nos enfocaremos en la franquicia de **Coca Cola Andina**.

A continuación, se describen las plantas de embotellación de Coca Cola Andina existentes a nivel nacional:

1. Antofagasta
2. Coquimbo
3. **Renca**
4. Punta Arenas

La planta de Coca Cola Andina ubicada en la comuna de Renca es una de las 4 plantas de fabricación de bebidas y cuenta con un total de 10 líneas de producción. En esta se encuentra la casa matriz de la compañía, además se debe mencionar que posee la mayor capacidad productiva y una mayor tecnología. A continuación, en la Tabla N°1 se indica la cantidad de líneas por fábrica.

Tabla N° 1. Líneas de producción Coca Cola Andina Chile.

Embotelladora Sucursal	Capacidad de producción cajas unitarias (UC)	Cantidad de Líneas
Andina Antofagasta	33 MMUC	2 líneas Ret Pet 1 líneas RGB 1 líneas OW
Andina Coquimbo	31 MMUC	1 líneas Ret Pet 1 líneas RGB 1 líneas OW
Andina Renca	161 MMUC	3 líneas Ret Pet 3 líneas RGB 4 líneas OW
Andina Punta Arenas	26 MMUC	1 líneas RGB 1 líneas OW
Nota: REF PET = (Refillable pet) corresponde al envase retornable plástico; OW = (One Way) corresponde al envase No retornable plástico desechable; RGB = (Retornable Glass Bottle) botella de vidrio retornable		

Tabla N° 2. Cajas unitarias producidas por sucursal.

	Unidad	Plantas				Total
		Renca	Antofagasta	Coquimbo	Punta Arenas	
Producción Anual	MUC	142.977	13.511	9.979	3.923	170.390
% Producción Anual	%	84	8	6	2	100
Venta Anual Planta REN	MUC	133.856	2.832	14.929	4.177	165.794
Dotación	Q total	305	166	92	61	624
Productividad	UC/HH	161	33	31	26	98

La Tabla N°2, muestra la cantidad de cajas unitarias producidas en cada planta.

3.3 Antecedentes históricos Coca Cola Andina.

Embotelladora Andina fue fundada en 1946, en virtud de una licencia de The Coca-Cola Company. En un principio, se producía la botella individual, vendiéndose en cajas de 24 botellas de 8 oz. Ya en la década de 1960, se inaugura la primera planta en la comuna de San Joaquín. [23]

En los años 70 la compañía adquirió porcentajes cada vez más significativos de las Embotelladoras Concepción y Talca, que más tarde vendería a Williamson. También, a fines de la década, compra Termas Minerales de Chanqueahue y la marca Agua Mineral Vital, agregando luego la marca Schweppes.

En 1980 se lanza el envase PET no retornable de 2 lt., y en 1981 se introduce en Chile el envase "plastishield", en ese entonces el más moderno envase no retornable en el mundo. Durante esta década, aparece el nuevo concepto de bebidas light, con varias marcas (TAB, Coca-Cola, Sprite).

En 1985 el control de la compañía pasa a Inversiones Freire, propiedad de la familia Said. Actualmente, es controlada en partes iguales por las familias Chadwick Claro, Garcés Silva, Hurtado Berger, Said Handal y Said Somavía en conformidad a un acuerdo de actuación conjunta.

La década de 1990 vio el inicio del proceso de expansión internacional de Andina. En Argentina, en 1992 se adquiere un porcentaje minoritario de INTI, embotelladora de productos Coca-Cola en Córdoba, y entre 1995 y 1996 se completa este proceso, adquiriendo además la Embotelladora del Atlántico (EDASA), fusionando más tarde ambas empresas. También se compra el 100% de CIPET en Buenos Aires (dedicada al negocio de empaques), y un 15% de Cican, enlatador de productos Coca-Cola. Ya en 1994, la compañía había ingresado al mercado brasileño adquiriendo Rio de Janeiro Refrescos, embotelladora de esa ciudad, con planta en Jacarepaguá. En 2000, compra al embotellador de Coca-Cola para Niteroi, Vitoria y Gobernador Valadares. La primera década del nuevo siglo significa mayor expansión de Andina en Brasil, intercambiándose la franquicia de Gobernador Valadares en el estado de Minas Gerais por el de Nova Iguaçu en el estado de Río de Janeiro (2004).

En 2007 se forma el joint venture Mais Indústria de Alimentos entre los embotelladores de Brasil y la Compañía Coca-Cola con el fin de producir bebidas no carbonatadas para todo el sistema en dicho país, adquiriéndose, además, al año siguiente, la marca Sucos del Valle, líder en el segmento de jugos en este mercado.

En 2012 se anexa un 40% de Sorocaba Refrescos, y en 2013 se materializa la compra del 100% de las acciones de la compañía de Bebidas Ipiranga.

La compañía tiene licencias de The Coca-Cola Company en sus territorios en Chile, Brasil, Argentina y Paraguay. Las licencias para los territorios en Chile vencen en 2018 y 2019; en Argentina y Brasil vencen en el año 2017, en tanto que en Paraguay se extienden hasta 2020. La prolongación de las licencias depende de The Coca-Cola Company, pero se espera que se prorroguen en similares condiciones dados los resultados de la gestión.

3.4 Planta de Coca Cola Andina Renca.

La Planta de Coca Cola Andina Renca es una de las plantas que destaca del resto del conglomerado debido a sus grandes volúmenes de producción, cabe mencionar que a nivel nacional consta de un total de 19 líneas productivas divididas entre las cuatro plantas existentes. Su construcción significó una inversión cercana a los US\$140 millones y se inició en 2011, entrando en régimen en marzo de 2012. La planta de 243.000 metros cuadrados productivos trabaja bajo la norma ISO 22000, y en un futuro se pretende ampliar a 12 líneas, lo que permitirá contar con 230 millones de CUs (cajas unitarias, equivalentes a 5,678 litros) de capacidad anual sólo en esta planta, Figura N°2.



Figura N° 2. Edificio corporativo y planta de producción Coca Cola Andina Renca. Fuente [13]

Andina, ubicada en la comuna de Renca, entre las intersecciones de Avenida Miraflores y Avenida Américo Vespucio.

En la Figura N°3. Se muestra una vista aérea de las dependencias de Coca Cola Andina.



Figura N° 3. Vista aérea planta Coca Cola Andina Renca. Fuente Google maps.

4 MARCO REFERENCIAL.

Se presentan los distintos intercambiadores para comprender de manera macro los sistemas que interactúan con fluidos.

4.1 Intercambiadores de calor

Según la definición del ingeniero Químico Eduardo Cao en casi todas las industrias de procesos deben realizarse operaciones unitarias con transferencia de calor sobre algún fluido.

Estas operaciones tienen por objetivo producir el calentamiento o enfriamiento de una corriente de proceso, o bien modificar su estado físico en operaciones de evaporación o condensación.

Para que una corriente pueda ceder calor, es necesaria otra corriente que sea capaz de recibirlo.

De este modo, ambos fluidos intercambian calor entre sí, realizándose esta operación en un equipo llamado intercambiador de calor. Un esquema de intercambiador de calor sumamente primitivo puede ser como el de la Figura N°4.

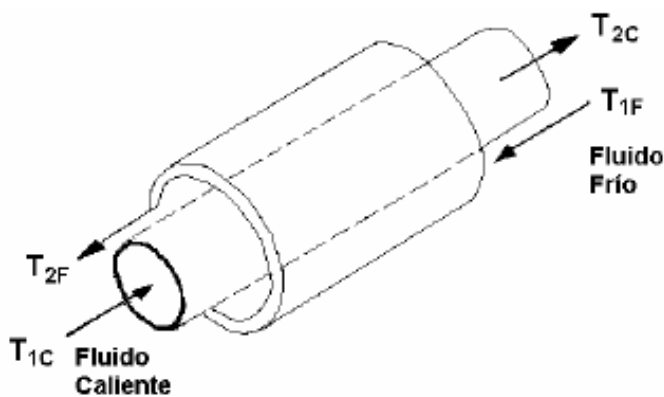


Figura N° 4. Diagrama de intercambiador de calor. Fuente [4]

T_{1F} y T_{2F} = temperaturas de entrada y salida del fluido frío

T_{1C} y T_{2C} = temperaturas de entrada y salida del fluido caliente

4.2 Clasificación de intercambiadores

El intercambiador de calor es uno de los equipos industriales más frecuentes, prácticamente no existe industria en la que no se encuentre un intercambiador de calor, debido a que la operación de enfriamiento o calentamiento es inherente a todo proceso que maneje energía en cualquiera de sus formas.

Los intercambiadores se clasifican según algunas características que se presentan en la Figura N°5.

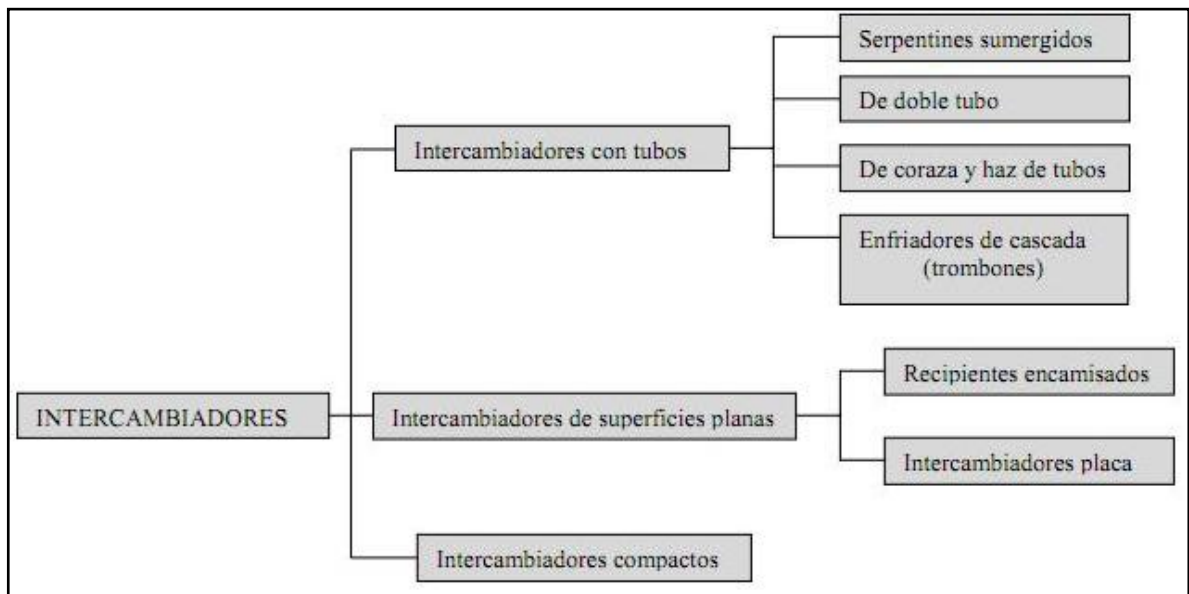


Figura N° 5. Clasificación de intercambiadores.

4.2.1 Intercambiadores con tubo

a) Intercambiadores de serpentines sumergidos

Los intercambiadores de serpentín se usan en casos en que no hay tiempo o dinero para adquirir un equipo comercial, ya que son fáciles de construir en un taller.

Al ser fácilmente removibles y transportables se usan mucho para instalaciones provisionales. El rendimiento del intercambio es bueno y son fáciles de limpiar exteriormente. La limpieza interior generalmente no es problema, ya que la

aplicación más frecuente es para calentamiento, generalmente con vapor. El vapor no ensucia, pero es bastante corrosivo.

b) Intercambiadores de doble tubo

Una de las posibles alternativas que se le presentan al ingeniero en el momento de seleccionar un intercambiador puede ser tener que elegir entre intercambiadores de horquilla de doble tubo con tubo interno único, de doble tubo con múltiples tubos internos e intercambiadores de haz de tubos y coraza. La diferencia más importante entre ellos es que en los intercambiadores de horquilla de múltiples tubos internos el flujo es a contracorriente pura, mientras en los intercambiadores de haz de tubos y coraza con dos o más pasos en los tubos el flujo es una mezcla de contracorriente y corrientes paralelas. Por lo tanto, en estos últimos el intercambio de calor es menos eficiente, en alrededor un 20%. Para poder obtener flujo en contracorriente pura el fabricante tiene que echar mano de disposiciones menos económicas, tales como usar igual cantidad de pasos en la coraza y en los tubos (por ejemplo, dos pasos en la coraza y dos pasos en los tubos) pero esto implica mayor complejidad constructiva y por lo tanto mayor costo. El flujo en contracorriente pura permite, por otra parte, mejor aproximación entre las temperaturas extremas y eliminar cruces de temperaturas. En un intercambiador de un paso por la coraza, se requerirían varias corazas en serie para eliminar los cruces de temperatura, lo que aumenta el costo. En el caso de grandes rangos de temperatura, que normalmente producen cruces cuando se usan intercambiadores de tubos y coraza, se usa a veces un deflector longitudinal en la coraza para evitar poner varias corazas en serie, pero esto puede causar altos esfuerzos térmicos en el lado de coraza, resultando en deformación del deflector que causa pérdidas a través de este. Estas corrientes de fuga disminuyen la eficacia térmica y pueden causar vibración que a su vez agrava el daño producido en el deflector y el haz de tubos.

c) Intercambiadores de haz de tubos y coraza

El intercambiador más sencillo que consta de dos tubos concéntricos no es adecuado cuando el gasto másico es elevado. Si se utilizan varios tubos concéntricos

en paralelo, el peso del material de los tubos que se necesita se haría tan grande, que es mucho más económico el construirlos formando un conjunto de tubos ubicados en un haz, rodeados por un tubo de gran diámetro denominado coraza; éste intercambiador, debido a que funciona con un solo paso de fluido en el lado de la coraza y un solo paso de fluido en el lado de los tubos se denomina intercambiador 1-1.

Los intercambiadores de tipo haz de tubos y coraza se usan para servicios en los que se requieren grandes superficies de intercambio, generalmente asociadas a caudales mucho mayores de lo que puede manejar un intercambiador de doble tubo.

En efecto, el intercambiador de doble tubo requiere una gran cantidad de horquillas para manejar servicios como los descritos, pero a expensas de un considerable consumo de espacio, y con aumento de la cantidad de uniones que son puntos débiles porque en ellas la posibilidad de fugas es mayor. De este modo los puntos débiles donde se pueden producir fugas, en las uniones del extremo de los tubos con la placa, están contenidos en la coraza.

d) Enfriadores de cascada

Estos equipos consisten en bancos de tubos horizontales, dispuestos en un plano vertical, con agua que cae resbalando en forma de cortina sobre los tubos formando una película. Se pueden construir con tubos de cualquier tamaño, pero son comunes de 2" a 4" de diámetro. Constituyen un método barato, fácil de improvisar, pero de baja eficiencia para enfriar líquidos o gases con agua que puede ser sucia, o cualquier líquido frío.

4.2.2 Intercambiadores superficies planas

a) Recipientes enchaquetados o encamisados

En un recipiente encamisado en general se trata de mantener caliente al líquido que contiene el recipiente. Por lo general la resistencia controlante está del lado del líquido. En la chaqueta se suele usar vapor como medio calefactor. De

ordinario se agita el recipiente para asegurar un buen intercambio. Si no hay agitación para soluciones acuosas se puede asumir h de $146,47 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($30 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$) para $\Delta T = 5,6^{\circ}\text{C}$ (10°F) a $732,36 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($150 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$) para $\Delta T = 56^{\circ}\text{C}$ (100°F).

Para recipientes no agitados que contienen agua o soluciones acuosas y se calientan o enfrían con agua en la camisa es razonable asumir $U = 146,47 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($30 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$). Para recipientes agitados el valor de U varía con el grado de agitación. Valores razonables son: vapor a agua: $732,36 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($150 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$); agua a agua: $292,94 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($60 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$); mezclas de sulfonación o nitración a agua: $97,65 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($20 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$).

b) Intercambiadores de placa

Un intercambiador de placa consiste en una sucesión de láminas de metal armadas en un bastidor y conectadas de modo que entre la primera y la segunda circule un fluido, entre la segunda y la tercera otro, y así sucesivamente. Se trata de equipos muy fáciles de desarmar para su limpieza.

En la disposición más simple hay sólo dos corrientes circulando, y su cálculo es relativamente sencillo. Durante nuestra memoria abordaremos este tipo de intercambiador de una manera más acabada, puesto que es el equipo que utilizaremos para nuestro análisis y proyecto de mejora de eficiencia.

4.2.3 Intercambiadores compactos

Los intercambiadores compactos han sido desarrollados para servicios muy específicos y no son habituales. Cada fabricante tiene sus diseños y métodos de cálculo propios. Para diseñar un intercambiador compacto se puede suponer como ejemplo una corriente de gas a elevada temperatura ($> 1000^{\circ}\text{C}$) que se desea enfriar con aire a temperatura normal. Dado que el espacio es sumamente escaso, se pueden fabricar con orificios (tubos) que corren entre dos caras opuestas de modo que existe la posibilidad de agregar una tercera corriente. El cálculo de este intercambiador es

relativamente simple. Otras geometrías más complejas requieren métodos de cálculo muy elaborados.

4.2.4 Materiales de construcción de los intercambiadores de calor

El material de construcción más común en los intercambiadores de calor es el acero al carbono. Otros materiales para el diseño mecánico de un intercambiador de calor según las normas ASME y TEMA, los que en orden de utilización son:

- Acero inoxidable AISI 304 / 316
- Níquel
- Monel
- Aleaciones de cobre, como latón Admiralty
- Aluminio
- Inconel
- Acero inoxidable de la serie 400
- Titanio
- Hasteloy

Los materiales para utilizar se seleccionan de acuerdo a su resistencia a la corrosión, ref. [28]. Se utilizan tubos bimetálicos cuando las condiciones de temperatura y requisitos de corrosión no permiten la utilización de una aleación simple. Consisten en dos materiales laminados juntos, teniendo cuidado con la acción galvánica.

También se encuentran intercambiadores de construcción no metálica como son tubos de vidrio, en casco de vidrio o acero. También se encuentran intercambiadores de calor de grafito y de teflón.

4.2.5 Selección de un intercambiador

La selección de un intercambiador de calor depende de factores como el económico, de aplicación, de operación y por supuesto del criterio del ingeniero de proyectos.

a. Analizar aplicación del intercambiador de calor

El primer paso consiste en analizar la aplicación y responder las siguientes preguntas: ¿Es una aplicación alimentaria? ¿Es una aplicación industrial?.

b. Identificar las propiedades del fluido

Analizar los fluidos involucrados, el fluido en el lado del producto y en el lado del servicio. Para poder realizar un correcto diseño de un intercambiador de calor, se necesita conocer datos esenciales y propiedades básicas de los fluidos involucrados, como son:

- Densidad
- Calor específico
- Conductividad térmica
- Viscosidad
- Caudales
- Temperaturas de entradas y salidas

c. Circulación de fluidos en intercambiadores

La mayoría de los intercambiadores trabaja por circulación forzada, en cuyo sistema el fluido de operación es impuesto totalmente a través de bombas y ventiladores.

d. Marca registrada de los fabricantes

Muchos de los fabricantes imprimen en cada tipo de intercambiador su propio nombre. En algunos casos estos nombres, aunque son de propiedad registrada, pasan al dominio general para indicar el tipo de algún intercambiador. Como, por ejemplo:

Spirax Sarco, Attsu, Julabo, tranter, Swep, Alfa Laval, Tulpar, Frick, HRS, API, Danfoss, Conair, Carrier, entre otras.

4.2.6 Equipos y accesorios de intercambiadores

Existe una serie de elementos que complementan al intercambiador de calor los cuales se detallaran a continuación.

a. Accesorios de observación:

Termómetros

Manómetros

Medidor de caudal

Controlador

b. Accesorios de seguridad:

Válvulas de seguridad

Filtros

Aislantes

c. Equipos accesorios de alimentación de agua:

Bombas

Filtros

Válvula de retención

d. Accesorios de limpieza:

Productos químicos (solventes)

Limpieza mecánica (hisopos)

Limpieza alta presión (hidrolavadora)

4.2.7 Calidad del agua en circuitos cerrados

En los sistemas de calefacción suelen presentarse inconvenientes como la presencia de sedimentos e incrustaciones, pérdida de eficiencia de intercambio térmico, ruido excesivo, rotura de dispositivos u oclusión de las líneas. En gran parte

estos problemas se deben a la calidad del agua y las sustancias presentes en ella, que forman incrustaciones y favorecen la corrosión.

Los principales problemas de un sistema de calefacción relacionados con la calidad del agua son:

- **Incrustaciones calcáreas.**

Las incrustaciones calcáreas son formaciones más o menos duras y compactas que se producen a causa de la dureza del agua, es decir, de su contenido de sales de calcio y magnesio.

- **Formación del depósito calcáreo.**

En el agua, los bicarbonatos de calcio y magnesio (sustancias solubles) están en equilibrio con los carbonatos de calcio y magnesio y con el dióxido de carbono, ver Figura N°6.

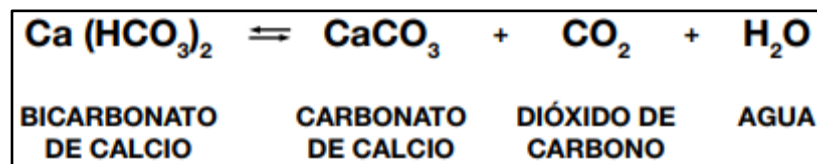


Figura N° 6. Composición del agua.

1. Un aumento de la temperatura del agua libera parte del dióxido de carbono y rompe ese equilibrio.
2. Para producir nuevo dióxido de carbono y restablecer el equilibrio, los bicarbonatos de calcio y magnesio se transforman en carbonatos de calcio y magnesio.
3. Los carbonatos son sustancias poco solubles que precipitan formando la incrustación que comúnmente se denomina "cal".

- **Incrustaciones en intercambiadores.**

En las superficies metálicas de los intercambiadores se forman incrustaciones que reducen el intercambio térmico. Un milímetro de cal depositado en el interior del intercambiador disminuye la eficiencia de intercambio y aumenta el consumo energético en un 10% (ref.[14]), Figura N°7.

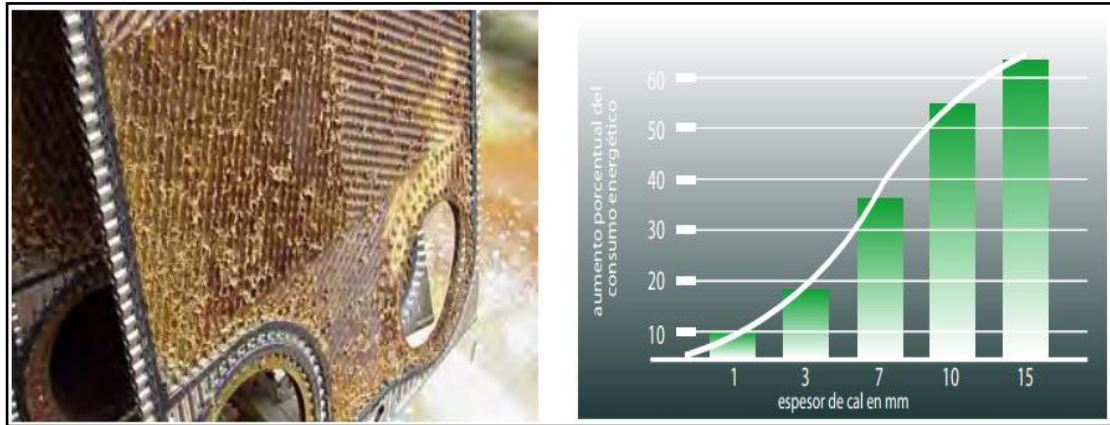


Figura N° 7. Incrustaciones en intercambiadores. Fuente [14]

- **Dureza del agua.**

La dureza se refiere principalmente al contenido de sales de calcio y magnesio. Cuanto mayor es la concentración de estas sales, más dura es el agua. La unidad de medida de la dureza es el grado francés [°f], que corresponde a 10 mg de carbonato de calcio por litro de agua, ver fórmula para determinar la dureza del agua a continuación.

$$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/l} = 10 \text{ ppm} \quad (4.2.7.1)$$

En seguida en la Tabla N°3 se adjunta la clasificación de los diferentes tipos de agua.

Tabla N° 3. Clasificación de aguas. Fuente [14]

Clasificación	Concentración [PPM]	Dureza [°f]
Muy blanda	0 - 80	0 - 8
Blanda	80 - 150	8 - 15
Poco dura	150 - 200	15 - 20
Medianamente dura	200 - 320	20 - 32
Dura	320 - 500	32 - 50
Muy dura	> 500	> 50

○ **Sistemas de ablandamiento y desmineralización del agua.**

El tratamiento más común, de naturaleza fisicoquímica, es el ablandamiento, que consiste en sustituir el calcio y el magnesio (minerales responsables de la dureza del agua y poco solubles) por el sodio, que es más soluble. Un tratamiento más completo es la desmineralización, aplicable a los circuitos cerrados de los sistemas de climatización y extremadamente eficaz para eliminar las sales y la conductividad eléctrica. La desmineralización elimina por completo las sales presentes en el agua, reduce la conductividad eléctrica y estabiliza el pH, Tabla N°4.

Tabla N° 4. Ablandamiento y desmineralización del agua. Fuente [14]

Ablandamiento	Desmineralización
No modifica la salinidad del agua	Elimina la salinidad del agua
No reduce el riesgo de corrosión	Elimina el riesgo de corrosión
Elimina la formación de incrustaciones	Elimina la formación de incrustaciones

En la Figura N°8 se puede apreciar las diferentes calidades de agua, pasando de un tipo de agua sin tratamiento hasta un agua totalmente desmineralizada.



Figura N° 8. Calidades del agua. Fuente [14]

o Fenómeno de corrosión.

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma de mayor estabilidad o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos. El proceso de corrosión es natural y espontáneo.

La corrosión es una reacción química (oxido-reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica.

Los factores más conocidos son las alteraciones químicas de los metales a causa del aire, como la herrumbre del hierro y el acero o la formación de pátina verde en el cobre y sus aleaciones (bronce, latón).

Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura, etc.). En la Figura N°9 se evidencia el fenómeno de corrosión.



Figura N° 9. Corrosión en tubería. Fuente [14]

4.3 Principales fallas de los intercambiadores de calor.

Es muy importante la detección de fallas, debido que esto nos permite evitar y prevenir accidentes por causas en el equipo. El análisis de fallas permite detectar a tiempo problemas en los intercambiadores como defectos de diseño, fabricación o ensamble de piezas; errores en los procedimientos establecidos para el mantenimiento y servicio de los equipos; malas rutinas de mantenimiento o abusos y descuidos durante la operación; por último, ayuda a la selección y establecimiento de métodos no destructivos como procedimientos de inspección de las diferentes partes del equipo.

A continuación, se mencionan las causas más comunes de fallas en los intercambiadores de calor, así como los daños más frecuentes.

▪ **Falla mecánica.**

Es la falla o rotura repentina e imprevista de una pieza, que impida el funcionamiento normal para el que ha sido diseñada.

Generalmente las fallas mecánicas de los intercambiadores de calor tienen que ver con la resonancia de los tubos, con las excesivas deformaciones de los mismos, o con el no soporte de la presión y la temperatura ya sea por los tubos o por la coraza.

▪ **Falla por corrosión.**

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Esto generalmente causado a raíz de de los diversos tipos de materiales y accesorios que se utilizan en las instalaciones, acompañando a esto las diferencias de temperaturas.

▪ **Falla por ensuciamiento.**

Los principales efectos del ensuciamiento en los equipos de transferencia de calor son los siguientes:

- Incremento de la caída de presión.
- Aceleración de la corrosión.
- Decremento del coeficiente global de transferencia de calor.

A su vez el ensuciamiento se puede clasificar en los siguientes tipos:

- Por precipitación.
- Por partículas.
- Planeación de métodos de limpieza y frecuencia requerida.
- Colocar el fluido más propicio al ensuciamiento, del lado de tubos.

Para el resto de los equipos de transferencia de calor se presentan en la Tabla N°5, algunos valores típicos de la resistencia por ensuciamiento de algunos fluidos industriales.

Tabla N° 5. Resistencia al ensuciamiento para fluidos industriales. Fuente [15]

Aceites	°Cm² h/kcal
Gasolina #2	0.002
Gasolina #6	0.005
Aceite de transformador	0.001
Aceite lubricante para motores	0.001
Aceite de enfriamiento	0.004
Gases y Vapores	
Gas fabricado	0.010
Gas de escape de motor	0.010
Vapor (cojinete sin aceite)	0.0005
Vapor de escape (aceite para cojinete)	0.0015 - 0.002
Aire comprimido	0.002
Vapor de amoníaco	0.001
Vapor de CO ₂	0.001
Vapor de Cloro	0.001
Gas de combustión de carbón	0.002
Gas natural de gas de combustión	0.010
Líquidos	
Sales de transferencia calor fundidas	0.0005
Líquidos refrigerantes	0.001
Fluido hidráulico	0.001
Medios de transferencia de calor orgánicos industrial	0.002
Amoníaco líquido	0.001
Amoníaco líquido (aceite para cojinete)	0.003
Soluciones de cloruro de calcio	0.003
Soluciones cloruro de sodio C	0.003
Líquido de CO ₂	0.001
Cloro líquido	0.002
Soluciones de metanol	0.002
Soluciones de etanol	0.002
Soluciones de etilenglicol	0.002

Resistencias de envasado para procesos químicos

Gases y Vapores	
Gases ácidos	0.002 - 0.003
Vapores de solventes	0.001
Productos estables	0.001
Líquidos	

Soluciones MEA y DEA	0.002
Soluciones DEG y TEG	0.002
Dibujo lateral y fondo inferior estable	0.001 - 0.002
Soluciones causticas	0.002
Aceites vegetales	0.003

Resistencia a la incrustación en corrientes de procesamiento de gas natural y gasolina

Gases y Vapor	
Gas natural	0.001 - 0.002
Productos de cabeza	0.001 - 0.002
Líquidos	
Aceite magro	0.002
Aceite rico	0.001 - 0.002
Gasolina natural y gases de petróleo licuado	0.001 - 0.002

▪ **Falla por frame o marco.**

Los problemas frecuentes que dice la relación con la operación de los equipos intercambiadores de calor están basados en derrame de soluciones en los puertos de entrada de las soluciones, esto se puede observar en la Figura N°10.

Uno de los problemas es la saturación de las placas de flujo por bajo mantenimiento.



Figura N° 10. Falla por frame.

- **Falla por saturación de placas de flujo.**

La saturación en los equipos de intercambio de calor de placas ocurre cuando se produce una incrustación entre cada placa de flujo (distancia interior entre la placa "gap") debido a sólidos, fouling y cualquier elemento que permanezca y no ocurra la auto limpieza.

- **Falla por pitting.**

El pitting es una corrosión localizada debido principalmente al efecto de cloruros en las soluciones de procesos, esto genera una contaminación de solución entre fluidos que pueden incluso llevar a daños en equipos calentadores o calderas. También se podría definir como la corrosión por picadura en una forma extremadamente localizada que conduce a la creación de pequeños agujeros en el metal.

- **Falla por contaminación orgánica.**

Las placas de flujo de los intercambiadores de calor que operan con electrolitos están expuestas a sufrir contaminaciones de orgánicos, las cuales viene por arrastre de la etapa anterior (filtración y/o lavados). Este elemento orgánico produce una despasivación de la superficie externa de la placa, esto genera que dicha superficie quede más expuesta a sufrir corrosión.

4.4 Ventajas del intercambiador de placas v/s intercambiadores tubulares.

A continuación, se presentan las ventajas de los intercambiadores de placa, en comparación con los intercambiadores tubulares.

1. Ocupa menor espacio.

Normalmente, ocupan el 20% del espacio que necesita un multitubular con la misma capacidad. Necesitan menor espacio para mantenimientos, Figura N°11.

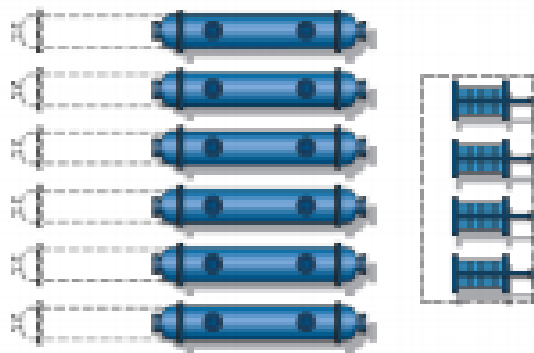


Figura N° 11. Espacio intercambiadores. Fuente [16]

2. Mayor eficiencia.

Mayor eficiencia debido a la elevada turbulencia generada en los canales, Figura N°12.



Figura N° 12. Canales en intercambiadores. Fuente [16]

3. Menor peso.

Al ser más eficiente es necesaria menor superficie de intercambio, por lo tanto, un equipo más ligero.

4. Capacidad de ampliación.

Los intercambiadores de placas desmontables permiten ampliar o reducir la capacidad si las condiciones de funcionamiento cambian, Figura N°13.



Figura N° 13. Capacidad de ampliación intercambiador de placa. Fuente [16]

5. Evita zonas muertas.

Los baffles diseñados para generar turbulencia generan zonas muertas donde se acumula la suciedad, Figura N° 14.

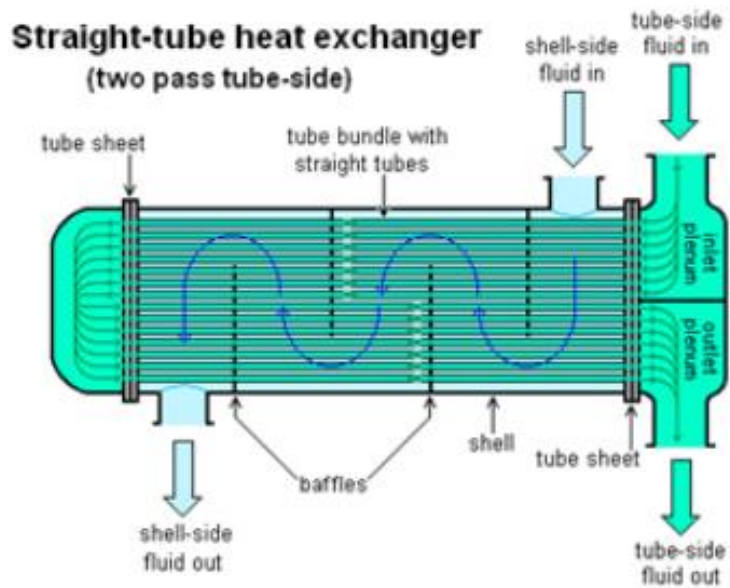


Figura N° 14. Evitar zonas muertas en intercambiadores. Fuente [16]

6. Menor costo operativo.

La elevada eficiencia energética de los intercambiadores de placas, superior al 95%, permiten conseguir la temperatura objetivo con el menor aporte energético, Figura N° 15.

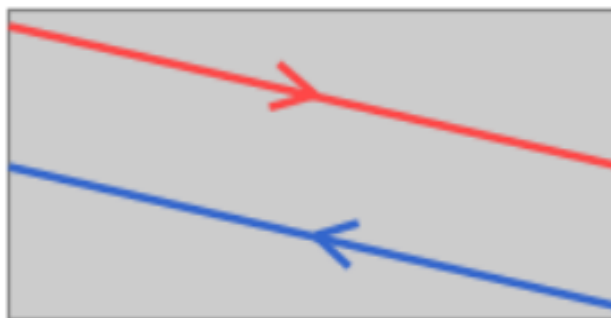


Figura N° 15. Costo operativo en intercambiadores. Fuente [16]

4.5 Mantenimiento en intercambiadores.

La importancia del mantenimiento en los equipos de transferencia de calor se manifiesta en una buena operación, menor número de fallas, mejoramiento de la eficiencia y alargamiento de la vida útil del equipo.

En los equipos de transferencia de calor que operan a presiones relativamente altas, las principales fallas se localizan en las tuberías, y son las causas principales de la salida de servicio de un equipo. Dentro de las fallas que pueden presentarse en las tuberías, se mencionan como las principales, las siguientes:

- Defectos de soldadura.
- Defecto de material.
- Corrosión interna.
- Deterioro externo.
- Defecto de diseño

Un buen programa de mantenimiento debe estar basado en la inspección periódica del estado del equipo.

Para evitar pérdidas de eficiencia del equipo, así como evitar deterioro en los bancos de tuberías, es conveniente realizar limpiezas periódicas para remover todas las incrustaciones y sólidos adheridos a las superficies de intercambio de calor. La frecuencia de la limpieza depende entre otros factores, de las características de los fluidos que se manejan y la operación del equipo.

Una de las partes más importantes para mantener en buen estado un equipo de transferencia de calor, es el relacionado con los controles de protección, así como los instrumentos indicadores y registradores, tales como: medidores de flujo, termómetros, manómetros, etc. Estos instrumentos deben revisarse periódicamente para que siempre se encuentren en buenas condiciones de operación y debidamente calibrados.

Algunas de las condiciones que pueden causar debilitamiento de los tubos en los equipos de transferencia de calor son: sobrecalentamiento durante los arranques de metal debido a la corrosión.

El calentamiento no uniforme causa expansiones desiguales, con el resultado de tubos distorsionados y abertura en las costuras de soldadura.

Los sobrecalentamientos son debidos en su mayor parte a la formación de depósitos de escoria, los que dan lugar a corrientes de gases a alta velocidad, creando zonas más calientes.

La corrosión puede ocurrir durante la operación si no mantiene un control químico correcto de los fluidos que circulan por la tubería. Cuando la corrosión se presenta en unidades fuera de operación, esta puede ser debida a la falta de cuidado al mantenerla así o por el resultado de métodos no adecuados empleados durante la limpieza química.

El propósito de limpiar un equipo de transferencia de calor es producir y/o asegurarse que existe una superficie limpia en todas las partes de contacto de los fluidos, donde se realizará la transferencia de calor.

Existen dos tipos de limpieza: alcalina y ácida.

- La limpieza alcalina se utiliza para retirar materiales tales como aceites y grasa.
- La limpieza ácida se utiliza con el propósito de retirar escamas de laminación y productos de corrosión.

Para determinar el programa de limpieza y la composición de las soluciones a emplear, siempre es conveniente llevar a cabo un análisis químico de los materiales que se van a eliminar.

Los principales factores químicos que producen corrosión en la tubería y equipos auxiliares son gases disueltos y ácidos minerales libres. Las altas concentraciones de álcalis (óxidos) pueden contribuir a la corrosión de ciertos equipos en los que se usan aleaciones no ferrosas.

Una concentración excesiva y localizada de los componentes alcalinos del agua en contacto con el acero, particularmente en regiones de alta temperatura o de mala circulación, puede producir ataque químico en la forma de picadura irregular o un ranurado regular en la pared del tubo. Este tipo de ataque se observa con mayor frecuencia en tubos horizontales.

El desarrollo de grietas en el acero de los tubos es evidencia de una condición peligrosa, cuya causa y corrección deben determinarse de inmediato.

Una grieta puede desarrollarse debido a una gran variedad de causas, por lo general, es el resultado de esfuerzos o combinación de esfuerzos y corrosión.

La corrosión se hace peligrosa cuando aparecen grietas, y el equipo se deberá mantener fuera de servicio hasta que se hayan hecho las reparaciones pertinentes.

Si en algún lugar ocurren picaduras agrupadas o alineadas con una profundidad suficiente para afectar la resistencia del material, deberá retirarse el área afectada y repararse. Si las picaduras son aisladas y no afectan la resistencia del material, puede evitarse que éstas lleguen a construir un problema serio limpiándolas cuidadosamente y rellenándolas con soldadura eléctrica, o con la aplicación de algún recubrimiento protector.

Cuando los tubos estén distorsionados de tal manera que se dificulte limpiarlos correctamente o inspeccionarlos para comprobar su solidez o limpieza, no debe tratarse de enderezarlos; tales tubos deberán ser cambiados.

Un tubo de agua con una serie de abocamientos no deberá corregirse dando su forma original a las secciones afectadas. Cuando se tienen fugas en los abocamientos o éste presenta una tendencia a agudizarse en un punto, de tal manera que se tenga adelgazamiento apreciable en el metal, con la posibilidad de incrustaciones o acumulación de incrustaciones en el abolsamiento, el tubo deberá ser cambiado.

4.6 Normas y reglamentos que rigen para intercambiadores de calor.

El procedimiento más común de diseño mecánico es a través del análisis de esfuerzo a que están sometidas las partes y apoyándose en códigos y normas aceptadas, como son el ASME (American Society of Mechanical Engineers) y el TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

A continuación, se hace una breve descripción del contenido del ASME y del TEMA.

El código ASME [25].

Trata todo lo relacionado con el diseño y operación de calderas y recipientes a presión, se compone de XI secciones, de las cuales la VIII está dedicada exclusivamente a los recipientes a presión.

A continuación, se hace una descripción de la sección VIII, división I:

Consta de tres subsecciones:

- a. Requisitos generales
- b. Requisitos concernientes a los métodos de diseño y fabricación de los recipientes sujetos a presión.

- c. Requisitos concernientes a las clases de materiales.

Normas del TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) [25].

El tema trata lo relacionado a los intercambiadores de calor de carcaza y tubos. Su contenido es el siguiente:

Parte N: Nomenclatura

Parte F: Tolerancias de fabricación

Parte G: Fabricación en general e información de funcionamiento

Parte E: Instalación operación y mantenimiento

Parte: RCB: Normas mecánicas del TEMA para Intercambiadores de calor RCB.

Parte V: Vibración inducida por flujo

Parte T: Relaciones térmicas

Parte P: Propiedades físicas de fluidos

Parte D: Información general

Parte RGP: Recomendaciones Prácticas.

5 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y SUS PROCESOS DE OPERACIÓN.

A continuación, se detallan los datos específicos del equipo, como son sus dimensiones, materiales de construcción, tipos de conexiones, etc.

5.1 Descripción del intercambiador pasteurizador.

El intercambiador de calor de placas utilizado para el proceso de pasteurización del azúcar líquida corresponde al modelo Front 10 de la empresa Alfa Laval y consta de un conjunto de placas metálicas acanaladas con orificios para permitir el paso de dos fluidos entre los que se realiza la transferencia de calor. Según sus características está construido de acero inoxidable revestido a prueba de ácidos, las tuercas móviles de los pernos tensores en latón chapado en cromo, el tipo de acero utilizado puede ser ASI 316 o en su defecto titanio y su presión de diseño es de 160 bar y 150°C. Además, consta de conexiones DIN, el tipo de material de las juntas a manejar dependerá de donde se utilizará el intercambiador, que en este caso es el área de alimentos, por lo tanto, puede ser de Nitrilo, EPDM o vitón todo con grado alimenticio.

A las características anteriores del intercambiador utilizado también se debe incluir las dimensiones de equipo, esto debido a su alta capacidad de transferencia, su ancho es de 670 mm, alto 2.167 mm, el largo que varía entre un mínimo de 1.400 mm hasta un máximo 5.000 mm. Por lo anterior su tipo de conexión es de 76 a 101.6 mm, su capacidad cuando se utiliza para pasteurización, calentamiento y refrigeración, corresponde a 65.000 l/h y el paso de agua es de 13.000 l/h.

Intercambiador Front 10 con sistema clip-on, intercambiador desmontable de placas corrugadas.

El intercambiador Alfa Laval modelo Front 10 es desmontable con placas corrugadas de alta eficiencia y juntas sin pegamento, con el sistema clip-on para facilitar su apertura en caso de mantenimiento. Bastidor de acero recubierto de un tratamiento de pintura epoxy de alta resistencia para protegerlo de la corrosión.

Esto se debe considerar para caudales de hasta 180 m³/h, Figura N°16.

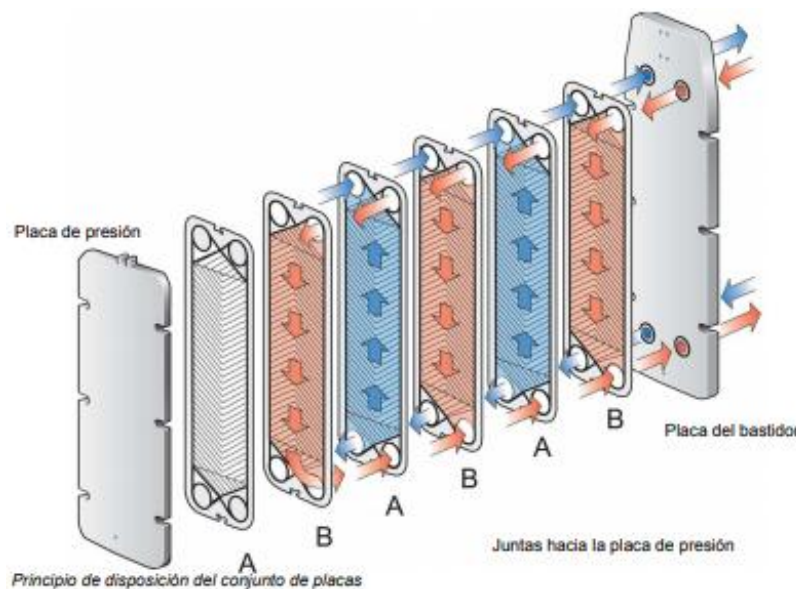


Figura N° 16. Placas desmontables. Fuente [21]

5.2 Características del intercambiador Front 10 Alfa Laval.

El intercambiador posee diversas características, las cuales se detallan a continuación, Figura N° 17.

- Placas disponibles en inox 304, 316 y titanio.
- Juntas de nitrilo, EPDM o vitón.
- Con conexiones DN 100.



Figura N° 17. Intercambiador pasteurizador.

5.2.1 Características generales del intercambiador de calor.

El intercambiador de placas marca Alfa Laval modelo Front 10 se encuentra ubicado en el área de suministros, en el sector de filtración y pasteurización de azúcar líquida. Es en este sector de la planta donde se produce el licuado de azúcar y donde debe alcanzar el estándar de calidad requerido para la producción de bebidas analcohólicas.

El material de las juntas se elige para un uso seguro en relación con los productos alimentarios que se utilizarán, en este caso se usan juntas de nitrilo, EPDM o vitón.

Con relación al intercambiador, este utiliza un conjunto de placas, que están montadas entre una placa bastidor fija y otra placa de presión móvil, y se mantiene apretado mediante pernos tensores. Las placas están provistas de una junta que sella el canal entre placas y envía los fluidos hacia canales alternos. El número de placas depende del caudal, las propiedades físicas de los fluidos y el programa de

temperaturas. Las conexiones pueden situarse en la placa bastidor y en la placa de presión. El acanalado de las placas provoca un régimen turbulento del fluido y contribuye a que las placas resistan a la presión diferencial.

5.2.2 Componentes principales del intercambiador de placas pasteurizador.

A continuación, se realiza el despiece y descripción de los componentes del intercambiador de placas, Figura N°18.

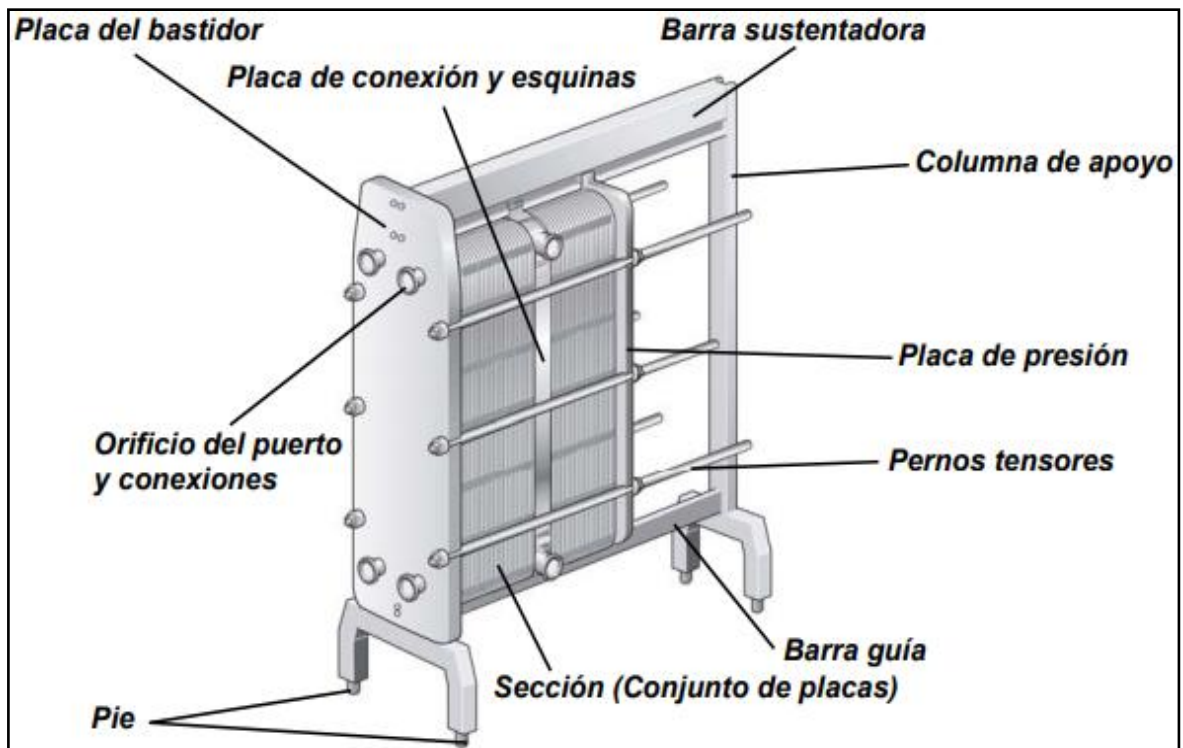


Figura N° 18. Componentes intercambiador de placas. Fuente [21]

En la Tabla N°6, se describen las partes y piezas del intercambiador.

Tabla N° 6. Resumen componentes intercambiador de placas.

Protección de los pernos	Tubos de plástico para proteger las roscas de los pernos tensores.
Barra sustentadora	Sostiene el conjunto de placas, las placas de conexión y la placa de presión.
Placa de conexión y esquinas	Placa usada para separar dos o más servicios en un intercambio de calor de placas. El paquete de placas que se encarga de dicho servicio recibe el nombre de sección.
Sección	Si se utilizan placas de conexión, el intercambiador de calor de placas contendrá diferentes secciones (conjuntos de placas).
Pie	Pies ajustables
Placa del Bastidor	Placa fija con varios orificios de puerto para la conexión del sistema de tuberías. Las barras sustentadora y guía se sujetan en la placa del bastidor.
Barra guía	Mantiene las placas acanaladas, las placas de conexión y la placa de presión alineadas en el extremo inferior.
Conjunto de Placas	Estas placas son las encargadas de transmitir el calor de uno a otro medio. El conjunto de placas está formado por placas acanaladas, placas terminales, juntas y, en algunos casos, placas de transición. La medida del conjunto de placas es la dimensión A, es decir, la medida entre la placa del bastidor y la de presión.
Orificios de puerto y conexiones	Los orificios de puerto que atraviesan la placa del bastidor permiten la entrada o salida de los medios desde el intercambiador de calor de placas. El intercambiador puede estar equipado con diferentes tipos de conexión, como el acoplamiento. Equipada con equipamientos sanitarios, que permiten que los medios ingresen en el intercambiador de calor de placas. Abertura de entrada o de salida en la placa acanalada; la mayoría de las placas tienen cuatro puertos.
Placa de presión	Placa móvil de acero que puede contener varios orificios de puerto para la conexión del sistema de tuberías.
Chapas de protección	Cubren el conjunto de placas y proporcionan protección contra la fuga de fluidos calientes o agresivos y para el conjunto de placas calientes.
Columna de apoyo	Sostiene las barras sustentadora y guía.
Pernos tensores	Comprimen el conjunto de placas entre el bastidor y las placas de presión.

La Tabla N°7, nos entrega los datos técnicos de presión y temperatura del modelo de intercambiador a analizar.

Tabla N° 7. Datos técnicos intercambiador.

Presión del diseño mecánico (g)	Temperatura
Acero inoxidable revestido de RH	16 bares/150 °C

A continuación se presentan las características técnicas del intercambiador.

a. Conexiones.

Los tipos de conexiones son piezas macho DIN, SMS, Tri-Clamp, B.S./RJT e IDF/ISO. también existen otro tipo de conexiones bajo pedido.

b. Materiales estándar.

Bastidor Placa bastidor y de presión en acero inoxidable sólido o con revestimiento o superficie recubierta. Todas las piezas bañadas van cubiertas en acero inoxidable a prueba de ácidos. Otras superficies en varios grados de acero inoxidable. Tuercas móviles de los pernos tensores en latón chapado en cromo.

c. Placas Acero inoxidable.

Las placas se componen de acero inoxidable AISI 316 o titanio.

d. Juntas.

Los sellos o empaquetes están confeccionado de nitrilo-FDA o EPDM-FDA.

Las placas Front line llevan juntas clip-on sin pegamento, lo que facilita su sustitución incluso con las placas colgando en el bastidor. El material de las juntas se elige para un uso seguro en relación con los productos farmacéuticos y alimentarios

e. Aplicaciones.

Los intercambiadores se utilizan en diversas aplicaciones como son:

- Pasteurización
- Refrigeración/calentamiento general de productos lácteos, cervezas, bebidas y alimentación.
- Refrigeración/calentamiento en la industria farmacéutica

5.2.3 Descripción del proceso dónde opera el intercambiador de calor.

El sistema está ubicado en el sector denominado planta de azúcar. Esta área está dividida en dos sectores: patio de suministros y sala de elaboración.

a. Patio de suministros.

Es en este lugar donde se produce la descarga de azúcar granulada, esta es la operación que da inicio al proceso.

En esta área se encuentran los siguientes equipos:

- Compresor de aire Repicky (sistema de generación de aire) para la descarga de azúcar.
- Silos de almacenamiento de azúcar granulada.
- Estanque desaireador.
- Bomba centrífuga P105 recirculación azúcar anillo Contisolv.
- Estanque de carbón activado.

b. Sala de elaboración.

La sala de elaboración es el sector de la planta donde se realiza el proceso de licuado de azúcar y en donde alcanza el estándar de calidad requerido para la producción de bebidas. Los equipos requeridos para estos procesos son los siguientes:

- Estanque Contisolv, marca Miteco.

- **Intercambiador de calor pasteurizador (equipo analizado)**, Figura N°16.
- Reactor carbón activado.
- Filtro de tierra diatomeas Della Toffola.
- Filtro de mangas.

5.2.4 Descripción de la operación del jarabe simple.

El proceso de elaboración de jarabe simple está controlado por un sistema SCADA, el cual permite verificar y controlar su operación que en gran parte se encuentra automatizada. Para iniciar el proceso de elaboración el sistema esta seteado de acuerdo a parámetros que requiere el proceso de producción de jarabe simple (°brix).

Los procesos productivos siempre pueden subdividirse en unidades básicas llamadas operaciones unitarias. Estas son cada una de las acciones necesarias de transporte, adecuación y/o transformación.

Las operaciones unitarias más comunes se producen en los diferentes equipos mencionados con anterioridad, como son reactores, intercambiadores de calor, bombas, sistemas de dosificación y mezcla, ya que, en cada operación se cambian las condiciones del fluido.

A continuación, se describen las operaciones unitarias de acuerdo al diagrama de flujo de proceso, Figura N°19.

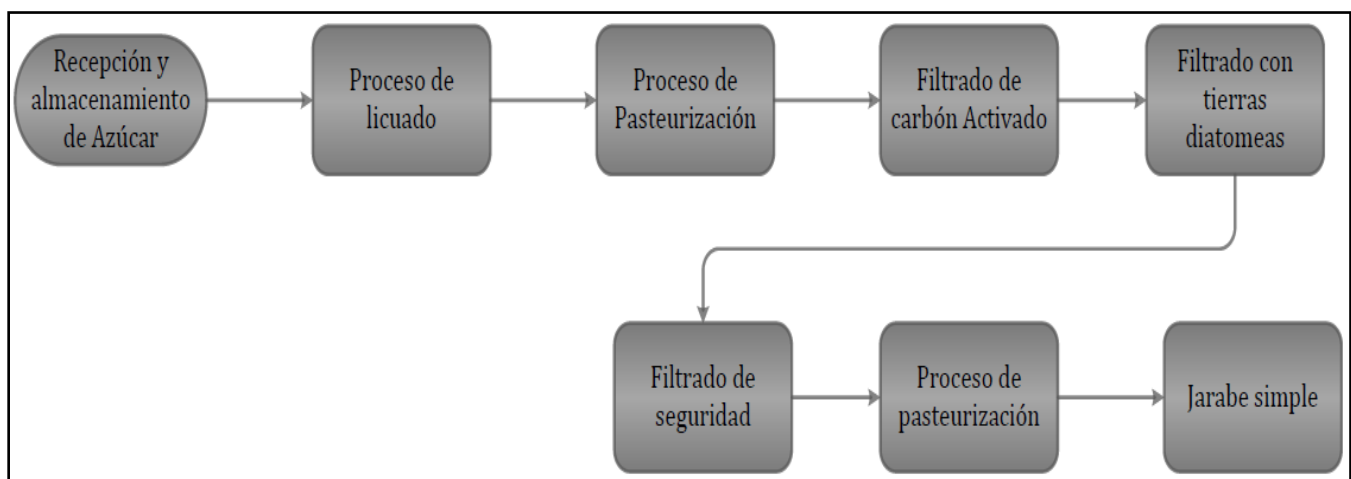


Figura N° 19. Elaboración jarabe simple.

5.2.5 Descripción de funcionamiento según diagrama de flujo.

El proceso de preparación de jarabe simple es realizado de manera conjunta con los diversos equipos ubicados en el patio de suministros y sala de elaboración. La licuación de azúcar se realiza de manera continua con una temperatura inicial de 50°C, para obtener una concentración de 67° Brix $\pm 3\%$, el cual es controlado por un instrumento de control (refractómetro). Para su posterior pasteurizado y filtrado, este se lleva a cabo en 3 etapas, iniciando con la dosificación de carbón activado y la mezcla que se produce en el reactor T200 estanque de carbón activado. Al ser estos productos solubles entre sí permiten la eliminación de olor, sabor y mejora el color.

En la segunda etapa de filtrado de jarabe simple se aplica tierras diatomeas las cuales son retenidas en el filtro de torta o también llamado filtro Della Toffola, para finalizar el depurado por los filtros de seguridad o denominados filtros de manga.

Posterior a las etapas de filtrado el producto final (jarabe simple o azúcar líquida) pasa a los estanques de almacenamiento, siendo la calidad del jarabe simple dependiente en gran medida de la apariencia o aspecto final del producto, Figura N°20.



Figura N° 20. Diagrama de flujo jarabe simple.

6 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR.

Para analizar la operación del intercambiador de calor de placas (Pasteurizador) instalado se utilizan métodos de análisis térmicos e hidráulicos similares al de otros tipos de intercambiadores de calor, en donde se evalúa cuantitativamente la transferencia de calor del intercambiador.

6.1 Balance de energía

La tasa total de transferencia de calor entre los fluidos a contraflujo en los intercambiadores de calor de placas, según la primera ley de la termodinámica, puede ser calculada para ambos fluidos por medio de la siguiente relación:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (6.1.1)$$

En donde:

- ✓ $\dot{Q}$ es el calor total transferido, cedido (-) o recibido (+), [W]
- ✓ $\dot{m}$ es el flujo másico del fluido [kg/hr]
- ✓ C_p es el calor específico del fluido, [J/kg°C]
- ✓ ΔT es la diferencia de temperatura del fluido entre la entrada y la salida del equipo [°C]

La diferencia media logarítmica de temperatura puede ser obtenida desde la ecuación básica para el caso de fluidos a contra flujo, en la cual se relacionan las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos, caliente y frío.

$$DMTL = \frac{(T_{E,C}-T_{S,F})-(T_{S,C}-T_{E,F})}{Ln\left[\frac{(T_{E,C}-T_{S,F})}{(T_{S,C}-T_{E,F})}\right]} \quad (6.1.2)$$

Para cuantificar la eficiencia del intercambiador de calor se utiliza el método empírico NUT o número de unidades transferidas. Para un intercambiador de placas y a contra flujo, se considera lo siguiente,

$$NTU = \frac{T_1-T_2}{DMTL} \quad (6.1.3)$$

Otras de las variables a considerar es el cálculo de capacidad calorífica tanto para el fluido frío, como, para el fluido caliente:

$$C = \dot{m} \cdot Cp \quad (6.1.4)$$

$$Cr = \frac{C_{\text{mínimo}}}{C_{\text{máximo}}} \quad (6.1.5)$$

$$\eta = \frac{1-e^{-NUT(1-Cr)}}{1-Cr \cdot e^{-NUT(1-Cr)}} \cdot 100[\%] \quad (6.1.6)$$

Considerando:

- ✓ C es la capacidad calorífica de cada fluido [W/°C]
- ✓ Cr es la razón de capacidad calorífica, adimensional.
- ✓ NUT es el número de unidades transferidas, adimensional.

Otro método para cuantificar la eficacia del equipo y evaluar la operación de los intercambiadores, es considerar el calor máximo que este pueda llegar a transferir si este tuviese un área infinita, y en consecuencia la temperatura de salida del fluido caliente fuese la misma temperatura que la de entrada al fluido frío.

$$\dot{Q}_{\text{máximo teórico}} = C_{\text{mínimo}} \cdot (T^{\circ} \text{ caliente entrada} - T^{\circ} \text{ frío entrada}) \quad (6.1.7)$$

Con lo anterior ya definido se tiene que la eficacia operacional se puede determinar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{caliente}}}{\dot{Q}_{\text{máximo teórico}}} \quad (6.1.8)$$

6.2 Análisis de diseño del sistema de pasteurización de azúcar líquida.

Se realiza el cálculo de eficiencia según los datos de diseño del equipo, esto con el objetivo de determinar la eficacia del dispositivo y los valores actuales de operación. La recopilación de información es solicitada al proveedor. En la Figura N° 21 se presenta el esquema del intercambiador de placas pasteurizador, con los fluidos que interactúan en cada etapa:

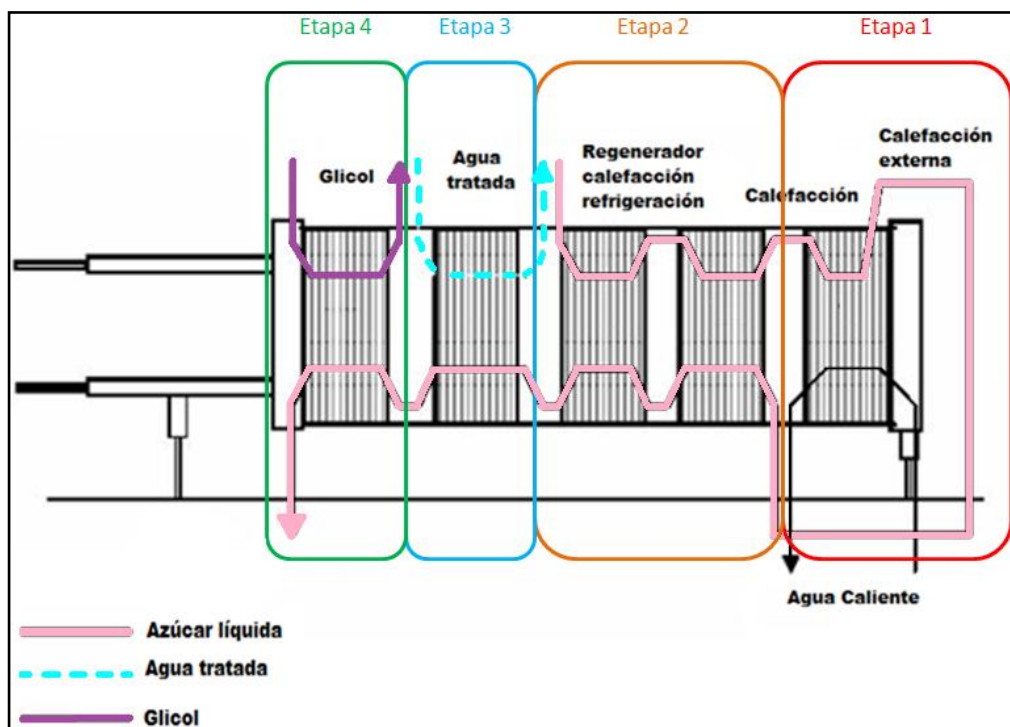


Figura N° 21. Esquema intercambiador de placas pasteurizador. Fuente [17]

Se identifican los diferentes fluidos, temperaturas y caudales que interactúan entre sí, así como también para efectos de cálculos se fracciona el intercambiador identificando cada proceso en donde se relacionan los fluidos.

Es necesario cumplir con las condiciones térmicas de diseño de los fluidos que se relacionan en el intercambiador de calor, a fin de obtener una correcta operación del equipo y de sus dispositivos anexos. Lo anterior depende del sistema de pasteurización, y de esta manera se obtiene un producto final de azúcar líquida que cumpla con las especificaciones requeridas para el proceso de fabricación de bebidas carbonatadas.

6.3 Evaluación de operación de diseño del sistema de pasteurización de azúcar líquida

Se llama etapa 1 al proceso de transferencia de calor entre el fluido de azúcar líquida y el agua caliente. En la Tabla N° 8, se indican las propiedades termo físicas y los valores utilizados con sus respectivas condiciones de trabajo.

Tabla N° 8. Condiciones de proceso de diseño etapa 1. Fuente [18], [19]

Condiciones del proceso según datos de diseño etapa 1				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Agua caliente	Unidad
μ	0,07845	kg/ms	0,000315	kg/ms
C_p	2889	J/kgK	4206	J/kgK
K	0,574	[W/mK]	0,675	[W/mK]
P	1316,56	[kg/m³]	965,3	[kg/m³]
F_v	42,15	[m³/h]	41,44	[m³/h]
Q	186.933,33	[W]	186.933,33	[W]
$\dot{m}$	54850	[kg/h]	40000	[kg/h]
$\dot{m}$ corregido	15.529,25	-	-	-
T_1	72	[°C]	84	[°C]
T_2	87	[°C]	88	[°C]

A modo de clarificar los cálculos realizados, se ejemplifica el método utilizado con las siguientes ecuaciones y sus respectivos resultados.

1. Balance energético entre la azúcar líquida y el agua caliente (6.1.1)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Q azúcar líquida = Q agua caliente

$\dot{m} \text{ corregido} = 15.529,25 \text{ kg/h}$

2. Cálculo DMTL (6.1.2)

$$DMTL = \frac{(T_{E,C} - T_{S,F}) - (T_{S,C} - T_{E,F})}{\ln \left[\frac{(T_{E,C} - T_{S,F})}{(T_{S,C} - T_{E,F})} \right]}$$

$$\boxed{DMTL = 4,427 [^{\circ}\text{C}]}$$

3. Cálculo NTU (6.1.3)

$$NTU = \frac{T1 - T2}{DMTL}$$

$$\boxed{NTU = 4,292 [-]}$$

4. Cálculo capacidad calorífica (6.1.4) y (6.1.5)

$$C = \dot{m} \cdot Cp$$

$$\boxed{C_{min} = 44.864 [-]}$$

$$\boxed{C_{max} = 168.240 [-]}$$

$$Cr = \frac{C_{mínimo}}{C_{máximo}}$$

$$\boxed{Cr = 0,267 [-]}$$

5. Cálculo eficiencia de diseño (6.1.6)

$$\eta = \frac{1 - e^{-NUT(1-Cr)}}{1 - Cr \cdot e^{-NUT(1-Cr)}} \cdot 100[\%]$$

$$\boxed{\eta = 96,81 [\%]}$$

6. Cálculo de eficiencia operacional (6.1.7) y (6.1.8)

$$\dot{Q}_{máximo\ teórico} = C_{mínimo} \cdot (T^{\circ}\text{ caliente entrada} - T^{\circ}\text{ frío entrada})$$

$$\dot{Q}_{\text{máximo teórico}} = 199.395,6 \text{ [W]}$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{caliente}}}{\dot{Q}_{\text{máximo teórico}}}$$

$$\eta = 93,75 \text{ [%]}$$

En la Grafica N°1, se incluye el perfil de temperatura a contra flujo de los fluidos que interactúan en la etapa 1 de diseño.

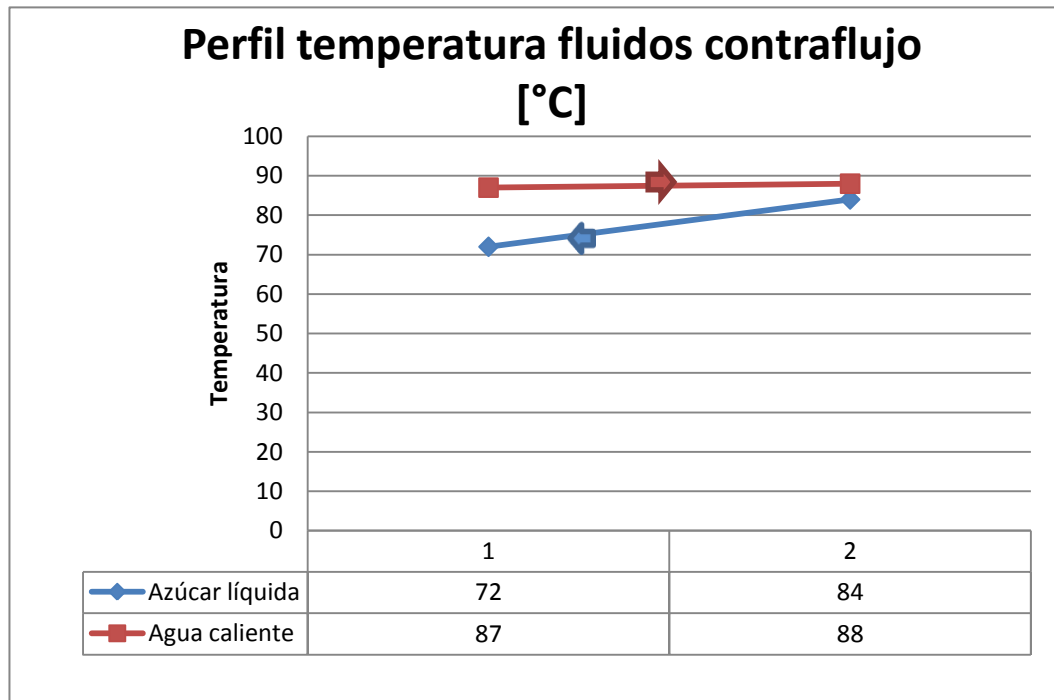


Gráfico N° 1. Perfil de temperatura proceso de diseño 1.

Se analiza la etapa 2 del intercambiador de placas, en este caso interactúa la azúcar líquida que ingresa al pasteurizador, proveniente desde el anillo del Contisolv con el azúcar proveniente de la etapa 1, Tabla N°9.

Tabla N° 9. Condiciones de proceso de diseño. etapa 2.

Condiciones del proceso según diseño etapa 2				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Azúcar líquida	Unidad
μ	0,07845	[kg/ms]	0,07473	[kg/ms]
Cp	2805	[J/kgK]	2763	[J/kgK]
K	0,5748	[W/mK]	0,5748	[W/mK]
P	1319,96	[kg/m ³]	1339,69	[kg/m ³]
Fv	19,33	[m ³ /h]	40,94	[m ³ /h]
Q	715.655,38	[W]	715.655,38	[W]
$\dot{m}$	54850	[kg/h]	54850	[kg/h]
$\dot{m}$ corregido	25.513,56	[kg/h]	-	-
T1	49	[°C]	52	[°C]
T2	85	[°C]	69	[°C]

En la Grafica N°2, se incluye el perfil de temperatura a contra flujo del azúcar que ingresa y sale de la etapa 2 de diseño.

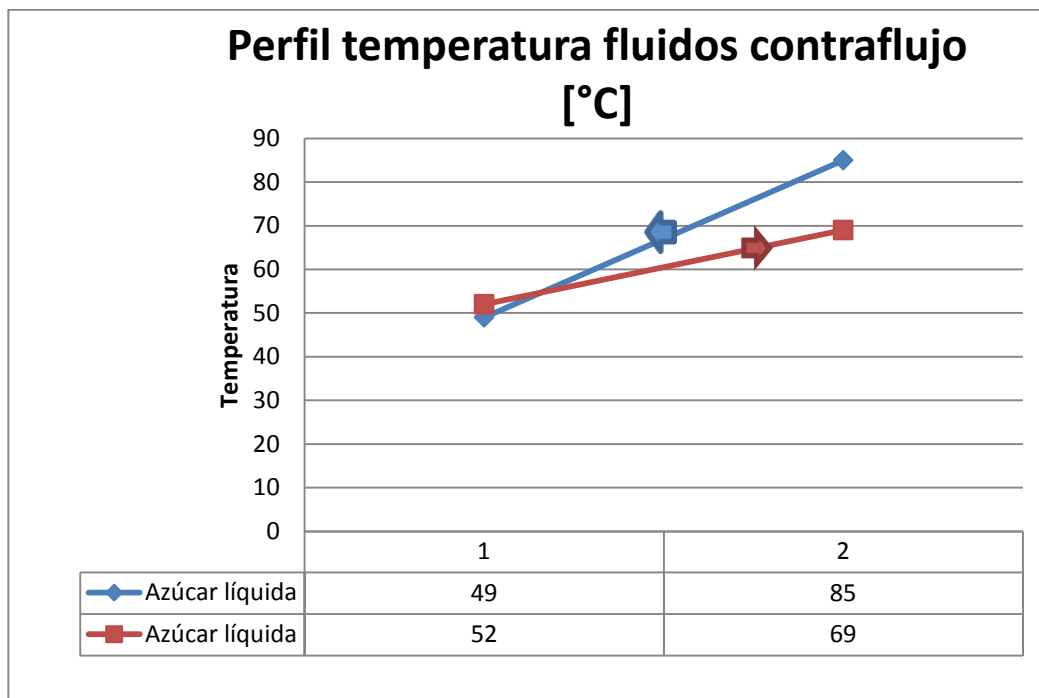


Gráfico N° 2. Perfil de temperatura proceso de diseño 2.

Según la metodología de análisis, en la etapa 3 del intercambiador de placas los fluidos que se interrelacionan son la azúcar líquida, proveniente de la segunda etapa, y el agua tratada que sirve para generar un primer enfriamiento al fluido antes de pasar a la etapa final, Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Condiciones de proceso de diseño etapa 3.

Condiciones del proceso según diseño etapa 3				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Agua tratada	Unidad
μ	0,02245	[kg/ms]	0,0007196	[kg/ms]
C_p	2638	[J/kgK]	4183	[J/kgK]
K	0,574	[W/mK]	0,623	[W/mK]
P	1360,07	[kg/m ³]	994	[kg/m ³]
F_v	47,47	[m ³ /h]	19,11	[m ³ /h]
Q	662.308,33	[W]	662.308,33	[W]
$\dot{m}$	54850	[kg/h]	19000	[kg/h]
$\dot{m}$ corregido	64.559,46	[kg/h]	-	-
T_1	50	[°C]	18	[°C]
T_2	36	[°C]	48	[°C]

En la Grafica N°3, se incluye el perfil de temperatura a contra flujo del azúcar líquida y el agua tratada, que se relacionan en la etapa 3 de diseño.

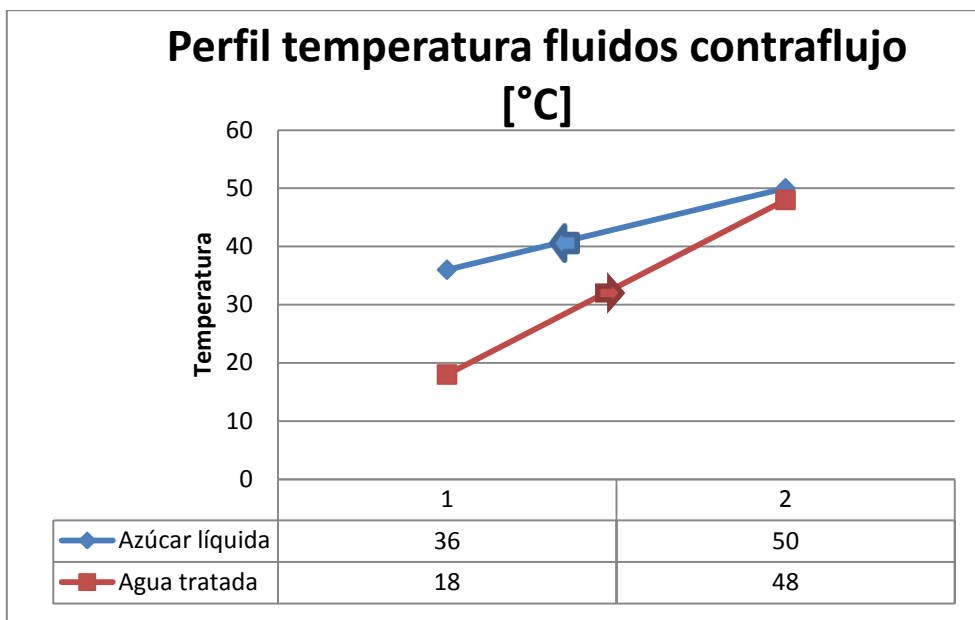


Gráfico N° 3. Perfil de temperatura proceso de diseño 3.

Para concluir el estudio de diseño se examina la última etapa del intercambiador pasteurizador de placas que es la número 4. El glicol enfría el flujo de azúcar líquida proveniente de la etapa 3. Esta queda con una temperatura óptima y disponible para su acopio y posterior uso para producción, Tabla N° 11.

Tabla N° 11. Condiciones de proceso de diseño etapa 4.

Condiciones del proceso según diseño etapa 4				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Glicol	Unidad
μ	0,0183	[kg/ms]	0,0486	[kg/ms]
C_p	2554	[J/kgK]	2510	[J/kgK]
k	0,574	[W/mK]	0,2061	[W/mK]
ρ	1363,15	[kg/m³]	1040	[kg/m³]
F_v	40,24	[m³/h]	17,91	[m³/h]
Q	544.782,39	[W]	544.782,39	[W]
$\dot{m}$	54850	[kg/h]	18000	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{corregido}}$	-	-	24.417,54	[kg/h]
T_1	36	[°C]	2	[°C]
T_2	22	[°C]	34	[°C]

En la Gráfica N°4, se incluye el perfil de temperatura a contra flujo de los fluidos azúcar líquida y glicol, que se relacionan en la última etapa de diseño.

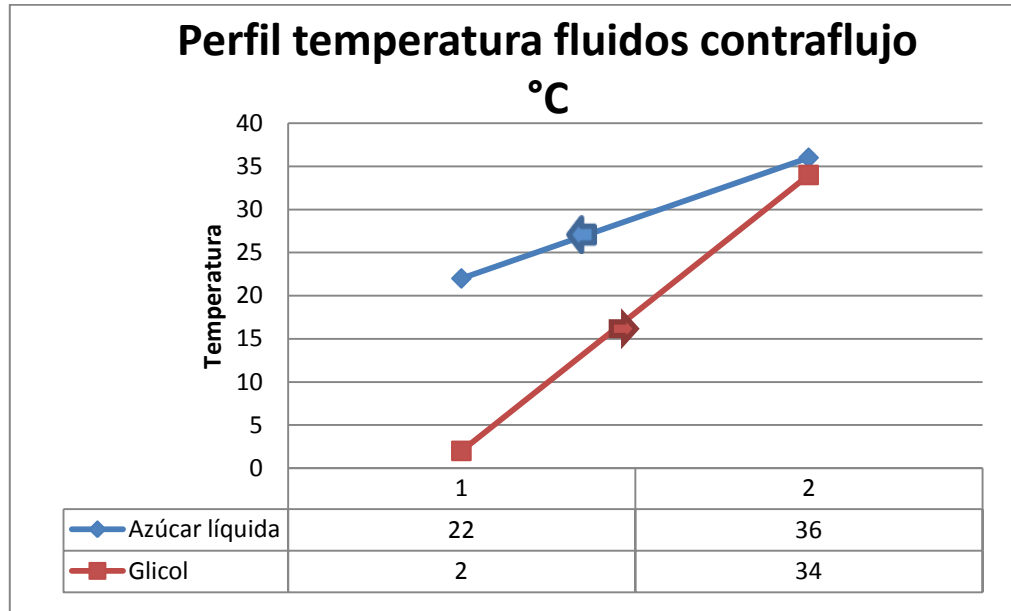


Gráfico N° 4. Perfil de temperatura proceso de diseño 4.

Una vez calculadas todas las etapas por donde circula la azúcar líquida pasteurizada, se realiza un gráfico con el resumen de su eficiencia de diseño, Grafico N°5.

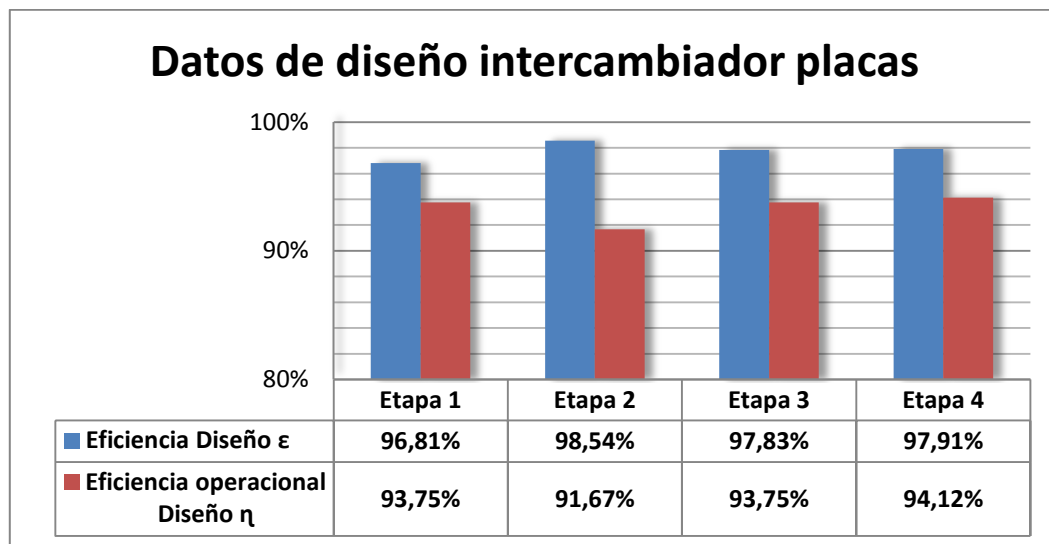


Gráfico N° 5. Resumen eficiencia de diseño.

De la misma manera se incluye el cuadro de resumen de las eficiencias de diseño obtenidas, Tabla N°12.

Tabla N° 12. Cuadro resumen eficiencias de diseño.

Datos de diseño		
Etapas	Eficiencia diseño ϵ	Eficiencia diseño operacional η
Etapa 1	96,81%	93,75%
Etapa 2	98,54%	91,67%
Etapa 3	97,83%	93,75%
Etapa 4	97,91%	94,12%

Una vez calculada la eficiencia de diseño del pasteurizador, se deben revisar los parámetros de operación actual, cabe recordar que el foco de este trabajo consiste en determinar el punto óptimo de máxima eficiencia. La información recolectada nos entregará los datos necesarios para realizar nuestras propuestas de mejora al sistema.

6.4 Evaluación de operación actual del sistema de pasteurización de azúcar líquida

De la operación del intercambiador pasteurizador, se realiza una revisión al sistema a través de software Scada (control de supervisión y adquisición de datos), este se encuentra ubicado en el área de suministros, específicamente en la Sala de Elaboración, que es en donde se comanda todo el sistema de operación y fabricación de bebidas analcohólicas.

Los registros de caudal y temperatura utilizados se encuentran predefinidos por el sistema, en caso de que el Operador requiera realizar modificaciones las puede efectuar siempre y cuando informe al Facilitador de Turno de Suministros.

Durante la revisión de los datos se puede evidenciar un flujo de azúcar líquida proveniente del anillo del Contisolv constante de 30.000 [kg/h]. La diferencia de temperatura promedio entre la entrada y salida durante todo el proceso de pasteurización de la azúcar líquida es de 14,87 [°C] y del resto de los fluidos que interactúan en este equipo es de 19,27 [°C]. Los instrumentos de medición de temperatura digital tienen una resolución de 0,2 [°C] y la desviación o error es de ± 2 [°C].

En cuanto a las condiciones actuales del proceso, existen algunas propiedades termo físicas que se mantienen para efectos de cálculos, como son: densidades, conductividades térmicas, viscosidades y calor específico.

A continuación, se realiza el cálculo de eficiencia actual con sus respectivas fases en el pasteurizador, estas corresponden a los siguientes datos de la Tabla N°13.

Etapa 1

Tabla N° 13. Condiciones de operación actual etapa 1.

Condiciones del proceso actual etapa 1				
Símbolo	Azúcar líquida	Unidad	Agua caliente	Unidad
Fv	22,79	[m ³ /h]	22,40	[m ³ /h]
Q	204.637,50	[W]	204.637,50	[W]
$\dot{m}$	30000	[Kg/h]	-	-
$\dot{m}$ corregido	-	-	21.623,87	[Kg/h]
T1	76,5	[°C]	81,9	[°C]
T2	85	[°C]	90	[°C]

De igual manera como se realizó con el cálculo de diseño, se debe evaluar cuáles son las condiciones actuales de operación en todas sus etapas, Tabla N°14.

Etapa 2

Tabla N° 14. Condiciones de operación actual etapa 2.

Condiciones del proceso actual etapa 2				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Azúcar líquida	Unidad
Fv	22,73	[m ³ /h]	26,52	[m ³ /h]
Q	490.875,00	[W]	490.875,00	[W]
$\dot{m}$	30000	[Kg/h]	-	-
$\dot{m}$ corregido	-	-	35.532,03	[Kg/h]
T1	64	[°C]	50	[°C]
T2	85	[°C]	68	[°C]

Hay que recordar que este procedimiento debe ser repetido también en la etapa 3 con las condiciones de operación actuales y manteniendo los fluidos mencionados con anterioridad, ver Tabla N° 15.

Etapas 3

Tabla N° 15. Condiciones de operación actual etapa 3.

Condiciones del proceso actual etapa 3				
Símbolo	Azúcar líquida	Unidad	Agua proceso	unidad
Fv	22,06	[m ³ /h]	7,45	[m ³ /h]
Q	197.850,00	[W]	197.850,00	[W]
ṁ	30000	[Kg/h]	-	-
ṁ corregido	-	-	7.403,26	[Kg/h]
T1	57	[°C]	22	[°C]
T2	48	[°C]	45	[°C]

Para finalizar el análisis de las condiciones actuales del sistema se debe incluir la etapa final de enfriamiento de azúcar líquida, Tabla N° 16.

Etapas 4

Tabla N° 16. Condiciones de operación actual etapa 4.

Condiciones del proceso actual etapa 4				
Símbolo	Azúcar líquida	Unidad	Glicol	Unidad
Fv	22,01	[m ³ /h]	-	[m ³ /h]
Q	446.950,00	[W]	446.950,00	[W]
ṁ	30000	[Kg/h]	-	-
ṁ corregido	-	-	22.894,42	[Kg/h]
T1	48	[°C]	3	[°C]
T2	27	[°C]	31	[°C]

El Gráfico N°6 ilustra a continuación de que manera y en qué régimen se encuentra la operación actual del sistema.

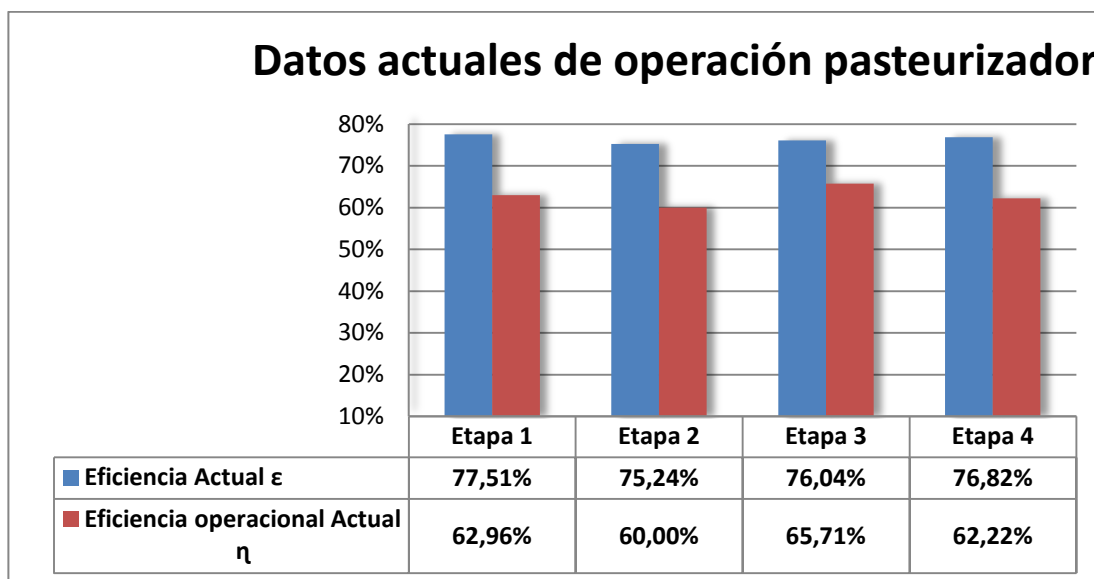


Gráfico N° 6. Resumen eficiencias de operación actual.

También se adjunta el consolidado y resumen de los cálculos actuales y estado en que se encontró la operación de la planta, Tabla N°17.

Tabla N° 17. Cuadro resumen de eficiencias actuales del proceso.

Datos actuales de operación actual		
Etapas	Eficiencia actual ϵ	Eficiencia operacional actual η
Etapa 1	77,51%	62,96%
Etapa 2	75,24%	60,00%
Etapa 3	76,04%	65,71%
Etapa 4	76,82%	62,22%

Según los resultados actuales de operación, se puede afirmar que las eficiencias no se encuentran de acuerdo a los valores esperados, existe una brecha de un 21,37%, entre los datos de diseño y la condición actual, es decir, una baja eficiencia. Esto genera de manera directa un mayor consumo energético (electricidad,

vapor, gas, agua), un aumento en los indicadores de la compañía KPI (Indicador clave de desempeño o indicadores de gestión), por tal motivo, se comienza a realizar ensayos de manera progresiva de flujos y temperaturas con los distintos fluidos que intervienen en el procedimiento de pasteurizado.

Uno de los primeros valores a modificar es el flujo del azúcar líquida, este se modifica para trabajar de manera constante con un valor de 25.000 kg/h. Otro de los factores que se verá modificados son los perfiles de temperaturas que varían según cada etapa del proceso.

Los resultados obtenidos serán vitales para evaluar y plantear las mejoras operacionales al sistema de filtración de azúcar líquida.

6.5 Evaluación de operación optimizada del sistema de pasteurización de azúcar líquida.

Teniendo en cuenta los resultados previos de diseño y de operación actual, y en base a las correcciones a realizar se debe verificar los nuevos resultados de eficiencia optimizada.

Con estos resultados podremos concluir y tomar acciones inmediatas e indicar de manera correcta la mejor forma de operar el sistema de azúcar líquida.

Cabe recordar que para efectos de procesamiento de datos se consideran las mismas propiedades termo físicas utilizadas en las dos evaluaciones anteriores (cálculo de diseño y cálculo actual). A continuación, en la Tabla N° 18 se indican los valores para optimizar el proceso de la etapa 1.

Etapla 1

Tabla N° 18. Condiciones de proceso optimizado etapa 1.

Condiciones del proceso según datos optimizados etapa 1				
Símbolo	Azúcar líquida	Unidad	Agua caliente	Unidad
Fv	18,99	[m ³ /h]	30,24	[m ³ /h]
Q	341.062,50	[W]	341.062,50	[W]
ṁ	25000	[Kg/h]	-	-
ṁ corregido	-	-	29.192,23	[Kg/h]
T1	68	[°C]	78	[°C]
T2	85	[°C]	88	[°C]

En la etapa 2, también se realiza la modificación de los parámetros de temperatura y flujo másico de los fluidos que coexisten en esta etapa. En la Tabla N° 19 se especifican las correcciones de estos valores.

Etapa 2

Tabla N° 19. Condiciones de proceso optimizado etapa 2.

Condiciones del proceso según datos optimizados etapa 2				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Azúcar líquida	Unidad
Fv	18,94	[m³/h]	32,84	[m³/h]
Q	506.458,33	[W]	506.458,33	[W]
m	25000	[Kg/h]	-	-
m corregido	-	-	43.992,04	[Kg/h]
T1	59	[°C]	53	[°C]
T2	85	[°C]	68	[°C]

La Tabla N° 20 muestra los valores del agua tratada y azúcar líquida, modificados con el fin de bajar la temperatura de una manera primaria, para en forma posterior pasar a la etapa final del proceso.

Etapa 3

Tabla N° 20. Condiciones de proceso optimizado etapa 3.

Condiciones del proceso según datos optimizados etapa 3				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Agua tratada	Unidad
Fv	18,38	[m³/h]	11,54	[m³/h]
Q	439.666,67	[W]	439.666,67	[W]
m	25000	[Kg/h]	-	-
m corregido	-	-	11.466,32	[Kg/h]
T1	64	[°C]	22	[°C]
T2	40	[°C]	55	[°C]

Para dar finalización al tratamiento de azúcar líquida y posterior acopio de esta, se debe finalizar su estudio y análisis en la última etapa 4, con las siguientes condiciones de proceso optimizado, ver Tabla N°21.

Etapas 4

Tabla N° 21. Condiciones de proceso optimizado etapa 4.

Condiciones del proceso según datos optimizados etapa 4				
Símbolo	Azúcar líquida	unidad	Glicol	Unidad
Fv	18,34	[m³/h]	11,65	[m³/h]
Q	354.722,22	[W]	354.722,22	[W]
ṁ	25000	[Kg/h]	-	-
ṁ corregido	-	-	12.113,45	[Kg/h]
T1	46	[°C]	1	[°C]
T2	26	[°C]	43	[°C]

Con la consolidación de datos que se muestran en el Grafico N°7 se puede verificar el régimen en que se encuentra la operación optimizada del sistema y sus respectivos cambios realizados.

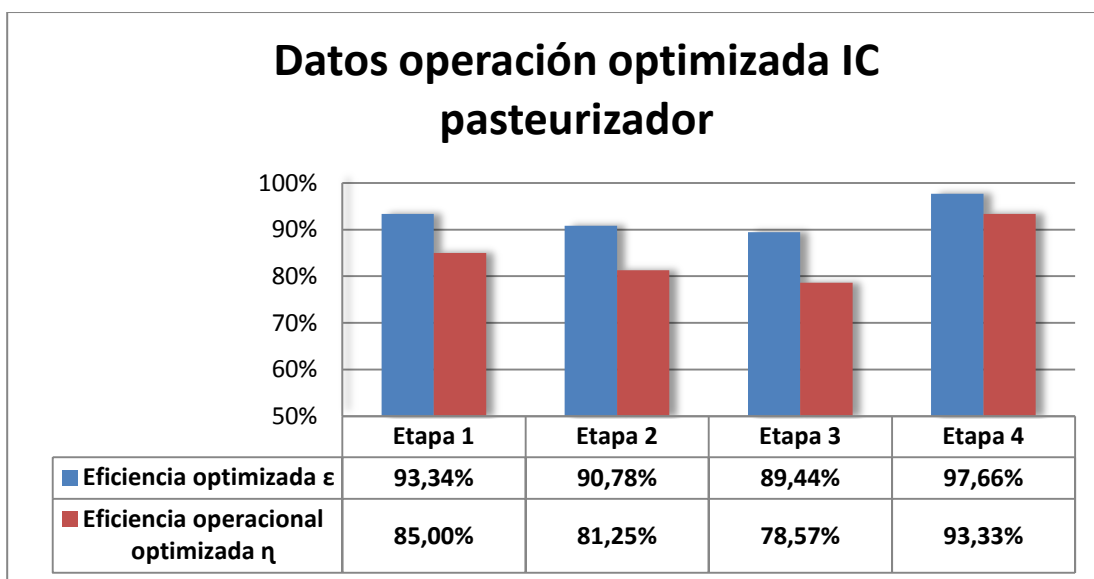


Gráfico N° 7. Resumen eficiencias de operación optimizada.

Para concluir con el racionamiento, a continuación, se adjunta el consolidado del cuadro de resumen correspondientes a los flujos y temperaturas corregidas de los cálculos de operación optimizada de las diferentes etapas del proceso. Tabla N°22.

Tabla N° 22. Cuadro resumen en eficiencias optimizadas.

Datos de operación optimizada		
Etapas	Eficiencia optimizada ϵ	Eficiencia operacional optimizada η
Etapas 1	93,34%	85,00%
Etapas 2	90,78%	81,25%
Etapas 3	89,44%	78,57%
Etapas 4	97,66%	93,33%

La condición inicial de operación se encontraba por debajo de 21,37% en su cálculo de la eficiencia actual, mientras que el cálculo de eficiencia operacional actual fue en un 30,60%, eficiencias logradas con las modificaciones realizadas.

Como parte del análisis preliminar, se puede inferir que con las modificaciones antes mencionadas se observa un progreso en el desempeño del equipo. La eficiencia optimizada del equipo mejoró en un 16,4%, mientras que el cálculo de eficiencia operacional optimizada fue en un 21,84%, es decir, se cumple el objetivo de mejoramiento de eficiencia.

6.6 Comparación de costos de mantención del pasteurizador.

Una de las misiones principales del mantenimiento es alargar la vida útil de los equipos, minimizar las fallas, disminuir los tiempos de reparación, aumentar la seguridad y operación de los equipos, y por, sobre todo, una reducción significativa de los costos de producción y mantenimiento.

Cuando se refiere al costo de mantenimiento este es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico.

Los costos que se consideran en esta evaluación están directamente relacionados con las operaciones de mantenimiento, como pueden ser: costos de mano de obra, de materiales, de repuestos y de subcontratación.

En este caso para efectos de mantenimiento los repuestos e insumos son suministrados por parte de la compañía, en los presupuestos solicitados a empresas externas se consideran las horas hombre, herramientas a utilizar, insumos varios, detención y puesta en marcha del equipo.

Para realizar el mantenimiento del intercambiador de placas se considera el reemplazo de: las juntas de placa media clip10; juntas de placa clip10 EPDMFF y clip102-316-0.60H Met. complete plate.

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa los valores asociados a repuestos equivalen a un monto de **\$22.128.898.- IVA Incluido.**

Se realizó una solicitud al área de adquisiciones por proveedores de equipos y empresas mantenedoras de intercambiadores de calor. Dentro de esta solicitud se definió realizar una oferta abierta a las posibles empresas que se sintieran capacitadas de realizar el trabajo de mantenimiento al intercambiador de placas, por lo tanto, para dar el inicio a esta licitación se solicitó una reunión y visita a terreno de las empresas

para que efectuarán la evaluación, valorización y generación del respectivo presupuesto relacionado con el mantenimiento del equipo (detención, desarme, armado y puesta en marcha), Tabla N° 23.

Los valores de los presupuestos recibidos desde el número 1 al número 4 corresponden a empresas externas. En cuanto a la valorización del presupuesto interno para calcular el mantenimiento con personal de la compañía se elaboraron una serie de consideraciones que se incluyeron dentro de esta estimación, como fueron el realizar el mantenimiento de manera continua durante 24 horas de trabajo, en dos turnos de 12 horas, con 2 facilitadores de suministros, 2 mecánicos y 6 operadores de suministros un total de 10 personas, es decir, 5 personas por turno.

Para el caso de las empresas externas la única restricción fue indicar que el plazo de ejecución de la actividad es de 24 horas, ídem al personal interno.

Tabla N° 23. Presupuesto asociado al mantenimiento del IC

Presupuesto 1	Presupuesto 2	Presupuesto 3	Presupuesto 4	Presupuesto interno valorizado
\$3.404.160	\$3.708.000	\$3.044.496	\$2.527.560	\$2.286.631

En el gráfico N° 8 se puede visualizar de una manera clara los montos asociados a los presupuestos solicitados a las diferentes empresas para realizar el mantenimiento del intercambiador.



Gráfico N° 8. Comparación de costos de mantenimiento.

Se puede percibir una evidente diferencia entre los presupuestos externos versus el realizar la actividad con personal interno de Coca Cola Andina. Cabe indicar que dentro de las consideraciones se debe incluir que la actividad se efectúe durante el fin de semana debido a que se requiere que el proceso de azúcar líquida se encuentre detenido y sin producción.

6.6.1 Principales beneficios al realizar el mantenimiento preventivo interno.

Bajar costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción y pérdidas por fallas en la calidad del producto debido al mal funcionamiento de los equipos.

Generar equipos de trabajo transversales, ya que, se involucran diferentes áreas en la ejecución de esta labor.

Generación de un plan de entrenamiento para que en un corto plazo se pueda realizar, con el 100% de mano de obra de la compañía, esta actividad. Paralelamente se crea conciencia en los trabajadores para preocuparse y cuidar los equipos que operan.

6.7 Mantención básica del intercambiador de placas.

Como se ha podido observar, a lo largo de este trabajo se ha abordado la importancia que tiene el mantenimiento en los equipos de transferencia de calor, por tal motivo se hace necesario tener claridad respecto a la definición de los puntos que deben ser revisados de manera periódica por parte de los operadores, con el fin de obtener excelentes resultados al momento de operar el equipo. En esta memoria en el capítulo 4.3 se profundiza sobre las diferentes fallas y factores que dificultan el buen accionar en un intercambiador.

Para efectos concretos y de rápida resolución se puede indicar que según la recopilación de información de diferentes fuentes bibliográficas [9, 26], uno de los puntos principales en relación a la mantención del intercambiador de placas, hace referencia a su limpieza, está ya sea tanto de manera interna como externa. En el caso de la primera se puede identificar de una manera sencilla debido a que el flujo que circula por el interior del equipo se puede ver afectado en un aumento en su presión. Si el diferencial existente entre la entrada y salida del fluido es alto, esto nos indica alguna restricción internamente. En el caso externo se pueden visualizar filtraciones que perjudican el normal funcionamiento del intercambiador. en ambos casos la que se ve afectada es la eficiencia del equipo, por tal motivo, se debe considerar y evaluar el estado real de la unidad, verificando, chequeando e inspeccionado con una

frecuencia determinada según el rango de operación y las recomendaciones del proveedor.

6.8 Limpieza intercambiador de placas.

Las placas deben limpiarse de manera regular y la frecuencia dependerá en gran parte de factores como, por ejemplo, los tipos de medios y las temperaturas a las que se encuentran expuestas.

Dentro de las tareas de mantenimiento que se deben realizar de manera frecuente son:

- Mantener limpieza y engrasar las barras sustentadoras.
- Mantener limpios los pernos tensores.
- Mantener lubricados las roscas de los pernos tensores.
- Inspección de equipos de medición (manómetros, presostatos, etc), que funcionen correctamente.

Es posible mantener diferentes métodos de limpieza, estos se realizan inmediatamente después de un ciclo de producción, normalmente el lado del producto se higieniza a través de la circulación de algún producto ácido o alcalino en base a una secuencia integrada en el ciclo de producción. El caudal que se utiliza debe ser siempre como mínimo igual al caudal de producción, un caudal mayor puede ser necesario en algunos casos en particular como, por ejemplo: para la esterilización de la leche y el procesamiento de líquidos viscosos que contienen partículas.

Los métodos de esterilización son recomendaciones del fabricante, una de estas técnicas hace referencia a circular agua sobre 80° C hasta que todas las partes del sistema hayan llegado a la temperatura requerida durante al menos diez minutos.

En Coca Cola Andina el equipo analizado es el intercambiador pasteurizador, en este se realiza el programa de limpieza de manera semanal, debido a que la producción de azúcar líquida se realiza de forma continua. También es relevante

indicar que si los análisis de microbiología indican valores fuera de los estándares se debe realizar una limpieza al sistema del tipo cip, que más adelante detallaremos, todo lo anterior bajo los estrictos controles de Coca Cola Company.

A continuación, en la Figura N° 22 se exponen los datos referentes a la receta de limpieza empleada para el lavado de equipos de azúcar líquida, se hace necesario aclarar que la limpieza es del tipo cip y se realiza de manera continua.

Nro. de Receta		20		Receta		R02-Cip 3 Pasos	
Código de Receta		2					
PASO	ENVÍO			Retor.			
	TIPO	TEMPERATURA [°C]	TIEMP [°sec.]	TIPO			
1	T810 Agua Rec.	30	600	Drenaje			
2	Recupero	30	10	Drenaje			
3	Agua Potabiliza	30	600	Recupero			
4	Recupero	30	10	Recupero			
5	T830 Cáustico	70	900	Recupero			
6	Recupero	30	10	Recupero			
7	Última agua	30	600	Recupero			
8	Recupero	30	10	Recupero			
9	Drenaje	30	60	Recupero			
10	Fin						
11							
12							
13							
14							
15							
Notas		-CIP--CIP ENJUAGUE--ENJUAGUAJE DE EQUIPOS					

Figura N° 22. Receta de lavado pasteurizador.

En el diagrama a continuación en la Figura N° 23, se explica de manera clara el sentido de flujo, los componentes y fluidos que interactúan en el sistema de limpieza del tipo CIP. En el capítulo 6.9 se abordará y explicará el significado del acrónimo y las variables que intervienen en él.

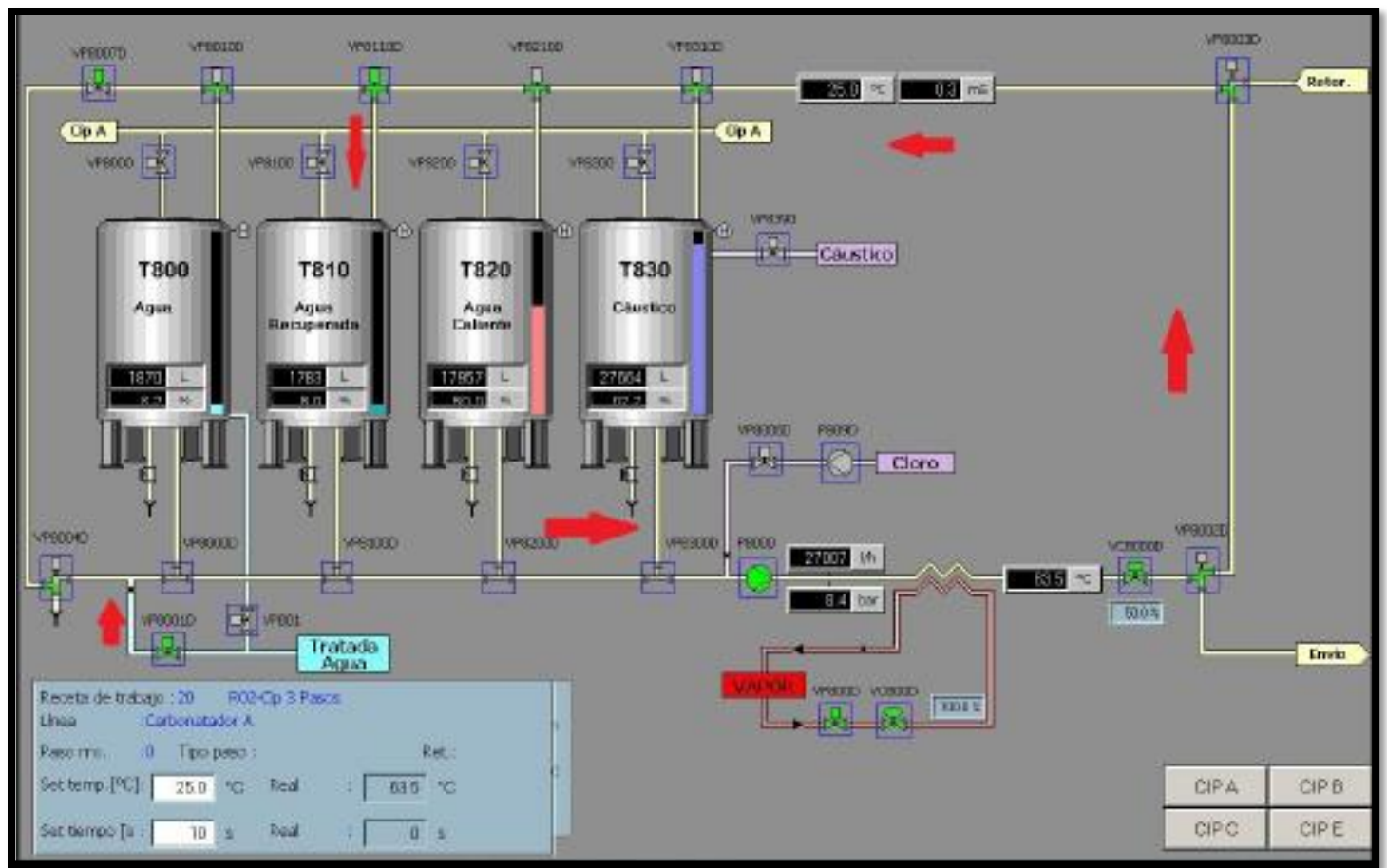


Figura N° 23. Diagrama de flujo sistema de limpieza tipo cip.

6.9 Sistemas de limpieza CIP.

El término cip es el acrónimo de cleaning in place (limpieza “in situ”) y a su vez significa la limpieza de plantas de producción sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento para asegurar la consistencia y sostenibilidad. Para completar una limpieza eficiente deben estar presentes los cuatro elementos incluidos en el círculo de Sinner:

- Tiempo
- Energía mecánica
- Productos de limpieza

- Temperatura

Todos los elementos deben estar presentes en todo momento durante la actividad de limpieza en distintas contribuciones. Si se desea disminuir alguno de estos elementos se debe incrementar otro para completar el círculo. Vamos a analizar cada uno de ellos por separado.

1. Tiempo.

Todos los procesos fisicoquímicos de disolver/dispersar depósitos de suciedad dependen de factores de tiempo. Si se analiza desde el punto de vista de la eficiencia química del detergente, la suciedad se elimina capa a capa; aunque tengamos una alta concentración de detergente, es necesario un cierto tiempo de contacto antes de poder eliminar la última capa de suciedad.

2. Energía mecánica.

En los procesos cip se refiere a caudales, velocidad y presión de flujo. Si se está limpiando tuberías, se deben considerar el caudal y la velocidad de flujo. Se debe conseguir durante la limpieza un flujo turbulento. Figura N° 24.

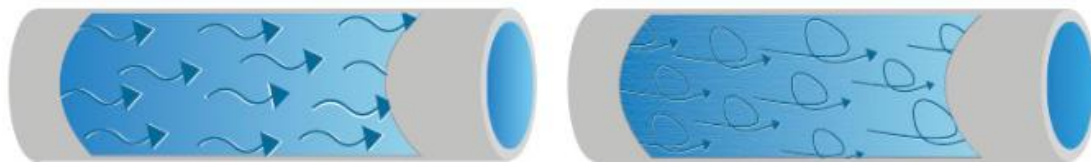


Figura N° 24. Esquema de una tubería con flujo laminar y flujo turbulento.

La velocidad de flujo es la distancia recorrida por tiempo (m/s). La velocidad del fluido varía en el diámetro de la tubería; es más alta en el centro de la tubería y menor en la pared de la tubería (debido a la fricción), esto se denomina perfil de velocidad. La capa de líquido de la superficie de la tubería cuya velocidad es cero se denomina “capa sub-laminar”. Cuando se aumenta la velocidad, la capa sub-laminar se hace más delgada y la suciedad de la superficie de la tubería puede “recibir” la acción mecánica. Para una limpieza la velocidad mínima requerida es 1,5 m/s, para

eliminar la capa sub-laminar se precisa $>0,3$ m/s por lo que la velocidad de flujo recomendable durante el ciclo de limpieza debe ser de al menos 1,8 m/s.

Si se están limpiando depósitos o tanques debemos tener en cuenta el caudal y la presión. Esto dependerá de qué tipo de dispositivo de pulverización se está utilizando. El dispositivo de pulverización más común utilizado en la industria son las bolas de pulverización estáticas o challas, ver Figura N° 25.



Figura N° 25. Bolas de pulverización.

3. Productos de limpieza.

Este elemento se refiere a energía química o la concentración de la disolución de limpieza. La elección del detergente más adecuado estará en función de:

- Rápida y completa solubilidad en agua.
- Rápida hidratación y disolución de la suciedad.
- Alto poder secuestrante.
- Buena capacidad de enjuague.
- No espumante.
- Compatible con el equipo a limpiar.
- No corrosivo.
- Biodegradable.

4. Temperatura.

Afecta tanto a la viscosidad como a la velocidad de reacción. La elección de la temperatura para la limpieza dependerá de la posibilidad de calefacción de disoluciones, tipo de suciedad, dificultad de eliminación de la suciedad, fórmula del detergente, los materiales de los equipos que se limpien. En general, un aumento de la temperatura de 10 °C duplica la capacidad de reacción química del detergente. El control de temperatura es importante, y más caliente no siempre es mejor (ya que a partir de cierta temperatura se pueden desnaturalizar proteínas). En este contexto, la medición precisa de la temperatura y la calibración periódica de los termómetros es muy importante.

6.9.1 ¿Cuáles son los objetivos de un sistema CIP?

Los objetivos principales de un sistema CIP eficiente son:

- Maximizar la seguridad para evitar contaminaciones cruzadas en cambios de productos.
- Minimizar el tiempo de limpieza CIP para reducir el impacto de la limpieza sobre la producción.
- Optimizar la eficiencia térmica, evitando la pérdida innecesaria de calor.
- Minimizar el uso de agua, optimizando la recuperación de agua y disoluciones de limpieza.

6.10 Generación de procedimiento para el mantenimiento del intercambiador pasteurizador de placas.

Si bien no existe un catálogo o manual de mantenimiento específico para cada tipo de intercambiador, si podemos encontrar información genérica que puede ser utilizada en los diferentes tipos y marcas de equipos, esta será de útil ayuda a la hora

de programar un mantenimiento, sobre todo cuando no existe el conocimiento apropiado para realizar una intervención de esta envergadura.

A continuación, se plantean los objetivos, alcances, responsabilidades y el procedimiento específico para el intercambiador de placas.

a. Objetivo.

Establecer la metodología y responsables cuando se requiera realizar la asistencia del operador de suministros, mecánico, especialista o técnicos externo para solucionar la falla o averías de los equipos durante el proceso productivo, ya sea esta intervención de manera programada o correctiva del intercambiador pasteurizador ubicado en el área de suministros. Hay que asegurar que las intervenciones se ejecuten de manera segura con el fin de prevenir accidente por desconocimiento de los riesgos asociados al área.

b. Alcance.

Procedimiento aplicable al intercambiador de placas pasteurizador de azúcar líquida.

c. Responsabilidades.

El responsable del área, facilitador de suministros, facilitador de mantenimiento, operador de elaboración, prevencionista de riesgos. Debe evaluar los riesgos, efectuar los permisos de trabajo si la evaluación de riesgo así lo indica, ejemplo: permisos de trabajo en altura, energías peligrosas, espacios confinados, trabajos en caliente, check list.

Es responsabilidad del facilitador de suministros y operadores de elaboración realizar los cambios o ajustes necesarios para el normal funcionamiento del proceso, respetando las normas de higiene y buenos hábitos de manufactura, para este procedimiento.

Es responsabilidad del programador de mantenimiento en conjunto con el área de bodega mantener un stock necesario de los elementos de cambio (repuestos).

Es responsabilidad del facilitador de suministros monitorear y verificar que el procedimiento se cumpla.

d. Procedimiento.

- Si el equipo intercambiador pasteurizador requiere asistencia mecánica o eléctrica, el operador debe avisar a facilitador de suministros para realizar la coordinación respectiva con las jefaturas de las otras áreas de apoyo, como son el facilitador de mantención y planificador de mantenimiento. Una vez se encuentren todos los participantes informados se procederá a la intervención del equipo, continuando con los siguientes pasos.
- Se debe llenar el formulario de evaluación de riesgo asociado al equipo a intervenir y zona en donde se deberá trabajar.
- Hacer permiso de trabajo si la evaluación de riesgo así lo indica, ejemplo: pre-work, permisos de trabajo en altura, energías peligrosas, espacios confinados, permisos en caliente, check list.
- Verificar en conjunto con programador disponibilidad de stock de repuestos e insumos a utilizar en intervención de pasteurizador.

Apertura intercambiador.

1. Coordinar con el operador de elaboración la detención del sistema de azúcar líquida, en forma posterior debe realizar el lavado del equipo mediante el método CIP.
2. Revise las superficies deslizantes de la barra sustentadora y engrásela.
3. Marque la parte exterior del conjunto de placas con una línea diagonal.
4. Mida y anote las dimensiones A, ver Figura N° 26.

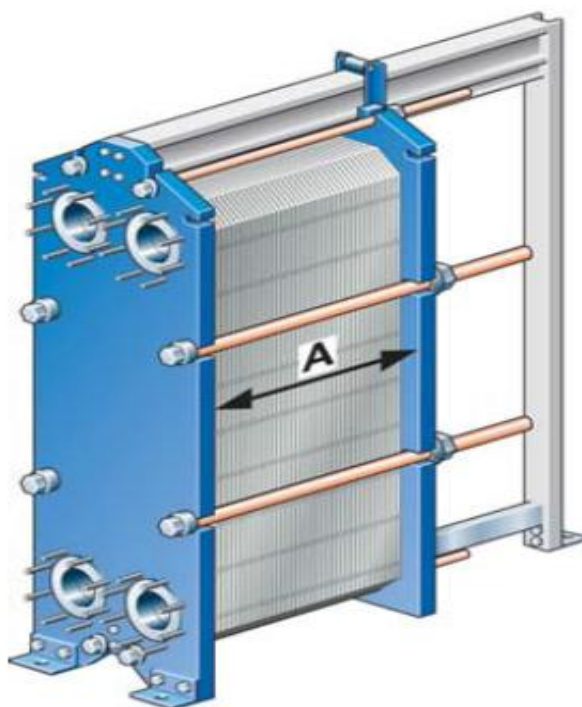


Figura N° 26. Medición de placas. Fuente [21]

5. Comience a realizar la desconexión de las tuberías de llegada al equipo, con las llaves adecuadas (llave trinquete o ajustable tipo gancho)
6. Afloje los pernos tensores de forma alternada y en sentido diagonal (utilizar llave stylson como opción)
7. Abra el conjunto de placas deslizando la placa de presión por la barra sustentadora.

Limpieza placas

1. Comience con la limpieza cuando la superficie de calor aún este húmeda y las placas estén suspendidas en el bastidor.
2. Verifique estado de empaques, de ser necesarios reemplácelos (si es una intervención mayor, estos se deben cambiar)
3. Elimine las incrustaciones con un cepillo suave y agua corriente.
4. Realice lavado de placas con abundante agua de preferencia utilizar hidrolavadora.
5. Mantenga precaución debido al piso epóxico de la zona (resbaloso)

Cierre intercambiador

1. Compruebe que todas las piezas de sellado se encuentren limpias.
2. Cepille las roscas de los pernos tensores para eliminar restos de suciedad, lubrique las roscas con una capa fina de grasa.
3. Sujete las empaquetaduras estancas a las placas o compruebe que todas ellas estén bien sujetas.
4. Introduzca las placas en direcciones alternas y con las juntas estancas giradas hacia la placa de bastidor o la placa de presión, según se especifique en la lista de placas.
5. Si las placas se han montado correctamente, los bordes forman un dibujo como el de un “panal”, ver Figura N°27.

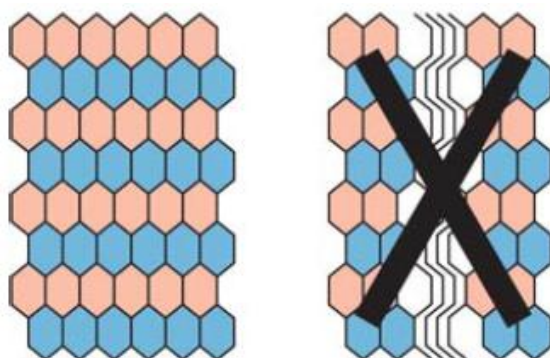


Figura N° 27. Montaje correcto de placas. Fuente [21]

6. Ya instaladas las placas, se debe iniciar la instalación de pernos y tuercas, el apriete debe ser homogéneo.
7. Seguir la referencia de la Tabla N° 24 para el torque de los pernos.

Tabla N° 24. Tabla de torque de pernos.

Tamaño de perno	Perno con caja de cojinetes		Perno con arandelas	
	N·m	kpm	N·m	kpm
M24			450	45
M30			900	90
M39	1300	130	2000	200
M48	2100	210	3300	330

Para dar término al mantenimiento se debe realizar una prueba de presión al equipo, esto antes de dar inicio al cip y a la producción, siempre que se hayan extraído, insertado o cambiado placas y juntas, se recomienda encarecidamente realizar una prueba de presión para comprobar la función de sellado interno y externo del intercambiador de calor. Durante la prueba, debe comprobarse desde un lado de los fluidos, con el otro lado abierto a la presión ambiente.

El tiempo recomendado para la prueba son de 10 a 15 minutos para cada medio (fluido), esta prueba deber ser apoyada por el operador de elaboración.

6.11 Proponer alternativas técnicas de mejora de eficiencia.

Producto de la deficiente operación del sistema de pasteurización analizado en el capítulo anterior, es imprescindible realizar una recomendación a la manera de operación que actualmente se utiliza. La finalidad de este capítulo es presentar una mejora que incremente la efectividad operacional, además de aumentar la disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

6.11.1 Condiciones óptimas de operación.

Con los resultados obtenidos del intercambiador de placas se puede concluir que debido a que las placas tienen un diseño predeterminado, y que la transferencia de calor se hace más efectiva que en otros equipos, el flujo óptimo recomendado para el transporte de azúcar líquida es del orden de 25.000 kg/hr, con esta circulación se obtiene una transferencia de calor ideal entre los fluidos del proceso.

De manera global se concluye que con los resultados obtenidos y para lograr una óptima relación de costos de inversión vs costos de operación, el flujo de diseño debe disminuir.

Otro de los factores importantes a considerar son las temperaturas de los distintos fluidos que interactúan en el pasteurizador. En el proceso de calentamiento

de agua deben mantener sus trampas de vapor en óptimas condiciones, puesto que esto afecta directamente al proceso de calentamiento, al no lograr la temperatura de pasteurización requerida, este genera un costo directo o gasto energético importante por concepto de generación de vapor de agua (gasto de agua, gas, electricidad).

El sistema de agua técnica también es uno de los procesos importantes no solo por el hecho de entregar la calidad de agua a utilizar en el producto final, sino porque también se utiliza en la tercera etapa de pasteurización en donde trabaja como sistema de enfriamiento preliminar. Esta agua debe mantener condiciones de una excelente calidad y los parámetros verificados son:

- Dureza 0 PPM CaCO_3 (partículas por millón de carbonato de calcio)
- pH 8,0 (indica la acidez o alcalinidad de un líquido, en este caso agua)
- TDS 15 (sólidos totales disueltos PPM)

En el proceso de glicol este debe mantener su instrumentación y sistemas de control en inmejorables condiciones para surtir de manera eficiente el refrigerante necesario en tiempo y cantidad requerida.

Se debe considerar mantener una operación continua, es decir, generar batch de filtración de ser necesarios, para generar estabilidad en la producción, ya que, una partida y parada de la planta transmite una inestabilidad en el proceso y un rendimiento deficiente.

Se debe mantener una uniformidad de la operación de este proceso, ya sea, mediante lup (lección de un punto), procedimiento, capacitación u otros elementos que aseguren una estandarización en el proceso productivo.

Generar un plan de mantenimiento anual considerando los recursos necesarios para la intervención y mantención del equipo.

7 CONCLUSIONES.

Se realizó un análisis y evaluación de la operación del intercambiador de calor de placas, utilizado para el método de pasteurización de azúcar líquida en el área de suministros, de la planta de Coca Cola Andina, Santiago, comuna de Renca. Se efectuó un levantamiento general de información al sistema de filtración de azúcar, enfocado principalmente en los requerimientos y la condición de operación. Los tres ejes principales de la evaluación consideran: Problemas identificados, soluciones planteadas, y proyecciones de operación.

7.1 Problemas identificados.

Las principales causas de la deficiente operación del sistema de licuación de azúcar corresponden a la disparidad de criterios y la falta de conocimiento de los operadores nuevos al manipular la planta de azúcar. Lo anterior provoca una inestabilidad no solo en el proceso de filtración, sino también una baja de rendimiento en el equipo, viéndose afectados tanto los flujos, como las temperaturas utilizadas.

Se identifica la rotura de placas en el filtro Della Toffola, provocando una reducción de su área de filtrado, es decir, su capacidad de permeabilidad se vio afectada, generando un cuello de botella en este equipo anexo al intercambiador.

No existen registros de ningún tipo de mantenimiento del equipo, por tal motivo se desconoce su real estado de funcionamiento interno.

No existe presupuesto asociado o considerado para el respectivo mantenimiento del equipo.

7.2 Propuestas de mejora de eficiencia

Las propuestas planteadas, se encuentra directamente relacionadas con la evaluación técnico-económica del mantenimiento y la operación del intercambiador pasteurizador de azúcar líquida, puesto que para la empresa la optimización de

recursos y reducción de costos es de suma importancia. Dicho esto se indican una serie de soluciones que buscan favorecer el sistema actual, como son:

- En vista de los resultados expuestos, el mantenimiento de los equipos debe realizarse con personal de la compañía, por temas de costos.
- Generar equipos transversales de trabajo con personal interno de diversas áreas (suministros, mantención, bodega), de esta manera se involucran las diferentes áreas en la ejecución de esta labor.
- Generar un plan de entrenamiento para que en un corto plazo se pueda realizar esta actividad con el 100% de mano de obra de la compañía (personal interno). Como efecto colateral se puede mencionar que se crea conciencia en los trabajadores para preocuparse y cuidar los equipos que operan.
- Se debe considerar mantener una operación continua, es decir, generar batch de filtración de azúcar de ser necesarios. Con lo anterior se logra generar estabilidad en la producción, ya que, al realizar partidas y paradas de los equipos se produce una inestabilidad en el proceso y un rendimiento deficiente.
- Se debe mantener una uniformidad de criterio en la operación de este proceso (licuación azúcar), ya sea, mediante LUP (lección de un punto), procedimiento, capacitación u otros elementos que aseguren una estandarización en el proceso productivo.
- Generar un plan de mantenimiento anual considerando los recursos necesarios para la intervención y mantención del equipo.
- Reemplazar instrumentación que se encuentra defectuosa (manómetros, presostatos, termómetros), elementos básicos para el control y monitoreo.

7.3 Proyección de operación

De acuerdo con las soluciones planteadas, las proyecciones de operación del sistema de licuación son:

- ✓ Al tener una estandarización en la operación nos impacta directamente en una estabilidad del proceso, por lo tanto, entrega una mayor disponibilidad, control y calidad de producto final.
- ✓ Se puede indicar que al bajar el flujo másico de azúcar líquida en un 16,6% con respecto a la operación actual y mantenerlo de manera constante, se mejora la eficiencia del intercambiador en el proceso de filtración.
- ✓ Como resultado de la nueva configuración propuesta, esta debe entregar una mayor eficiencia, la cual se debe ver reflejada en el gasto energético y a su vez en el costo de producción, una mayor disponibilidad, mejora en mantenibilidad de los equipos y del sistema en general.
- ✓ También se debe considerar que el generar el mantenimiento con personal interno se encuentra relacionado con los valores de la compañía, como son: integridad, trabajo en equipo, actitud, austeridad, orientación a los resultados y foco en el cliente.

La conclusión final del presente trabajo señala que las modificaciones propuestas e implementadas generaron una mejora de eficiencia en el intercambiador de calor, y además, se propuso un plan de mantenimiento para este equipo con personal interno de la planta de Coca Cola Andina.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y.A. Çengel, *Transferencia de Calor y Masa*, 3ª edición México, McGraw-Hill, 2007.
- [2] Frank P. Incropera *Fundamentos de transferencia de calor*. Editorial Person, 1999.
- [3] A. A. Fahmy. (2013, Enero 1). International Journal of Scientific & Engineering Research (volumen 4) [ONLINE], Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.302.6639&rep=rep1&type=pdf>.
- [4] K. Vilches, "Actualización de parámetros de diseño de Intercambiadores de Calor", tesis, PUCV, Valparaíso, 2013.
- [5] D. Q. Kern, *Procesos de Transferencia de Calor*, 13ª edición México, Continental S.A, 1999.
- [6] D. Torres, "Análisis y evaluación técnica de la operación de intercambiadores de calor de placas para fluidos ácido sulfúrico / agua", tesis, UTFSM, Santiago, 2013.
- [7] F. González, "Determinación experimental del coeficiente de convección y el factor de fricción de un intercambiador de placas ", tesis, UC3M, España, 2008.
- [8] R. Zavaleta, " Preparación de jarabes de sacarosa mediante mediciones volumétricas", Vol. 5, N°1, pp.110-137, marzo 2011.
- [9] M. Mathlouthi and P. Reiser, *Sucrose Properties and Applications*, 1ª edición Glasgow, 1995.
- [10] B. S. Garza, " Diseño y mantenimiento de equipos de transferencia de calor", tesis, UANL, México, 1997.
- [11] Catalogo N° 200000420-1-ES, Intercambiadores de calor de bastidor y placas con juntas, Alfa Laval, Lund, Suecia.
- [12] E. Cao, *Intercambiadores de Calor*, 1ª edición argentina, 1983.
- [13] Coca Cola Andina (2007, enero 1). [ONLINE], Available: <http://www.koandina.com/pagina.php?p=nuestra-compania>
- [14] Caleffi (2017, abril, 20), Revista de calidad y tratamiento de agua (1 parte). [ONLINE], Available: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/08501_es.pdf

- [15] J. F. Salazar, " Diseño de equipos de transferencia de calor", tesis, UANL, México, 2001.
- [16] Alfa Laval (2007, mayo), Ventajas del Intercambiador de Placas frente a Intercambiadores Tubulares. [ONLINE], Available: <https://t-solucion.com/wp-content/uploads/Ventajas-del-Intercambiador-de-placas8.pdf>
- [17] Pasteurización (2010, abril), Pasteurización y esterilización. [ONLINE], Available: <http://pasteurizacionyesterilizacion.blogspot.com/2010/04/pasteurizacion-la-pasteurizacion-es-un.html>
- [18] Catálogo N° ESE00254ES 1201, (2010/09/01), Intercambiadores de calor de placas Frontline, Alfa Laval, Lund, Suecia.
- [19] Catálogo parts list N° 30107-13447, (2010/09/01), Intercambiadores de calor de placas Frontline, Alfa Laval, Lund, Suecia.
- [20] Frontline - Alfa PASTEURIZADOR. Archivo catálogo.
- [21] <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/instruction-manuals/instruction-manual-alfa-laval-industrial-line-m3-m6-m10-t2-t5-t6-t8-t10-tl3-tl6-ts6-english.pdf>

9 ANEXOS

9.1 Anexo A

Tabla N° 25. Densidad de la azúcar líquida en función de °brix y temperatura

ACTA NOVA; Vol. 5, N° 1, marzo 2011, ISSN 1683-0768													
Artículo Científico · 117													
Tabla 2. Densidades de las soluciones en función de °Br y la temperatura. Los valores fueron calculados por aplicación del subprograma consignado en la Figura 1.													
T, °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
° Br	Densidad, (g/mL) ° Br												
0	0,99993	0,99934	0,99852	0,99746	0,99617	0,99465	0,99289	0,99091	0,98869	0,98624	0,98356	0,98064	0,97749
5	1,01996	1,01911	1,01806	1,01680	1,01534	1,01366	1,01178	1,00969	1,00739	1,00488	1,00216	0,99924	0,99610
10	1,04070	1,03964	1,03839	1,03695	1,03532	1,03350	1,03149	1,02929	1,02689	1,02431	1,02154	1,01857	1,01542
15	1,06220	1,06097	1,05955	1,05796	1,05618	1,05423	1,05209	1,04977	1,04727	1,04459	1,04173	1,03869	1,03547
20	1,08449	1,08313	1,08160	1,07988	1,07799	1,07591	1,07365	1,07121	1,06859	1,06579	1,06281	1,05965	1,05631
25	1,10760	1,10619	1,10458	1,10279	1,10080	1,09862	1,09624	1,09367	1,09091	1,08797	1,08483	1,08150	1,07799
30	1,13156	1,13018	1,12857	1,12675	1,12470	1,12243	1,11995	1,11725	1,11433	1,11120	1,10786	1,10430	1,10054
35	1,15643	1,15516	1,15363	1,15183	1,14977	1,14745	1,14487	1,14202	1,13893	1,13557	1,13197	1,12812	1,12402
40	1,18223	1,18119	1,17983	1,17814	1,17612	1,17377	1,17110	1,16811	1,16480	1,16118	1,15725	1,15302	1,14850
45	1,20900	1,20833	1,20725	1,20576	1,20384	1,20151	1,19877	1,19563	1,19208	1,18813	1,18380	1,17910	1,17403
50	1,23679	1,23665	1,23599	1,23479	1,23307	1,23081	1,22802	1,22470	1,22088	1,21654	1,21172	1,20643	1,20067
55	1,26563	1,26621	1,26613	1,26537	1,26393	1,26179	1,25898	1,25549	1,25135	1,24655	1,24113	1,23511	1,22851
60	1,29556	1,29710	1,29779	1,29762	1,29658	1,29465	1,29185	1,28818	1,28366	1,27831	1,27216	1,26525	1,25761
65	1,32663	1,32938	1,33108	1,33170	1,33120	1,32957	1,32682	1,32296	1,31800	1,31199	1,30496	1,29696	1,28806
70	1,35887	1,36315	1,36614	1,36777	1,36799	1,36678	1,36414	1,36007	1,35461	1,34779	1,33969	1,33039	1,31996

9.2 Anexo B

Tabla N° 26. Propiedades térmicas del agua.

Tabla 10. Propiedades térmicas del agua.				
T (°C)	k (W/m°C)	α ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	ρ (Kg/m^3)	Cp ($\text{KJ/kg } ^\circ\text{C}$)
004.44	0.575	0.1367	999.8	4.208
010.00	0.585	0.1396	999.2	4.195
015.56	0.595	0.1423	998.6	4.186
021.11	0.604	0.1449	997.4	4.179
026.67	0.614	0.1475	995.8	4.179
032.22	0.623	0.1502	994.9	4.174
037.78	0.630	0.1520	993.0	4.174
043.33	0.637	0.1541	990.6	4.174
048.89	0.644	0.1560	988.8	4.174
054.44	0.649	0.1576	985.7	4.179
060.00	0.654	0.1592	983.3	4.179
065.55	0.659	0.1607	980.3	4.183
071.11	0.665	0.1625	977.3	4.186
076.67	0.668	0.1637	973.7	4.191
082.22	0.673	0.1654	970.2	4.195
087.78	0.675	0.1663	966.7	4.199
093.33	0.678	0.1674	963.2	4.204
104.40	0.684	0.1698	955.1	4.216
115.60	0.685	0.1720	946.7	4.229
126.70	0.685	0.1720	937.2	4.158
137.80	0.685	0.1728	928.1	4.271
148.90	0.684	0.1734	918.0	4.296

FUENTE: Choi y Okos, (1986).

9.3 Anexo C

Tabla N° 27. Conductividad térmica del azúcar.

Tabla 12. Propiedades térmicas de algunas soluciones.					
COMPUESTO	T (°C)	k (W/m°C)	α ($10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($\text{KJ/kg}^\circ\text{C}$)
Sal	83	0.2470	-	-	1.130
Solucion de NaCl	20	0.5680	0.1359	1151.7	3.627
Salmuera	20	- ¹	-	1039.0	-
Azúcar	0-100	0.1731	-	-	-
Solucion Azucarada	20	0.5740	-	-	-
Miel	21	0.5580	-	-	3.785
	49	0.5930	-	-	-

FUENTE: Choi y Okos, (1986).

1. Donde exista la presencia de un guión, no se reportan datos.

9.4 Anexo D

Tabla N° 28. Propiedades térmicas del agua en estado líquido.

Tabla 4.5: Propiedades del agua líquida a presión atmosférica								
T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.15230	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.20900	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.25940	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.3470	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.4420	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.1620	0.5827	2.551
75	975.0	4.191	378.0	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673.0	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.7230	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

9.5 Anexo E

Tabla N° 29. Viscosidad de la azúcar líquida en función de °brix y temperatura

Температура в ° C	20	30	40	50	60	70	80	90	100
El contenido de glucosa en la solución acuosa saturada en%	47,72	54,64	61,83	70,91	74,73	78,23	81,33	84,63	
La viscosidad en centipoises	18,3	18,7	22,45	50,9	66,25	78,45	108,8	_	

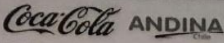
9.6 Anexo F

Tabla N° 30. Propiedades térmicas del propilenglicol.

Dow Propylene Glycol, Industrial Grade (Propilenglicol de grado industrial de Dow)		
Descripción general	Propylene Glycol, Industrial Grade (PGI) es un material de alta pureza producido por la hidrólisis de óxido de propileno con gran cantidad de agua a alta temperatura y alta presión. PGI es un producto destilado con una especificación de pureza mínima de 99,5% y es vendido por The Dow Chemical Company en bidones, recipientes intermedios para graneles (IBC) y en cantidades a granel. Es un líquido incoloro, higroscópico y soluble en agua con un olor característico a glicol, viscosidad intermedia, baja presión de vapor y escasa toxicidad. Propylene Glycol, Industrial Grade de Dow se utiliza ampliamente en numerosas industrias y tiene una amplia gama de aplicaciones prácticas.	
Propiedades típicas de sus componentes ⁽¹⁾	Nombre químico	1,2-propanodiol
	Fórmula	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{OH}$; $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$
	Peso molecular	76,10
	Número CAS	57-55-6
	Número EINECS	200-338-0
	Análisis	> 99,5% en peso
	Agua	< 0,2% en peso
	Punto de ebullición, 101,3 kPa (1 atm)	187°C (369°F)
	Ámbito de destilación, 101,3 kPa (1 atm)	186–189°C (367°F–372°F)
	Presión de vapor, 20°C (68°F)	0,011 kPa (0,08 mm Hg)
	25°C (77°F)	0,017 kPa (0,13 mm Hg)
	Punto de congelación	No se solidifica por debajo de la temperatura de congelación del agua
	Punto de fluidez	< -57°C (-71°F)
	Gravedad específica 20/20°C (68/68°F)	1,038
	25/4°C (77/39°F)	1,033
	60/4°C (140/39°F)	1,007
	Índice de refracción n _{20/D} , 20°C (68°F)	1,4310-1,4330
	Viscosidad, 25°C (77°F)	48,6 centipoise (mPa.s)
	60°C (140°F)	8,4 centipoise (mPa.s)
	Calor específico, 25°C (77°F)	2,51 J/g°K
	Tensión superficial, 25°C (77°F)	36 mN/m
	Punto de inflamación, copa cerrada de Pensky-Martens	104°C (220°F)
	Temperatura de autoignición	371°C (700°F)
	Conductividad térmica, 25°C (77°F)	0,2061 W/m°K
	Conductividad eléctrica, 25°C (77°F)	10 micro S/m
	Calor de formación	-422 kJ/mol (-101 Kcal/g-mol)
	Calor de vaporización, 25°C (77°F)	67,0 kJ/mol
1. Éstos son los valores típicos; no deben interpretarse como especificaciones.		

9.7 Anexo G

Tabla N° 31. Planilla de control análisis de azúcar líquida.

	AZÚCAR LIQUIDA TERMINADA	Cód.: REN-F-CAL-LA-012
---	---------------------------------	-------------------------------

PLANILLA CONTROL ANÁLISIS
Este documento certifica que el siguiente despacho cumple con las especificaciones de Coca Cola Company, el Codex Alimentario y las Normas Chilenas.

FECHA	27 de Agosto 2018	Turno:	14:30 a 22:00
--------------	-------------------	---------------	---------------

Silo	S.03.C
Hora	15:00
Proveedor	IANSA
Origen	REMOLACHA

Estanque N°	430
-------------	-----

Temp. Estanque °C	25
° Brix	67,06
Color Icumsa (U. I.)	11
Turbidez (U. I.)	4,9
pH	7,00
Floculación	
Sabor	Cumple
Olor	Cumple
Recto. Total Mesófilos	—
Recto. Levaduras	—
Recto. Hongos	—

ESPECIFICACIONES	
Temperatura Ambiente < 35°C	
67° Brix +/- 0.2	
<35 U.I	Sol. 50° Brix
< 20 U.I	
Ausencia	
Ausencia de sabores extraños	
Neutro	Sol. 50°Brix
0 máx. 25 R. Total / 10 ml	
0 máx. 5 levaduras / 10 ml	
0 máx. 5 Hongos / 10 ml	

Observaciones :
 En espera de resultado de floculación a las 24 hrs.

Acción correctiva:

sara seguel
 Nombre y firma de analista de calidad

9.8 Anexo H

Tabla N° 32. Propiedades térmicas del acero inoxidable.

Resistividad Eléctrica (μOhmcm)	70-78
Coeficiente de Temperatura (K^{-1})	-
Propiedades Físicas	
Densidad (g cm^{-3})	7,96
Punto de Fusión ($^{\circ}\text{C}$)	1370-1400
Propiedades Mecánicas	
Alargamiento (%)	<60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (J m^{-1})	20-136
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la Tracción (MPa)	460-860
Propiedades Térmicas	
Calor Específico a 23C ($\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	502
Coeficiente de Expansión Térmica @20-100C ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	16-18
Conductividad Térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	16,3