

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

REDISEÑO DE PLANTAS AGROINDUSTRIALES CON UN ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR

**REDISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE COLADA DE MÁCHICA
CON SABOR A MORA, CON LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LA
ECONOMÍA CIRCULAR**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

JOSSELYN PAOLA ZAPATA HIDALGO

josselyn.zapata@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARCO SINCHE SERRA, M.Sc.

marco.sinche@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, JOSSELYN ZAPATA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

JOSSELYN ZAPATA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JOSSELYN ZAPATA, bajo mi supervisión.

ING. MARCO SINCHE, M.SC.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOSSELYN ZAPATA

MARCO SINCHE

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
RESUMEN	VI
1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	1
1.2 LA ECONOMÍA LINEAL FRENTE A LA ECONOMÍA CIRCULAR	2
1.3 DEFINICIÓN, PRINCIPIOS Y CICLOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR ..	2
1.4 RELACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR CON LOS OBJETIVOS DE	4
DESARROLLO SOSTENIBLE E INICIATIVAS EN EL ECUADOR.....	4
1.5 BENEFICIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	4
2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	5
2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	5
2.2 ANÁLISIS DE MERCADO.....	5
2.2.1 LA DEMANDA	6
2.3 CAPACIDAD DE LA PLANTA	7
2.4 MATERIAS PRIMAS, MATERIALES E INSUMOS	7
2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	10
3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y REDISEÑO	12
3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL DE LA PLANTA.....	12
3.2 OPCIONES DE MEJORA	14
4 DISEÑO DE LA PLANTA.....	16
4.1 DIAGRAMAS DE BLOQUES BFD	16
4.1.1 SITUACIÓN INICIAL.....	16
4.1.2 REDISEÑO.....	18
4.2 BALANCE DE MASA	19
4.3 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	20
4.4 BALANCE DE ENERGÍA	21
4.4.1 ANTES DEL ANÁLISIS <i>PINCH</i>	21
4.4.2 DESPUÉS DEL ANÁLISIS <i>PINCH</i>	21
4.5 DIAGRAMA DE FLUJO (PFD)	28
4.6 DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)	28

4.7	DISPOSICIÓN EN PLANTA (<i>LAYOUT</i>)	28
4.8	DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS	37
5	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA	38
5.1	INVERSIÓN	39
5.2	COSTOS Y GASTOS	40
5.3	INGRESOS POR VENTAS	40
5.4	PUNTO DE EQUILIBRIO	40
5.5	TIR Y VAN.....	41
6	ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DEL REDISEÑO	41
6.1	BENEFICIOS ECONÓMICOS.....	41
6.2	BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES	45
7	CONCLUSIONES	48
8	REFERENCIAS	49
9	ANEXOS.....	54
	ANEXO I.....	55
	ANEXO II.....	56
	ANEXO III.....	58
	ANEXO IV	59
	ANEXO V	62
	ANEXO VI	67
	ANEXO VII	102
	ANEXO VIII	102

RESUMEN

Este proyecto plantea el rediseño de una planta de producción de colada de máchica con sabor a mora, que en su situación inicial contempló un modelo de economía lineal. Se implementaron cambios basados en los principios de la economía circular, con el fin de alcanzar un modelo de producción más sostenible.

En primera instancia, se realizó un análisis del diseño original de la planta, orientado a identificar las entradas y salidas del proceso productivo y establecer los puntos críticos, que fueron las operaciones unitarias en las que confluyó el mayor consumo de materiales e insumos y la mayor generación de residuos. Dichas operaciones unitarias fueron los puntos de referencia para la búsqueda de alternativas de mejora, las mismas que incluyeron la reducción de materias primas e insumos, la integración de calor para recuperar energía y el rediseño de procesos. Para las operaciones que involucraron cambios, se recalcularon los balances de masa y energía y se revisó el dimensionamiento de los equipos. Finalmente se analizaron los beneficios económicos, ambientales y sociales.

Se concluye que las alternativas de economía circular que se incorporaron en el proyecto pueden generar ahorros económicos considerables, mitigar el impacto ambiental negativo y generar impactos sociales positivos.

PALABRAS CLAVE: Economía circular, rediseñar, reducir, recuperar, integración de calor, costos de ineficiencia.

1 JUSTIFICACIÓN

1.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Todas las personas dependen del agua, la energía y las materias primas que brindan los ecosistemas para lograr una calidad de vida que les permita alimentarse, vestirse, protegerse, transportarse, etc (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Al proceso de extracción de los recursos, su transformación en bienes o servicios y su consumo, se le conoce como metabolismo de los recursos (Plataforma para Acelerar la Economía Circular, 2020).

La Plataforma para Acelerar la Economía Circular (2020), en su informe sobre la brecha de circularidad, señala que, a escala mundial, se extraen anualmente unas 92,0 Gt de recursos y se reciclan 8,7 Gt, lo que suma un total de 100,7 Gt de materiales que entran a la economía global. Del metabolismo de los recursos, se recogen como residuos 32,6 Gt; de esta corriente, 23,9 Gt se pierden ya que son vertidos, incinerados o desperdiciados y solo se reciclan 8,7 Gt, lo que representa el 8,6 % del uso total de materiales de la sociedad. Por otro lado, se pronostica que para para el año 2050 el uso de materiales ascenderá a 184 Gt.

En el Ecuador, de 1990 al 2018 el uso de materiales incrementó en un 61,2 %; las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se elevaron en un 42,6 % y la contaminación del aire subió un 137,6 % (SCP Hotspots Analysis, 2022). Mientras tanto, a nivel nacional, 939 000 t de alimentos se pierden al año y solo el 8,5 % de residuos orgánicos se recuperan (FAO, 2020; AME e INEC, 2018).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), en su informe “Estamos Gastando más Recursos de los que Poseemos”, afirma que los ecosistemas no tendrán la capacidad de sostener la vida de las generaciones futuras debido a que la demanda de recursos por parte de la población humana va en aumento y ejercerá mayor presión sobre la naturaleza, de manera que esta se debilitará y disminuirá en gran medida su capacidad de proveer y autorregularse.

En verdad, la humanidad está gastando más de lo que posee y, en efecto, la mayoría de los modelos de producción y consumo vigentes se basan en el uso intensivo de recursos finitos; por eso, es necesario repensar la forma en la que se crea valor. Actualmente existen

organizaciones como la Fundación Ellen MacArthur, la Plataforma para Acelerar la Economía Circular (PACE), la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), el *Hotspot* Holandés Circular y la compañía SWITCH to Green, que impulsan el cambio de una economía lineal a una circular (Ellen MacArthur Foundation, 2021; Holland Circular Hotspot, 2017; Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020; Platform for Accelerating the Circular Economy, 2019; Switch to Green, 2020).

1.2 LA ECONOMÍA LINEAL FRENTE A LA ECONOMÍA CIRCULAR

Existen diferencias muy marcadas entre una economía lineal y una circular. En la economía lineal se extraen recursos, se los transforma, se los vende y luego se los desecha; se genera valor al vender tantos productos como sea posible. En contraste, en la economía circular se obtienen beneficios al centrarse en la preservación del valor de los recursos (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017). El modelo lineal tiene un enfoque en la ecoeficiencia; es decir, busca minimizar el impacto ambiental y obtener el mismo resultado. Por el contrario, un sistema circular busca aumentar su ecoeficacia, es decir, no solo disminuir el impacto ambiental, sino incluso generar impactos ambientales, económicos y sociales positivos (Kjaer et al., 2018).

1.3 DEFINICIÓN, PRINCIPIOS Y CICLOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

De acuerdo con Korhonen et al. (2018) y Fundación Ellen MacArthur (2015), la economía circular es un sistema de ciclos cerrados en el que los recursos pierden su valor lo menos posible, se utilizan fuentes de energía renovables y se enfatiza en el pensamiento sistémico. Los ciclos se cierran tal como sucede en un ecosistema; los flujos residuales se transforman en un nuevo producto, que tiene una nueva vida útil; sin embargo, no es importante solo que los flujos se reciclen, sino que las materias primas, productos y componentes mantengan su alta calidad en estos ciclos. La energía dentro del sistema económico circular proviene de fuentes renovables y se hace referencia a un “flujo de energía tipo cascada” y no a “ciclos de energía”, ya que esta no es susceptible de reciclar. El pensamiento sistémico busca que cada actor de la economía tome en cuenta las consecuencias a corto y largo plazo de sus acciones, así como su impacto en toda la cadena de valor.

La Fundación Ellen MacArthur (2015), en su informe “Hacia una economía circular: Justificación empresarial para una transición acelerada”, asegura que la economía circular

se basa en tres principios. El primero busca que los recursos se elijan conscientemente y se priorice aquellos que sean renovables o presenten un mayor rendimiento. Impulsa la movilidad de nutrientes dentro del sistema para que los materiales se regeneren y se mejore la infraestructura natural. El segundo pretende extender el tiempo de vida útil de un producto y reutilizarlo de manera óptima para que se maximicen y extiendan los ciclos consecutivos. El tercero se enfoca en disminuir los daños que afronta el sistema y gestionar la contaminación del suelo, agua, aire y ruido.

En una economía circular, los materiales circulan en dos ciclos separados: el ciclo biológico y el ciclo tecnológico, ya que siguen procesos de reutilización diferentes, como se puede ver en la Figura 1. Los denominados “materiales técnicos”, como los combustibles fósiles, metales y plásticos, son utilizados en lugar de ser consumidos y, después de su uso, se recuperan a través de un proceso que no es sencillo. Los “materiales orgánicos”, como el agua, los alimentos y la madera, se consumen y pueden recuperarse parcialmente de los flujos residuales, incorporarse en el ecosistema o volver a generarse mediante procesos biológicos (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

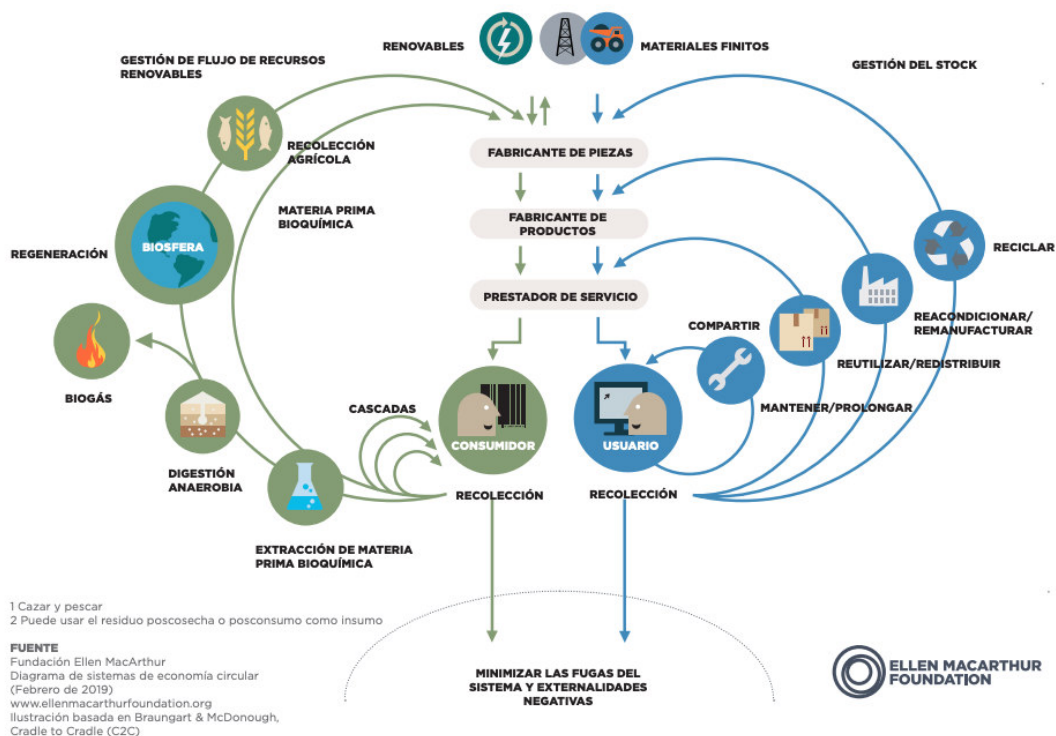


Figura 1. Diagrama del sistema de economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2019)

1.4 RELACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE E INICIATIVAS EN EL ECUADOR

Aspectos de la economía circular como reducir el uso de materias primas, reutilizar productos y componentes y reciclar materiales de alta calidad, proporcionan una especie de caja de herramientas para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en particular con el ODS 6 (agua limpia), ODS 7 (energía limpia y asequible), ODS 8 (trabajo y crecimiento económico), ODS 12 (consumo y producción responsables) y el ODS 15 (vida en la tierra) (Holland Circular Hotspot y Netherlands Enterprise Agency, 2020).

La perspectiva de circularidad en la economía también apoya iniciativas en el Ecuador, como la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso, la Norma Técnica NTE INEN-AFNOR XP X30-901, las Ordenanzas para la Erradicación de Plásticos de un Solo Uso en Quito y Guayaquil (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2020 y 2021; Guzmán y Guevara, 2020; Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2021; Municipio de Guayaquil, 2018).

1.5 BENEFICIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Los beneficios de un sistema que aplica la economía circular abarcan diversos campos. El PNUMA (2017) calculó que, en el 2050, la economía mundial se podría beneficiar de 2 billones de dólares al año por el uso más eficiente de recursos, al mismo tiempo que se promovería el empleo y la innovación. SITRA (2018), en su informe “La economía circular: una fuerza poderosa para la mitigación del cambio climático”, expone que gracias a la economía circular se podrían emitir menos gases de efecto invernadero y el suelo, el aire y el agua se mantendrían vitales y se preservarían las reservas naturales.

El Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, en conjunto con la Cooperación Alemana, reportaron un ahorro anual de 458 000 m³ de agua, 3 000 MWh de energía, 352 m³ de diésel y 1 500 000 000 USD al aplicar los principios de la economía circular en 11 plantas agroindustriales del Ecuador. Este ahorro representa agua para satisfacer las necesidades de 2 500 familias, energía para 1 300 familias y 5 000 t de CO₂ que se evitó producir (MPCEIP y GIZ, 2021).

La economía circular puede brindar beneficios importantes, siempre que las empresas y los consumidores como protagonistas de este sistema impulsen y apoyen la transición de un modelo lineal a uno circular. Las empresas podrían ser más competitivas y generar valor. Los consumidores podrían cambiar su comportamiento y preferencias de compra de modo que demanden productos y servicios más eficientes y producidos bajo modelos circulares (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

El producto es una colada de máchica con sabor a mora, envasado en presentaciones de 500 mL, lo que fue decidido con base en una encuesta de mercado, que se presenta en el Anexo 2. El producto tendrá un color café tenue y el olor característico de la máchica; se empacará en bolsas de polietileno de baja densidad y tendrá la formulación que se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de la colada de máchica con sabor a mora

Componente	Porcentaje %
Leche pasteurizada	96,43
Máchica	3,29
Edulmix	0,02
Canela	0,02
Clavo de olor	0,01
Pimienta dulce	0,03
Saborizante de mora	0,02
Carboximetilcelulosa (CMC)	0,18
Total	100

(Choto, 2013)

2.2 ANÁLISIS DE MERCADO

La colada de máchica se prepara y consume en varias familias ecuatorianas, sin embargo, no existe un producto que se comercialice como tal a nivel nacional. Por este motivo, fue

fundamental identificar el segmento de mercado que estaría dispuesto a comprar este producto.

2.2.1 LA DEMANDA

- **Población de referencia**

Se estableció como población de referencia a los habitantes de la provincia de Pichincha. El INEC (2010) en su último censo reportó datos poblacionales de esta provincia y su proyección al 2020, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Habitantes de Pichincha en el 2010 y 2020

Año	Población total
2010	2 667 953
2020	3 228 233

(INEC, 2010)

- **Población demandante potencial**

De los 3 228 233 habitantes, una parte consumiría potencialmente el producto que se ofrece. De acuerdo con Carrera y Grijalva (2014), el 68 % de las personas de la provincia de Pichincha consumen leche pasteurizada envasada. Con base en este porcentaje y en la población de referencia, se calculó que la población demandante potencial sería de 2 195 198 personas.

- **Población demandante efectiva**

Ahora bien, de la población demandante potencial, cierto número de personas va a requerir y demandar efectivamente el producto, por esta razón, se aplicó la encuesta de mercado a una muestra representativa de la población (la estimación del tamaño de muestra y la encuesta se encuentran en los Anexos 1 y 2, respectivamente).

De los encuestados, el 88,4 % afirmaron que les gusta este producto y estarían dispuestos a comprarlo. Con este dato y la población demandante potencial, se determinó que la población demandante efectiva sería de 1 940 555 personas.

2.3 CAPACIDAD DE LA PLANTA

Para determinar la capacidad de la planta, se introdujeron los datos de la población demandante efectiva, el consumo per cápita y la frecuencia de consumo, en la Ecuación 2 del Anexo 3. El consumo per cápita y la frecuencia de consumo se obtuvieron de la pregunta 5 y 2 de la encuesta de mercado, que se encuentra en el Anexo 2.

La capacidad de la planta sería de 48 513,9 L/día.

2.4 MATERIAS PRIMAS, MATERIALES E INSUMOS

En las distintas etapas del proceso productivo se utilizarían materiales que forman parte del producto final y se denominan materias primas; también materiales que no se integran en el producto final pero que son necesarios para su elaboración, y los insumos o servicios que permiten llevar a cabo diferentes procesos (Mondragón, 2017). Esta información se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Materias primas, materiales e insumos que intervienen en el proceso productivo

Materias primas	Materiales	Insumos
Máchica Leche Edulmix Clavo de olor Canela Pimienta dulce Saborizante de mora Carboximetilcelulosa (CMC)	Bolsas de polietileno de baja densidad	Agua Vapor de agua Energía eléctrica

- **Máchica**

La máchica es la harina que se obtiene al moler la cebada tostada; posee un color café tenue y un olor y sabor característicos (Hernández, 2012). Es una fuente de proteínas, carbohidratos, fibra y minerales (Alpusig y Torres, 2020). Indu Alimentos sería el proveedor de esta materia prima (Indu Alimentos, 2022).

- **Leche**

La leche es un líquido de color blanquecino que contiene agua, proteínas, grasa, lactosa y minerales; el agua constituye aproximadamente el 84 % de la leche, en tanto que la caseína es su proteína principal (Agudelo y Bedoya, 2005). En el proceso se emplearía leche previamente pasteurizada proveniente de la Lechera Andina S.A., que cumpla con los requisitos expuestos en la Norma INEN 10:2012 (INEN, 2012).

- **Edulmix**

Edulmix es un polvo blanco de grado alimenticio que se emplea como agente edulcorante y estabilizante. Es la mezcla comercial de los edulcorantes acesulfame k y aspartame. El acesulfame k posee un ligero sabor amargo, por lo cual se combina con otros edulcorantes como el aspartame, que es bajo en calorías (Aditivos Alimentarios, 2020). Disproquim sería el proveedor del edulmix (Disproquim, 2020).

- **Espicias**

Las especias son aromatizantes y saborizantes de origen vegetal que se agregan a los alimentos en pequeñas cantidades. En el producto se incorporaría clavo de olor, canela y pimienta dulce. El clavo de olor actúa como fungicida y bactericida, la canela posee fenoles que inhiben las bacterias, en tanto que la pimienta dulce es un excelente antioxidante y analgésico (Álvarez et al., 2013). Aroma y Especias sería el proveedor de estas materias primas (Aromas y Especias, 2016).

- **Saborizante de mora**

El saborizante es un concentrado líquido que le confiere al producto el sabor específico de la mora (Crespo, 2020). Se optaría por un saborizante natural de la marca Extractos Andinos C.A (Extractos Andinos, 2016).

- **Carboximetilcelulosa (CMC)**

La carboximetilcelulosa es una sal sódica que se presenta en forma de polvo blanco. Se incorporaría al proceso como agente estabilizante y espesante, así como un aditivo para

reducir el crecimiento de cristales de agua en el almacenamiento del producto en refrigeración (Cando, 2010). El proveedor de la CMC sería Disproquim (Disproquim, 2020).

- **Bolsas de polietileno de baja densidad**

El polietileno de baja densidad es un polímero sintético reciclable que posee en su estructura varias cadenas ramificadas; se utiliza como empaque por su bajo costo, alta tenacidad, escasa permeabilidad al agua y por su buena resistencia térmica y química (Ararat y Murillo, 2016). Las bolsas de polietileno serían de la marca Ecuaplast (Ecuaplast, 2016).

- **Agua**

El agua es un líquido incoloro indispensable para el funcionamiento de la planta. Se utilizará como agente de enfriamiento en varias operaciones unitarias, así como en la limpieza del personal y la sanitización de las instalaciones (Gil y López, 2020). El agua que se suministre será potable y cumplirá con los requisitos de la norma INEN 108:2011 (INEN, 2011). La EPMAPS abastecería a la planta de este insumo (EPMAPS, 2022).

- **Vapor de agua**

El vapor de agua se generaría en una caldera, al añadir calor al agua hasta alcanzar un cambio de fase. En la industria se aplica vapor saturado o sobrecalentado como fuente de calentamiento. La planta trabajaría con vapor saturado, es decir, vapor que coexiste con el agua a presiones y temperaturas definidas (SINCAL, 2018).

- **Energía eléctrica**

Este insumo permitiría el funcionamiento de varios equipos y maquinarias que intervienen en el proceso productivo. Los procesos complementarios como los de las oficinas, los comedores y los sanitarios también demandarían este tipo de energía para una adecuada iluminación y un correcto funcionamiento de los equipos. El proveedor de este insumo sería la Empresa Eléctrica Quito (EEQ, 2014).

2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

Los documentos expuestos por Choto (2013) y Márquez (2011) fueron la base para plantear el proceso productivo y las operaciones unitarias que se describen a continuación:

- **Recepción y almacenamiento**

Las materias primas se receptorían e ingresarían al proceso solo si cumplen los estándares de calidad que se mencionaron en el apartado 2.4. En este sentido, el laboratorista se encargaría de tomar las muestras y realizar los análisis respectivos. Una vez que los lotes cumplan con las especificaciones de calidad, se procedería a almacenar cada materia prima. Para la leche, la temperatura de almacenamiento debería ser de 2 a 4 °C, mientras que el edulcorante, las especias, el saborizante y el espesante se almacenarían a temperatura ambiente.

- **Tamizado**

La máchica atravesaría un tamiz de 105 μm , de modo que las partículas con un mayor tamaño se retengan y las otras pasen al siguiente proceso. El retenido constituiría el 21,33 % de la máchica inicial. Gracias al tamizado, se evitaría que el producto adquiriera una textura rasposa indeseable.

- **Mezclado 1**

La máchica se mezclaría con la mitad de la leche en una marmita con agitación a 75 rpm, hasta obtener una mezcla homogénea. Este proceso operaría a temperatura ambiente para evitar la formación de grumos.

- **Mezclado 2**

A la mezcla resultante del proceso anterior se le añadiría la segunda mitad de la leche, el edulcorante y las especias. El mezclado 2 se ejecutaría en una marmita con agitación a 75 rpm y a 70 °C.

- **Enfriamiento 1**

Este proceso buscaría reducir la temperatura de la mezcla 2, desde 30 hasta 20 °C, mediante agua fría que circularía por la chaqueta de una marmita. El enfriamiento 1 sería necesario ya que la carboximetilcelulosa que se agregue en el siguiente proceso formaría grumos si estuviera expuesta a altas temperaturas.

- **Mezclado 3**

A la mezcla 2 ya fría, se incorporaría el saborizante de mora y la carboximetilcelulosa. El proceso se llevaría a cabo en una marmita con agitación a 75 rpm y a temperatura ambiente, hasta obtener una mezcla homogénea.

- **Pasteurización**

La mezcla 3 sería pasteurizada, es decir, sometida a un tratamiento calórico con la finalidad de destruir los microorganismos patógenos presentes. El tratamiento combinaría altas temperaturas y tiempos cortos para asegurar la inocuidad, sin que se comprometan las características físicas, bioquímicas y organolépticas del producto.

- **Enfriamiento 2**

Se reduciría la temperatura de la mezcla pasteurizada hasta 4 °C, con ayuda de agua fría que circularía por la chaqueta de una marmita. Esta operación prepararía al producto para ser envasado.

- **Envasado y almacenamiento**

La colada de máchica con sabor a mora se envasaría en bolsas de polietileno de baja densidad, con su respectivo número de lote, información nutricional, semáforo, fecha de caducidad e ingredientes. Para conservar la calidad e inocuidad, el producto se almacenaría a una temperatura óptima de 4 °C.

3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y REDISEÑO

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL DE LA PLANTA

Para analizar lo que ocurre en el proceso productivo en la situación inicial de la planta se utilizaron dos herramientas de la economía circular. Por un lado, el eco-balance, que cuantifica las entradas y salidas de un proceso tales como materias primas, insumos, productos, subproductos y residuos. Por otro lado, el eco-mapa, que permite hacer un diagnóstico visual de las entradas y salidas en un área determinada de la planta con el fin de identificar puntos críticos en el consumo, la disposición y/o afectación ambiental (García y Ocampo, 2014).

En primera instancia, se implementó el eco-balance para identificar los flujos de entrada y salida en cada operación unitaria del proceso productivo, como se muestra en la Figura 2.

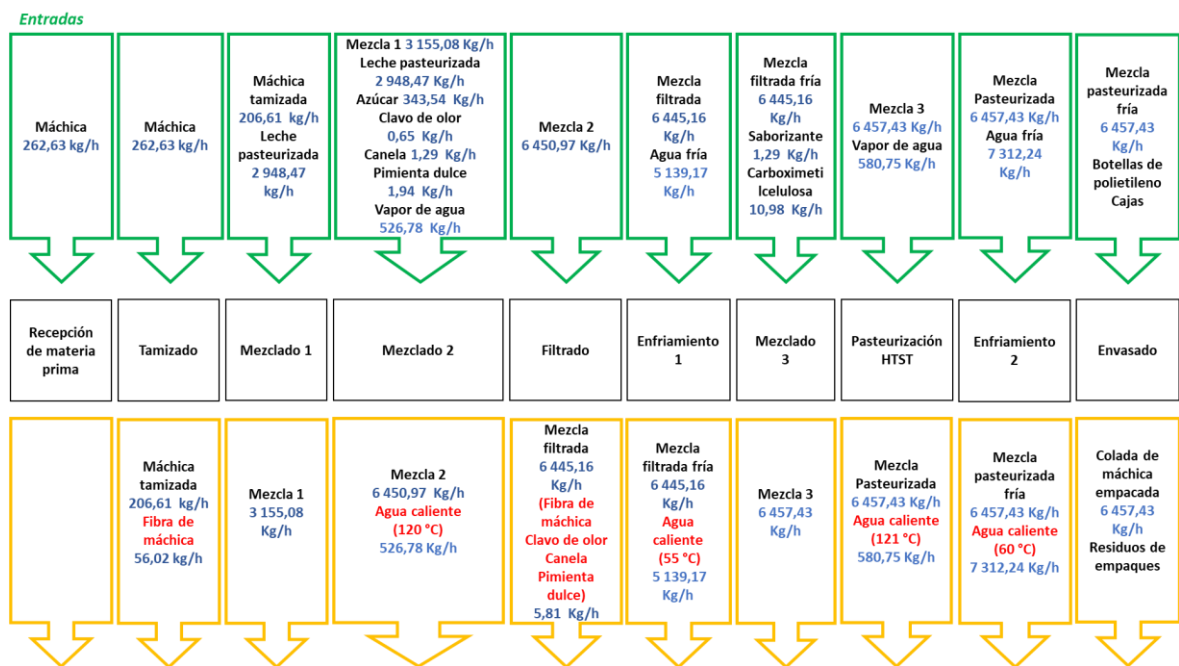


Figura 2. Eco-balance del proceso productivo en la situación inicial de la planta

Una vez que se cuantificaron las entradas y salidas de cada operación unitaria, se ordenó de mayor a menor los procesos que consumen más recursos o generan más residuos, a través de íconos cuyo tamaño representa la cantidad de recursos utilizados o las salidas generadas, según se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Ranking de procesos en la situación inicial de la planta

Consumo de Agua 	Consumo de vapor 	Materia prima 	Residuos orgánicos 	Residuos reciclables 	Agua caliente reciclable 
Enfriamiento 2 	Pasteurización 	Mezclado 2 	Tamizado 	Envasado 	Enfriamiento 2 
Enfriamiento 1 	Mezclado 2 	Mezclado 3 	Filtrado 		Enfriamiento 1 
					Pasteurización 
					Mezclado 2 

La información del ranking de procesos se trasladó al *layout* de la planta, para construir el eco-mapa, que se presenta en la Figura 3.



Figura 3. Eco-mapa de la planta en la situación inicial

A través del eco-mapa se identificaron los procesos en los que se concentra la mayor cantidad de íconos y, por tanto, el más alto consumo de materiales e insumos y la mayor generación de residuos. A estos procesos se les denominó “puntos críticos” y fueron el punto de partida para la búsqueda de alternativas de mejora con los criterios de la economía circular.

3.2 OPCIONES DE MEJORA

Para los puntos críticos que se muestran en los recuadros rojos de la Figura 3, se sugirieron las alternativas de mejora que se indican en la Tabla 5 y se detallan a continuación.

Tabla 5. Propuesta de alternativas de mejora para el proceso productivo en la situación inicial

Punto crítico	Flujo del proceso	El flujo es:		Alternativas de mejora
		Entrada	Salida	
Mezclado 2	Mezcla 1	X		-----
	Leche pasteurizada	X		-----
	Azúcar	X		Reemplazar el azúcar por un edulcorante de alta intensidad
	Espicias enteras (clavo de olor, canela, pimienta dulce)	X	X	Reemplazar las especias enteras por especias en polvo / Extraer componentes bioactivos de los residuos
	Vapor de agua	X		Integración de calor
	Mezcla 2		X	-----
	Mezcla líquido-vapor		X	Integración de calor
Enfriamiento 1	Mezcla filtrada	X		-----
	Agua fría	X		-----
	Mezcla filtrada fría		X	-----
	Agua caliente		X	Integración de calor
Pasteurización	Mezcla 3	X		-----
	Vapor de agua	X		Integración de calor
	Mezcla pasteurizada		X	-----
	Mezcla líquido-vapor		X	Integración de calor
Enfriamiento 2	Agua fría	X		-----
	Agua caliente		X	Integración de calor

- **Mezclado 2**

En el estado inicial de la planta se utilizó azúcar como una de las materias primas que ingresan al mezclado 2. Ahora bien, se plantea sustituir el azúcar por el edulmix, cuyo poder

edulcorante es 200 veces mayor que el de la sacarosa. En consecuencia, se reduciría la cantidad de materia prima que se incorpora a esta operación unitaria (Disproquim, 2020).

El clavo de olor, la canela y la pimienta dulce ingresaban y salían del proceso enteras; por eso se proponen dos alternativas. La primera consiste en reemplazar las especias enteras por presentaciones en polvo, pues de este modo no solo se reduciría su volumen, sino que se evitaría la generación de residuos. La segunda alternativa se fundamenta en el aprovechamiento de los residuos; en este sentido, se continuaría con el uso de las especias enteras que, al final del proceso, se emplearían para obtener compuestos bioactivos u oleorresinas (Fernández, 2007).

- **Mezclado 2, enfriamiento 1, pasteurización y enfriamiento 2**

En estos procesos existen corrientes frías que necesitan calentarse y corrientes calientes que deben enfriarse. Si bien en el estado inicial de la planta se utilizó vapor y agua fría como servicios de calentamiento y enfriamiento, para el rediseño se propone recuperar algo de calor de las corrientes calientes y usarlo para calentar las corrientes frías en intercambiadores de calor. Esta integración de calor posibilitará el ahorro de agua y energía (Waldron, 2007).

- **Tamizado y envasado**

El tamizado y envasado no se identificaron como puntos críticos, no obstante, son procesos que generan residuos. Del tamizado se genera la fracción más fibrosa, que corresponde a partículas de máchica con un tamaño superior a 105 μm . Este residuo se puede vender y destinar para la formulación de barras de cereales con alto contenido de fibra, de alimento para animales o como biocombustible (Astudillo y Sánchez, 2019). En el envasado se generan residuos de plástico y de cartón que se venderían a empresas que se encargan de gestionar y reciclar este tipo de residuos (Gil et al., 2015; Jurado, 2018).

En la Tabla 6 se enlistan los puntos críticos y las 7 Rs que se asocian a las opciones de mejora que se plantearon anteriormente.

Tabla 6. Puntos críticos y las 7 Rs

Proceso	7 Rs						
	Reducir	Reutilizar	Reparar	Renovar	Recuperar	Reciclar	Rediseñar
Mezclado 2	X				X		X
Enfriamiento 1	X				X		X
Pasteurización	X				X		X
Enfriamiento 2	X				X		X

4 DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 DIAGRAMAS DE BLOQUES BFD

Más adelante se presentan los diagramas de bloques para la situación inicial y para el rediseño de la planta. Cabe señalar que, al implementar las alternativas de economía circular, el proceso productivo se modificó parcialmente. Así pues, se recalcularon los flujos de entrada y salida de cada operación unitaria, se incluyó el precalentamiento y el preenfriamiento y se eliminó el filtrado, ya que en la nueva propuesta es innecesario.

4.1.1 SITUACIÓN INICIAL

En la Figura 4 se presenta el diagrama de flujo del proceso original.

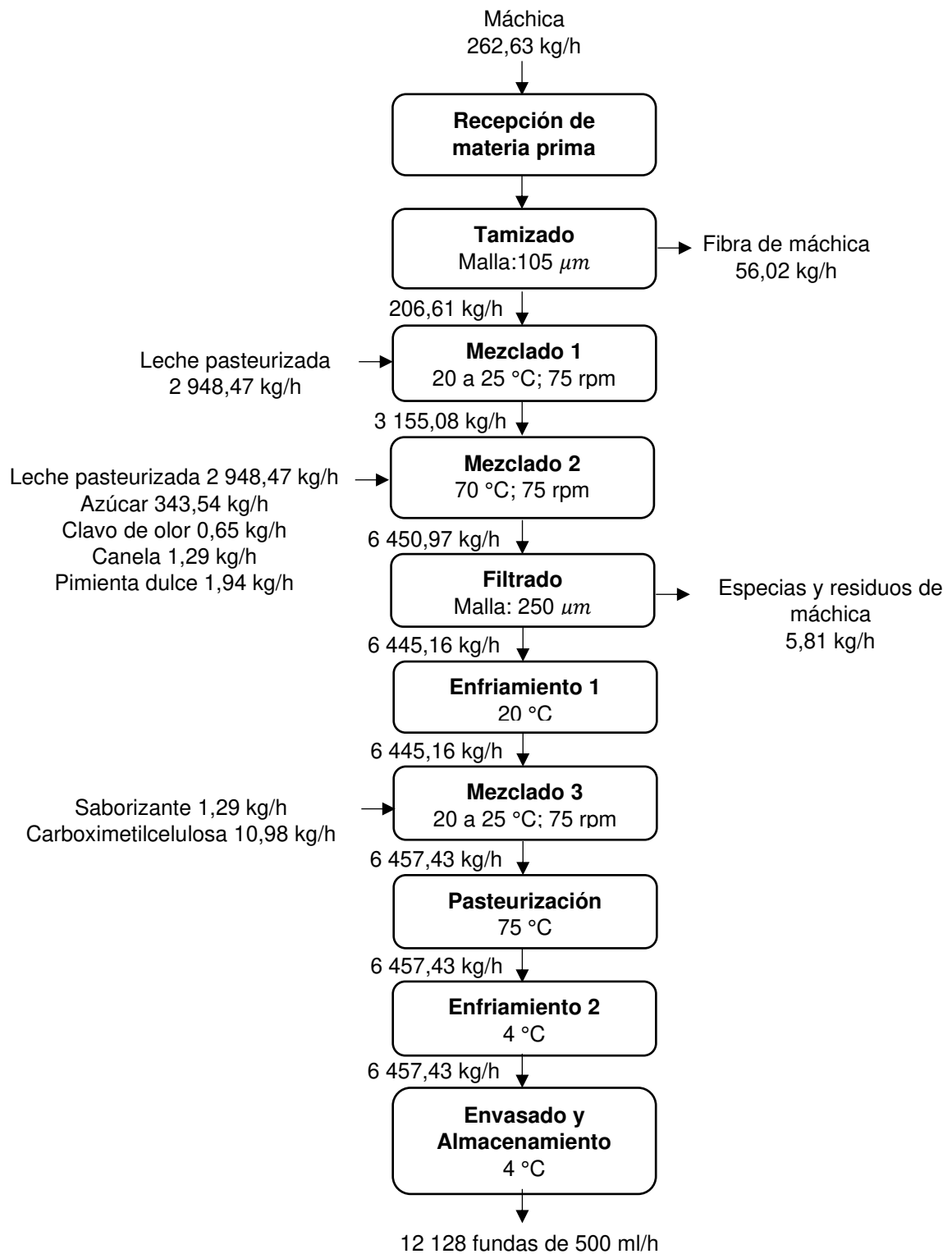


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso en la situación inicial de la planta

4.1.2 REDISEÑO

En la Figura 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso luego del rediseño.

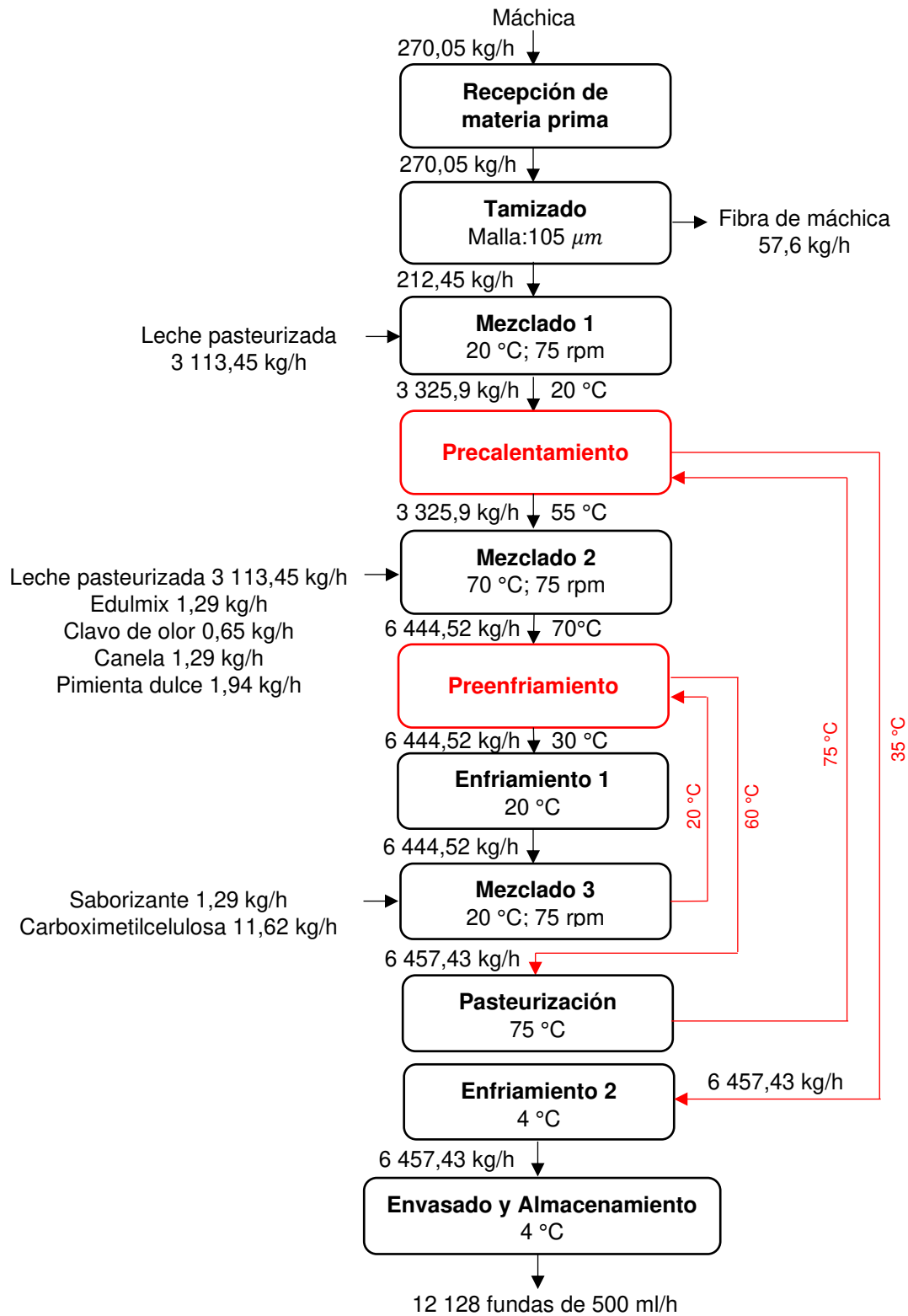


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso en el rediseño de la planta

4.2 BALANCE DE MASA

A continuación, se presenta la Tabla 7, con los flujos de entrada y flujos de salida de cada operación unitaria del nuevo proceso productivo. Los cálculos se detallan en el Anexo 4.

Tabla 7. Resultados del balance de masa para el rediseño

FLUJO DE ENTRADA	VALOR (kg/h)	FLUJO DE SALIDA	VALOR (kg/h)
TAMIZADO			
Máchica ($m_{máchica}$)	270,05	Máchica tamizada ($m_{máchica\ tamizada}$)	212,45
		Fibra de máchica ($m_{fibra\ máchica}$)	57,6
MEZCLADO 1			
Leche pasteurizada (m_{leche1})	3 113,45	Masa de salida del mezclado 1 ($m_{salida\ M1}$)	3 325,9
Máchica Tamizada ($m_{máchica\ tamizada}$)	212,45		
MEZCLADO 2			
Masa de salida del mezclado 1 ($m_{salida\ M1}$)	3 325,90	Masa de salida del mezclado 2 ($m_{salida\ M2}$)	6 444,52
Edulmix ($m_{edulmix}$)	1,29		
Leche pasteurizada (m_{leche2})	3 113,45		
Clavo de olor ($m_{clavo\ de\ olor}$)	0,65		
Canela (m_{canela})	1,29		
Pimienta dulce ($m_{pimienta\ dulce}$)	1,94		
MEZCLADO 3			
Masa de salida del mezclado 2 ($m_{salida\ M2}$)	6 444,52	Masa de salida del mezclado 3 ($m_{salida\ M3}$)	6 457,43
Masa saborizante ($m_{saborizante}$)	1,29		
Masa de la carboximetilcelulosa (m_{CMC})	11,62		

De acuerdo con Ramírez (2014), en procesos como la pasteurización y el enfriamiento se puede considerar que las pérdidas de masa son despreciables; por consiguiente, en el enfriamiento 1, pasteurización y enfriamiento 2 el flujo de entrada sería igual al flujo de salida.

4.3 PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Las operaciones unitarias que integran el proceso productivo en el rediseño, junto con su duración, el flujo por procesar y la capacidad que tendría el equipo correspondiente se presentan en la Tabla 8. Las especificaciones de los equipos se encuentran en el Anexo 6.

Tabla 8. Duración de las actividades para la planta rediseñada

Actividad	Capacidad del equipo	Flujo por procesar (kg)	Duración de la actividad (min)	Hora de inicio	Hora de finalización
Recepción de materia prima	No aplica	6 515,03	60	7:00	8:00
Tamizado	300 kg/h	270,05	54	7:40	8:34
Mezclado 1	500 L	3 325,9	40	8:34	9:14
Mezclado 2	500 L	6 444,52	50	9:14	10:04
Enfriamiento 1	600 L	6 444,52	60	10:04	11:04
Mezclado 3	500 L	6 457,43	45	11:04	11:49
Pasteurización	3 000 L/h	6 457,43	121	11:49	13:50
Enfriamiento 2	600 L	6 457,43	65	13:50	14:55
Envasado	65 fundas/min	6 457,43	187	14:55	16:02

A partir de los datos de la anterior tabla, se construyó el diagrama de Gantt de la Figura 6, que representa gráficamente el estado de cada actividad, conforme el tiempo transcurrido.

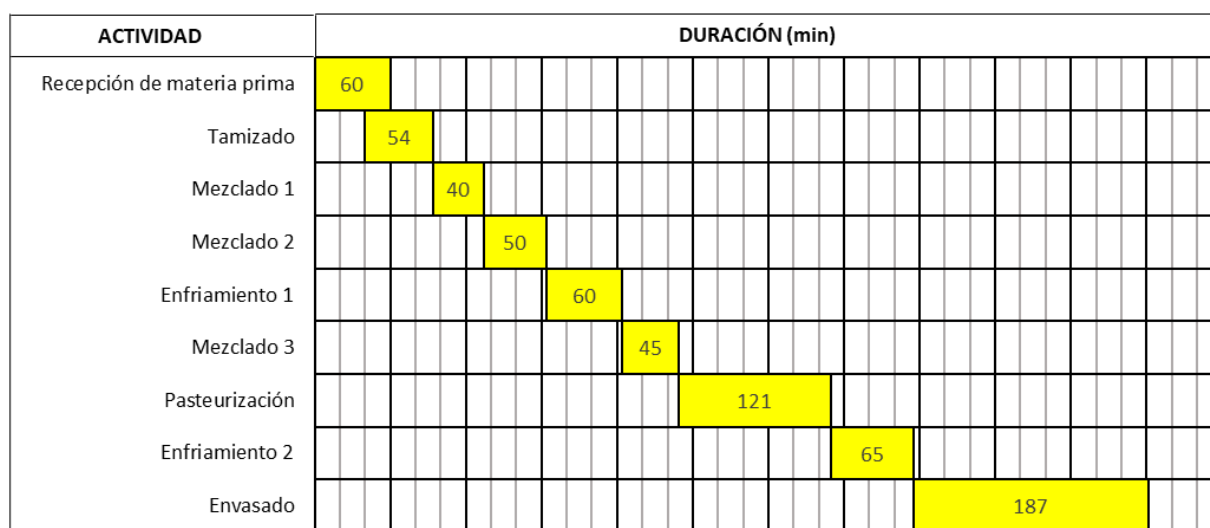


Figura 6. Diagrama de Gantt para la planta rediseñada

4.4 BALANCE DE ENERGÍA

Como se indicó en el apartado 3.2, fue incluida una integración de calor al proceso productivo, la cual se llevaría a cabo a través del análisis *Pinch*, que busca vincular procesos al desarrollar redes de recuperación de calor que no requieren tecnología avanzada (Kemp, 2007).

4.4.1 ANTES DEL ANÁLISIS *PINCH*

Primero se recalcularon los balances de energía para el proceso descrito en la Figura 5; los resultados se incluyeron en la Tabla 9. Los detalles constan en el Anexo 5.

Tabla 9. Resultados del balance de energía para el rediseño antes de aplicar el análisis *Pinch*

Operación	Requerimientos de calentamiento o enfriamiento (kW)
Mezclado 2	322,23
Enfriamiento 1	322,23
Pasteurización	355,16
Enfriamiento 2	458,47

4.4.2 DESPUÉS DEL ANÁLISIS *PINCH*

Con base en los datos actualizados del balance de masa y del balance de energía, se construyó la Tabla 10. A las corrientes que necesitan calentarse, se las identificó como corrientes frías, por el contrario, a las corrientes que deben enfriarse se las denominó corrientes calientes.

Tabla 10. Datos de partida para el análisis *Pinch*

Proceso	Corriente	Flujo másico (kg/h)	Capacidad calórica específica (kJ/kg °C)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Carga térmica (kW)
Mezclado 2	Fría 1	6 444,52	3,60	20	70	-322,23
Enfriamiento 1	Caliente 1	6 444,52	3,60	70	20	+322,23
Pasteurización	Fría 2	6 457,43	3,60	20	75	-355,16
Enfriamiento 2	Caliente 2	6 457,43	3,60	75	4	+322,87

Las dos corrientes calientes y las dos corrientes frías se trazaron en el diagrama de temperatura en función de la carga térmica. Este tipo de diagrama es útil porque permite representar el intercambio de calor, como se visualiza en las Figuras 7 y 8.

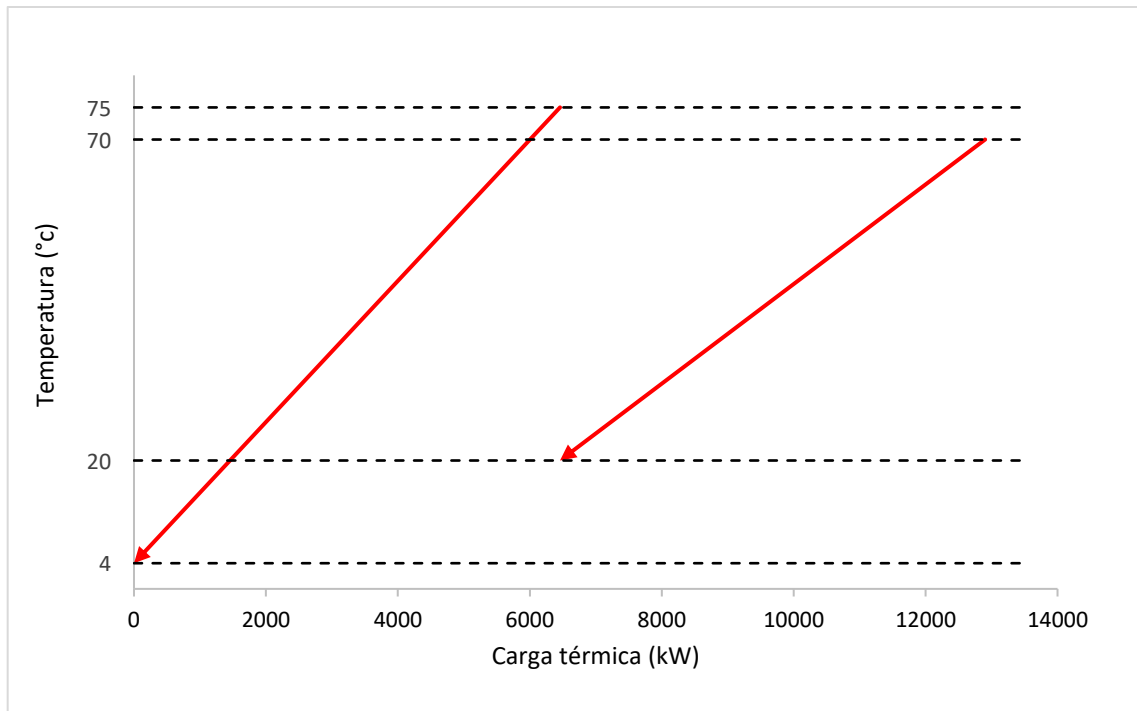


Figura 7. Diagrama de curvas calientes

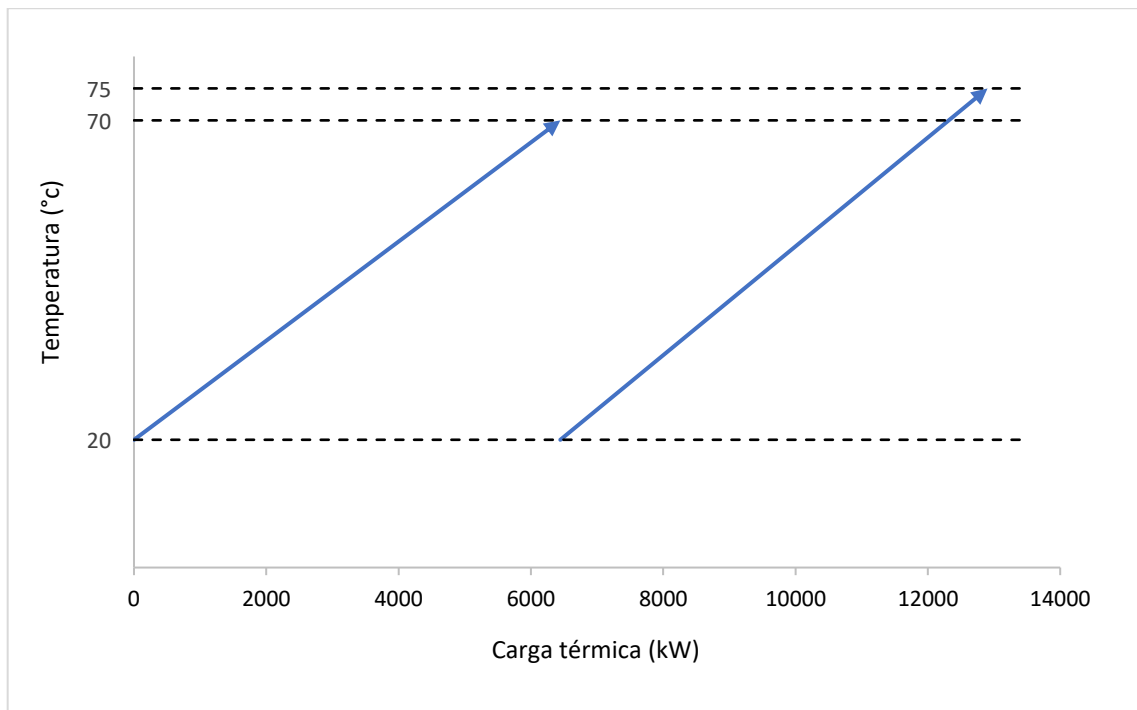


Figura 8. Diagrama de curvas frías

Una vez que se identificaron los datos de partida, se estableció un ΔT_{\min} . De acuerdo con Kemp (2007), se acepta un valor de 10°C para un análisis inicial. Este parámetro permitirá hacer un ajuste de temperaturas de modo que se reste la mitad del ΔT_{\min} a las corrientes calientes y se suma la mitad a las corrientes frías, como se precisa en la Tabla 11.

Tabla 11. Ajuste de temperaturas

Corriente	Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)	Carga térmica (kW)
Caliente 1	65	15	+322,23
Caliente 2	70	-1	+322,87
Fría 1	25	75	-322,23
Fría 2	25	80	-355,16

El siguiente paso fue ordenar, de mayor a menor, las temperaturas de todas las corrientes y construir el diagrama de cascada que se presenta en la Figura 9.

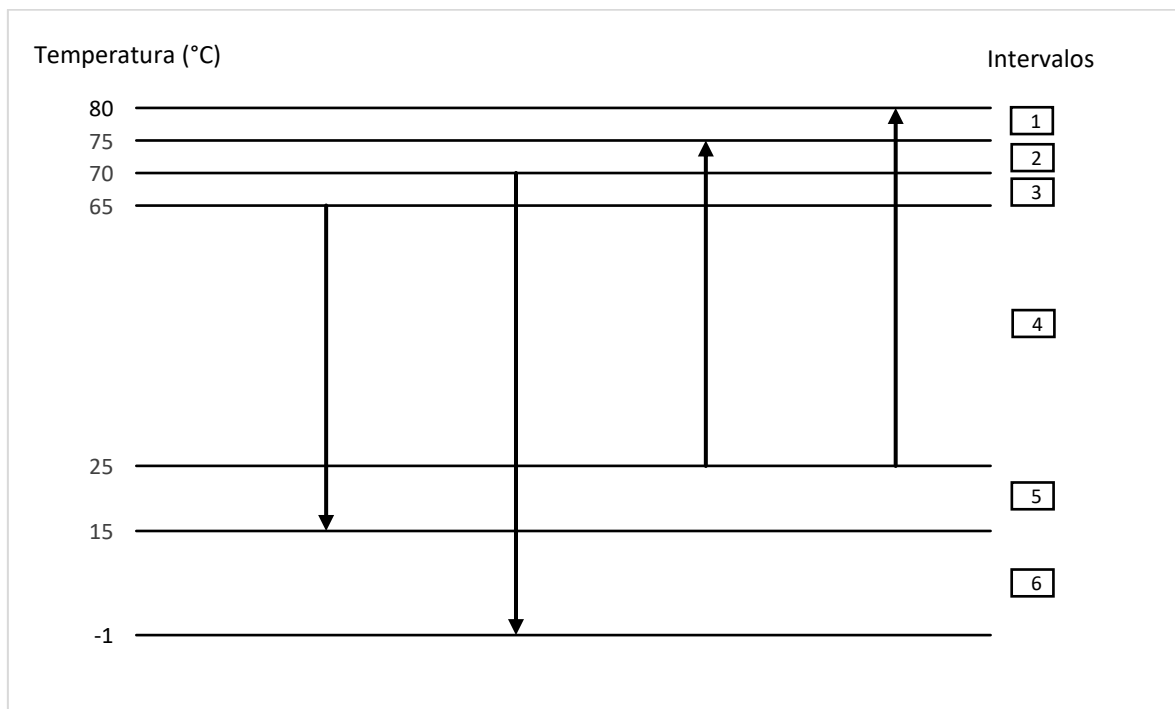


Figura 9. Diagrama de cascada para las corrientes calientes y frías

El diagrama expuesto está dividido en intervalos de temperatura. En el segundo intervalo coexisten dos corrientes, por lo tanto, la capacidad calorífica de este intervalo va a cambiar

y será igual a la suma de las capacidades caloríficas de las dos corrientes. Lo mismo ocurre en los intervalos tercero, cuarto y quinto.

Con las nuevas capacidades caloríficas, se calcularon las cargas térmicas para cada intervalo de temperatura y se obtuvo la “curva compuesta caliente”, que representa a todas las corrientes calientes, y la “curva compuesta fría”, que representa a todas las corrientes frías, las cuales se pueden observar en la Figura 10.

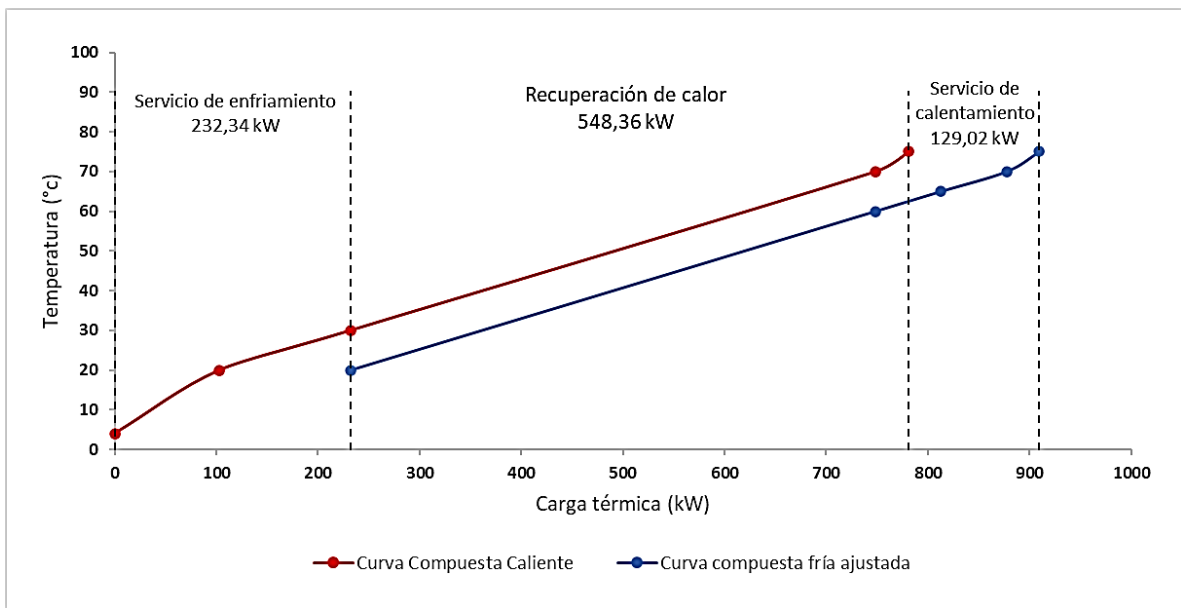


Figura 10. Curvas compuestas caliente y fría, con un $\Delta T_{\min} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

La región donde coexisten las dos curvas compuestas representa la cantidad máxima de energía que se puede recuperar dentro del proceso. El excedente en la parte inferior de la curva compuesta caliente representa la cantidad mínima de enfriamiento externo que se requiere para el rediseño. El excedente en la parte inferior de la curva compuesta fría representa la cantidad mínima de calentamiento externo que se requiere para el rediseño.

Los resultados del análisis *Pinch* se presentan en la gran curva compuesta de la Figura 11.

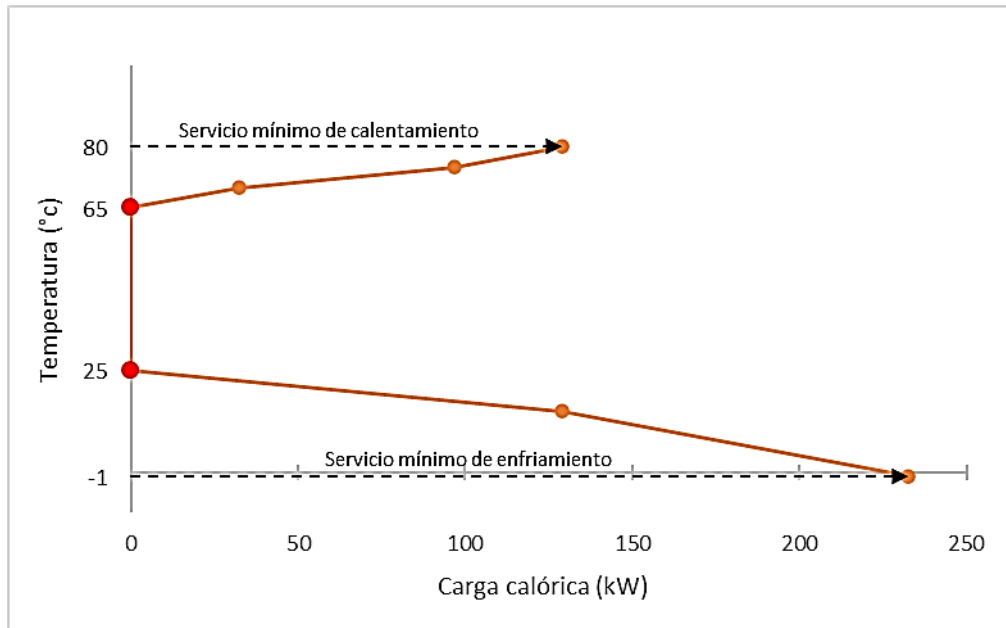


Figura 11. Gran curva compuesta

En la anterior figura se destacan los puntos *Pinch* o puntos en los que la diferencia de temperaturas entre las corrientes calientes y frías es la mínima. Estos puntos fueron la referencia para construir el diagrama de reja que se expone en la Figura 12.

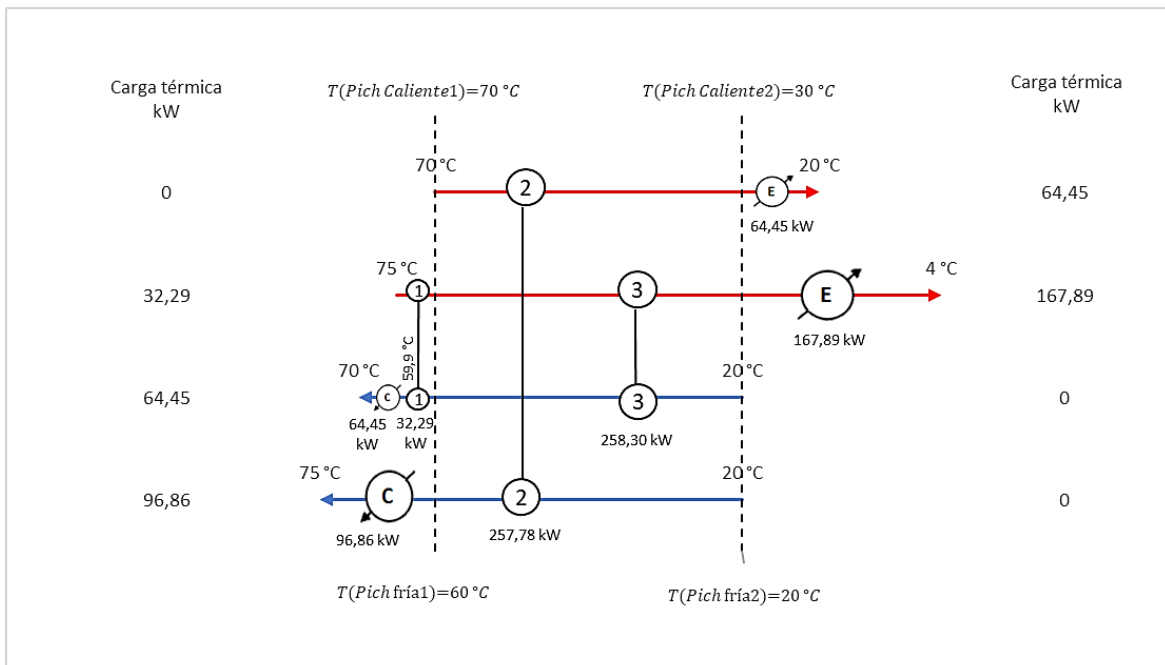


Figura 12. Diagrama de rejillas

Los círculos unidos por una línea vertical representan a los intercambiadores de calor, mientras que los círculos atravesados por una flecha simbolizan los requerimientos de

calentamiento y enfriamiento. En el diagrama de rejillas también consta un lazo o anillo de calor entre los intercambiadores 1 y 3, el cual podría generar perturbaciones entre las corrientes. Para evitar este problema, se eliminó el intercambiador 1, tal como se indica en la Figura 13.

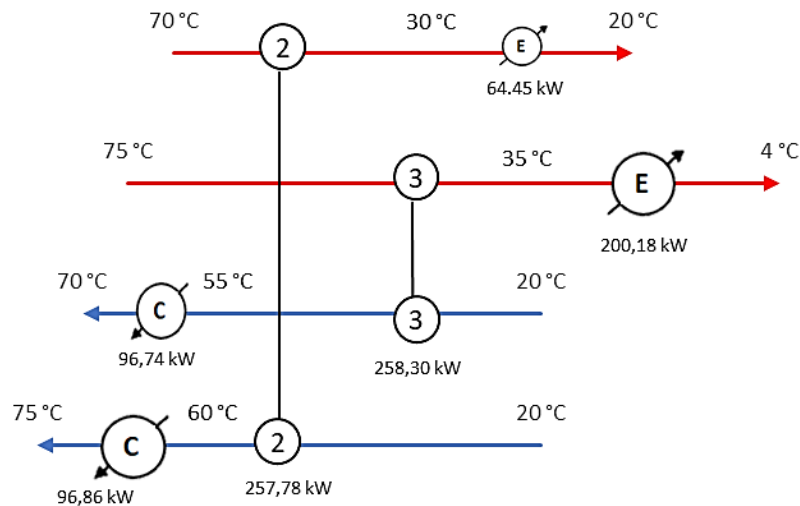


Figura 13. Diagrama de rejillas modificado

La carga térmica del intercambiador 1 pasó a los servicios de calentamiento de la corriente fría 1 y a los servicios de enfriamiento de la corriente caliente 2. En la Figura 13 también se observa que la corriente caliente 2 ya no sale del intercambiador a 30 °C sino a 35 °C, del mismo modo, la corriente fría 1 ya no sale a 60 °C sino a 55 °C.

Para finalizar con el análisis de *Pinch*, se elaboró el diagrama de la red de intercambio térmico (TIR) con base en el diagrama de rejillas modificado. El resultado se presenta en la Figura 14.

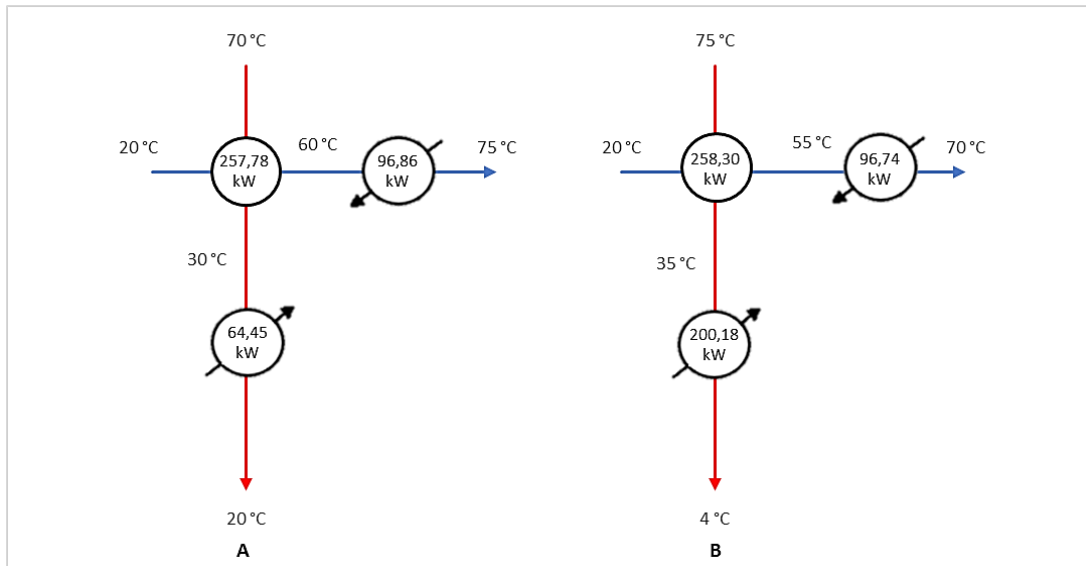


Figura 14. Diagrama de la red de intercambio de calor. (A) Intercambio entre la corriente caliente 1 y la corriente fría 2. (B) Intercambio entre la corriente caliente 2 la corriente fría 1

Del análisis *Pinch* se extrajo la siguiente información:

- Es posible recuperar como máximo 548,36 kW de energía; no obstante, por la naturaleza del proceso en realidad se lograría recuperar 516,08 kW.
- La corriente caliente 1 se utilizaría para calentar la corriente fría 2 (mezcla 2) se utilizaría para calentar la mezcla 3.
- La corriente caliente 2 se utilizaría para calentar la corriente fría 1, es decir, la colada de máchica pasteurizada se utilizaría para calentar la mezcla 1.
- La corriente caliente 1 (mezcla 2) ya no ingresaría al enfriamiento 1 a 70 °C, sino a 30 °C.
- La corriente caliente 2 (colada de máchica pasteurizada) ya no ingresaría al enfriamiento 2 a 75 °C, sino a 35 °C.
- La corriente fría 1 (mezcla 1) ya no ingresaría al mezclado 2 a 20 °C, sino a 55 °C.
- La corriente fría 2 (mezcla 3) ya no ingresaría a la pasteurización a 20 °C, sino a 60 °C.
- Sería necesario incorporar 2 intercambiadores de calor en el proceso productivo.

A continuación, se presenta la Tabla 12, con los valores que corresponden al balance de energía del nuevo proceso productivo. Para conocer mayores detalles se puede consultar el Anexo 5.

Tabla 12. Resultados del balance de energía para el rediseño después de aplicar la integración de calor

Operación	Requerimientos de calentamiento o enfriamiento (kW)
Mezclado 2	96,67
Enfriamiento 1	64,45
Pasteurización	96,86
Enfriamiento 2	200,18

4.5 DIAGRAMA DE FLUJO (PFD)

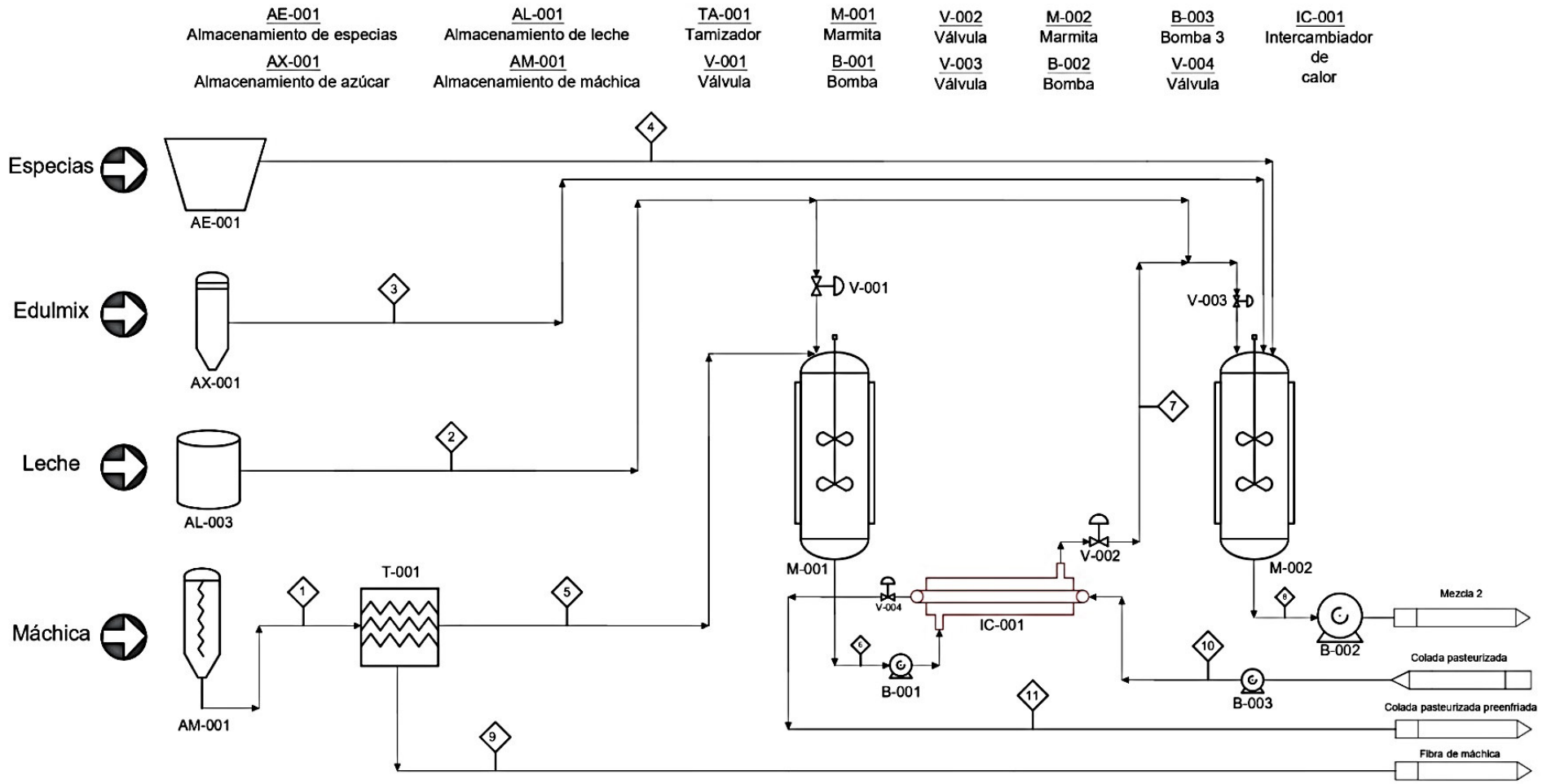
En las Figuras 15, 16 y 17 se presenta el diagrama de flujo del proceso productivo de la planta de máchica luego del rediseño, dividido en tres partes, para una mejor visualización de los componentes.

4.6 DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)

De manera similar, en las Figuras 18, 19 y 20 se presenta el diagrama de tuberías e instrumentación de la planta luego del rediseño.

4.7 DISPOSICIÓN EN PLANTA (LAYOUT)

En la Figura 21 se expone el análisis de proximidad del área de producción, servicios y área administrativa. En tanto que en la Figura 22 se presenta el *Layout* de la planta, con su respectiva nomenclatura.



Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre de la corriente	Máchica	Leche	Edulmix	Especies	Máchica tamizada	Mezcía 1	Mezcía 1 precalentada	Mezcía 2	Fibra de máchica	Colada pasteurizada	Colada pasteurizada preenfriada
Estado	Pólvo	Líquido	Pólvo	Pólvo	Pólvo	Líquido	Líquido	Líquido	Pólvo	Líquido	Líquido
Flujo másico (kg/h)	270.05	6 226.9	1.29	3.86	212.45	3 325.9	3 325.9	6 444.52	57.6	6 457.43	6 457.43
Temperatura °C	20	20	20	20	20	20	55	70	20	75	35

Figura 15. Diagrama PFD de la planta de máchica rediseñada (1/3)

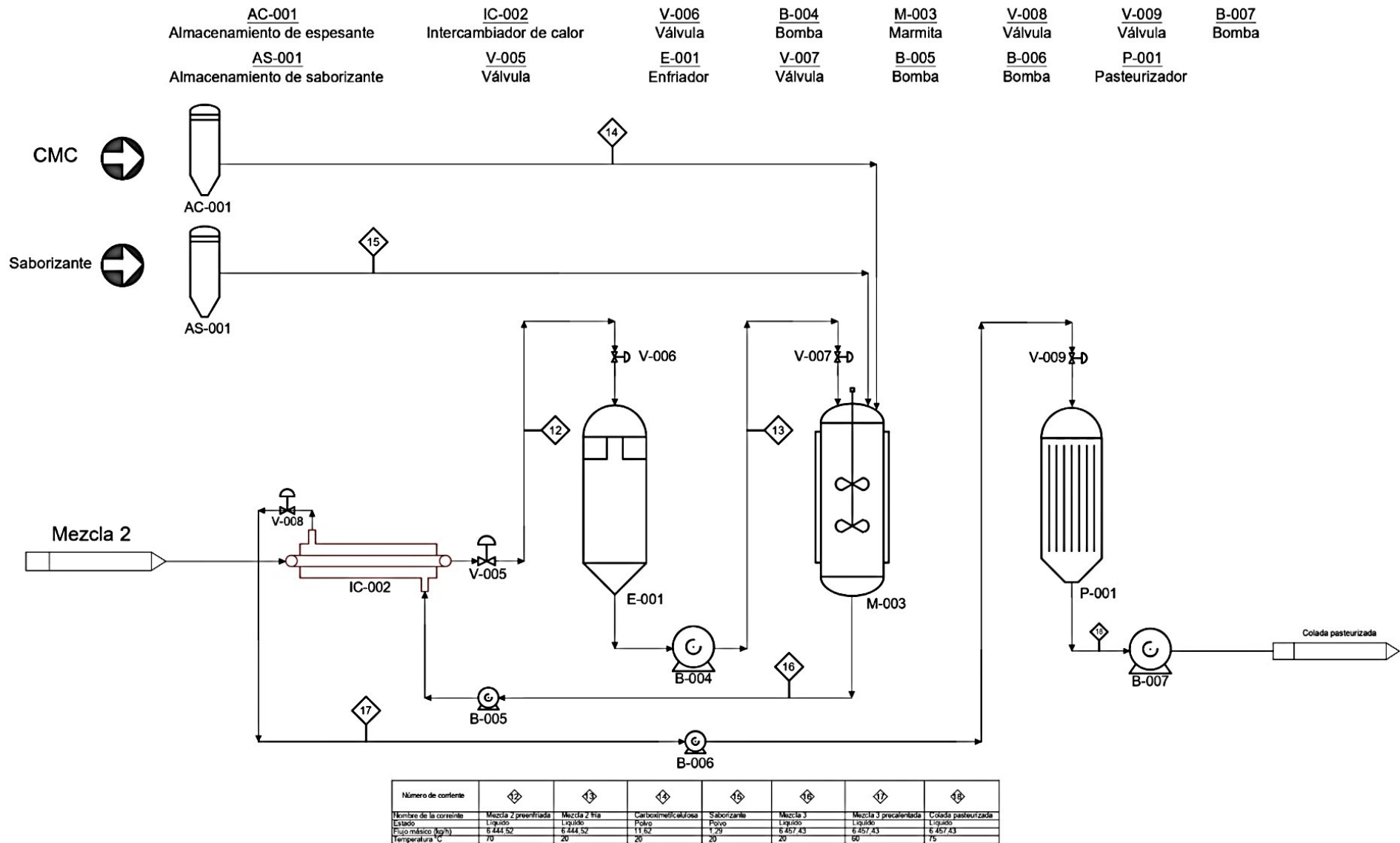
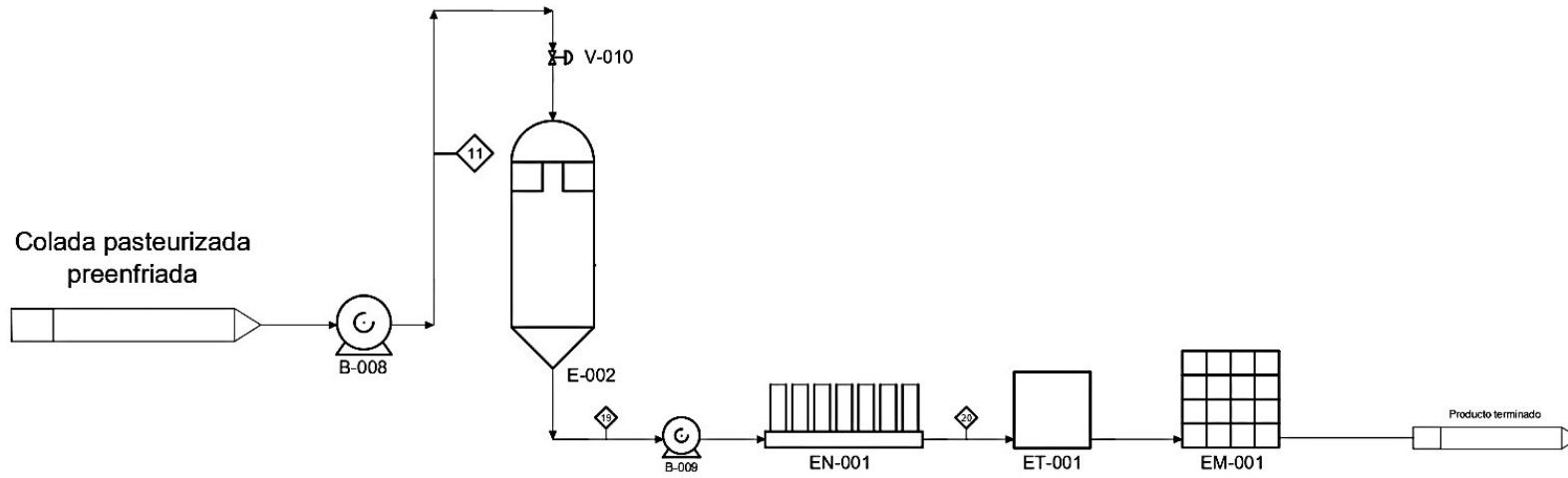


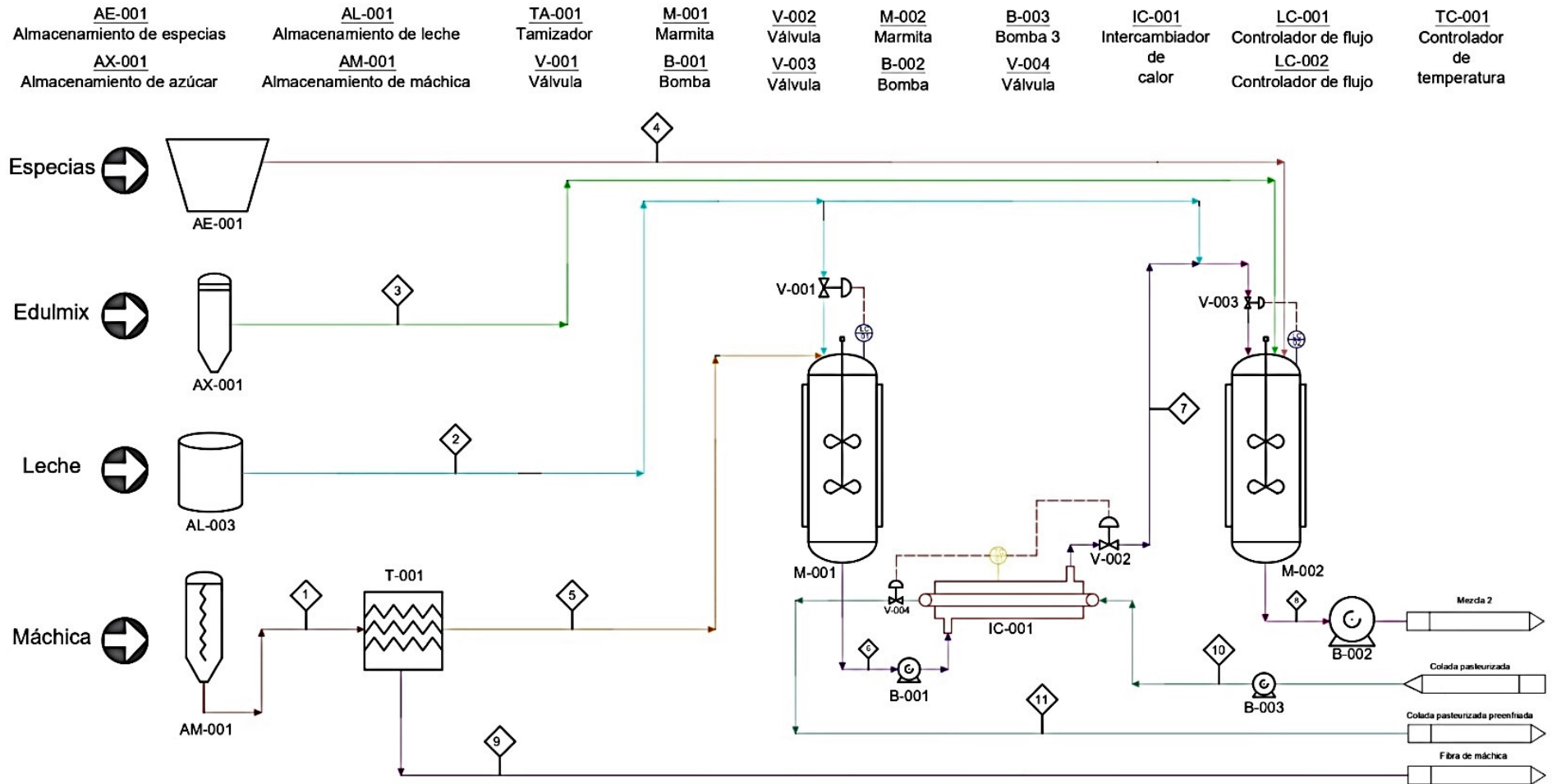
Figura 16. Diagrama PFD de la planta de máchica rediseñada (2/3)

B-008 V-010 E-002 B-009 EN-001 ET-00 EM-001
 Bomba Válvula Enfriador Bomba Envasadora Etiquetadora Empacadora



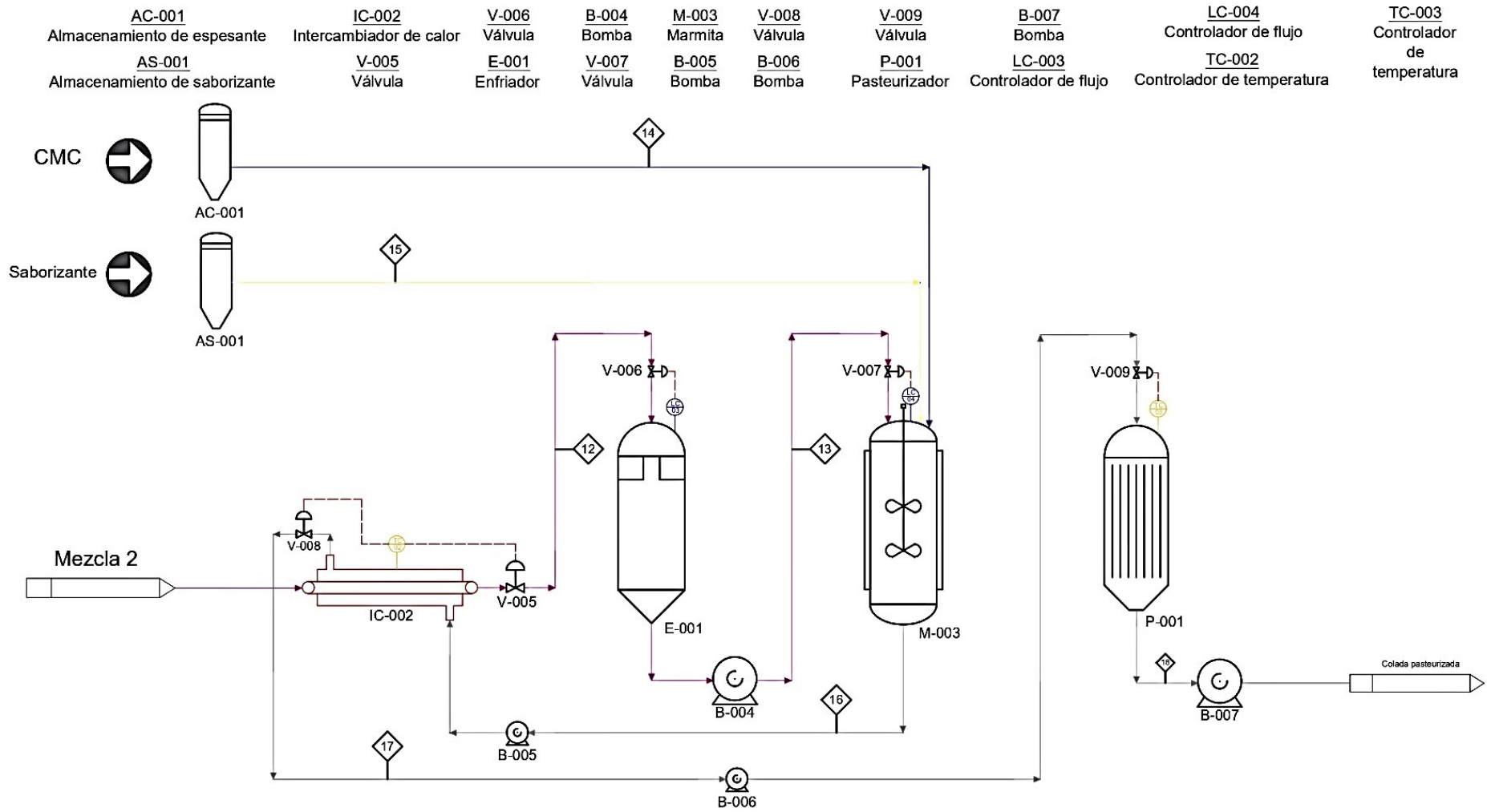
Número de corriente	11	20
Nombre de la corriente	Colada pasteurizada fría	Mezcla 2 fría
Estado	Líquido	Líquido
Flujo másico (kg/h)	6 457,43	12 128 fundas
Temperatura °C	4	4

Figura 17. Diagrama PFD de la planta de máchica rediseñada (3/3)



Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Flujo transportado	Máchica	Leche	Edulmix	Especias	Máchica tamizada	Mezcla 1	Mezcla 1 precalentada	Mezcla 2	Fibra de máchica	Colada pasteurizada	Colada pasteurizada preenfriada
Bombas	-	-	-	-	-	B-001	B-002	B-003	-	B-001	B-002
Tipo de bomba	-	-	-	-	-	Desplazamiento +	Desplazamiento +	Desplazamiento +	-	Desplazamiento +	Desplazamiento +
Válvulas	-	V-001	-	-	-	-	V-002	V-003	-	-	V-004
Tipo de válvula	-	Automática	-	-	-	-	Automática	Manual	-	-	Automática
Número de accesorios	-	1	-	-	-	1	1	2	-	1	1

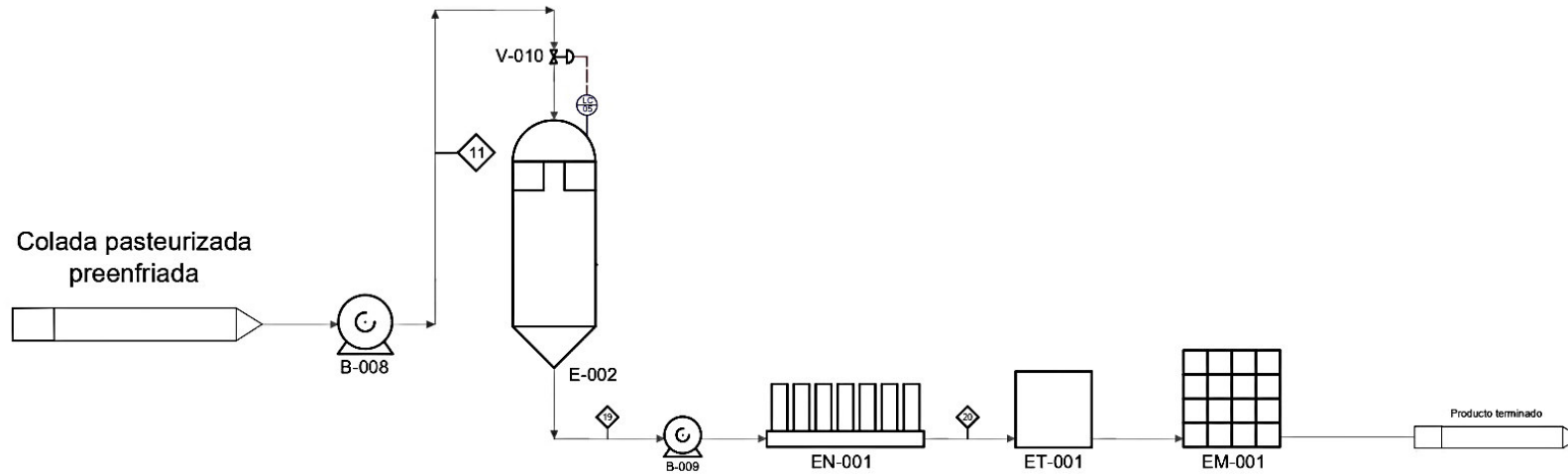
Figura 18. Diagrama P&ID de la planta de máchica rediseñada (1/3)



Número de corriente	14	12	13	16	17	15	18
Flujo transportado	Mezcla 2 preenfriada	Mezcla 2 fría	Carboximetilcelulosa	Saborizante	Mezcla 3	Mezcla 3 precalentada	Colada pasteurizada
Bomba	-	B-004	-	-	B-005	B-006	B-007
Tipo de bomba	-	Desplazamiento +	-	-	Desplazamiento +	Desplazamiento +	Desplazamiento +
Válvula	V-005 y V-006	V-007	-	-	V-008	V-009	-
Tipo de válvula	Automáticas	Manual	-	-	-	Automática	-
Número de accesorios	2	2	-	-	1	2	1

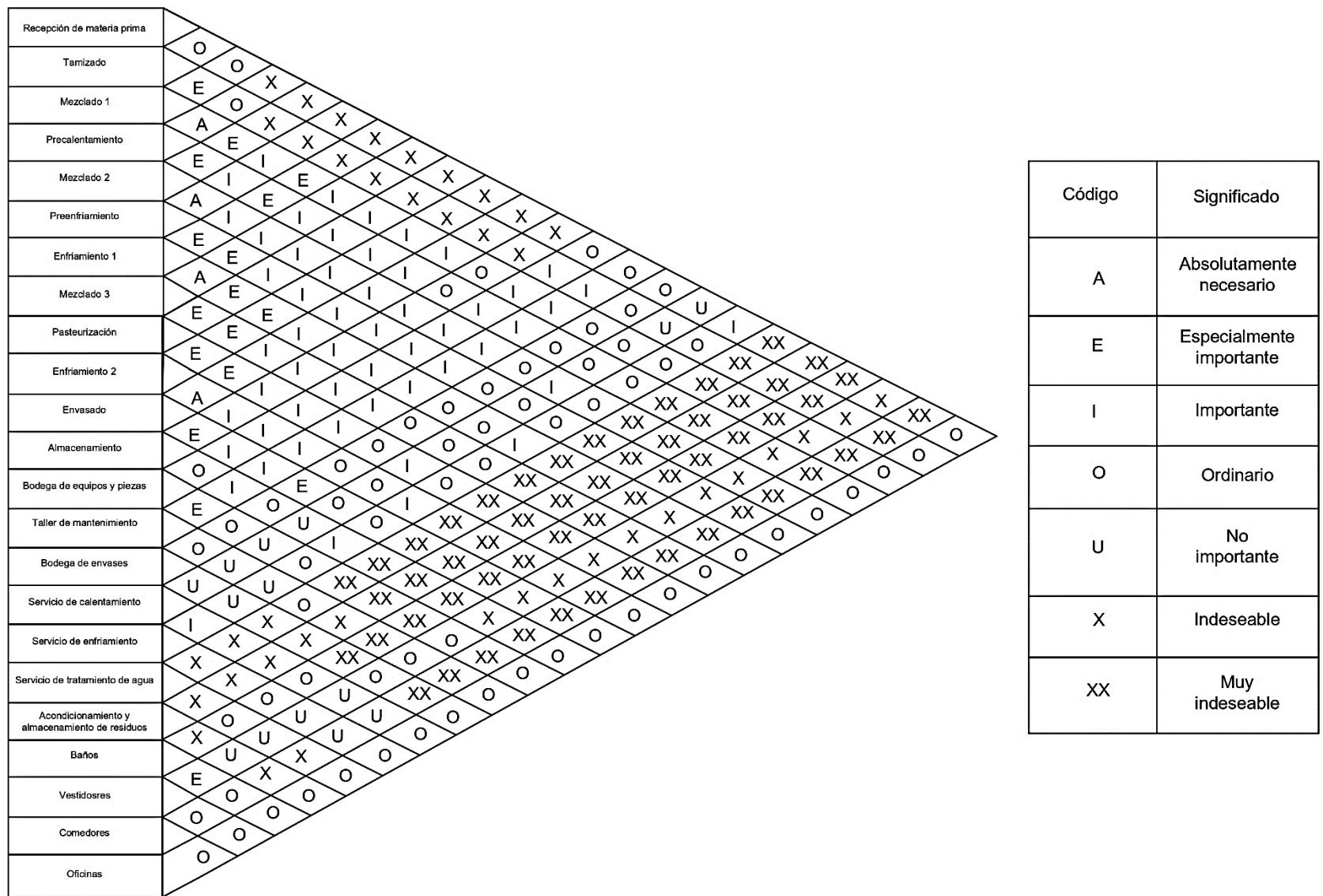
Figura 19. Diagrama P&ID de la planta de máchica rediseñada (2/3)

B-008 Bomba
 V-010 Válvula
 E-002 Enfriador
 B-009 Bomba
 EN-001 Envasadora
 ET-001 Etiquetadora
 EM-001 Empacadora
 LC-005 Controlador de flujo



Número de corriente	11	20
Nombre de la corriente	Colada pasteurizada fría	-
Bomba	B-009	-
Tipo de bomba	Bomba desplazamiento +	-
Válvula	-	-
Tipo de válvula	-	-
Número de accesorios	1	-

Figura 20. Diagrama P&ID de la planta de máchica rediseñada (3/3)



Código	Significado
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinario
U	No importante
X	Indeseable
XX	Muy indeseable

Figura 21. Análisis de proximidad de la planta de máchica rediseñada

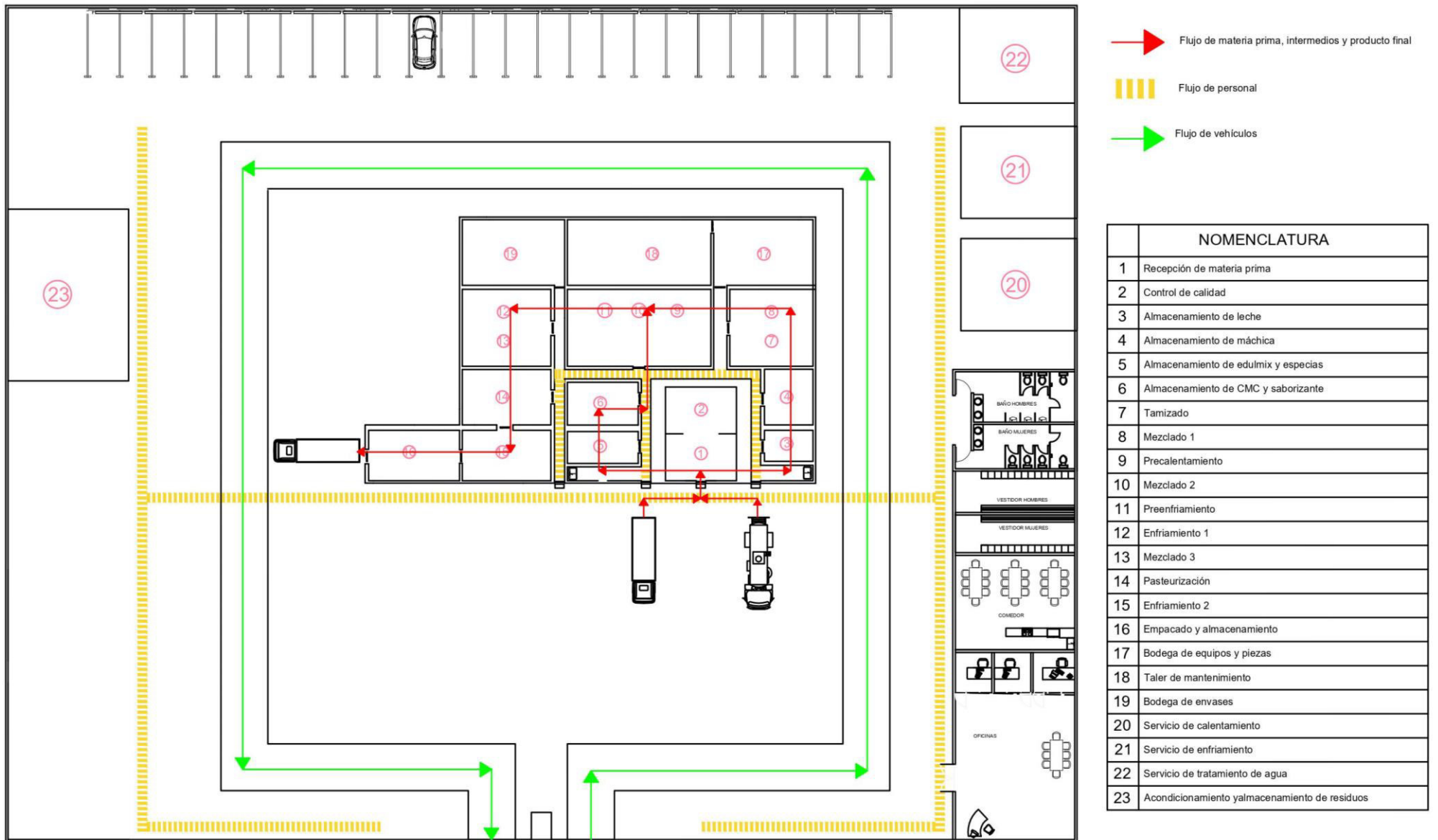


Figura 22. Layout de la planta de máchica rediseñada

4.8 DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

En la Tabla 13 se especifican las dimensiones de los equipos que intervienen en el nuevo proceso productivo. Los cálculos se detallan en el Anexo 6.

Tabla 13. Dimensiones de los equipos que intervienen en el proceso productivo

Equipo	Especificaciones				
Tanque de almacenamiento de máchica	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	21,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	0,80 m	2,01 m		0,50 m ²	1 043,72 L
Tanque de almacenamiento de leche	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	21,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	1,60 m	3,46 m		2,01 m ²	6 957,1 L
Marmita mezcladora 1	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	21,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	1,6 m	1,78 m		2,01 m ²	3 579,92 L
Sistema de agitación de la marmita 1	Longitud del brazo		Espesor del rodete	Diámetro del rodete	
	0,98 m		0,098 m	1,07 m	
	Espacio entre el fondo y la paleta		Alto de la paleta	Potencia del agitador	
	0,80 m		0,196 m	51,53 W	
Marmita mezcladora 2	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	121,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	1,8 m	2,73 m		2,54 m ²	6 936,73 L
Sistema de agitación de la marmita 2	Longitud del brazo		Espesor del rodete	Diámetro del rodete	
	1,83 m		0,18 m	1,20 m	
	Espacio entre el fondo y la paleta		Alto de la paleta	Potencia del agitador	
	0,90 m		0,37 m	92,86 W	
Marmita mezcladora 3	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	121,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	2,00 m	2,21 m		3,14 m ²	6 950,62 L
Sistema de agitación de la marmita 3	Longitud del brazo		Espesor del rodete	Diámetro del rodete	
	1,71 m		0,17 m	1,30 m	
	Espacio entre el fondo y la paleta		Alto de la paleta	Potencia del agitador	
	0,5 m		0,34 m	157,27 W	
Intercambiador de calor 1	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	121,11 °C			7,4 atm	
	Área de transferencia			Longitud	
	34 m ²			21 m	
	ÁNULO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa

Equipo	Especificaciones				
	5,08 cm	5,64 m	6,03 cm	3,6 cm ²	931,62 $\frac{kg}{cm^2h}$
	TUBO INTERNO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa
	3,18 cm	3,86 m	4,22 cm	11,7 cm ²	551,92 $\frac{kg}{cm^2h}$
Intercambiador de calor 2	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	121,11°C			7,4 atm	
	Área de transferencia			Longitud	
	132 m ²			82,5 m	
	ÁNULO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa
	5,08 cm	5,64 m	6,03 cm	3,6 cm ²	551,92 $\frac{kg}{cm^2h}$
	TUBO INTERNO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa
	3,18 cm	3,86 m	4,22 cm	11,7 cm ²	550,81 $\frac{kg}{cm^2h}$
Intercambiador de calor 3	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	121,11°C			7,4 atm	
	Área de transferencia			Longitud	
	9,3 m ²			5,82 m	
	ÁNULO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa
	5,08 cm	5,64 m	6,03 cm	3,6 cm ²	551,92 $\frac{kg}{cm^2h}$
	TUBO INTERNO				
	Diámetro nominal	Diámetro interno	Diámetro externo	Área	Velocidad de masa
	3,18 cm	3,86 m	4,22 cm	11,7 cm ²	13,54 $\frac{kg}{cm^2h}$
Enfriador 1	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	21,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	1,8 m	2,73 m		2,54 m ²	6 936,73 L
Enfriador 2	Temperatura de diseño			Presión de diseño	
	21,11 °C			1,02 atm	
	Diámetro	Altura		Área	Volumen
	1,8 m	2,73 m		2,54 m ²	6 950,62 L

5 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

El estudio de prefactibilidad económica que se detalla en este apartado pretende evaluar si el proyecto es viable o no.

5.1 INVERSIÓN

En la Tabla 14 se especifica la inversión total que se requiere para instalar y poner en marcha la planta de colada de máchica.

Tabla 14. Inversión total

Inversiones	Valor (USD)	Porcentaje (%)
Inversión fija	328 482	11,92
Capital de operaciones	2 426 227	88,08
INVERSIÓN TOTAL	2 754 710	100

La inversión fija y el capital de operaciones abarcan varios rubros que se detallan en las Tablas 15 y 16.

Tabla 15. Inversión fija total

Rubro	Valor (USD)	Porcentaje (%)
Terrenos y construcciones	173 580	52,84
Maquinaria y equipo	61 122	18,61
Otros activos	78 138	23,79
Imprevistos de la inversión	15 642	4,76
INVERSIÓN FIJA TOTAL	328 482	100

Tabla 16. Capital de operaciones

Rubro	Valor (USD)	Porcentaje (%)
Materiales directos	1 980 596	81,63
Mano de obra directa	4 050	0,17
Carga fabril	386 412	15,93
Gastos de administración	3 595	0,15
Gastos por ventas	1 647	0,07
Reserva de productos terminados	49 515	2,04
Cuentas por cobrar	412	0,02
CAPITAL DE OPERACIONES	2 426 227	100

5.2 COSTOS Y GASTOS

El proyecto incurre en diversos costos y gastos, los cuales se indican en la Tabla 17.

Tabla 17. Costos y gastos totales

Rubro	Valor (USD)	Porcentaje (%)
Costos directos	11 883 575	71,68
Carga fabril	4 652 503	27,94
Gastos administrativos	43 794	0,12
Gastos por ventas	19 767	0,26
TOTAL	16 601 022	100

5.3 INGRESOS POR VENTAS

En la Tabla 18 se exponen los ingresos por ventas de la colada de máchica con sabor a mora.

Tabla 18. Ingresos por ventas

Producto	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Fundas de colada de máchica (500 mL)	25 336 320	0,70	17 735 424

5.4 PUNTO DE EQUILIBRIO

En la Figura 23 se presenta el punto de equilibrio, que corresponde a un 40,43 % de la capacidad instalada. En este punto la empresa no tendría pérdidas ni ganancias, pero si las ventas incrementan a partir de este punto, se lograría obtener ganancias.

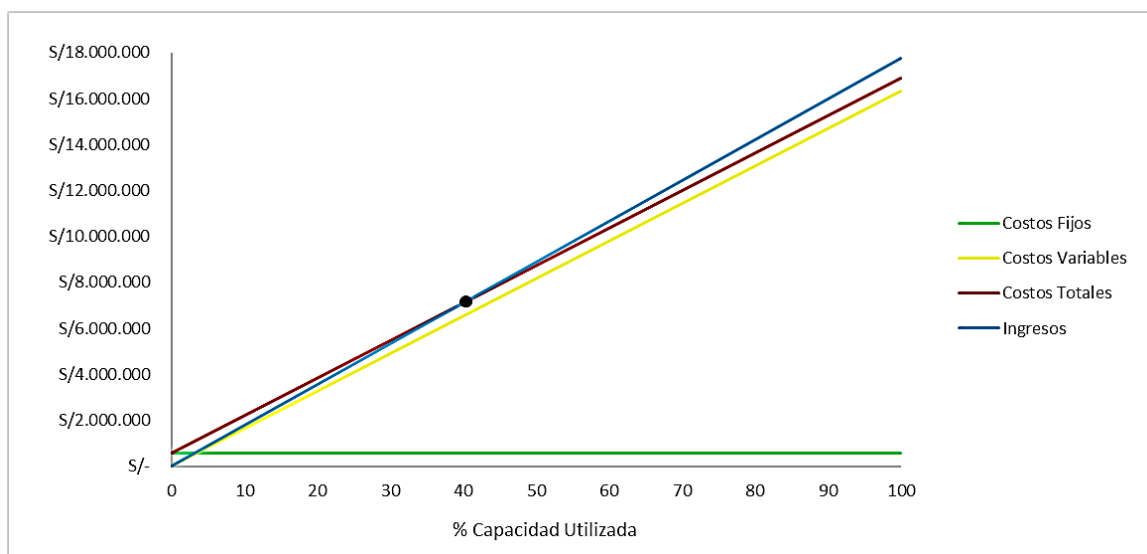


Figura 23. Punto de equilibrio

5.5 TIR Y VAN

El valor actual neto y la tasa interna de retorno se estimaron a través del flujo neto de fondos que se encuentra en el Anexo 7. El VAN tiene un valor de USD 7 838 809 y el TIR es igual a 32,66 %. El VAN positivo indica que el proyecto es viable, ya que en los 10 años de análisis se lograría recuperar la inversión y obtener ganancias. Ya que el TIR es mayor a la tasa de descuento que se consideró en el análisis económico, se concluye que el proyecto para elaborar colada de máchica con sabor a mora es rentable.

6 ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DEL REDISEÑO

6.1 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Los costos de ineficiencia cuantifican los beneficios económicos de las mejoras que se implementaron en este proyecto. Estos costos se obtienen al restar los costos anuales de la situación inicial de la planta y los de la planta rediseñada. Los cálculos se detallan en el Anexo 8.

El análisis de los costos de ineficiencia se llevó a cabo para los puntos críticos que se identificaron en el apartado 3.1 y son los siguientes: mezclado 2, enfriamiento 1, pasteurización y enfriamiento 2.

- **Mezclado 2**

En la Tablas 19 y 20 se presentan los costos anuales del mezclado 2 antes y después del rediseño. Por otro lado, en la Tabla 21 se especifican los costos de ineficiencia de esta operación unitaria.

Tabla 19. Costos anuales del mezclado 2 para la situación inicial de la planta

Materia prima/insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Leche	2 122 898,4	339 663,00
Azúcar	247 348,8	1 073 493,79
Clavo de olor	468,0	3 121,56
Canela	928,8	6 195,10
Pimienta dulce	1 396,8	9 316,66
Vapor	3 792 281,6	103 835 923,60

Tabla 20. Costos anuales del mezclado 2 para el rediseño de la planta

Materia prima/insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Leche	2 241 684	717 338,88
Edulmix	928,8	27 864,00
Clavo de olor	468,0	3 121,56
Canela	928,8	6 195,10
Pimienta dulce	1 396,8	9 316,66
Vapor	113 796	31 153 930,00

Tabla 21. Costos de ineficiencia del mezclado 2

Materia prima/insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Leche	339 663,00	717 338,88	-377 675,88
Azúcar/Edulmix	1 073 493,79	27 864,00	1 045 629,00
Clavo de olor	3 121,56	3 121,56	0,00
Canela	6 195,10	6 195,10	0,00
Pimienta dulce	9 316,66	9 316,66	0,00
Vapor	103 835 923,60	31 153 930,00	72 681 993,60
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			73 349 946,72

Como se observa en la Tabla 21, las alternativas de mejora que se aplicaron al mezclado 2, pueden generar un ahorro anual de 73 millones de dólares, aproximadamente. Esto fue posible principalmente por el ahorro de vapor. Cabe indicar que, a pesar de que los costos de la leche se incrementaron, ya que se reemplazó el edulmix por el azúcar, los beneficios totales son mayores.

- **Enfriamiento 1**

En la Tablas 22 y 23 se presentan los costos anuales del enfriamiento 1 antes y después del rediseño. Adicionalmente, en la Tabla 24 se especifican los costos de ineficiencia de esta operación unitaria.

Tabla 22. Costos anuales del enfriamiento 1 para la situación inicial de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	3 700 202,4	26 641,45

Tabla 23. Costos anuales del enfriamiento 1 para el rediseño de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	740 037,6	5 326,56

Tabla 24. Costos de ineficiencia del enfriamiento 1

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	26 641,45	5 326,56	21 314,89
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			21 314,89

Como se observa en la Tabla 24, la integración de calor que se aplicó al enfriamiento 1, puede generar un ahorro anual de USD 21 314.

- **Pasteurización**

En la Tablas 25 y 26 se presentan los costos anuales de la pasteurización antes y después del rediseño. Por otra parte, en la Tabla 27 se especifican los costos de ineficiencia de esta operación unitaria.

Tabla 25. Costos anuales de la pasteurización para la situación inicial de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	418 140	114 474 187,80

Tabla 26. Costos anuales de la pasteurización para el rediseño de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	114 408	31 321 478,16

Tabla 27. Costos de ineficiencia de la pasteurización

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	114 474 187,80	31 321 478,16	83 152 709,64
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			83 152 709,64

Como se observa en la Tabla 27, la integración de calor que se aplicó a la pasteurización puede generar un ahorro anual de USD 83 152 709.

- **Enfriamiento 2**

En las Tablas 28 y 29 se presentan los costos anuales del enfriamiento 2 antes y después del rediseño. Por otra parte, en la Tabla 30 se especifican los costos de ineficiencia de esta operación unitaria.

Tabla 28. Costos anuales del enfriamiento 2 para la situación inicial de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	5 264 812,8	37 906,65

Tabla 29. Costos anuales del enfriamiento 2 para el rediseño de la planta

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	2 298 722,4	16 550,80

Tabla 30. Costos de ineficiencia del enfriamiento 2

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	37 906,65	16 550,80	21 355,85
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			21 355,85

Como se observa en la Tabla 30, la integración de calor que se aplicó al enfriamiento 2, puede generar un ahorro anual de USD 21 355.

6.2 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES

Para visualizar los beneficios ambientales y sociales del proyecto, se aplicó la matriz de Leopold. En las filas de la matriz se colocaron los factores ambientales y socioeconómicos que podrían verse afectados y, en las columnas, los puntos críticos. Las interacciones entre los factores y los puntos críticos se midieron en función de su magnitud e importancia. La magnitud se cuantificó en una escala del 1 al 10, con signo positivo o negativo según el impacto sea positivo o negativo; el 1 indica la mínima afectación y el 10 la máxima afectación. La importancia también se cuantificó en una escala del 1 al 10: el 1 indica la mínima influencia y el 10 la máxima influencia. En las Figuras 24 y 25 se exponen las matrices de Leopold para la planta en su situación inicial y luego del rediseño.

		ELEMENTOS O FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES QUE PUEDEN CAUSAR UN IMPACTO AMBIENTAL				Magnitud	Importancia	Total
			Mezclado 2	Enfriamiento 1	Pasteurización	Enfriamiento 2			
SISTEMAS BIO-FÍSICO Y SOCIOECONÓMICO	AGUA	Consumo de agua	-5 / 3	-7 / 4	-6 / 3	-8 / 5	-26	15	-101
	RESIDUOS	Generación de residuos (Agua que requiere tratamiento)	-4 / 2	-6 / 3	-5 / 2	-7 / 4	-22	11	-64
	ENERGÉTICO	Consumo de energía	-5 / 2	-5 / 2	-6 / 3	-7 / 4	-23	11	-66
	SOCIOECONÓMICO	Servicios básicos	-1 / 1	-3 / 2	-2 / 1	-4 / 3	-10	7	-21
		Magnitud	-15	-21	-19	-26	-81		
		Importancia	8	11	9	16	44		
		Total	-34	-62	-48	-108			-252

Figura 24. Matriz de Leopold para la planta en su situación inicial

		ELEMENTOS O FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES QUE PUEDEN CAUSAR UN IMPACTO AMBIENTAL				Magnitud	Importancia	Total
			Mezclado 2	Enfriamiento 1	Pasteurización	Enfriamiento 2			
SISTEMAS BIO-FÍSICO Y SOCIOECONÓMICO	AGUA	Consumo de agua	-1 / 1	-3 / 2	-2 / 1	-4 / 3	-10	7	-21
	RESIDUOS	Generación de residuos (Agua que requiere tratamiento)	-1 / 2	-2 / 3	-1 / 2	-3 / 4	-7	11	-22
	ENERGÉTICO	Consumo de energía	-2 / 1	-2 / 1	-3 / 2	-4 / 3	-11	7	-22
	SOCIOECONÓMICO	Servicios básicos	1 / 1	3 / 2	2 / 1	4 / 3	10	7	21
		Magnitud	-3	-4	-4	-7	-18		
		Importancia	5	8	6	13	32		
		Total	-4	-8	-8	-24			-44

Figura 25. Matriz de Leopold para la planta luego del rediseño

De acuerdo con la información de las Figuras 24 y 25, se puede concluir que los principios de la economía circular que se aplicaron en el proyecto sí produjeron una mitigación ambiental, ya que la valoración del impacto para el consumo de agua disminuyó desde -101 hasta -21; para la generación de residuos, disminuyó desde -64 hasta -22 y para el consumo de energía disminuyó desde -66 hasta -22. Ahora bien, no solo se logró mitigar el impacto ambiental negativo, sino que el impacto en el sistema social incluso llegó a ser positivo, ya que el ahorro de agua y energía representan recursos para satisfacer las necesidades de personas y familias.

7 CONCLUSIONES

1. Los puntos críticos de la planta de producción de colada de máchica con sabor a mora en su estado inicial, es decir, los procesos en los que se concentró el más alto consumo de materiales e insumos y la mayor generación de residuos, fueron el mezclado 2, el enfriamiento 1, la pasteurización y el enfriamiento 2.
2. Las alternativas de mejora, bajo el enfoque de economía circular, que se implementaron en los puntos críticos incluyeron los siguientes componentes de las 7 Rs: reducir, recuperar y rediseñar.
3. En el mezclado 2, el consumo de materia prima se redujo de 3 293,95 kg/h a 3 118,62 kg/h, en tanto que el consumo de energía disminuyó de 322,23 kW a 96,67 kW. En el enfriamiento 1, el consumo de energía se redujo de 322,23 kW hasta 64,45 kW. En la pasteurización, el consumo de energía se redujo de 355,16 kW hasta 96,86 kW. En el enfriamiento 2, el consumo de energía se redujo de 458,47 kW hasta 200,18 kW.
4. Mediante la integración de calor que se propone implementar, se lograría recuperar 516,08 kW de energía.
5. Las alternativas de economía circular que se aplicaron en el proyecto pueden generar un ahorro anual de 156 millones de dólares, aproximadamente, lo que confirma que un sistema productivo basado en los principios de economía circular también resulta ser rentable.
6. Mediante el rediseño de la planta no solo se logró mitigar el impacto ambiental negativo, sino que el impacto en el sistema social incluso llegó a ser positivo. Esto debido a los beneficios relacionados con la generación de fuentes de empleo y el ahorro de agua y energía en el sector en el que funcionaría la planta.

8 REFERENCIAS

1. Aditivos Alimentarios. (30 de Septiembre de 2020). *Acesulfame K y Aspartame*. Obtenido de Acesulfame K y Aspartame: <https://www.aditivos-alimentarios.com/>
2. Agudelo, D., & Bedoya, O. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Lasallista*, 38-42.
3. Alpusig, C., & Torres, C. (2020). *La máchica, elaboración, historia e importancia en la gastronomía del cantón Latacunga*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31076>
4. Álvarez, E., Carrillo, L., López, J., Mercado, G., & Wall, A. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013000100005
5. AME, & INEC. (2018). *Boletín Técnico: Gestión de Residuos Sólidos*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Residuos_solidos_2018/Boletin_Tecnico_Residuos_2018.pdf
6. Ararat, C., & Murillo, E. (2016). Polietileno de baja densidad funcionalizado con un poliéster polioli altamente ramificado maleinizado. *Ingeniería y Ciencia*, 127-144.
7. Aromas y Especies. (17 de Abril de 2016). *Especies*. Obtenido de Especies: <https://www.aromasyespecies.com/categoria-producto/especies/>
8. Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2020). *Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso*. Quito. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu200078.pdf>
9. Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2021). *Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva*. Quito.
10. Astudillo, L., & Sánchez, A. (2019). *Extracción de Almidón a partir del banano (plátano) de categoría II (Musa paradisiaca) en estado verde, para la elaboración de colada instantánea fortificada y utilización de su fibra para balanceado de ganado porcino*. Cuenca.
11. Bernal, A., García, J., & López, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 217-224. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000400007#:~:text=El%20c%C3%A1lculo%20del%20tama%C3%B1o%20de,de%20la%20poblaci%C3%B3n%20de%20inter%C3%A9s.

12. Cando, M. (2010). *El empleo del CMC y CARRAGENINA en leche saborizada de cocoa (theobroma cacao l.)*. Ambato.
13. Carrera, P., & Grijalva, J. (2014). *Sistema innovador para procesos de producción y comercialización de la leche en el Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3245>
14. Choto, E. (2013). *Diseño del proceso de elaboración de una bebida nutritiva a base de máchica y leche para la molinera San Luis*. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2515#:~:text=En%20el%20Dise%C3%B1o%20del%20Proceso,bebidas%20diferentes%20con%20las%20siguientes>
15. Crespo, A. (2020). *Desarrollo de un colorante y saborizante de Rubus glaucus por maceración en frío para su posterior análisis fitoquímico, de estabilidad y sensorial*. Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34529>
16. Disproquim. (15 de Septiembre de 2020). *Productos*. Obtenido de Productos.
17. Ecuaplast. (9 de Diciembre de 2016). *Productos*. Obtenido de Productos: <https://www.ecuaplast.com/productos-ecuaplast/>
18. EEQ. (22 de Febrero de 2014). *Empresa Eléctrica Quito*. Obtenido de Empresa Eléctrica Quito: <http://www.eeq.com.ec:8080/inicio>
19. Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
20. Ellen MacArthur Foundation. (2 de Febrero de 2019). *The butterfly diagram: visualising the circular economy*. Obtenido de The butterfly diagram: visualising the circular economy: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
21. Ellen MacArthur Foundation. (8 de Agosto de 2021). *How we work*. Obtenido de How we work: <https://ellenmacarthurfoundation.org/about-us/how-we-work>
22. EPMAPS. (25 de Enero de 2022). *Agua de Quito*. Obtenido de Agua de Quito: <https://www.aguaquito.gob.ec/>
23. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Estamos gastando más de lo que poseemos*. Obtenido de <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.440.aspx.pdf>
24. Extractos Andinos. (23 de Septiembre de 2016). *Productos*. Obtenido de Productos: <https://www.extractosandinos.com/productos>
25. FAO. (27 de Octubre de 2020). *FAO en Ecuador*. Obtenido de FAO en Ecuador: <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/ru/c/1319209/>

26. Fernández, P. (2007). Extracción convencional de oleorresina de pimentón dulce y picante I. Generalidades, composición, proceso e innovaciones y aplicaciones. *Grasas y Aceites*, 252-263. Obtenido de https://redib.org/Record/oai_articulo465203-extracci%C3%B3n-convencional-de-oleorresina-de-piment%C3%B3n-dulce-y-picante-i-generalidades-composici%C3%B3n-proceso-e-innovaciones-y-aplicaciones
27. García, O., & Ocampo, O. (2014). Identificación de alternativas de producción más limpia en empresas del sector Lácteo de la región Centro sur de Caldas. En RREDSI, *IV Encuentro Regional de Semilleros de Investigación* (págs. 1591-1598). Belmonte. Obtenido de <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/36902/02836.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. Gil, M., & López, F. (2020). La importancia del agua en la industria de alimentos. *Seguridad Alimentaria*, 196-795.
29. Gil, R., Pellegrini, N., & Reyes, A. (2015). El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela. *Revista de Investigación*, 157-170.
30. Guzmán, M., & Guevara, C. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Revista Internacional de Administración*, 8, 34-56. Obtenido de <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/2407>
31. Hernández, V. (2012). *Estudio investigativo de la máchica y su aplicación gastronómica*. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/11786>
32. Holland Circular Hotspot. (7 de Diciembre de 2017). *The international gateway of the Dutch circular economy*. Obtenido de The international gateway of the Dutch circular economy: <https://hollandcircularhotspot.nl/>
33. Holland Circular Hotspot, & Netherlands Enterprise Agency. (2020). *How circular economy practices help to achieve the Sustainable Development Goals*. 20: Mayo. Obtenido de <https://hollandcircularhotspot.nl/news/out-now-how-circular-economy-practices-help-to-achieve-the-sustainable-development-goals/>
34. Indu Alimentos. (25 de Enero de 2022). *Indu Alimentos*. Obtenido de Indu Alimentos: <https://www.indualimentos.com/>
35. INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
36. INEN. (2011). *Agua Potable. Requisitos*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>
37. INEN. (2012). *Leche pasteurizada. Requisitos*. Quito.

38. Jurado, S. (2018). *Aprovechamiento del bagazo de malta de cebada como insumo en la elaboración de una barra de cereales alta en fibra*. Ibarra.
39. Kjaer, L., Pigosso, D., Niero, M., Bech, N., & McAloone, T. (2018). Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption. *Industrial Ecology*, 23(1), 22-35. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12747>
40. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800916300325?via%3Dihub>
41. Márquez, F. (2011). *Proyecto de factibilidad para la creación de una microempresa productora y comercializadora de colada de máchica envasada, ubicada en el sector sur de Quito*. Quito.
42. Mondragón, D. (2017). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. Bogotá: Fondo Editorial Areandino. Obtenido de <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1318/Formulaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Proyectos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
43. MPCEIP, & GIZ. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Quito.
44. Municipio de Guayaquil. (2018). *Ordenanza para regular el plástico de un solo uso*. Guayaquil. Obtenido de <https://apel.ec/biblioteca/guayaquil-ordenanza-para-regular-el-plastico-de-un-solo-uso/>
45. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2021). *Ordenanza Metropolitana*. Quito. Obtenido de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Ordenanzas/2021/ORD-022-2021-MET-REDUCCI%C3%93N%20PROGRESIVA%20DE%20PL%C3%81STICOS.pdf
46. Netherlands Environmental Assessment Agency. (20 de Marzo de 2017). *Opportunities for a circular economy*. Obtenido de [Opportunities for a circular economy: https://themasites.pbl.nl/o/circular-economy/](https://themasites.pbl.nl/o/circular-economy/)
47. Organisation for Economic Co-operation and Development. (21 de Febrero de 2020). *Who we are*. Obtenido de [Who we are: https://www.oecd.org/about/](https://www.oecd.org/about/)
48. Plataforma para Acelerar la Economía Circular. (2020). *The Circularity Gap Report*. Ruparo. Obtenido de <https://pacecircular.org/sites/default/files/2020-01/Circularity%20Gap%20Report%202020.pdf>

49. Platform for Accelerating the Circular Economy. (23 de Octubre de 2019). *Catalyzing global leadership from business*. Obtenido de Catalyzing global leadership from business.
50. PNUMA. (2017). *Resource Efficiency: Potencial and Economic Implications*. Obtenido de https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_report_march_2017_web_res.pdf
51. Ramírez, C. (2014). *Diseño de una planta piloto para la producción de yogur en la facultad de Ingeniería Química*. Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3037>
52. SCP Hotspots Analysis. (3 de Enero de 2022). *Standard Reports Countries at a Glance*. Obtenido de Standard Reports Countries at a Glance: <http://scphat.lifecycleinitiative.org/countries-at-a-glance/>
53. SINCAL. (2018). *Información técnica ITSI-01*. Obtenido de <http://sincal.es/descargas/conceptos-basicos.pdf>
54. SITRA. (2018). *The circular economy – a powerful force for climate mitigation*. Obtenido de <https://www.sitra.fi/en/publications/circular-economy-powerful-force-climate-mitigation/>
55. Switch to Green. (18 de Noviembre de 2020). *The EU SWITCH to Green Flagship Initiative*. Obtenido de The EU SWITCH to Green Flagship Initiative: <https://www.switchtogreen.eu/home/>
56. Waldron, K. (2007). *Handbook of waste management and co-product recovery in food processing*. Washington, DC: Woodhead Publishing Limited.

9 ANEXOS

Anexo I. Tamaño de la muestra

Anexo II. Encuesta de mercado

Anexo III. Capacidad de la planta

Anexo IV. Balance de masa

Anexo V. Balance de energía

Anexo VI. Dimensionamiento de los equipos

Anexo VII. Flujo neto de fondos

Anexo VIII. Costos de ineficiencia

ANEXO I

Tamaño de la muestra

La estimación del tamaño de la muestra se calculó mediante la siguiente ecuación expuesta por Bernal et al. (2013).

$$n = \frac{N * p * q}{\frac{e^2(N - 1)}{z^2} + (p * q)}$$

Ecuación 1 Tamaño de muestra

Donde:

n: Tamaño de la muestra

N = 2 195 198; Univerrrso

p = 50%; Probabilidad de éxito

q: 50%; Probabilidad de fracaso

e: 5%; Margen de error aceptable

z: 1,96; Coeficiente de confianza

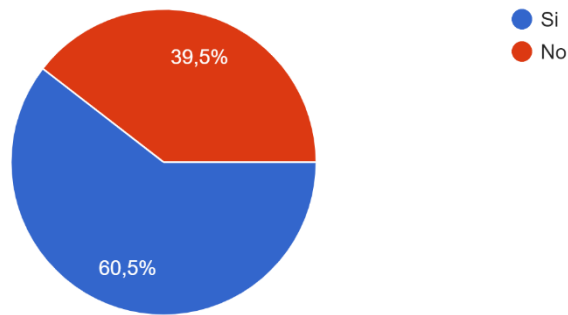
Los datos descritos anteriormente se incorporaron en la Ecuación 1 para obtener el siguiente tamaño de la muestra:

$$n = \frac{2\,195\,198 * 0,5 * 0,5}{\frac{0,05^2 * (2\,195\,198 - 1)}{1,96^2} + (0,5 * 0,5)}$$

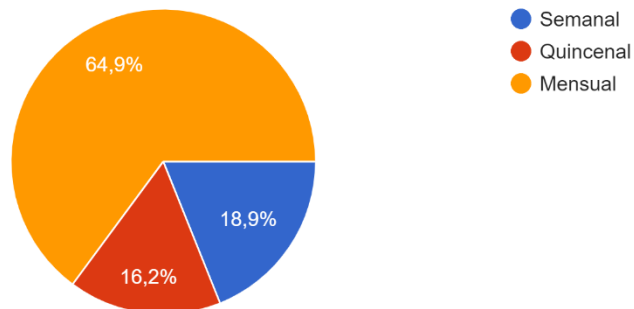
$$n = 384$$

Encuesta de mercado

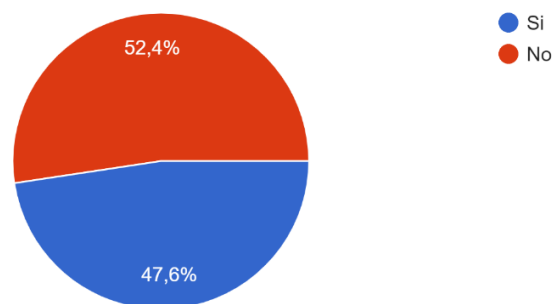
1. ¿Suele consumir colada de máchica?



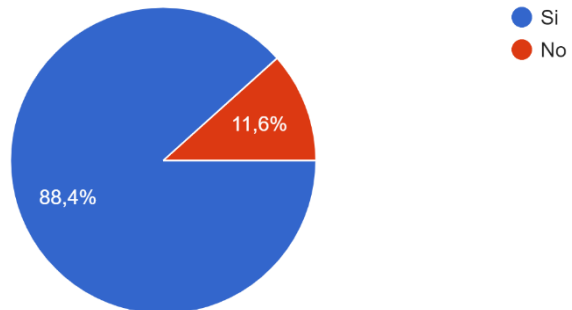
2. ¿Con qué frecuencia consume colada de máchica?



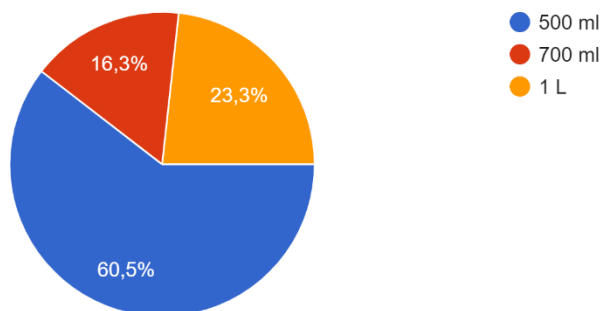
3. ¿Conoce usted que la máchica es un superalimento ya que contiene proteínas, calcio, hierro, yodo, vitaminas A, B12, C, D, E, fósforo, hierro, potasio, magnesio y ayuda al buen funcionamiento de su cuerpo?



4. ¿Estaría dispuesto o dispuesta a consumir colada de máchica con sabor a mora?



5. ¿Qué tamaño de presentación considera usted que sería el ideal para la venta de esta colada?



Capacidad de la planta

Para determinar la capacidad de la planta se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de la planta} = \frac{\text{Consumo per cápita}}{\text{frecuencia de consumo}} * PDE$$

Ecuación 2 Capacidad de la planta

Con el dato de la población demandante efectiva de la Tabla 4 y un consumo de 500 ml al mes, se tiene que:

$$\text{Capacidad de la planta} = \frac{500 \text{ ml}}{1 \text{ mes}} * 1\,940\,555$$

$$\text{Capacidad de la planta} = 970\,277,5 \frac{L}{\text{mes}} = 48\,513,88 \frac{L}{\text{día}} = 6\,064,23 \frac{L}{h}$$

ANEXO IV

Balance de masa

La fórmula para el desarrollo de la colada de máchica con sabor a mora se extrajo de Choto (2013), dicho autor expuso que la densidad de su fórmula es 1,06484 kg/L.

Por ende, la capacidad de la planta en flujo másico es igual a:

$$\text{Capacidad de la planta} = 6\,064,23 \frac{L}{h} \times \frac{1,06484 \text{ kg}}{L}$$

$$\text{Capacidad de la planta} = 6\,457,43 \frac{\text{kg de colada}}{h}$$

Con este valor se efectuó el balance de masa de atrás hacia adelante para cada operación unitaria como se describe a continuación:

- **Mezclado 3**

$$m_{\text{salida M3}} = m_{\text{salida M2}} + m_{\text{saborizante}} + m_{\text{CMC}}$$

$$m_{\text{salida M3}} = 6\,457,43 \frac{\text{kg}}{h}$$

$$m_{\text{saborizante}} = m_{\text{salida M3}} \times \frac{0,02}{100} = 1,29 \frac{\text{kg}}{h}$$

$$m_{\text{CMC}} = m_{\text{salida M3}} \times \frac{0,18}{100} = 11,62 \frac{\text{kg}}{h}$$

$$m_{\text{salida M2}} = m_{\text{salida M3}} - m_{\text{saborizante}} - m_{\text{CMC}}$$

$$m_{\text{salida M2}} = 6\,444,52 \frac{\text{kg}}{h}$$

- **Mezclado 2**

$$m_{\text{salida M2}} = m_{\text{salida M1}} + m_{\text{leche 2}} + m_{\text{edulmix}} + m_{\text{clavo de olor}} + m_{\text{canela}} + m_{\text{pimienta dulce}}$$

$$m_{leche} = m_{salida M3} * \frac{96,43}{100} = 6\,226,90 \frac{kg}{h}$$

$$m_{leche2} = \frac{m_{leche}}{2} = 3\,113,45 \frac{kg}{h}$$

$$m_{edulmix} = m_{salida M3} * \frac{0,02}{100} = 1,29 \frac{kg}{h}$$

$$m_{clavo\ de\ olor} = m_{salida M3} * \frac{0,01}{100} = 0,65 \frac{kg}{h}$$

$$m_{canela} = m_{salida M3} * \frac{0,02}{100} = 1,29 \frac{kg}{h}$$

$$m_{pimienta\ dulce} = m_{salida M3} * \frac{0,03}{100} = 1,94 \frac{kg}{h}$$

$$m_{salida M1} = m_{salida M2} - m_{leche2} - m_{edulmix} - m_{clavo\ de\ olor} - m_{canela} - m_{pimienta\ dulce}$$

$$m_{salida M1} = 3325,9 \frac{kg}{h}$$

- **Mezclado 1**

$$m_{salida M1} = m_{leche1} + m_{máchica\ tamizada}$$

$$m_{leche1} = m_{leche2} = 3\,113,45 \frac{kg}{h}$$

$$m_{máchica\ tamizada} = m_{salida M1} - m_{leche1}$$

$$m_{máchica\ tamizada} = 212,45 \frac{kg}{h}$$

- **Tamizado**

$$m_{máchica} = m_{máchica\ tamizada} + m_{fibra\ máchica}$$

$$m_{máchica} = m_{máchica \text{ tamizada}} + m_{máchica} * \frac{21,33}{100}$$

$$m_{máchica} = \frac{m_{máchica \text{ tamizada}}}{0,7867}$$

$$m_{máchica} = 270,05 \frac{kg}{h}$$

$$m_{fibra \text{ máchica}} = 57,6 \frac{kg}{h}$$

Balance de energía

Antes de aplicar el análisis *Pich*

Dentro del proceso productivo las operaciones unitarias que requieren transferencia de energía son: el mezclado 2, el enfriamiento 1, la pasteurización y el enfriamiento 2.

- **Mezclado 2**

Para el mezclado 2 se utiliza vapor de agua saturado a 120 ° C.

$$\dot{Q}_{ganado} = -\dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{m\ salida\ M2} = -\dot{Q}_{vapor\ de\ agua}$$

$$m_{salida\ M2} C_{p\ máchica} \Delta T = -m_{vapor\ de\ agua\ M2} \lambda_{vap}$$

$$6\ 444,52 \frac{kg}{h} \cdot 3,60 \frac{kJ}{kg\ ^\circ C} (70 - 20)^\circ C = -m_{vapor\ de\ agua\ M2} (-2202,1 \frac{kJ}{kg})$$

$$m_{vapor\ de\ agua\ M2} = 526,78 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\ 160\ 013,6 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\ 160\ 013,6 \frac{kJ}{h} \times \frac{1\ h}{3600\ s} = 322,23\ kW$$

- **Enfriamiento 1**

La temperatura de entrada del agua de enfriamiento es 1 °C.

$$\dot{Q}_{ganado} = -\dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{agua} = -\dot{Q}_{mexclaz}$$

$$m_{agua} C_{p_{agua}} \Delta T = -m_{salida M2} C_{p_{máchica}} \Delta T$$

$$m_{agua} 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (55 - 1)^\circ C = 6\,444,52 \frac{kg}{h} 3,60 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (70 - 20)^\circ C$$

$$m_{agua E1} = 5\,139,17 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,160\,013,45 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,160\,013,45 \frac{kJ}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} = 322,23 kW$$

- **Pasteurización**

Para la pasteurización se empleará vapor de agua saturado a 30 *psi* que equivale a 206,843 *kPa*.

$$\dot{Q}_{ganado} = -\dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{cm} = -\dot{Q}_{vapor de agua}$$

$$m_{salida M3} C_{p_{máchica}} \Delta T = -m_{vapor de agua pasteurización} \lambda_{vap}$$

$$6\,457,43 \frac{kg}{h} 3,60 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (75 - 20)^\circ C = -m_{vapor de agua pasteurización} (-2201,6 \frac{kJ}{kg})$$

$$m_{vapor de agua pasteurización} = 580,75 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,278\,571,14 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,278\,571,14 \frac{kJ}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} = 355,16 kW$$

- **Enfriamiento 2**

La temperatura de entrada del agua de enfriamiento es 1 °C.

$$\dot{Q}_{ganado} = -\dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{agua} = -\dot{Q}_{mezcla 2}$$

$$m_{agua} C_{p_{agua}} \Delta T = -m_{salida M3} C_{p_{máchica}} \Delta T$$

$$m_{agua} 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} (55 - 1)^\circ C = 6\,457,43 \frac{kg}{h} 3,60 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} (75 - 4)^\circ C$$

$$m_{agua E2} = 7\,312,24 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,650\,519,108 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{ganado} = 1\,650\,519,108 \frac{kJ}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} = 458,47 kW$$

Después de aplicar el análisis Pich

- **Mezclado 2**

Para el nuevo balance se debe considerar que la mezcla 1 ya no ingresará a 20 °C sino a 55 °C.

$$\dot{Q}_{ganado} = -\dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{m\,salida\,M2} = -\dot{Q}_{vapor\,de\,agua}$$

$$m_{salida\,M2} C_{p_{máchica}} \Delta T = -m_{vapor\,de\,agua\,M2} \lambda_{vap}$$

$$6\,444,52 \frac{kg}{h} 3,60 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} (70 - 55)^\circ C = -m_{vapor\,de\,agua\,M2} (-2202,1 \frac{kJ}{kg})$$

$$m_{\text{vapor de agua M2}} = 158,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 348\,004,08 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 348\,004,08 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 96,67 \text{ kW}$$

- **Enfriamiento 1**

Para el nuevo balance se debe considerar que la mezcla 2 ya no ingresará a 70 °C sino a 30 °C.

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = -\dot{Q}_{\text{perdido}}$$

$$\dot{Q}_{\text{agua}} = -\dot{Q}_{\text{mezcla 2}}$$

$$m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} \Delta T = -m_{\text{salida M2}} C_{p_{\text{máchica}}} \Delta T$$

$$m_{\text{agua}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (55 - 1)^\circ\text{C} = 6\,444,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}} 3,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (30 - 20)^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{agua E1}} = 1\,027,83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 232\,002,72 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 232\,002,72 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 64,45 \text{ kW}$$

- **Pasteurización**

Para el nuevo balance se debe considerar que la mezcla 3 ya no ingresará a 20 °C sino a 60 °C.

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = -\dot{Q}_{\text{perdido}}$$

$$\dot{Q}_{cm} = -\dot{Q}_{\text{vapor de agua}}$$

$$m_{\text{salida M3}} C_{p\text{máchica}} \Delta T = -m_{\text{vapor de agua pasteurización}} \lambda_{\text{vap}}$$

$$6\,457,43 \frac{\text{kg}}{\text{h}} 3,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (75 - 60)^\circ\text{C} = -m_{\text{vapor de agua pasteurización}} (-2201,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$m_{\text{vapor de agua pasteurización}} = 158,39 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 348\,701,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 348\,701,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 96,86 \text{ kW}$$

- **Enfriamiento 2**

Para el nuevo balance se debe considerar que la colada de máchica pasteurizada ya no ingresará a 75 °C sino a 35 °C.

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = -\dot{Q}_{\text{perdido}}$$

$$\dot{Q}_{\text{agua}} = -\dot{Q}_{\text{mexcla 2}}$$

$$m_{\text{agua}} C_{p\text{agua}} \Delta T = -m_{\text{salida M3}} C_{p\text{máchica}} \Delta T$$

$$m_{\text{agua}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (55 - 1)^\circ\text{C} = 6\,457,43 \frac{\text{kg}}{\text{h}} 3,60 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (35 - 4)^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{agua E2}} = 3\,192,67 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 720\,649,19 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ganado}} = 720\,649,19 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 200,18 \text{ kW}$$

Dimensionamiento de los equipos

A continuación, se plantea el dimensionamiento para los diferentes equipos que intervienen en el proceso productivo.

- **Tanque de almacenamiento de máchica**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

T_d : temperatura de diseño en °F

T_{op} : temperatura de operación en °F

A y B : parámetros ajustables en °F

$$T_d = 68 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 70$$

$$T_d = 70 \text{ } ^\circ F = 21,11 \text{ } ^\circ C$$

Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

P_d : presión de diseño en psia

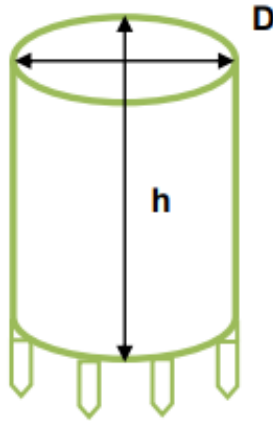
P_{op} : temperatura de operación en psia

A y B : parámetros ajustables en psia

$$P_d = 14,69 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 15$$

$$P_d = 15 \text{ psia} = 1,02 \text{ atm}$$

Dimensiones



Datos

$$\rho_{máchica} = 0,384 \frac{kg}{L}$$

$$m_{máchica} = 1\,350,25 \frac{kg}{semana}$$

$$D = 0,80 \text{ m}$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

Donde:

m : masa en kg

V_r : volumen real en (L)

ρ : densidad en (kg/L)

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{1\,350,25 \text{ kg}}{0,384 \text{ kg/L}}$$

$$V_r = 3\,516,28 \text{ L}$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V: volumen corregido o de seguridad en (L)

f_s : factor de seguridad

V_r : volumen real en (L)

$$V = 0,15 * 3\ 516,28\ L$$

$$V = 527,44\ L$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

V_t : volumen total en (L)

V: volumen corregido en (L)

V_r : volumen real en (L)

$$V_t = 527,44\ L + 3\ 516,28\ L$$

$$V_t = 1\ 043,72\ L = 1,04\ m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área del tanque en (m^2)

D: diámetro del tanque en (m)

$$A = \frac{\pi * 0,8^2}{4}$$

$$A = 0,50 \text{ m}^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V_t : volumen del tanque en (m^3)

r : radio del tanque en (m)

h : altura del tanque en (m)

$$h = \frac{1,04 \text{ m}^3}{\pi * 0,4^2 \text{ m}^2}$$

$$h = 2,01 \text{ m}$$

- **Tanque de almacenamiento de leche**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$T_d = 68 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 70$$

$$T_d = 70 \text{ } ^\circ\text{F} = 21,11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

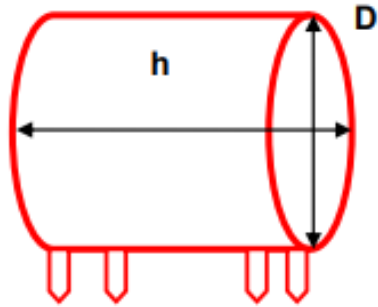
Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$P_d = 14,69 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 15$$

$$P_d = 15 \text{ psia} = 1,02 \text{ atm}$$

Dimensiones



Datos

$$\rho_{leche} = 1,0293 \frac{kg}{L}$$

$$m_{leche} = 6\,226,9 \frac{kg}{semana}$$

$$D = 1,6 \text{ m}$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{6\,226,9 \text{ kg}}{1,0293 \text{ kg/L}}$$

$$V_r = 6\,049,65 \text{ L}$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

$$V = 0,15 * 6\,049,65 \text{ L}$$

$$V = 907,45 \text{ L}$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 907,45 L + 6 049,65 L$$

$$V_t = 6 957,1 L = 6,96 m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 1,6^2}{4}$$

$$A = 2,01 m^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{6,96 m^3}{\pi * 0,8^2 m^2}$$

$$h = 3,46 m$$

- **Marmita mezcladora 1**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

T_d : temperatura de diseño en °F

T_{op} : temperatura de operación en °F

A y B : parámetros ajustables en °F

$$T_d = 68 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 70$$

$$T_d = 70^\circ F = 21,11^\circ C$$

Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

P_d : presión de diseño en psia

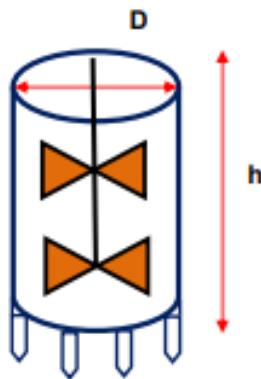
P_{op} : temperatura de operación en psia

A y B : parámetros ajustables en psia

$$P_d = 14,69 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 15$$

$$P_d = 15 \text{ psia} = 1,02 \text{ atm}$$

Dimensiones



Datos

$$\rho_{mezcla\ 1} = 1,0684 \frac{kg}{L}$$

$$m_{mezcla\ 1} = 3\ 325,9 \frac{kg}{h}$$

$$D = 1,6 \text{ m}$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

Donde:

m : masa en kg

V_r : volumen real en (L)

ρ : densidad en (kg/L)

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{3\,325,9\text{ kg}}{1,0684\text{ kg/L}}$$

$$V_r = 3\,112,97\text{ L}$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V : volumen corregido o de seguridad en (L)

f_s : factor de seguridad

V_r : volumen real en (L)

$$V = 0,15 * 3\,112,97\text{ L}$$

$$V = 466,95\text{ L}$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

V_t : volumen total en (L)

V : volumen corregido en (L)

V_r : volumen real en (L)

$$V_t = 466,95 L + 3\ 112,97 L$$

$$V_t = 3\ 579,92 L = 3,58 m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: área del tanque en (m^2)

D: diámetro del tanque en (m)

$$A = \frac{\pi * 1,6^2}{4}$$

$$A = 2,01 m^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V_t : volumen del tanque en (m^3)

r: radio del tanque en (m)

h: altura del tanque en (m)

$$h = \frac{3,58 m^3}{\pi * 0,8^2 m^2}$$

$$h = 1,78 m$$

Sistema de agitación

Longitud del brazo de agitación

$$L_f = \frac{1}{2}D$$

$$L_b = h - L_f$$

Donde:

L_f : longitud entre el brazo y el fondo del tanque en (m)

D : diámetro del taque en (m)

h : altura del tanque de agitación en (m)

L_b : longitud del brazo de agitación en (m)

$$L_f = \frac{1}{2} * 1,6 \text{ m}$$

$$L_f = 0,8 \text{ m}$$

$$L_b = 1,78 \text{ m} - 0,8 \text{ m}$$

$$L_b = 0,98 \text{ m}$$

Espesor del rodete

$$E_r = \frac{1}{10}(L_b)$$

Donde:

E_r : espesor del rodete en (m)

L_b : longitud del brazo en (m)

$$E_r = \frac{1}{10}(0,98 \text{ m})$$

$$E_r = 0,098 \text{ m}$$

Diámetro del rodete

$$\phi_r = \frac{2}{3}(D)$$

Donde:

ϕ_r : diámetro del rodete en (m)

D : diámetro del tanque de agitación en (m)

$$\phi_r = \frac{2}{3}(1,6 \text{ m})$$

$$\phi_r = 1,07 \text{ m}$$

Espacio entre el fondo del tanque y la paleta

$$X = h - L_b$$

Donde:

X : distancia entre el fondo del tanque y la paleta en (m)

h : altura del tanque en (m)

L_b : longitud del brazo en (m)

$$X = 1,78 \text{ m} - 0,98 \text{ m}$$

$$X = 0,8 \text{ m}$$

Alto de la paleta

$$A_p = \frac{1}{5}L_b$$

Donde:

A_p : alto de la paleta en (m)

L_b : longitud del brazo en (m)

$$A_p = \frac{1}{5} * 0,98 \text{ m}$$

$$A_p = 0,196 \text{ m}$$

Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D^2 * N * \rho}{\mu}$$

Donde:

D : diámetro del tanque en (m)

N : número de revoluciones por segundo (rps)

μ : viscosidad dinámica del fluido en (Pa*s)

ρ : densidad del fluido en (kg/m³)

Datos:

$$D = 1,6 \text{ m}$$

$$N = 75 \text{ rpm} = 1,32 \text{ rps}$$

$$\mu = 4,535 \text{ Pa} * \text{s}$$

$$\rho = 1068,4 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{Re} = \frac{(1,6 \text{ m})^2 * 1,32 \text{ rps} * 1068,4 \text{ kg/m}^3}{4,535 \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$N_{Re} = 796,11$$

Potencia del agitador

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * D^5}$$

Donde:

N_p : número de potencia

ρ : densidad del fluido en (Kg/m³)

P : potencia en (W)

D : diámetro del tanque en (m)

N : número de revoluciones por segundo

Datos:

$$N_p = 2$$

$$P = N_p * \rho * N^3 * D^5$$

$$P = 2 * 1,0684 * 1,32^3 * 1,6^5$$

$$P = 51,53 \text{ W}$$

- **Marmita mezcladora 2**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$T_d = 158 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 70$$

$$T_d = 70^\circ F = 21,11^\circ C$$

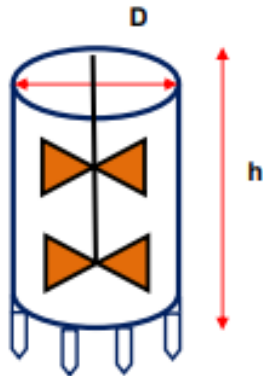
Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$P_d = 14,69 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 15$$

$$P_d = 15 \text{ psia} = 1,02 \text{ atm}$$

Dimensiones



Datos

$$\rho_{mezcla 2} = 1,0684 \frac{kg}{L}$$

$$m_{mezcla 2} = 6\,444,52 \frac{kg}{h}$$

$$D = 1,8 m$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{6\,444,52 \text{ kg}}{1,0684 \text{ kg/L}}$$

$$V_r = 6\,031,94 L$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

$$V = 0,15 * 6\,031,94 L$$

$$V = 904,79 L$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 904,79 L + 6 031,94 L$$

$$V_t = 6 936,73 L = 6,94 m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 1,8^2}{4}$$

$$A = 2,54 m^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{6,94 m^3}{\pi * 0,9^2 m^2}$$

$$h = 2,73 m$$

Sistema de agitación

Longitud del brazo de agitación

$$L_f = \frac{1}{2} D$$

$$L_b = h - L_f$$

$$L_f = \frac{1}{2} * 1,8 m$$

$$L_f = 0,9 m$$

$$L_b = 2,73 m - 0,9 m$$

$$L_b = 1,83 m$$

Espesor del rodete

$$E_r = \frac{1}{10} (L_b)$$

$$E_r = \frac{1}{10} (1,83 m)$$

$$E_r = 0,183 m$$

Diámetro del rodete

$$\phi_r = \frac{2}{3} (D)$$

$$\phi_r = \frac{2}{3} (1,8 m)$$

$$\phi_r = 1,2 m$$

Espacio entre el fondo del tanque y la paleta

$$X = h - L_b$$

$$X = 2,73 m - 1,83 m$$

$$X = 0,9 m$$

Alto de la paleta

$$A_p = \frac{1}{5} L_b$$

$$A_p = \frac{1}{5} * 1,83 \text{ m}$$

$$A_p = 0,37 \text{ m}$$

Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D^2 * N * \rho}{\mu}$$

Datos:

$$D = 1,6 \text{ m}$$

$$N = 75 \text{ rpm} = 1,32 \text{ rps}$$

$$\mu = 4,535 \text{ Pa} * \text{s}$$

$$\rho = 1068,4 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{Re} = \frac{(1,6 \text{ m})^2 * 1,32 \text{ rps} * 1068,4 \text{ kg/m}^3}{4,535 \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$N_{Re} = 1\ 007,57$$

Potencia del agitador

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * D^5}$$

Datos:

$$N_p = 2$$

$$P = N_p * \rho * N^3 * D^5$$

$$P = 2 * 1,0684 * 1,32^3 * 1,6^5 = 92,86 \text{ W}$$

- **Marmita mezcladora 3**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$T_d = 68 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 70$$

$$T_d = 70^\circ F = 21,11^\circ C$$

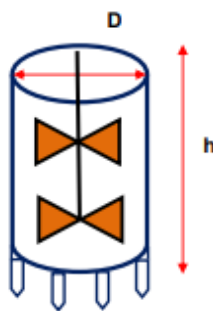
Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$P_d = 14,69 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 15$$

$$P_d = 15 \text{ psia} = 1,02 \text{ atm}$$

Dimensiones



Datos

$$\rho_{mezcla\ 3} = 1,0684 \frac{kg}{L}$$

$$m_{mezcla\ 3} = 6\ 457,43 \frac{kg}{h}$$

$$D = 2 \text{ m}$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{6\,457,43 \text{ kg}}{1,0684 \text{ kg/L}}$$

$$V_r = 6\,044,02 \text{ L}$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

$$V = 0,15 * 6\,044,02 \text{ L}$$

$$V = 906,6 \text{ L}$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 906,6 \text{ L} + 6\,044,02 \text{ L}$$

$$V_t = 6\,950,62 \text{ L} = 6,95 \text{ m}^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 2^2}{4}$$

$$A = 3,14 \text{ m}^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{6,95 \text{ m}^3}{\pi * 1^2 \text{ m}^2}$$

$$h = 2,21 \text{ m}$$

Sistema de agitación

Longitud del brazo de agitación

$$L_f = \frac{1}{2} D$$

$$L_b = h - L_f$$

$$L_f = \frac{1}{2} * 1 \text{ m}$$

$$L_f = 0,5 \text{ m}$$

$$L_b = 2,21 \text{ m} - 0,5 \text{ m}$$

$$L_b = 1,71 \text{ m}$$

Espesor del rodete

$$E_r = \frac{1}{10} (L_b)$$

$$E_r = \frac{1}{10} (1,71 \text{ m})$$

$$E_r = 0,171 \text{ m}$$

Diámetro del rodete

$$\phi_r = \frac{2}{3}(D)$$

$$\phi_r = \frac{2}{3}(2 \text{ m})$$

$$\phi_r = 1,3 \text{ m}$$

Espacio entre el fondo del tanque y la paleta

$$X = h - L_b$$

$$X = 2,21 \text{ m} - 1,71 \text{ m}$$

$$X = 0,5 \text{ m}$$

Alto de la paleta

$$A_p = \frac{1}{5}L_b$$

$$A_p = \frac{1}{5} * 1,71 \text{ m}$$

$$A_p = 0,34 \text{ m}$$

Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D^2 * N * \rho}{\mu}$$

Datos:

$$D = 1,6 \text{ m}$$

$$N = 75 \text{ rpm} = 1,32 \text{ rps}$$

$$\mu = 4,535 \text{ Pa} * \text{s}$$

$$\rho = 1068,4 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{Re} = \frac{(2 \text{ m})^2 * 1,32 \text{ rps} * 1068,4 \text{ kg/m}^3}{4,535 \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$N_{Re} = 1\,243,91$$

Potencia del agitador

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * D^5}$$

Datos:

$$N_p = 2$$

$$P = N_p * \rho * N^3 * D^5$$

$$P = 2 * 1,0684 * 1,32^3 * 2^5$$

$$P = 157,27 \text{ W}$$

- Intercambiador de calor 1

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

T_d : temperatura de diseño en °F

T_{op} : temperatura de operación en °F

A y B : parámetros ajustables en °F

$$T_d = 131 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 250$$

$$T_d = 250 \text{ °F} = 121,11 \text{ °C}$$

Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

P_d : presión de diseño en psia

P_{op} : temperatura de operación en psia

A y B : parámetros ajustables en psia

$$P_d = 80 * \left(1 + \frac{5}{100}\right) + 25$$

$$P_d = 109 \text{ psia} = 7,4 \text{ atm}$$

De acuerdo con Córdova (2019), los datos de la Tabla 31 podrían ser las dimensiones de los posibles diámetros para un intercambiador de tubos concéntricos.

Tabla 31 Posibles dimensiones del intercambiador de calor

ÁNULO		
Diámetro Nominal (cm)	Diámetro Interno (cm)	Diámetro externo (cm)
5,08	5,64	6,03
TUBO		
Diámetro Nominal (cm)	Diámetro Interno (cm)	Diámetro externo (cm)
3,18	3,86	4,22

Área del ánulo

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

Donde:

A_a : Área de flujo del ánulo

D_{ext} : Diámetro exterior

D_{int} : Diámetro interno

$$A_a = \frac{\pi}{4}(6,03^2 - 5,64^2)$$

$$A_a = 3,57 \text{ cm}^2$$

Área del tubo

$$A_T = \frac{\pi}{4}(D_{int}^2)$$

Donde:

A_a : Área de flujo del tubo

D_{int} : Diámetro interno del tubo

$$A_T = \frac{\pi}{4}(3,86^2)$$

$$A_T = 11,7 \text{ cm}^2$$

Velocidad de masa del ánulo

$$G_a = \frac{\dot{m}_H}{A_a}$$

Donde:

G_a : velocidad de masa del ánulo

\dot{m}_H : flujo másico del vapor

A_a : área de flujo del ánulo

$$G_a = \frac{3\,325,9 \text{ kg/h}}{3,57 \text{ cm}^2}$$

$$G_a = 931,62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Velocidad de masa del tubo

$$G_T = \frac{\dot{m}_C}{A_T}$$

Donde:

G_T : velocidad de masa del tubo

\dot{m}_C : flujo másico del tubo

A_T : área de flujo del tubo

$$G_T = \frac{6\,457,43 \text{ kg/h}}{11,7 \text{ cm}^2}$$

$$G_T = 551,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Área de transferencia de calor

$$A = \frac{\dot{Q}}{MLTD * U}$$

Donde:

A : área de transferencia de calor

\dot{Q} : flujo de calor

$MLTD$: diferencia de temperatura media logarítmica

U : coeficiente global de transferencia de calor

$$A = \frac{419\,063,4 \text{ kJ/h}}{\frac{(75 - 55)^\circ\text{C} - (35 - 20)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{75 - 55}{35 - 20}\right)} * 704 \frac{\text{kJ}}{\text{h}^\circ\text{C m}^2}} = 34 \text{ m}^2$$

Longitud requerida

$$L = \frac{A}{\text{superficie por metro lineal}}$$

Donde:

L: longitud requerida

A: área de transferencia de calor

$$L = \frac{34 \text{ m}^2}{1,6 \text{ m}}$$

$$L = 21 \text{ m}$$

- **Intercambiador de calor 2**

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$T_d = 86 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 250$$

$$T_d = 250 \text{ } ^\circ F = 121,11 \text{ } ^\circ C$$

Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

$$P_d = 80 * \left(1 + \frac{5}{100}\right) + 25$$

$$P_d = 109 \text{ psia} = 7,4 \text{ atm}$$

Área del ánulo

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} (6,03^2 - 5,64^2) = 3,57 \text{ cm}^2$$

Área del tubo

$$A_T = \frac{\pi}{4} (D_{int}^2)$$

$$A_T = \frac{\pi}{4} (3,86^2)$$

$$A_T = 11,7 \text{ cm}^2$$

Velocidad de masa del ánulo

$$G_a = \frac{\dot{m}_H}{A_a}$$

$$G_a = \frac{6\,457,43 \text{ kg/h}}{11,7 \text{ cm}^2}$$

$$G_a = 551,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Velocidad de masa del tubo

$$G_T = \frac{\dot{m}_C}{A_T}$$

$$G_T = \frac{6\,444,52 \text{ kg/h}}{11,7 \text{ cm}^2}$$

$$G_T = 550,81 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Área de transferencia de calor

$$A = \frac{\dot{Q}}{MLTD * U}$$

$$A = \frac{928\,010,88 \text{ kJ/h}}{\frac{(70 - 60,1)^\circ\text{C} - (30 - 20)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{70 - 60,1}{30 - 20}\right)} * 704 \frac{\text{kJ}}{\text{h}^\circ\text{C m}^2}}$$

$$A = 132 \text{ m}^2$$

Longitud requerida

$$L = \frac{A}{\text{superficie por metro lineal}}$$

$$L = \frac{132 \text{ m}^2}{1,6 \text{ m}}$$

$$L = 82,5 \text{ m}$$

- Intercambiador de calor 3

Temperatura de diseño

$$T_d = T_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

T_d : temperatura de diseño en °F

T_{op} : temperatura de operación en °F

A y B : parámetros ajustables en °F

$$T_d = 167 * \left(1 + \frac{-100}{100}\right) + 250$$

$$T_d = 250 \text{ }^\circ\text{F} = 121,11 \text{ }^\circ\text{C}$$

Presión de diseño

$$P_d = P_{op} * \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B$$

Donde:

P_d : presión de diseño en psia

P_{op} : temperatura de operación en psia

A y B : parámetros ajustables en psia

$$P_d = 80 * \left(1 + \frac{5}{100}\right) + 25$$

$$P_d = 109 \text{ psia} = 7,4 \text{ atm}$$

Área del ánulo

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

Donde:

A_a : Área de flujo del ánulo

D_{ext} : Diámetro exterior

D_{int} : Diámetro interno

$$A_a = \frac{\pi}{4} (6,03^2 - 5,64^2)$$

$$A_a = 3,57 \text{ cm}^2$$

Área del tubo

$$A_T = \frac{\pi}{4} (D_{int}^2)$$

Donde:

A_a : Área de flujo del tubo

D_{int} : Diámetro interno del tubo

$$A_T = \frac{\pi}{4}(3,86^2)$$

$$A_T = 11,7 \text{ cm}^2$$

Velocidad de masa del ánulo

$$G_a = \frac{\dot{m}_H}{A_a}$$

Donde:

G_a : velocidad de masa del ánulo

\dot{m}_H : flujo másico del vapor

A_a : área de flujo del ánulo

$$G_a = \frac{6\,457,43 \text{ kg/h}}{11,7 \text{ cm}^2}$$

$$G_a = 551,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Velocidad de masa del tubo

$$G_T = \frac{\dot{m}_C}{A_T}$$

Donde:

G_T : velocidad de masa del tubo

\dot{m}_C : flujo másico del tubo

A_T : área de flujo del tubo

$$G_T = \frac{158,39 \text{ kg/h}}{11,7 \text{ cm}^2}$$

$$G_T = 13,54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 * \text{h}}$$

Área de transferencia de calor

$$A = \frac{\dot{Q}}{MLTD * U}$$

Donde:

A: área de transferencia de calor

\dot{Q} : flujo de calor

MLTD: diferencia de temperatura media logarítmica

U: coeficiente global de transferencia de calor

$$A = \frac{348\,701,22 \text{ kJ/h}}{\frac{(121 - 75)^\circ\text{C} - (121 - 60)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{121 - 75}{121 - 60}\right)} * 704 \frac{\text{kJ}}{\text{h}^\circ\text{C m}^2}}$$

$$A = 9,31 \text{ m}^2$$

Longitud requerida

$$L = \frac{A}{\text{superficie por metro lineal}}$$

Donde:

L: longitud requerida

A: área de transferencia de calor

$$L = \frac{9,31 \text{ m}^2}{1,6 \text{ m}}$$

$$L = 5,82 \text{ m}$$

• Enfriador 1

Datos

$$\rho_{mezcla\ 1} = 1,0684 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

$$m_{\text{mezcla preenfriada}} = 6\,444,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$D = 1,8 \text{ m}$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

Donde:

m : masa en kg

V_r : volumen real en (L)

ρ : densidad en (kg/L)

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{6\,444,52 \text{ kg}}{1,0684 \text{ kg/L}}$$

$$V_r = 6\,031,94 \text{ L}$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

Donde:

V : volumen corregido o de seguridad en (L)

f_s : factor de seguridad

V_r : volumen real en (L)

$$V = 0,15 * 6\,031,94 \text{ L}$$

$$V = 904,79 \text{ L}$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

Donde:

V_t : volumen total en (L)

V : volumen corregido en (L)

V_r : volumen real en (L)

$$V_t = 904,79 L + 6\,031,94 L$$

$$V_t = 6\,936,73 L = 6,94 m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A : área del tanque en (m^2)

D : diámetro del tanque en (m)

$$A = \frac{\pi * 1,8^2}{4}$$

$$A = 2,54 m^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V_t : volumen del tanque en (m^3)

r : radio del tanque en (m)

h : altura del tanque en (m)

$$h = \frac{6,94 m^3}{\pi * 0,9^2 m^2}$$

$$h = 2,73 m$$

- **Enfriador 2**

Datos

$$\rho_{mezcla\ pasteurizada} = 1,0684 \frac{kg}{L}$$

$$m_{mezcla\ pasteurizada} = 6\ 457,43 \frac{kg}{h}$$

$$D = 1,8\ m$$

Volumen real (V_r)

$$\rho = \frac{m}{V_r}$$

$$V_r = \frac{m}{\rho} = \frac{6\ 457,43\ kg}{1,0684\ kg/L}$$

$$V_r = 6\ 044,02\ L$$

Volumen corregido o de seguridad (V)

$$V = f_s * V_r$$

$$V = 0,15 * 6\ 044,02\ L$$

$$V = 906,6\ L$$

Volumen total (V_t)

$$V_t = V + V_r$$

$$V_t = 906,6\ L + 6\ 044,02\ L$$

$$V_t = 6\ 950,62\ L = 6,95\ m^3$$

Determinación del área

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 1,8^2}{4}$$

$$A = 2,54 \text{ m}^2$$

Determinación de la altura

$$V_t = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{6,95 \text{ m}^3}{\pi * 0,9^2 \text{ m}^2}$$

$$h = 2,73 \text{ m}$$

Flujo neto de fondos

Tabla 32. Flujo neto de fondos con proyección para 10 años

CONCEPTO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	2754709,67										
Ingreso por ventas	0	17735424	18451492	19196471	19971528	20777879	21616786	22489563	23397579	24342257	25325075
Costos Directos	0	11899775	12375766	12870797	13385629	13921054	14477896	15057012	15659292	16285664	16937090
Carga Fabril	0	4637686	4823194	5016121	5216766	5425437	5642454	5868153	6102879	6346994	6600873
Gastos Ventas	0	19767	20558	21380	22235	23125	24050	25012	26012	27053	28135
Gastos Administrativos	0	43794	45546	47368	49262	51233	53282	55413	57630	59935	62332
Costos Totales	0	16601022	17265063	17955666	18673892	19420848	20197682	21005589	21845813	22719645	23628431
UTILIDAD MARGINAL	0	1134402	1186429	1240805	1297636	1357031	1419104	1483974	1551767	1622612	1696644
Impuestos	0	283600	296607	310201	324409	339258	354776	370994	387942	405653	424161
Valor Rescate Infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86790,00
Valor Rescate Equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13926,03
FLUJO NETO EFECTIVO	-2754709,67	850801	889822	930604	973227	1017773	1064328	1112981	1163825	1216959	1373199
VALOR ACTUAL	-2754709,67	850801	889822	930604	973227	1017773	1064328	1112981	1163825	1216959	1373199
Rentabilidad anual		5,12%	5,15%	5,18%	5,21%	5,24%	5,27%	5,30%	5,33%	5,36%	5,81%
VAN	7838808,85										
TIR	32,66%										

Costos de ineficiencia

Los costos de ineficiencia se calcularon para los puntos críticos de la Figura 3.

- **Mezclado 2**

Situación Inicial

Tabla 33. Materias primas e insumos del mezclado 2 en la situación inicial

Materias primas e insumos	Cantidad	Unidades
Leche	5 896,94	kg/día
Azúcar	687,08	kg/día
Clavo de olor	1,3	kg/día
Canela	2,58	kg/día
Pimienta dulce	3,88	kg/día
Vapor	1 053,56	kg/día

Tabla 34. Indicadores de costos para el mezclado 2 en la situación inicial

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo de la leche	0,32	\$/kg
Costo del azúcar	4,34	\$/kg
Costo del clavo de olor	6,67	\$/kg
Costo de la canela	6,67	\$/kg
Costo de la pimienta dulce	6,67	\$/kg
Costo para producir vapor	273,77	\$/kg

Leche

$$Costo_{anual} = 5\,896,94 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,32 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 679\,327,5 \frac{\$}{año}$$

Azúcar

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 687,08 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{4,34 \$}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 1\,073\,493,79 \frac{\$}{\text{año}}$$

Clavo de olor

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 3\,121,56 \frac{\$}{\text{año}}$$

Canela

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 2,58 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 6\,195,1 \frac{\$}{\text{año}}$$

Pimienta dulce

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 3,88 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 9\,316,66 \frac{\$}{\text{año}}$$

Vapor

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 1\,053,56 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{273,77 \$}{\text{kg}}$$

$$\text{Costo}_{\text{anual}} = 103\,835\,923,6 \frac{\$}{\text{año}}$$

Tabla 35. Costos anuales del mezclado 2 en la situación inicial

Materia prima/insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Leche	2 122 898,4	339 663
Azúcar	247 348,8	1 073 493,79
Clavo de olor	468	3 121,56
Canela	928,8	6 195,1
Pimienta dulce	1 396,8	9 316,66
Vapor	3 792 281,6	103 835 923,6

Rediseño

Tabla 36. Materias primas e insumos del mezclado 2 en el rediseño

Materias primas e insumos	Cantidad	Unidades
Leche	6 226,9	kg/día
Edulmix	2,58	kg/día
Clavo de olor	1,3	kg/día
Canela	2,58	kg/día
Pimienta dulce	3,88	kg/día
Vapor	316,1	kg/día

Tabla 37. Indicadores de costos para el mezclado 2 en el rediseño

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo de la leche	0,32	\$/kg
Costo del edulmix	30	\$/kg
Costo del clavo de olor	6,67	\$/kg
Costo de la canela	6,67	\$/kg
Costo de la pimienta dulce	6,67	\$/kg
Costo para producir vapor	273,77	\$/kg

Leche

$$Costo_{anual} = 6\,226,9 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,32 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 717\,338,88 \frac{\$}{año}$$

Edulmix

$$Costo_{anual} = 2,58 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{30 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 27\ 864 \frac{\$}{año}$$

Clavo de olor

$$Costo_{anual} = 1,3 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 3\ 121,56 \frac{\$}{año}$$

Canela

$$Costo_{anual} = 2,58 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 6\ 195,1 \frac{\$}{año}$$

Pimienta dulce

$$Costo_{anual} = 3,88 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{6,67 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 9\ 316,66 \frac{\$}{año}$$

Vapor

$$Costo_{anual} = 316,1 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{273,77 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 31\ 153\ 930 \frac{\$}{año}$$

Tabla 38. Costos anuales del mezclado 2 en el rediseño

Materia prima/insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Leche	2 241 684	717 338,88
Edulmix	928,8	27 864
Clavo de olor	468	3 121,56
Canela	928,8	6 195,1
Pimienta dulce	1 396,8	9 316,66
Vapor	113 796	31 153 930

Costos de ineficiencia

Tabla 39. Costos totales de ineficiencia del mezclado 2

Materia prima/insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Leche	339 663	717 338,88	-377 675,88
Edulmix	1 073 493,79	27 864	1 045 629
Clavo de olor	3 121,56	3 121,56	0
Canela	6 195,1	6 195,1	0
Pimienta dulce	9 316,66	9 316,66	0
Vapor	103 835 923,6	31 153 930	72 681 993,6
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			73 349 946,72

- **Enfriamiento 1**

Situación Inicial

Tabla 40. Insumos del enfriamiento 1 en la situación inicial

Insumo	Cantidad	Unidades
Agua	10 278,34	kg/día

Tabla 41. Indicadores de costos para el enfriamiento 1 en la situación inicial

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo del agua	0,0072	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 10\,278,34 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,0072 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 26\,641,45 \frac{\$}{año}$$

Tabla 42. Costos anuales del enfriamiento 1 en la situación inicial

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	3 700 202,4	26 641,45

Rediseño

Tabla 43. Insumos del enfriamiento 1 en el rediseño

Insumo	Cantidad	Unidades
Agua	2 055,66	kg/día

Tabla 44. Indicadores de costos para el enfriamiento 1 en el rediseño

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo del agua	0,0072	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 2\,055,66 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,0072 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 5\,326,56 \frac{\$}{año}$$

Tabla 45. Costos anuales del enfriamiento 1 en el rediseño

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	740 037,6	5 326,56

Costos de ineficiencia

Tabla 46. Costos totales de ineficiencia del enfriamiento 1

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	26 641,45	5 326,56	21 314,89
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			21 314,89

- **Pasteurización**

Situación Inicial

Tabla 47. Insumos de la pasteurización en la situación inicial

Insumo	Cantidad	Unidades
Vapor	1 161,5	kg/día

Tabla 48. Indicadores de costos para la pasteurización en la situación inicial

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo para producir vapor	273,77	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 1\,161,5 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{273,77 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 114\,474\,187,8 \frac{\$}{año}$$

Tabla 49. Costos anuales de la pasteurización en la situación inicial

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	418 140	114 474 187,8

Rediseño

Tabla 50. Insumos de la pasteurización en el rediseño

Insumo	Cantidad	Unidades
Vapor	317,8	kg/día

Tabla 51. Indicadores de costos para la pasteurización en el rediseño

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo para producir vapor	273,77	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 317,8 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{273,77 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 31\,321\,478,16 \frac{\$}{año}$$

Tabla 52. Costos anuales de la pasteurización en el rediseño

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	114 408	31 321 478,16

Costos de ineficiencia

Tabla 53. Costos totales de ineficiencia de la pasteurización

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	114 474 187,8	31 321 478,16	83 152 709,64
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			83 152 709,64

- **Enfriamiento 2**

Situación Inicial

Tabla 54. Insumos del enfriamiento 2 en la situación inicial

Insumo	Cantidad	Unidades
Agua	14 624,48	kg/día

Tabla 55. Indicadores de costos para el enfriamiento 2 en la situación inicial

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo del agua	0,0072	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 14\,624,48 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,0072 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 37\,906,65 \frac{\$}{año}$$

Tabla 56. Costos anuales del enfriamiento 2 en la situación inicial

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	5 264 812,8	37 906,65

Rediseño

Tabla 57. Insumos del enfriamiento 2 en el rediseño

Insumo	Cantidad	Unidades
Agua	6 385,34	kg/día

Tabla 58. Indicadores de costos para el enfriamiento 2 en el rediseño

Indicador	Tarifa	Unidades
Costo del agua	0,0072	\$/kg

Agua

$$Costo_{anual} = 6\,385,34 \frac{kg}{día} \times \frac{360 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0,0072 \$}{kg}$$

$$Costo_{anual} = 16\,550,8 \frac{\$}{año}$$

Tabla 59. Costos anuales del enfriamiento 2 en el rediseño

Insumo	Cantidad al año (kg)	Costo total (USD)
Agua	2 298 722,4	16 550,8

Costos de ineficiencia

Tabla 60. Costos totales de ineficiencia del enfriamiento 2

Insumo	Costos en la situación inicial (USD)	Costos en el rediseño (USD)	Costo de ineficiencia (USD)
Agua	37 906,65	16 550,8	21 355,85
COSTOS TOTALES DE INEFICIENCIA			21 355,85