



**Tecnológico
de Monterrey**

Evidencia 1. Informe de circularidad

*Innovación de los procesos en su cadena de valor
IQ2006B*

Álvaro Romo García // A00829857

Sebastian Alejandro Toledo López // A01706715

María Fernanda Hoyos Benítez // A00828999

Karla Kiabeth Maldonado García // A00830144

José Mario López Carrasco // A00831620

Mayo 2023

Introducción	1
1. Delimitación del producto o empresa al cual se le evaluará la circularidad.	2
2. Análisis de ciclo de vida del producto o empresa considerando su cadena de valor e identificación las variables críticas y relevantes para evaluación de la circularidad	3
2.1 Análisis de ciclo de vida	3
2.2 Identificación de variables críticas en el proceso de producción	4
3. Restricciones de operación aplicando los principios termodinámicos, a partir de la evaluación de las propiedades físicas y químicas de los productos y residuos que intervienen.	7
4. Evaluación de la circularidad del producto, identificación de áreas de mejora a lo largo de su cadena de valor y definición de propuestas que favorezcan la minimización de residuos e incremento de ciclos para el proceso propuesto	10
4.1 Evaluación de la circularidad del producto e identificación de áreas de mejora	10
4.2.1 Condensador de vahos	13
Dimensionamiento condensador de vahos	13
4.2.2 Captura de dióxido de carbono	15
Reflexiones	19

Introducción

La economía circular se ha convertido en un enfoque clave para promover la sostenibilidad y minimizar el impacto ambiental en los procesos productivos de diversas industrias. En este contexto, resulta relevante examinar las oportunidades de mejora y la implementación de principios de economía circular en la cadena de valor de la cervecería Rrey, una reconocida empresa cervecera de la ciudad comprometida con la excelencia y la responsabilidad ambiental.

La cervecería Rrey ha establecido un precedente positivo al incorporar prácticas sostenibles en sus procesos de producción. Sin embargo, existe un gran potencial para identificar áreas de mejora adicionales y adoptar principios de economía circular en toda su cadena de valor. Una de las áreas clave a considerar es la gestión de los recursos naturales utilizados en la elaboración de la cerveza.

1. Delimitación del producto o empresa al cual se le evaluará la circularidad.

Se evalúa la circularidad en Cervecería Rrëy, una empresa de producción de cerveza de tipo artesanal con sede en México. Este análisis se enfoca en su producto principal: la cerveza. Dado que el bagazo (un subproducto de la cervecería) se ha identificado para su potencial uso como combustible, también se explora el manejo y disposición de este subproducto. Por otra parte, se ha identificado que en la fermentación se puede implementar un sistema de captura de CO_2 .



Figura 1. Cerveza artesanal Rrëy, del norte de México.

2. Análisis de ciclo de vida del producto o empresa considerando su cadena de valor e identificación las variables críticas y relevantes para evaluación de la circularidad

2.1 Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida es de tipo “gate to gate”, pues se contempla solamente el proceso de producción de cerveza que va desde la molienda hasta el empaquetado, no se estudió la extracción de la materia prima y el manejo del producto final. Los objetivos del estudio son:

- **Objetivo general:**
 - Analizar el impacto ambiental del ciclo de vida del proceso de producción de la cerveza artesanal Rrëy.
- **Objetivos específicos:**
 - Evaluar cómo las diferentes etapas del proceso de producción impactan el medio ambiente bajo los diferentes parámetros de funcionamiento.
 - Identificar las variables y factores que afectan cada proceso en la etapa de producción.
 - Informar para la toma de decisiones en el diseño de propuestas de mejora en el área de producción.

Para el análisis se ha evaluado cada etapa de producción de la cervecería Rrëy, representada en un diagrama de flujo de producción (ver figura 2). Aunque no se puede representar de manera exhaustiva todo el proceso debido a la falta de información detallada, se ha hecho un esfuerzo para proporcionar una visión general precisa. En términos generales, el proceso de producción de cerveza se divide en cinco etapas principales: molienda, cocción, enfriamiento, fermentación y empaque.

En la etapa de molienda, se introduce un flujo inicial de malta de 30 kg/min en el molino para su procesamiento. La producción de un tanque de fermentación de cerveza Kölsch requiere el procesamiento de dos lotes, por ello, a partir de la etapa de cocción se consideran los flujos de entrada y salida correspondientes a ese volumen.

Se introducen 625 kg de malta y 4402 L de agua al tanque de macerado, cuyo procesamiento tarda una hora y alcanza temperaturas de 68 a 70°C. En el lauter se separa el mosto del bagazo, proceso que tarda 20 min a 170 °F. La información proporcionada indica que se producen 21,000 litros de cerveza y tres toneladas de grano residual a la semana. Se cuenta con tres tanques de fermentación con capacidad de 7000 litros, por lo que se necesitan de 6 lotes para llenarlos a su capacidad máxima.

Considerando estos datos, se asume que cada lote produce 500 kg de residuo en esta etapa. Tras un lapso de 2 horas, el líquido es transferido al tanque de hervor en el que se introducen 7.5 kg de lúpulos para procesar durante una hora a una hora y media. Posteriormente, el mosto entra al tanque de whirlpool por 30 min a 98 °C.

En la etapa de enfriamiento, un intercambiador de placas reduce la temperatura del mosto a un rango de 10 a 20 °C. La etapa de fermentación sigue, donde se introduce 25 kg de levadura y se mantiene la temperatura a 20 °C (68 °F).

Finalmente, en la etapa de empaque, se estima que se deben procesar los 3160 L de cerveza que resultan por lote de producción.

Es importante destacar que este análisis se basa en los límites establecidos y la información recopilada, y con más información se puede realizar un análisis más detallado.

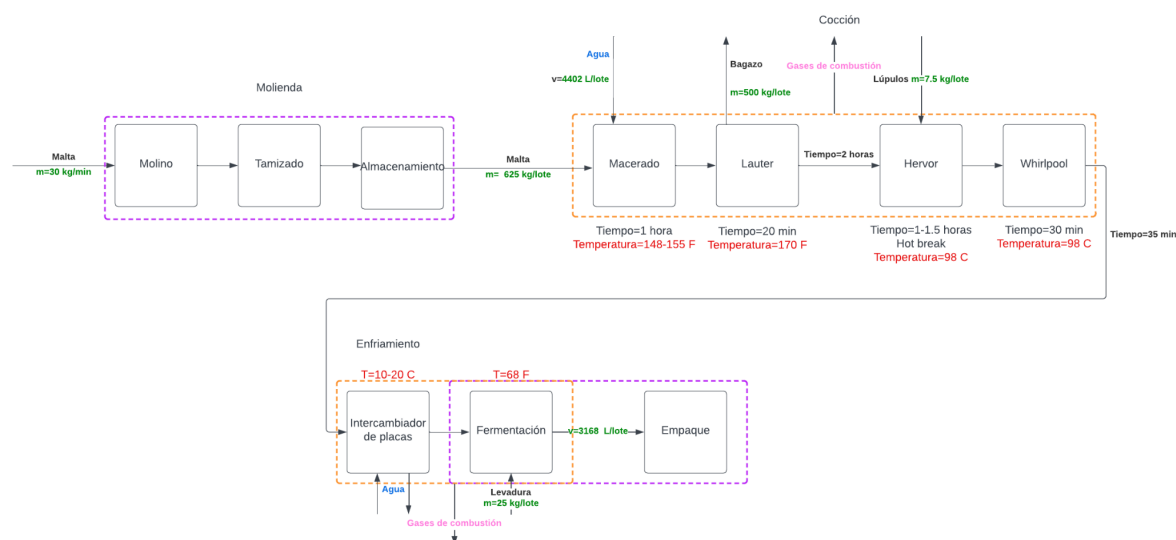


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de la cerveza Rrëy

En la figura 2, se muestra el diagrama de flujo del proceso. El glosario de calorimetría indica: naranja, requerimientos de energía térmica (gas LP); morado, requerimientos de energía eléctrica (fuentes convencionales -CFE); verde, flujos de masa; azul, entradas o salidas de agua; rojo, requerimientos de temperatura y rosa, gases de combustión.

Es importante resaltar que toda la maquinaria en la planta que requiere energía eléctrica es alimentada por los paneles solares ubicados en el techo de la planta y en la fase de cocción, enfriamiento y fermentación se producen gases de combustión. Además, algunas de ellas requieren el uso de gas licuado de petróleo para su operación.

2.2 Identificación de variables críticas en el proceso de producción

En el análisis productivo se identificaron diferentes variables como la energía consumida (gas LP y electricidad), las emisiones generadas y el uso de recursos naturales (agua), que impactan sobre el medio ambiente. Las variables críticas con su unidad funcional para evaluar la circularidad del producto se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Variables del proceso de producción de la cerveza artesanal.

Variable	Unidad de medida	Descripción
Uso de agua	litros por lote	La cantidad de agua utilizada como materia prima en la producción de cerveza artesanal.

Uso de energía	kilowatt-hora	La cantidad de energía utilizada en cada etapa de la producción de cerveza artesanal.
Emisiones	kilogramos de dióxido de carbono equivalente (CO_2eq)	La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la etapa de fermentación de cerveza artesanal y las asociadas al ciclo de vida del producto.
Generación de residuos orgánicos	toneladas	La cantidad de residuos orgánicos generados durante la cocción del mosto.
Tasa de reciclaje de residuo no orgánico	porcentaje	El porcentaje de residuos que se reciclan en la producción de cerveza artesanal.
Tasa de residuo orgánico utilizado para alimento ganadero	porcentaje	El porcentaje de residuos orgánicos generados en la producción y utilizados como alimento para ganado.

Por otra parte, en cada etapa/variable se identificaron diferentes impactos ambientales indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación de impacto ambiental de etapa o variable del proceso de producción de la cerveza artesanal.

Etapas/variable	Impacto ambiental
Procesamiento de malta	Contaminación del agua, contaminación del aire, emisión de residuos orgánicos
Uso de energía	Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de energía térmica (gas LP) y eléctrica (energía solar) aunque proviene de una fuente renovable se producen

emisiones de GEI en cantidades mínimas

Empaquetado

Generación de residuos, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del aire

Manejo de Residuos

Generación de residuos, contaminación del aire

3. Restricciones de operación aplicando los principios termodinámicos, a partir de la evaluación de las propiedades físicas y químicas de los productos y residuos que intervienen.

Algunas de las restricciones operativas de una cervecería artesanal que se pueden determinar aplicando principios termodinámicos y evaluando las propiedades físicas y químicas de los productos y desechos involucrados son:

- Temperatura: El proceso de elaboración de la cerveza debe llevarse a cabo en un rango específico para garantizar que se produzcan las reacciones químicas deseadas. En la cervecería Rrëy cada subproceso/máquina del sistema de producción debe mantener las siguientes condiciones de temperatura:

Tabla 3. Temperaturas de operación en cervecería Rrëy.

Etapas	Temperatura (°C)
Molienda, tamizado y almacenamiento	25
Macerado	64.44 - 68.33
Lauter	76.67
Hervor	98
Whirlpool	98
Intercambiador de placas	10 - 20
Fermentación	20
Empaque	25

- Presión: El proceso de elaboración de la cerveza debe llevarse a cabo en un rango de presión específico para garantizar que se produzcan las reacciones químicas deseadas y que el equipo no se dañe. En la cervecería Rrey todos los procesos se llevan a cabo a presión atmosférica (1 atm), por lo que se debe mantener dicho estándar.
- pH: El pH puede variar según el proceso, pues las sustancias líquidas van cambiando durante el proceso de elaboración hasta convertirse en cerveza. Según sea el proceso

el pH estará en los siguientes rangos de acuerdo a investigaciones de procesos similares:

Tabla 4. Rango de pH según la etapa de producción de cerveza.

Etapa	Rango de valores de pH
Molienda	5.2-5.6
Ebullición	5.0-5.2
Fermentación	4.0-4.4
Enfriamiento	3.8-4.2

- Es importante tener en cuenta que estos son solo rangos, y el pH exacto variará según el tipo específico de cerveza que se elabore. Por otra parte, si no se cumple con este parámetro podrá tener las siguientes afectaciones según el proceso:
 - En la molienda, un valor de pH muy alto o demasiado bajo puede inhibir la actividad de las enzimas que descomponen los almidones del grano en azúcares.
 - En la ebullición, es importante porque afecta la solubilidad de los compuestos del lúpulo, un valor fuera del rango puede dificultar la extracción del sabor y el aroma deseado del lúpulo.
 - En la fermentación, es importante porque afecta el crecimiento de la levadura. Un valor fuera del rango puede inhibir el crecimiento de la levadura y dar lugar a sabores no deseados.
 - En el enfriamiento, es importante porque afecta la estabilidad de la cerveza y esto define la calidad final del producto.
- **Oxidación:** La cerveza debe protegerse de la oxidación, ya que otorga un sabor rancio. Es una restricción de operación a la hora de considerar las propiedades fisicoquímicas de la cerveza, que por lo general, se elimina usando gases inertes, como nitrógeno, purgando el espacio superior del recipiente de fermentación y envasado la cerveza en una lata o botella que elimina el oxígeno (Roth, 2018).
- **Contaminación:** La cerveza debe protegerse de la contaminación por bacterias, levaduras y otros microorganismos. Esto se puede hacer mediante el uso de prácticas sanitarias, como la limpieza y desinfección de todo el equipo, y mediante el uso de envases asépticos (Sipperly et al., 2015).

- Concentración y calidad de ingredientes: la concentración y origen de ingredientes en el proceso de elaboración de la cerveza debe controlarse cuidadosamente ya que impactan directamente en el sabor del producto (APEX Publisher, 2018).
- Tiempo: El proceso de elaboración de la cerveza toma una determinada cantidad de tiempo y si el proceso se apresura o se prolonga la cerveza no tendrá el sabor deseado. En la siguiente tabla se presentan los tiempos de duración para los procesos de cocción.

Tabla 5. Tiempo de duración de procesos en la cocción de la cerveza.

Proceso	Tiempo
Macerado	1 hora
Lauter	20 min
Hervor	1 - 1.5 horas
Whirlpool	30 min

4. Evaluación de la circularidad del producto, identificación de áreas de mejora a lo largo de su cadena de valor y definición de propuestas que favorezcan la minimización de residuos e incremento de ciclos para el proceso propuesto

4.1 Evaluación de la circularidad del producto e identificación de áreas de mejora

La circularidad del proceso a evaluar, como se mencionó anteriormente, se basa en un análisis “gate to gate”, considerando solo el proceso productivo de la cerveza Rrëy.

En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso a evaluar, en donde se consideran tanto entradas como salidas, incluyendo condiciones de operación. Así, se identifican áreas susceptibles de mejora.

Antes de plantear estrategias que favorezcan la minimización de residuos y emisiones es necesario realizar un análisis de impacto ambiental para conocer los puntos críticos del ciclo de vida del producto. Se utilizó la herramienta de SimaPro para identificar los impactos ambientales en forma de toneladas de CO₂ equivalentes de los flujos de materia y energía en el proceso. En la figura 3, se muestran los flujos de salida del proceso que corresponden a un lote de cerveza de 3500 litros y 500 kg de bagazo.

Figura 3. Criterios de evaluación de impacto ambiental para los flujos de salida en el proceso de producción de cerveza.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.
Batch de cerveza {MX}	3500	l
(Insertar línea aquí)		
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados	Cantidad	Ud.
Brewer's grains, consumption mix, at feed compound plant/NL Mass	500	kg

En la figura 4, se muestran los flujos de entrada del proceso que contienen la información reportada en el diagrama de flujo en la Figura 2. Sin embargo, por las limitaciones de la herramienta, se consideró que los 625 kg de malta son de cebada y se seleccionó cebada utilizada en el sector agrónomo. Además, debido a que no se encontraron los lúpulos, se sustituyeron por Crotalaria juncea, planta que es de la misma familia. En relación a la energía y calor utilizada en el proceso se calculó en el Anexo la energía promedio mensual y se consideró que al mes se producen 24 lotes de cerveza, por lo que la electricidad usada para cada uno es de 378 kWh. Además, con el dato proporcionado por la empresa de consumo anual de gas, se asume que cada lote requiere 200 kg.

Figura 4. Criterios de evaluación de impacto ambiental para los flujos de entrada en el proceso de producción de cerveza.

Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.
Water, fresh		4402	l
(Insertar línea aquí)			
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)		Cantidad	Ud.
Barley grain {GLO} market for Cut-off, U		625	kg
Fodder yeast {RoW} ethanol production from whey Cut-off, U		25	kg
Sunn hemp plant, harvested {GLO} market for sunn hemp plant, harvested Cut-off, U		7.5	kg
(Insertar línea aquí)			
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)		Cantidad	Ud.
Electricity, low voltage {MX} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installat		378	kWh
Propane {GLO} market for Cut-off, U		200	kg

En la Figura 5, se muestra la evaluación de impacto ambiental proporcionada por Simapro, en la que se seleccionó la metodología del IPCC 2021 GTP 100. Se observa que la cebada es la materia prima que tiene un mayor porcentaje de emisiones de CO₂e asociadas, seguido por la levadura y el uso de gas propano en el proceso. Posteriormente, en la Figura 6, se muestra la cantidad de emisiones exactas de cada entrada y salida considerada.

Figura 5. Gráfica de evaluación del daño ambiental asociado a la producción de una batch de cerveza.

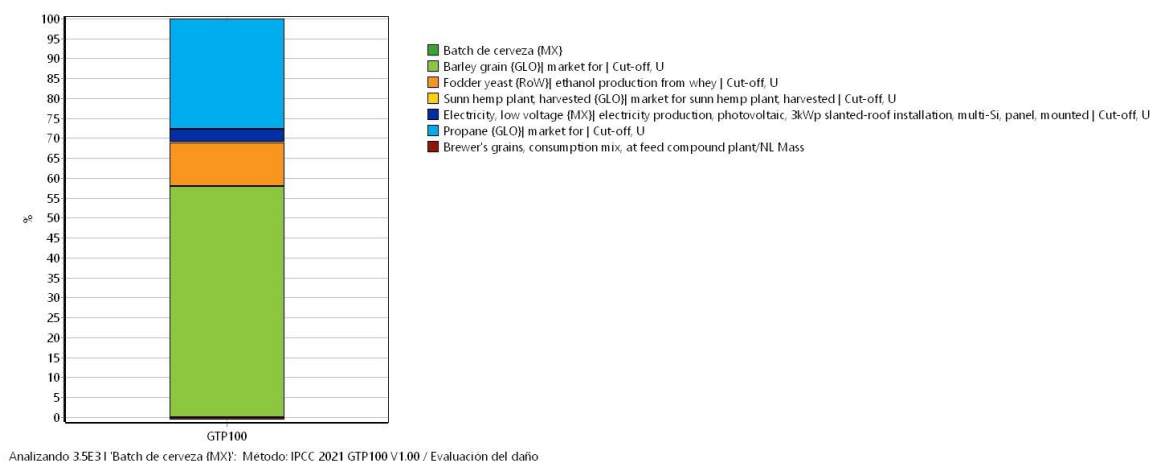


Figura 6. Tabla de evaluación del daño ambiental asociado a la producción de una batch de cerveza.

Se	Daño de categoría	/	Unidad	Total	Batch de cerveza {MX}	Barley grain {GLO} market	Fodder yeast {RoW} ethanol	Sunn hemp plant, harvested	Electricity, low voltage {MX}	Propane {GLO} market for	Brewer's grains, consumption
✓	GTP100		kg CO ₂ -eq	497	x	290	54.5	0.785	15.9	139	-3.1

A pesar de que en la evaluación de impacto ambiental se muestra que uno de los puntos de mayor relevancia es el uso de la cebada, es complicado generar una solución para mejorar la

problemática debido a los problemas de demanda de esta materia prima en el país. Por ello, se propone que las estrategias se enfoquen en medidas que la cervecería puede implementar o eficientar dentro de los procesos existentes. Considerando este enfoque, como datos importantes se tienen:

- Residuos: bagazo.
- Consumo de agua: 4402 litros por lote.
- Fuentes de energía:
 - Eléctrica: Producen 11-12 *kWh/mensual* de energía solar.
 - Térmica: Consumen 57,500 *kg/año* de gas lp.

Además, la parte del proceso en donde se consume mayor cantidad de recursos tanto de agua como energéticos, es la cocción, por lo tanto se considera punto clave para considerar variables críticas. Las medidas actuales implementadas por la empresa son:

- Aprovechamiento del agua caliente del intercambiador para distintos procesos, como la limpieza de los tanques.
- La totalidad de su energía eléctrica es suministrada por un sistema fotovoltaico.

Para el análisis de la circularidad del proceso productivo de cervecería Rrëy se utilizó la metodología de indicadores de KPMG. A través de la cual se evalúa la circularidad para determinar áreas de mejora en contexto de una economía circular.

Categoría	Indicador	Medida	Resultado
Consumo de agua/Unidad de referencia	Agua reutilizada	Litros de agua reutilizada	1145.45 L/h
Consumo de energía/Unidad de referencia	Consumo de energía renovable	kWh de energía proveniente de fuentes renovables	11,000 kWh - 12,000 kWh mensuales
	Consumo de energía eléctrica y por tipo de combustible	kWh de energía eléctrica y kg de combustible	9074 kWh mensuales promedio
Emisiones/Unidad de referencia	Emisiones de CO2	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	Información no disponible
	Emisiones de CO2 asociadas al proceso de fermentación	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	7280 kg anuales
	Emisiones evitadas por prácticas de innovación circular.	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	3947.19 kg de CO2e mensuales
Competitividad	Iniciativas de innovación circular y ecodiseño	Número de iniciativas de innovación circular y ecodiseño implementadas	Instalación solar fotovoltaica instalada en el techo de la planta



Nota. La única fuente renovable es la energía solar. Información no disponible por falta de respuesta por parte del socio formador.

4.2 Definición de propuestas de mejora para aumentar la circularidad del proceso

4.2.1 Condensador de vahos

Durante la etapa de cocción se generan vapores de agua y compuestos volátiles aromáticos, en este caso, el condensador de vahos, recupera dichos vapores y los condensa. Esto además de provocar un ahorro económico, se recolectan de manera controlada para volver a utilizar el líquido en el proceso de la cerveza como agua caliente.

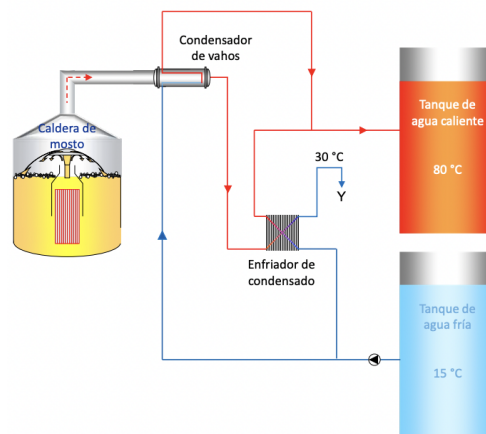


Figura 7. Condensador de vahos para la producción de agua caliente. (Steinecker)

Al aplicar esto, se limita el uso de energías convencionales y reduce las emisiones de CO₂. Además de lograr controlar olores y el escape de estos gases. En la actualidad, Cerveza Rrëy ya cuenta con un sistema de recirculación de agua, sin embargo, en el proceso se lleva a cabo una ebullición, en donde se pierde aproximadamente 20% del agua ingresada en vapor. Con esta propuesta, se recupera este porcentaje para cuestiones de mantenimiento de las instalaciones.

Dimensionamiento condensador de vahos

- Vapores a condensar: agua
- $CP_L(\text{agua}): \frac{4.186 \text{ kJ}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg}}$
- $\Delta H_v: 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- Porcentaje de evaporación: 20% (Considerando el coeficiente de evaporación promedio)

Considerando que la capacidad máxima del hervor es de 3500 L, se toma en cuenta este valor para la base de cálculos. La temperatura en la que el agua entra al hervor es de 170 °F, es decir 76.67°C, y se calienta a 98°C, temperatura en la que se alcanza el punto de ebullición dado las condiciones atmosféricas de la ciudad.

El calor necesario para calentar los 3500 litros de agua se calcula de la siguiente manera:

$$Q_l = \text{Masa de agua} \cdot C_{p_l} \cdot \Delta T = 3500 \text{ kg} \cdot 4.186 \text{ kJ/}^\circ\text{C kg} \cdot 21.33^\circ\text{C}$$

$$Q_l = 312,505.83 \text{ kJ}$$

Posteriormente, el calor necesario se divide al calor latente del agua en vapor, es decir

$$\Delta H_v: 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

$$\text{Masa de vapor de agua} = \frac{Q_l}{0.2 \cdot \Delta H_v} = \frac{312,505.83 \text{ kJ}}{0.2 \cdot 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 691.38 \text{ kg}$$

Por lo tanto, para cada lote de cerveza que se produce, se generan alrededor de 691.38 kg de agua.

Una vez calculado que se generan alrededor de 691.38 kg de vapor de agua por lote de cerveza producido, el siguiente paso es encontrar un condensador capaz de manejar esta cantidad. Es aquí donde la empresa Steinecker entra en juego, ya que ofrece condensadores adaptados a las necesidades específicas del cliente.

Steinecker no sólo provee el equipo necesario, sino que también se encarga de la instalación requerida para garantizar su correcto funcionamiento. Uno de los aspectos más importantes de sus condensadores es su capacidad para recircular el agua.

En este proceso, el agua condensada, que es agua pura, se recoge y se reutiliza en otros procesos de la cervecería en lugar de ser desechada. Esta práctica reduce tanto el consumo de agua como el uso de energía en la cervecería, alineándose perfectamente con los principios de la economía circular.

Esta propuesta se destina a procesos de mantenimiento. En las instalaciones de Cerveza Rrëy se utiliza agua para cuestiones de limpieza, enfriamiento de equipos de manera manual, etc. Por lo tanto, se toman en cuenta los volúmenes de agua recuperada para disminuir el desperdicio de agua.

Tomando en cuenta un condensador eficiente se estima que se consumen alrededor de 0.05 a 0.1 kilovatios-hora (kWh) por kilogramo de vapor condensado. Esto es aproximadamente 52 kWh para los 691.38 kg que se van a recuperar. Según la Brewers Association se estima que aproximadamente se utilizan entre 1 a 4 litros de agua para mantenimiento por litro de cerveza producida. Se producen 7000 litros de cerveza por lote, en donde se recuperan 691.38 litros de agua. Por lo tanto para mantenimiento se utilizan alrededor de 17,500 litros por lote de cerveza producida. En la tabla 6 se muestra el ahorro del consumo de agua para el mantenimiento y limpieza del proceso y las instalaciones tomando en cuenta el condensador de vahos.

Tabla 6. Comparación de consumo de agua antes y después de la propuesta

Litros de agua utilizados para mantenimiento y limpieza actuales (Por lote de cerveza)	Litros de agua utilizados para mantenimiento y limpieza con condensador de vahos (Por lote de cerveza)	% de ahorro



17,500	16,808.62	≈4%
--------	-----------	-----

4.2.2 Captura de dióxido de carbono

La industria cervecera, especialmente en los procesos de fermentación, debe enfrentar el desafío de las emisiones generadas. En particular, la conversión de azúcares de malta a etanol resulta en la formación de CO₂ como subproducto de la fermentación. En las cervecerías tradicionales, no suele haber sistemas para capturar este carbono, y a menudo se deja que las emisiones resultantes se disipen sin más. Nuestra propuesta para la cervecería Rrey es la incorporación de tecnologías para la captura de CO₂, reduciendo así las emisiones asociadas a la fermentación.

Para obtener un resultado que permita un análisis comparativo se tienen que evaluar las condiciones actuales de operación de la cervecería. De acuerdo al estudio de Elshani, A. et al, un hectolitro de cerveza tiene como subproducto de 3.2 a 4 kilogramos de dióxido de carbono. Sin embargo, una parte de este se retiene en la cerveza y algunas pérdidas ocurren, dejando un rango aprovechable de 1.8 a 2.5 kilogramos de CO₂ por hectolitro. Aplicado a la cervecería Rrey, es necesario evaluar su producción anual de cerveza para indicar la cantidad de CO₂ que se estaría generando.

De acuerdo con los informes de la empresa y la información obtenida de la literatura, se conoce que Rrey produce lotes de siete mil litros de cerveza, cuarenta veces al año. Estos son los datos fundamentales para calcular el CO₂ que se podría capturar. A continuación, se detalla la secuencia de cálculos realizada:

Datos del proceso de fermentación:

$$VPL \text{ (Volumen de Producción por Lote)} = 7000 \text{ L} = 70 \text{ hL}$$

$$PA \text{ (Producción Anual)} = 40 \text{ lotes}$$

$$KCA \text{ (Kilogramos de CO}_2 \text{ Aprovechables)} = 2.1 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{hL}}$$

$$PM = 44.01 \text{ kg/kmol}$$

$$1 \text{ mol} = 224 \text{ hL}$$

Ecuaciones aplicadas

$$CO_2 \text{ Disponible (Por lote)} = VPL * KCA \text{ (1)}$$

$$CO_2 \text{ Disponible (Anualmente)} = VPL * PA * KCA \text{ (2)}$$

$$CO_2 \text{ Disponible (hectolitros)} = (VPL * PA * KCA * 224 \text{ hL/Kmol})/PM \text{ (3)}$$

Habiendo recopilado todos los datos pertinentes, el resultado del cálculo se obtiene de la aplicación de las fórmulas 1, 2 y 3, obteniendo las siguientes cantidades de CO₂ disponible para el proceso de captura:

$$CO_2 \text{ Disponible (Por lote)} = 147 \text{ kg}$$

$$CO_2 \text{ Disponible (Anualmente)} = 5880 \text{ kg}$$

$$CO_2 \text{ Disponible (hectolitros)} = 29934.54 \text{ hL}$$

Este cálculo proporciona la cantidad de dióxido de carbono disponible para la captura y su posterior uso en los procesos de carbonatación de la cerveza. Basándonos en estas cifras, se vuelve imperativo seleccionar un equipo con la capacidad adecuada para manejar la carga de 5880 kg de CO₂ generados anualmente. En este caso, el equipo diseñado por Dalum Beverage Equipment, especialista en cervecerías artesanales, se ajusta a estas especificaciones. A continuación, en la tabla 7, se muestra la ficha técnica de su unidad de recuperación de CO₂.

Tabla 7. Ficha técnica de la unidad de recuperación de CO₂

Nombre	Dalum 10 kg/h CO ₂ -Unit
Entradas	1% Oxígeno (O ₂) 96% Dióxido de Carbono 3% Otros Gases 14 galones de agua/h a 40°-55°C (Circuito cerrado)
Salidas	99.98% Dióxido de Carbono Líquido
Consumo Energético	3 kW Voltaje de 400 Volts Trifásico
Operación anual estimada	588 horas
Consumo energético estimado	1764 kWh
Volumen de CO ₂ procesado	50.9 hL/hora

Una vez revisados los detalles técnicos, se procede a examinar el diagrama de flujo del proceso, al que se incorporarán nuevas fases para el manejo adecuado de las emisiones generadas durante la fermentación. El diagrama de flujo correspondiente al proceso de captura se muestra en la figura 8.

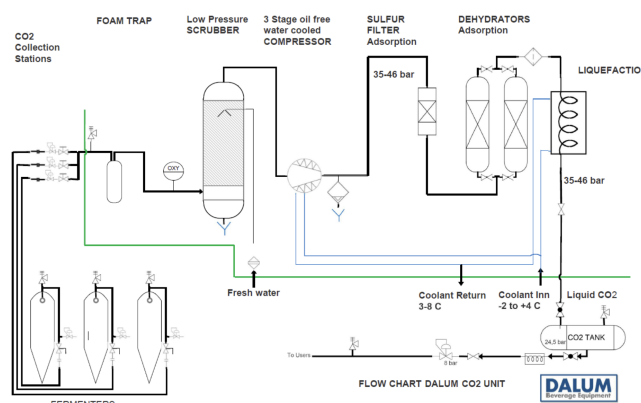


Figura 8. Diagrama de Flujo del Proceso de Captura de Carbono

Los procesos indicados están ya integrados en el conjunto del equipo y el producto resultante es dióxido de carbono líquido, apto para ser usado por la cervecería en sus procesos de carbonatación de bebidas. Los resultados derivados de la implementación de esta propuesta se detallan en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la implementación

Característica	Proceso Actual	Proceso Innovado
Emisiones de CO2 en la fermentación.	7280 kg Anuales 182 kg por lote	7280 kg Anuales 182 kg por lote
Emisiones de CO2 evitadas.	0 kg Anuales	5880 kg Anuales 147 kg por lote
Emisiones de CO2 asociadas a consumo energético en torno a la captación de carbono.	0 kg Anuales	767.34 kg de CO2 anual (Factor de Emisión CFE) 88.2 kg de CO2 anual (FdE paneles solares)
Consumo energético asociado a la captación de carbono	0 kwh Anuales	1764 kWh anuales

El proceso incorporando las estrategias anteriormente mencionadas se presenta en la figura 9.

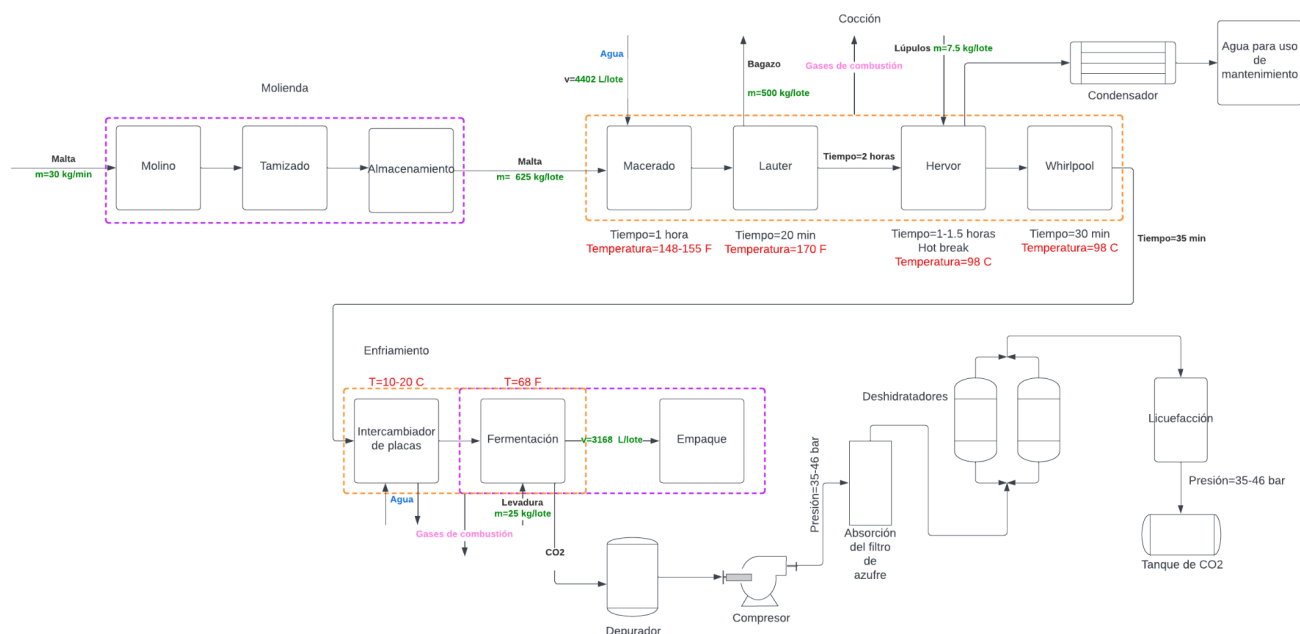


Figura 9. Diagrama de flujo de la producción de cerveza Rrëy con las estrategias incorporadas.

Para terminar con este informe de circularidad, se presenta en la **tabla 9.** el desarrollo del análisis de circularidad de la empresa Rrey incorporando las propuestas de circularidad que se tienen para el proceso de elaboración de cerveza.

Tabla 9. Evaluación de la Circularidad del Proceso

Categoría	Indicador	Medida	Proceso Actual	Proceso Innovado
Consumo de agua/Unidad de referencia	Agua reutilizada	Litros de agua reutilizada	1145.45 L/h	1145.45 L/h y 691.38 Litros por lote de cerveza
Consumo de energía/Unidad de referencia	Consumo de energía renovable	kWh de energía proveniente de fuentes renovables	11,000 kWh - 12,000 kWh mensuales	11,000 kWh - 12,000 kWh mensuales
	Consumo de energía eléctrica y por tipo de combustible	kWh de energía eléctrica y kg de combustible	9074 kWh mensuales promedio	9221 kWh mensuales promedio
Emisiones/Unidad de referencia	Emisiones de CO2	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	Información no disponible	Información no disponible
	Emisiones de CO2 asociadas al proceso fermentación	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	7280 kg anuales	1400 kg anuales
	Emisiones evitadas por prácticas innovación circular.	Kilogramos de CO2e emitidos a la atmósfera	47366.28 kg de CO2e anuales	53246.28 kg de CO2e anuales
Competitividad	Iniciativas de innovación circular y ecodiseño	Número de iniciativas de innovación circular y ecodiseño implementadas	Instalación solar fotovoltaica instalada en el techo de la planta	Instalación solar fotovoltaica instalada en el techo de la planta Equipo de captura de carbono. Condensador de vapores para la recirculación de agua.

Nota. La única fuente renovable es la energía solar. Información no disponible por falta de respuesta por parte del socio formador.

Conclusión

El ejercicio profesional de un ingeniero en desarrollo sustentable requerirá de tomar decisiones para la implementación de alternativas de sustentabilidad, estas decisiones requieren del acompañamiento de innovación sustentada en

La circularidad de un proceso siempre es relevante e importante. La cervecería Rrëy, a pesar de ya contar con prácticas para eficientar su proceso y reducir residuos, cuenta con áreas de mejora para un proceso más limpio y circular.

Reflexiones

REFLEXIÓN ESCRITA 1 (individual). Para dar cuenta del desarrollo de tu argumentación ética durante la realización del reto, en esta primera evidencia, incluye en tu entrega una reflexión entre 250-400 palabras, en la que cubras TODOS los siguientes temas:

- Identifica problemas de diversos ámbitos de la vida, describiendo los elementos éticos implicados en la reto.
- Analiza creencias personales, costumbres y tradiciones, desde principios, enfoques y teorías éticas, en función de las características del reto.
- Distingue los intereses de los actores involucrados en el reto, desde una perspectiva de principios y valores.

REFLEXIÓN ESCRITA 2 (individual). Finalmente, para dar cuenta de tu integridad durante la realización del reto, en esta evidencia, incluye en tu entrega una reflexión de entre 250-400 palabras, en las que cubras TODOS los siguientes temas:

- Investiga la definición de "integridad" y reflexiona sobre ella.
- Investiga la normatividad o lineamientos vigentes sobre la integridad en distintas situaciones de tu vida académica (institución a la que perteneces), profesional (tu disciplina) y social (tu comunidad) y describe cómo se alinean o aplican estas normativas entorno al reto, o bien, si no aplican y ¿por qué? ¿Qué recomendaciones realizarías, entorno al reto, para lograr cumplir con la normatividad vigente en las distintas situaciones de la vida académica, profesional y social?
- Reconoce acciones en tu vida personal, académica y social que atentan contra la integridad y sus consecuencias para la sociedad en el contexto del reto. ¿Si no implementas estas propuestas ¿qué pasaría? ¿qué consecuencias habría de no aplicar estas herramientas?)

Referencias

APEX Publisher. (2018). Beer Brewing Process. The Brewer's Handbook. Recuperado el junio 6, 2023, from http://www.beer-brewing.com/beer_brewing/26_beer_brewing_chapters/ch01_beer_brewing_process.htm

Atlas científico. (2023, enero 7). Understanding The pH Of Beer. Atlas Scientific. Recuperado el 6 junio, 2023, from <https://atlas-scientific.com/blog/ph-of-beer/>

De Marco, I., Miranda, S., Riemma, S., & Iannone, R. (2016). Life Cycle Assessment of Ale and Lager Beers Production. AIDIC. Recuperado junio 3, 2023, from <https://www.aidic.it/cet/16/49/057.pdf>

Geterbrewed. (2022, abril 14). The importance of pH in brewing - Get Er Brewed Blog. Get 'Er Brewed. Recuperado junio 6, 2023, from <https://www.geterbrewed.com/blog/2022/04/14/ph-in-brewing-the-best-ph-meters/>

Roth, B. (2018, noviembre 7). The Trick To Avoiding Oxidation In Homebrew - Wine Making and Beer Brewing Blog. Wine Making and Beer Brewing Blog. Recuperado junio 6, 2023, from <https://blog.homebrewing.org/oxidation-in-homebrew/>

Sipperly, E., Edinger, K., Ziegler, N., & Roberts, E. (2015, abril 20). Comparative Cradle to Gate Life Cycle Assessment of 100% Barley-based Singha Lager Beer in Thailand. UNC Institute for the Environment. Recuperado junio 6, 2023, from https://ie.unc.edu/wp-content/uploads/sites/277/2016/03/lca_of_beer_making.pdf

Steinecker. (s. f.). Recuperación de Energía. Recuperado de <https://www.steinecker.com/es/productos/recuperar-energia.php>

Landatu Solar. (s. f.). Evaporación de agua. Recuperado de <https://landatusolar.com/evaporacion-de-agua/#:~:text=El%20coeficiente%20de%20evaporaci%C3%B3n%20es,%2C1%20a%200%2C3.>

Steinecker. (s. f.). Energierückgewinnung [PDF]. Recuperado de https://www.steinecker.com/media/downloads/energierueckgewinnung_es.pdf

Krones AG. (s. f.). Concepto de una cervecería energéticamente autosuficiente en Ustersbacher. Recuperado de <https://www.krones.com/es/empresa/prensa/magazine/referencia/concepto-de-una-cerveceria-energeticamente-autosuficiente-en-ustersbacher.php>

Steinecker. (s. f.). Reciclaje de la energía térmica en el proceso de fabricación de cerveza. Recuperado de <https://www.steinecker.com/es/productos/reciclaje-de-la-energia-termica-en-el-proceso-de-fabricacion-de-cerveza.php>

Brewers Association. (s. f.). Recuperado de <https://www.brewersassociation.org/>

European Brewery Convention. (s. f.). Recuperado de <https://europeanbreweryconvention.eu/>



Viniquip (s.f) “Dalum Beverage Equipment” Recuperado de
<https://viniquip.co.nz/wp-content/uploads/DALUM-Brochure-May2023.pdf>

Gobierno de México (2022) “Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2022”
Recuperado de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/806468/4_-Aviso_FE_2022__1_.pdf

Solaris Renewable (s.f) “What is the Carbon Footprint of Solar Manufacturing?” Recuperado
de
<https://solarisrenewables.com/blog/carbon-footprint-of-solar-panel-manufacturing/#:~:text=Solar%20panels%20emit%20around%2050g,of%20coal%2Dpowered%20electricity%20sources.>

Dalum Equipment (s.f) “Flowchart” Recuperado de
<https://dalumequipment.com/wp-content/uploads/2022/11/Flowchart.png>

Dalum Equipment (s.f) “The DALUM CO2 Recovery Unit” Recuperado de
<https://dalumequipment.com/products-co2-recovery/>

Arsim Elshani et al. (2018) “Possibility and determination of the use of CO2 produced by
the production of beers” Recuperado de
<https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol10Issue05/jpsr10051856.pdf>
[https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1530/Sustainability_Energy_Manual.p
df](https://www.brewersassociation.org/attachments/0001/1530/Sustainability_Energy_Manual.pdf)

Anexo

Excel de consumo de energía promedio