

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES



COORDINACION DE INGENIERÍAS

PROYECTO DE GRADUACION

**“ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)
EN LA EMPRESA CARBON ENGINEERING NICARAGUA, PARA ELABORAR
PLAN DE MEJORA, EN CHICHIGALPA, CHINANDEGA, EN EL PERIODO DE
JULIO A NOVIEMBRE 2025”**

ELABORADO POR:

Br. García Fletes Kristel Eunice
Br. Valles Acuña Josselin del Carmen
Br. Coca Martínez Ismael Rodolfo

Ingeniería Industrial.
Ingeniería Industrial.
Ingeniería Industrial.

TUTOR TECNICO y METODOLÓGICO:

Ing. Altamirano Ramos Maxwell Enrique

LEÓN, 16 de noviembre 2025

Por nuestro prestigio, trayectoria y calidad

¡Somos la gente que triunfa!

“Universidad de Ciencias Comerciales”



COORDINACIÓN DE INGENIERIAS

Culminación de Pensum

Proyecto de Graduación para optar al título de grado en Ingeniería Industrial

AVAL DEL TUTOR

Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos tienen a bien:

CERTIFICAR

Que: El Proyecto de Graduación con el título: **“Análisis del proceso de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la empresa carbon engineering nicaragua, para elaborar plan de mejora, en chichigalpa, chinandega, en el periodo de Julio a noviembre 2025”**, Elaborado por: Br. García Fletes Kristel Eunice, Br. Valles Acuña Josselin del Carmen, Br. Coca Martínez Ismael Rodolfo.

Al haber cumplido con los requisitos académicos y metodológicos del trabajo de proyecto de graduación, se da conformidad a la presentación, para proceder a su lectura y defensa, de acuerdo con la normativa vigente del Reglamento de Régimen Académico Estudiantil y Reglamento de Investigación, innovación y Transferencia. Para que conste donde proceda, firma la presente en UCC León a los 26 días del Mes octubre del año 2025.

Fdo.: Ing. Maxwell Enrique Altamirano Ramos

Tutor Técnico y metodológico

“Universidad de Ciencias Comerciales”

DEDICATORIA

A Dios por su infinita misericordia gracias por que hoy estamos a punto de culminar nuestras carreras y saber cómo guiarnos en cada paso que vamos dando en nuestras vidas como profesionales.

A nuestro padre por ser pilar fundamental en nuestras vidas quien están cada día siendo nuestra guía. Gracias por creer en nosotros, por alentarnos en los momentos de duda y por celebrar con nosotros cada pequeño y gran logro. Su confianza y respaldo han sido esenciales para nuestra perseverancia y éxito.

A nuestro equipo, por la dedicación, esfuerzo y pasión que cada uno ha puesto a lo largo de este camino académico. Juntos hemos superado retos, compartido aprendizajes y construidos recuerdos que quedarán para siempre. Agradecemos la colaboración, el compromiso y la amistad que nos han permitido avanzar como grupo, convirtiendo cada desafío en una oportunidad de crecimiento. Este logro es fruto de nuestro trabajo en equipo y de la confianza que hemos depositado los unos en los otros.

A nuestros maestros docentes por la enseñanza y conocimiento compartido durante todos estos años, los tenemos en nuestro corazón y todas aquellas personas que tuvieron participación en la realización de este gran logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por darnos la fortaleza, la paciencia y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta. Su presencia constante nos ha brindado la fortaleza y la inspiración necesarias para superar cada obstáculo y desafío que se nos presentó en el camino.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, amor y confianza en nosotros. Gracias por motivarnos a seguir adelante y por estar siempre presentes en cada paso de este camino académico.

Agradecemos a nuestro docente que ha sido nuestro acompañante en este proceso por el cual hemos venido realizando este trabajo investigativo estando con nosotros en cada proceso y por orientarnos de una manera inigualable y compartirnos de su conocimiento por el cual hoy día estamos acá.

Finalmente, agradecemos a todas las personas e instituciones que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de esta tesis, especialmente a la empresa donde se desarrolló parte de la investigación, por facilitarme los recursos y el espacio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| INTRODUCCION | 3 |
| CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION | 4 |
| 1.1 Antecedentes y contexto del problema | 4 |
| 1.1.1 Antecedentes Internacionales | 4 |
| 1.1.2 Antecedentes Nacionales | 5 |
| 1.1.3 Antecedentes Locales | 6 |
| 1.2 Objetivos..... | 7 |
| 1.2.1 Objetivo General: | 7 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos: | 7 |
| 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 8 |
| 1.4 JUSTIFICACION..... | 9 |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES | 10 |
| 1.5.1 ALCANCES: | 10 |
| 1.5.2 LIMITACIONES: | 10 |
| 1.6 VARIABLES | 11 |
| CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL..... | 12 |
| 2.1 MARCO TEORICO | 12 |
| 2.1.1 Definición de sistema de producción..... | 12 |
| 2.1.2 Tipos de sistemas de producción | 12 |
| Sistema continuo | 12 |
| Sistema intermitente | 13 |
| Sistema modular..... | 13 |
| Sistema por proyectos | 13 |
| 2.1.3 Elementos cruciales dentro del sistema de producción..... | 13 |
| Fronteras | 13 |

“Universidad de Ciencias Comerciales”

| | |
|---|----|
| Entradas | 13 |
| Rendimiento | 13 |
| Salidas..... | 13 |
| Feedback..... | 13 |
| Oferta..... | 14 |
| Demanda..... | 14 |
| 2.1.5 Dióxido de Carbono (CO ₂) | 14 |
| Cómo llega el dióxido de carbono al aire..... | 14 |
| 2.1.6 Dióxido de carbono, elemento vital en los ecosistemas | 15 |
| 2.1.7 El dióxido de carbono y el efecto invernadero..... | 16 |
| 2.1.8 El dióxido de carbono, usos y aplicaciones..... | 17 |
| 2.1.9 Efecto del dióxido de carbono en el cuerpo humano | 18 |
| 2.1.10 ¿Cómo reducir las emisiones de dióxido de carbono?..... | 18 |
| Herramientas para medir el dióxido de carbono | 19 |
| Equilibrar el (CO ₂) en el ambiente | 20 |
| 2.1.11 Descripción del proceso en Carbón Engineering Nicaragua | 21 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL | 22 |
| 2.2.1 Dióxido de carbono: | 22 |
| 2.2.2 Dióxido de carbono (CO ₂): concepto y relevancia industrial | 22 |
| 2.2.3 Sistema de producción de CO ₂ | 22 |
| 2.3 MARCO LEGAL..... | 22 |
| 2.4 MARCO INSTITUCIONAL | 26 |
| 2.4.1 Universidad de Ciencias Comerciales:..... | 26 |
| FILOSOFÍA INSTITUCIONAL..... | 27 |
| • Misión | 27 |
| • Visión..... | 27 |
| • Objetivos..... | 27 |
| 2.4.2 CARBÓN ENGINEERING NICARAGUA, S.A:..... | 29 |

“Universidad de Ciencias Comerciales”

| | |
|---|-----------|
| SITUACION ACTUAL | 31 |
| CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO | 32 |
| 3.1 Tipo de Proyecto | 32 |
| 3.1.1 Según la procedencia del capital: | 32 |
| 3.1.2 Según el sector: | 32 |
| 3.1.3 Según su orientación:..... | 32 |
| 3.1.4 Según su área de influencia:..... | 32 |
| 3.2 Área de estudio y unidades de análisis..... | 32 |
| 3.3 Muestra: Tamaño de muestra y muestreo..... | 33 |
| 3.3. Métodos e instrumentos de recolección de datos | 33 |
| 3.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos | 34 |
| 3.4.1. Ficha de validación del instrumento de investigación juicio de experto.... | 34 |
| Fuente: Elaboración de autores..... | 38 |
| 3.5 Procesamiento y plan de análisis de la información | 38 |
| CAPITULO IV. DIAGNOSTICO SITUACIONAL | 40 |
| 4.1 Análisis de la Industria: | 40 |
| MISIÓN..... | 40 |
| VISIÓN | 40 |
| 4.1.1 Caracterización general de la Industria | 42 |
| 4.1.2 Condiciones básicas | 43 |
| Infraestructura | 43 |
| Materias Primas y Suministros | 43 |
| Tecnología y Procesos Productivos | 44 |
| Certificaciones y Estándares de Calidad | 47 |
| 4.2 Análisis de las fuerzas competitivas | 48 |
| 4.2.1 Amenazas de nuevos ingresos | 48 |
| 4.2.2 Rivalidad entre los competidores existentes | 48 |
| 4.2.3 Amenaza de productos sustitutos | 48 |
| 4.2.4 Poder de negociación de los proveedores. | 48 |

“Universidad de Ciencias Comerciales”

| | |
|---|-----------|
| 4.2.5 Poder de negociación de los compradores..... | 48 |
| 4.3 ANALISIS MACROAMBIENTAL..... | 50 |
| 4.4 ANALISIS MICROAMBIENTAL..... | 51 |
| 4.4.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA..... | 51 |
| 4.4.2 DESEMPEÑO EN LOS ULTIMOS AÑOS 3 O 5 AÑOS..... | 53 |
| 4.4.3 SITUACION ACTUAL..... | 55 |
| Fuente: Elaboración de autores..... | 56 |
| 4.4.4 PERSPECTIVAS DE LA EMPRESA..... | 57 |
| CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE INGENIERIA..... | 58 |
| 5.1 Producción de CO ₂ a partir de fermentación alcohólica de melaza..... | 58 |
| 5.1.1 Fundamento químico de la producción de CO ₂ | 59 |
| 5.1.2 Balance de materia para la producción de CO ₂ | 60 |
| Definición del objetivo de producción..... | 60 |
| Relación entre CO ₂ y glucosa..... | 60 |
| Conversión de glucosa a sacarosa equivalente..... | 61 |
| Conversión de sacarosa a melaza total requerida..... | 61 |
| 5.2 Análisis de producción de Co ₂ con variaciones en porcentaje de POL..... | 62 |
| 5.2.1 Metodología de cálculo..... | 62 |
| 5.2.2 Resultados..... | 63 |
| Representación gráfica..... | 64 |
| Producción de CO ₂ vs POL..... | 64 |
| Excedentes de Producción de CO ₂ respecto a la Capacidad..... | 65 |
| Porcentaje de Pérdida en el Proceso de Producción de CO ₂ | 65 |
| 5.3 Producción mensual de CO ₂ en el año 2025..... | 67 |
| 5.3.2 Comparación entre Gas Crudo y CO ₂ Purificado en 2025..... | 68 |
| 5.3.3 Porcentaje de eficiencia en la producción de CO ₂ (2025)..... | 69 |
| 5.4.1 Evaluación Técnica de Equipos Críticos..... | 70 |
| 5.4.1.1 Evaluación del Separador de Espuma..... | 70 |

“Universidad de Ciencias Comerciales”

| | |
|---|------------|
| 5.4.1.2 Evaluación de la Columna de Lavado de CO ₂ | 73 |
| 5.4.1.3 Evaluación del Filtro de Partículas..... | 77 |
| 5.4.1.5 Evaluación del Enfriador..... | 79 |
| CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS | 81 |
| 6.1 PROPUESTA..... | 81 |
| 6.1.1 Introducción..... | 81 |
| 6.1.2 Objetivos General..... | 81 |
| 6.1.3 Justificación..... | 81 |
| 6.1.4 Alcance..... | 81 |
| 6.1.5 Diseño y justificación de la propuesta de inversión | 82 |
| 6.1.5.1 Determinación de la Línea Base Histórica | 82 |
| 6.1.5.2 Justificación del Flujo de Diseño (45,096 kg/día)..... | 82 |
| 6.1.5.3 Cálculos de Dimensionamiento de los Nuevos Equipos..... | 82 |
| 6.1.5.5 Selección y Capacidad del Nuevo Compresor R717 | 83 |
| 6.1.5.6 Conclusión y Proyección del Incremento de Producción | 84 |
| 6.1.6 Propuesta de Cambio de maquinaria de mayor rendimiento. | 85 |
| 6.1.7 Presupuesto | 87 |
| 6.1.8 cronograma | 90 |
| 6.2 CONCLUSIONES | 91 |
| BIBLIOGRAFÍA | 93 |
| ANEXOS | 95 |
| Guía de entrevista aplicada al Gerente de la empresa Carbon Engineering Nicaragua..... | 102 |
| Cuestionario técnico aplicado al área de Operaciones | 103 |

INDICE DE TABLA

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Tabla de Definición de Variables | 11 |
| Tabla 2 Marco Legal | 23 |
| Tabla 3 Validación del Experto | 35 |
| Tabla 4 Validación del experto | 37 |
| Tabla 5 Puntuación del experto | 38 |
| Tabla 6 Línea de tiempo de Carbón Engineering Nicaragua | 51 |
| Tabla 7 Análisis FODA de Carbon Engineering Nicaragua | 56 |
| Tabla 8 Componente de la melaza | 58 |
| Tabla 9 Cantidad de POL en la melaza | 62 |
| Tabla 10 Métrica de producción..... | 84 |
| Tabla 11 Compresor MAYEKAWA 9J-4014-4C..... | 86 |
| Tabla 12 sustitución de MAYEKAWA 9J-4014-4C | 87 |
| Tabla 13 Compresor Embraco 1 Hp 404 ^a | 88 |
| Tabla 14 Presupuesto de implementación..... | 89 |
| Tabla 15 Cronograma de implementación del proyecto | 90 |
| Tabla 16 Cronograma del proyecto | 101 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 Logo UCC | 26 |
| Figura 2 Logo Carbon Engineering Nicaragua | 29 |
| Figura 3 Valores Carbon Engineering Nicaragua | 41 |
| Figura 4 Macro y Micro Localización Carbon Engineering Nicaragua | 42 |
| Figura 5 Condición básica carbon engineering nicaragua..... | 43 |
| Figura 6 Proceso de recuperación y purificación de Dióxido de Carbono | 45 |
| Figura 7 Análisis de las Fuerzas competitivas..... | 49 |
| Figura 8 Análisis PESTEL de Carbon Engineering Nicaragua | 50 |
| Figura 9 Producción de gas carbónico | 53 |
| Figura 10 Producción de CO2 mensual 2023..... | 54 |
| Figura 11 Producción de CO2 mensual 2024 | 55 |
| Figura 12 Producción CO ₂ | 64 |
| Figura 13 Excedente de producción de CO ₂ respecto a la capacidad | 65 |
| Figura 14 Porcentaje de Pérdida en el Proceso de Producción de CO ₂ | 66 |
| Figura 15 Producción mensual de CO ₂ en el año 2025 | 67 |
| Figura 16 Comparación entre Gas Crudo y CO ₂ Purificado en 2025 | 68 |
| Figura 17 Porcentaje de eficiencia en la producción de CO ₂ (2025)..... | 69 |
| Figura 18 Planta de Producción | 95 |
| Figura 19 Carga de cisterna con CO ₂ | 96 |
| Figura 20 Columna de lavado | 97 |
| Figura 21 Visita a Carbón Engineering Nicaragua | 98 |
| Figura 22 Visita a Carbon Engineering Nicaragua | 99 |
| Figura 23 Visita a Carbón Engineering Nicaragua | 100 |

INDICE DE ECUACION

| | |
|------------------|----|
| Ecuación 1..... | 59 |
| Ecuación 2..... | 59 |
| Ecuación 3..... | 60 |
| Ecuación 4..... | 61 |
| Ecuación 5..... | 61 |
| Ecuación 6..... | 71 |
| Ecuación 7..... | 71 |
| Ecuación 8..... | 72 |
| Ecuación 9..... | 72 |
| Ecuación 10..... | 72 |
| Ecuación 11..... | 72 |
| Ecuación 12..... | 73 |
| Ecuación 13..... | 74 |
| Ecuación 14..... | 74 |
| Ecuación 15..... | 75 |
| Ecuación 16..... | 75 |
| Ecuación 17..... | 75 |
| Ecuación 18..... | 75 |
| Ecuación 19..... | 76 |
| Ecuación 20..... | 76 |
| Ecuación 21..... | 77 |
| Ecuación 22..... | 78 |
| Ecuación 23..... | 79 |
| Ecuación 24..... | 80 |

“Universidad de Ciencias Comerciales”

| | |
|------------------|----|
| Ecuación 25..... | 80 |
| Ecuación 26..... | 80 |
| Ecuación 27..... | 83 |
| Ecuación 28..... | 83 |
| Ecuación 29..... | 83 |
| Ecuación 30..... | 84 |

RESUMEN

Este proyecto de graduación tuvo como objetivo principal analizar el proceso de producción de dióxido de carbono (CO_2) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua, ubicada en Chichigalpa, para proponer un plan de mejora en su sistema productivo. El estudio se desarrolló en un contexto de creciente demanda de CO_2 para bebidas carbonatadas, donde CEN ha experimentado un crecimiento anual sostenido, pero enfrenta limitaciones en su capacidad operativa.

El diagnóstico situacional, realizado entre julio y noviembre de 2025, identificó que la principal debilidad operativa y la causa de las fluctuaciones en la eficiencia (entre 73% y 82%) residen en el sistema de pre-enfriamiento. Específicamente, los pre-enfriadores existentes no poseen la capacidad suficiente para manejar el volumen de gas que demandan los compresores, lo que genera cuellos de botella y pérdidas en la etapa de purificación y licuefacción del gas.

En respuesta a este hallazgo técnico, la investigación propuso un plan de mejora centrado en la modernización de los equipos de refrigeración. La solución técnica recomendada incluye la instalación de un nuevo enfriador de tubo y coraza y la implementación de compresores de alta eficiencia (como los modelos R717 o R404A). Los cálculos técnicos validaron esta propuesta, demostrando que para una carga térmica de 42.22 kW, la instalación de 187 tubos en el nuevo enfriador es la más viable para resolver las limitaciones de capacidad y optimizar el rendimiento operativo.

La implementación de este plan estratégico no solo eliminará el cuello de botella en la refrigeración e incrementará la eficiencia de conversión de gas crudo a CO_2 purificado, sino que también asegurará la sostenibilidad de la producción y fortalecerá la ventaja competitiva de Carbón Engineering Nicaragua en el mercado regional.

Palabras Claves: Dióxido de Carbono (CO_2), Sistema de Refrigeración, Plan de Mejora, Eficiencia Operativa, Ingeniería Industrial.

ABSTRACT

This graduation project's main objective was to analyze the carbon dioxide (CO₂) production process at Carbon Engineering Nicaragua (CEN), located in Chichigalpa, to propose a system improvement plan for its production system. The study was conducted in a context of growing demand for CO₂ for carbonated beverages, where CEN has experienced sustained annual growth but faces limitations in its operational capacity.

The situational diagnosis, carried out between June and November 2025, identified that the main operational weakness and the cause of efficiency fluctuations (between 73% and 82%) lie in the pre-cooling system. Specifically, the existing pre-coolers do not have sufficient capacity to handle the volume of gas required by the compressors, leading to bottlenecks and losses during the gas purification and liquefaction stage.

In response to this technical finding, the research proposed an improvement plan focused on modernizing the refrigeration equipment. The recommended technical solution includes the installation of a new shell and tube cooler and the implementation of high-efficiency compressors (such as R717 or R404A models). Technical calculations validated this proposal, demonstrating that for a thermal load of 42.22 kW, the installation of 187 tubes in the new cooler is the most viable option to resolve capacity limitations and optimize operational performance.

The implementation of this strategic plan will not only eliminate the refrigeration bottleneck and increase the efficiency of converting crude gas to purified CO₂, but it will also ensure production sustainability and strengthen Carbon Engineering Nicaragua's competitive advantage in the regional market.

Keywords: Carbon Dioxide (CO₂), Refrigeration System, Improvement Plan, Operational Efficiency, Industrial Engineering.

INTRODUCCION

La creciente demanda de dióxido de carbono (CO_2) en aplicaciones industriales como: la fabricación de bebidas carbonatadas, conservación de alimentos, procesos agrícolas y farmacéuticos, ha convertido este gas en un insumo importante para múltiples sectores. En este caso, la eficiencia y capacidad de los sistemas de producción se vuelven factores determinantes para la competitividad de las empresas que lo suministran.

Carbón Engineering Nicaragua, ubicada en Chichigalpa, ha consolidado su presencia en el mercado nacional e internacional mediante la recuperación y purificación de CO_2 generado como subproducto de la fermentación en la industria licorera. Sin embargo, el rápido crecimiento del consumo industrial, especialmente en el sector de bebidas, ha demostrado la necesidad de mejorar la capacidad operativa y la eficiencia de su sistema productivo.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el sistema de producción de CO_2 de la empresa desde una perspectiva de productividad, identificando los principales factores que limitan su rendimiento y proponiendo soluciones técnicas y operativas que permitan optimizar cada etapa del proceso. Se busca no solo aumentar la capacidad de producción, sino también reducir pérdidas, aprovechar mejor los recursos disponibles y asegurar la sostenibilidad operativa ante las crecientes exigencias del mercado.

A lo largo del presente documento, se desarrollará un análisis contextual del entorno industrial y operativo en el que se desempeña Carbón Engineering Nicaragua, seguido por la identificación de los principales factores que afectan la productividad del sistema de producción de CO_2 . Posteriormente, se describirá la metodología utilizada para el levantamiento y análisis de datos en planta. Finalmente, se presentará un diagnóstico técnico del proceso, junto con una propuesta de mejora enfocada en la optimización del rendimiento operativo, el aumento de la capacidad instalada y el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1 Antecedentes y contexto del problema

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Con el fin de sustentar la importancia del presente estudio, se presentan antecedentes que permiten establecer una base teórica y práctica para el análisis del proceso de producción de CO₂, en un estudio sobre refrigeración industrial, Pacheco (2018) analiza el uso del dióxido de carbono (CO₂) como refrigerante natural en aplicaciones comerciales. El autor destaca que el CO₂ presenta un bajo potencial de calentamiento global (GWP = 1), lo que lo convierte en una alternativa ecológica frente a los refrigerantes tradicionales, como los hidrofluorocarbonos. Si bien su implementación requiere condiciones de alta presión, el estudio demuestra que existen soluciones técnicas confiables y componentes adecuados para operar sistemas de refrigeración con CO₂ de manera segura y eficiente. Este antecedente resalta el potencial de este gas no solo como recurso ambientalmente viable, sino también como una opción efectiva para procesos industriales que demandan refrigeración controlada, aportando valor a investigaciones centradas en la mejora de la eficiencia productiva (Pacheco, 2018)

(Ruiz, 2012) presentó una tesis doctoral en la Universidad Pontificia Bolivariana en la que desarrolla un estudio de impacto ambiental para la creación de un centro de regeneración de refrigerantes. Esta propuesta, impulsada en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Unidad Técnica de Ozono (UTO), tiene como objetivo mitigar los efectos negativos derivados de la liberación de gases refrigerantes a la atmósfera. El centro estaría destinado a recuperar y limpiar gases como R12, R22 y R134a, permitiendo su reintegración a los procesos industriales que los requieren. Este antecedente destaca la importancia de incorporar medidas técnicas sostenibles dentro de las industrias que utilizan gases, lo cual aporta valor al análisis de eficiencia y aprovechamiento de recursos en sistemas productivos similares. (Ruiz, 2012)

(Díaz, 2019), en su tesis de maestría desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid, analizó la eficiencia de dos sistemas de refrigeración avanzados con dióxido de carbono (CO₂), conectados a sistemas geotérmicos. El estudio se centró en el consumo energético de supermercados en Suecia, donde aproximadamente el 3 % de la electricidad nacional se destina a cubrir las demandas de refrigeración, calefacción y aire acondicionado. La autora destaca que este consumo intensivo convierte a estos establecimientos en grandes emisores de gases contaminantes, por lo que propone sustituir los refrigerantes artificiales por CO₂, un subproducto de la generación energética que puede reutilizarse antes de ser liberado a la atmósfera. Este

antecedente demuestra que el uso de CO₂ en sistemas industriales puede representar una alternativa eficiente, sostenible y económicamente viable en procesos productivos de alta demanda energética. (Díaz, 2019)

1.1.2 Antecedentes Nacionales

(Vílchez, 2017) desarrolló un trabajo de graduación en el que evaluó las emisiones de gases de efecto invernadero —dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)— en tres tipos de uso de suelo: bosque secundario, sistemas agroforestales tipo Quesungual y agricultura tradicional. La investigación se llevó a cabo en la microcuenca Tecomapa, ubicada en el municipio de Somotillo, Chinandega, utilizando 72 cámaras estáticas cerradas instaladas en seis fincas. Los resultados mostraron que, durante los meses de mayor precipitación, en particular septiembre de 2014, se registraron las mayores emisiones de gases, evidenciando la influencia de las condiciones climáticas en la liberación de CO₂. Este estudio proporciona información relevante sobre la dinámica del carbono en entornos rurales, lo cual es útil para analizar su impacto en procesos industriales relacionados con emisiones y sostenibilidad. (Vílchez, 2017)

(Aburto Galeano & Benavides Araica, s.f.)elaboraron un plan estratégico para Carbox de Nicaragua, S.A., empresa dedicada a la producción de gases derivados del medio ambiente. El estudio incluyó un análisis del macroentorno industrial, considerando factores económicos, tecnológicos y ambientales que inciden en la competitividad del sector. Además, se evaluó la situación interna de la empresa mediante un diagnóstico FODA, lo cual permitió identificar áreas de mejora y proponer estrategias para fortalecer su posicionamiento, optimizar la cadena de valor y aumentar su ventaja competitiva. Este antecedente aporta un enfoque integral sobre planificación estratégica en el sector de gases industriales, útil para proyecciones de productividad y eficiencia operativa. (Aburto Galeano & Benavides Araica, s.f.)

(Urroz, 2023)Presento un estudio *titulado* “Evaluación de la emisión de dióxido de carbono microbiano en suelos con sistemas de agricultura de conservación, Condega, Yalagüina, Nicaragua, 2023.” enfocado en la emisión de dióxido de carbono mediante respiración microbiana del suelo, comparando sistemas agrícolas tradicionales y de conservación. Utilizó análisis estadísticos (ANOVA, regresión lineal) para evaluar cómo variables como el pH, la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico influyen en la liberación de CO₂. El estudio reveló mayores emisiones en época seca y una correlación positiva entre carbono orgánico y CO₂. Este antecedente es relevante para la presente investigación porque demuestra cómo factores físicos y ambientales afectan directamente la producción de CO₂, lo cual guarda relación con el análisis de productividad en sistemas industriales. (Urroz, 2023)

1.1.3 Antecedentes Locales

A nivel local, no se encontraron investigaciones previas publicadas en los repositorios de las sedes de la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC) en Matagalpa, Managua o León que aborden específicamente el análisis del sistema de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua. Esta ausencia de estudios en el ámbito local representa un vacío académico que esta investigación busca cubrir, aportando un enfoque técnico y productivo sobre un proceso industrial poco explorado en el contexto nicaragüense.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

- Analizar el proceso de producción de dióxido de carbono (CO_2) en la empresa carbon engineering Nicaragua, con el fin de elaborar propuesta de mejora en su sistema productivo, en chichigalpa, Chinandega, en el periodo de julio a noviembre 2025.

1.2.2 Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar el estado actual del sistema de producción de dióxido de carbono (CO_2) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua, identificando fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora en sus procesos operativos.
2. Analizar la relación entre el contenido de azúcar en la melaza y la producción de dióxido de carbono, evaluando cómo las variaciones en el porcentaje de sacarosa influyen en el rendimiento del proceso.
3. Analizar la capacidad instalada y utilizada del sistema de producción de dióxido de carbono (CO_2) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua para identificar limitaciones operativas.
4. Proponer un plan de mejora enfocada en la eficiencia operativa del sistema de producción de dióxido de carbono (CO_2) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el período de estudio comprendido entre julio y noviembre de 2025, la empresa Carbón Engineering Nicaragua ha enfrentado limitaciones en su capacidad de producción de dióxido de carbono (CO₂) debido a deficiencias en el sistema de refrigeración. En particular, los pre-enfriadores no poseen la capacidad suficiente para manejar el volumen de gas que demandan los compresores, lo que provoca pérdidas en el proceso de purificación y reduce los niveles de eficiencia productiva.

A pesar de que la planta logró una producción anual de 4,870,081.04 kg de CO₂ purificado, con volúmenes mensuales que oscilaron entre 742,112.27 kg en diciembre y un máximo de 853,005.40 kg en marzo, el desempeño global se ha visto condicionado por variaciones en la eficiencia. Los indicadores muestran que, mientras en los meses centrales de la zafra se alcanzaron valores del 82% (abril y mayo), en otros momentos descendieron hasta el 73% (febrero), reflejando la inestabilidad generada por las limitaciones del sistema de refrigeración.

Este escenario cobra mayor relevancia considerando que la empresa se encuentra en fase de expansión, con un crecimiento sostenido en su producción de entre 8% y 10% anual durante los últimos cinco años, impulsado por la creciente demanda del mercado de bebidas carbonatadas. Si bien la capacidad instalada actual permite cubrir la demanda inmediata, las restricciones en el área de refrigeración representan un obstáculo para mantener el ritmo de crecimiento proyectado, tanto a nivel nacional como internacional.

En consecuencia, el problema central radica en la necesidad de optimizar el sistema de refrigeración de la planta para reducir pérdidas, incrementar la eficiencia de conversión de gas crudo a CO₂ purificado y garantizar la sostenibilidad de la producción frente al aumento constante de la demanda.

1.4 JUSTIFICACION

El presente estudio surge a raíz de las limitaciones detectadas en la capacidad de los pre-enfriadores dentro del proceso de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la empresa Carbón Engineering Nicaragua. Estos equipos no cuentan con la capacidad suficiente para acompañar el rendimiento de los compresores y demás etapas del sistema, lo que ocasiona pérdidas durante la purificación y licuefacción del gas. Como resultado, la eficiencia del proceso presenta fluctuaciones notables, con valores que han oscilado entre un 73% en febrero de 2025 y un máximo de 82% en abril y mayo del mismo año. Esta variabilidad impacta tanto en la cantidad de producto disponible como en la estabilidad de su calidad final.

La importancia de este estudio radica en que, a pesar de que la planta alcanzó una producción total de 4,870,081.04 kg de CO₂ purificado en la zafra 2024–2025, la demanda del mercado continúa creciendo de manera sostenida, con incrementos anuales de entre 8% y 10% en los últimos cinco años. En este contexto, cualquier ineficiencia en la conversión de gas crudo a CO₂ purificado limita la capacidad de la empresa para cubrir de manera competitiva el mercado local y proyectarse hacia el internacional.

Los beneficios de este proyecto se reflejan en varios niveles. Para la empresa, la implementación de mejoras técnicas permitirá eliminar cuellos de botella en el sistema de refrigeración, incrementar la eficiencia del proceso y garantizar una producción más estable y rentable. Para los trabajadores, significará procesos más seguros y eficientes, con un mejor aprovechamiento de los recursos humanos y tecnológicos. Los clientes, por su parte, se verán beneficiados al recibir un producto más consistente en cantidad y calidad, lo que fortalecerá la confianza y la posición de la empresa en la industria.

Finalmente, este trabajo también tiene un valor académico y social. Al constituirse como uno de los primeros estudios específicos sobre la producción de CO₂ en esta industria dentro de la región, servirá como base para futuras investigaciones y como un aporte a la formación de estudiantes y profesionales en áreas de ingeniería industrial, procesos de producción y sostenibilidad.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES:

El propósito de este análisis es examinar el sistema de enfriamiento durante la producción de (CO₂) en Carbón Engineering Nicaragua y sugerir mejoras que incrementen su rendimiento y eficacia.

- Revisión del sistema de enfriamiento actual, detectando fallas en los pre enfriadores y su efecto en la generación de (CO₂).
- Evaluación de la conexión entre la potencia de enfriamiento y la efectividad del proceso de compresión y condensación del (CO₂).
- Presentación de soluciones técnicas y operativas que favorezcan la eficiencia energética y la capacidad de producción.
- Consejos para llevar a cabo mejoras en el sistema de enfriamiento, con el fin de minimizar residuos y asegurar una operación estable de la planta.

1.5.2 LIMITACIONES:

A lo largo de la realización del análisis, se han encontrado ciertas limitaciones que podrían impactar los resultados:

- Acceso a información técnica: Es posible que algunas características de los equipos de enfriamiento existentes estén restringidas por la empresa.
- Tiempo restringido para la recopilación de información: Debido a que el análisis se efectuará en un periodo determinado, no será posible observar los efectos de las mejoras a largo plazo.
- Limitaciones presupuestarias: La realización de las mejoras estará condicionada por el capital disponible de la empresa y la viabilidad económica de las soluciones propuestas.

1.6 VARIABLES

En la presente investigación se identificaron las variables clave que permitirán analizar el desempeño del sistema de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la empresa Carbon Engineering Nicaragua. Estas variables se clasifican en dependiente, independientes, y se definieron tanto conceptual como operacionalmente para garantizar un enfoque claro y medible durante el proceso de recolección y análisis de datos.

Tabla 1 Tabla de Definición de Variables

| Tipo de Variable | Nombre de la Variable | Definición Conceptual |
|-------------------------|---|--|
| Dependiente | Eficiencia del proceso de producción de CO ₂ | Grado en que el sistema convierte vinaza en CO ₂ útil, sin pérdidas ni interrupciones. |
| Independiente | Condiciones operativas del sistema | Estado en el que se encuentra el sistema durante el proceso productivo. |
| Independiente | Disponibilidad de gas carbónico proveniente del proceso de fermentación | Cantidad de gas carbónico generado durante la fermentación alcohólica que puede ser capturado para su procesamiento. |

Fuente: Elaboración de autores

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Definición de sistema de producción

La definición de este término suele ser confundida con el significado de producción, que, en sí, esta se refiere a la transformación de materia prima en un producto; mientras que el sistema de producción apunta más a todo lo que conlleva esa transformación. Entonces, podemos decir que los sistemas de producción son todos los procesos y actividades, que integran recursos humanos, materiales, información, energía, capital, maquinaria y procedimientos puntuales. (Quiroa, 2024)

Este sistema ayuda a proporcionar una estructura que agiliza la definición de tareas, así como su ejecución. Prácticamente, permite facilitar la generación de productos dependiendo de los objetivos que la compañía haya establecido en su plan mensual.

Estos pueden clasificarse como:

Físicos: Que existen de manera física

Conceptuales: Solo existen en la mente de alguien

Naturales: Fueron creados por la naturaleza

Elaborados: Han sido creados por el hombre

Abiertos: Es un sistema difícil de rastrear y de predecir

Cerrados: Cuenta con objetivos, recursos, y actividades claras y rastreables

Técnicos: Integran el uso de tecnología para agilizar las acciones

Sociales: Se enfoca en una meta social

A pesar de las distintas categorías que tienen los sistemas de producción, comúnmente se utiliza el cerrado, pues es el más orientado al cumplimiento de metas y objetivos de manera clara y transparente. No obstante, existen otras tipologías que se emplean dependiendo de la demanda de productos que llegue a tener un negocio; te las explicamos en seguida. (Quiroa, 2024)

2.1.2 Tipos de sistemas de producción

Sistema continuo

Como su nombre lo dice, en este sistema de producción se crean tantos productos como sea posible, en un tiempo corto. Algo que influye en este conjunto de acciones ininterrumpidas y predecibles, es que los productos no sufren grandes cambios, haciendo que su tiempo de transformación sea mínimo.

Sistema intermitente

En este sistema, la diferencia está en que se toma mucho en cuenta el registro de datos y las tendencias del mercado actual. Por lo tanto, la producción se basa prácticamente en la demanda por temporadas. Un ejemplo de esto es en negocios de ropa, que deben tener en cuenta que la producción de chamarras o abrigos no podría ser continua, sino que solo durará un tiempo determinado. Además de que deberán seguir produciendo otro tipo de prendas para satisfacer las necesidades del consumidor.

Sistema modular

Este tipo de sistema de producción busca generar módulos que puedan ensamblarse y retirarse para poder producir distintos productos de manera ensamblada. Algo ideal para empresas que tienen una gama amplia de artículos. (Quiroa, 2024)

Sistema por proyectos

Este último sistema se trata de una producción personalizada por el cliente, quien decide la cantidad y características de los productos. Generando así una solicitud muy detallada que se tomará como base para crear un plan de producción.

2.1.3 Elementos cruciales dentro del sistema de producción

Fronteras

Este término se refiere a las posibilidades de producción y tiene la capacidad de revelar la deficiencia de algún factor de producción. Lo que les permite a los líderes empresariales conocer los límites de capacidad productiva de la organización.

Entradas

Se trata de los recursos que serán transformados en productos. Estos pueden ser materia prima, datos e información de los clientes y de los procesos internos, entre otros elementos como el capital humano, inmuebles, maquinaria y herramientas tecnológicas.

Rendimiento

Este factor del sistema de producción se enfoca en la óptima transformación de recursos, en productos, servicios u otros.

Salidas

La salida será el resultado final de la producción, o sea, los recursos ya transformados en productos, así como productos indirectos, desechos y merma.

Feedback

Este se refiere a la visión del negocio sobre las relaciones de causa y efecto de cada proceso. Ayuda a identificar errores e incongruencias, así como a monitorear que todos los procedimientos se ejecuten con éxito.

Entre otros elementos que afectan a los sistemas de producción, y que no son internos, podemos encontrar a la oferta y la demanda.

Oferta

Se trata de la mercancía que estará disponible para su venta durante un periodo específico y que cuenta con un precio ya establecido.

Demanda

Es la disposición de los consumidores para invertir dinero en productos de su preferencia.

2.1.5 Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas que se encuentra de manera natural en la atmósfera y desempeña un papel crucial en los procesos vitales del planeta. Este gas, también conocido como carbono atmosférico, es fundamental para el ciclo de vida de las plantas ya que es absorbido durante la fotosíntesis para convertirse, mediante un proceso fotoquímico, en carbono en sus estructuras de crecimiento vegetal. Este proceso libera oxígeno a la atmósfera, un gas esencial para la respiración de los seres vivos. (KUNAK, 2025)

El (CO₂) es un gas incoloro, inodoro y no inflamable que se encuentra repartido naturalmente entre la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera (constituida por los océanos mayoritariamente) y la litosfera o capa sólida de la superficie terrestre. El equilibrio de su circulación entre estos cuatro reservorios resulta esencial para la vida en la Tierra. En este sentido, el carbono global, es decir, la cantidad total de carbono presente en la Tierra, incluyendo el carbono sólido, como el que se encuentra en los combustibles fósiles, y el carbono atmosférico, es un indicador importante del estado de salud de nuestro planeta.

A pesar de su presencia omnipresente en nuestra atmósfera, el dióxido de carbono se ha convertido en un tema de gran preocupación ambiental. Desde hace 170 años ha sido liberado en cantidades excesivas en el aire por la actividad humana y sus valores se han disparado en las tres últimas décadas. Sus emisiones contribuyen de una manera significativa, junto a otros gases de efecto invernadero, al calentamiento global y al cambio climático.

Cómo llega el dióxido de carbono al aire

Es importante mencionar que no todo el carbono es igual. Existen diferentes formas de este elemento, cada una con sus propias características y efectos.

El carbono sólido es el dióxido de carbono almacenado en suelos y rocas. Puede ser liberado a la atmósfera a través de la erosión y la actividad volcánica modificando la proporción de carbono presente en la Tierra o carbono global. Este incluye también el carbono presente en la atmósfera como en la corteza terrestre, los océanos y los seres vivos. El equilibrio entre estos diferentes tipos de carbono es lo que ayuda a mantener la vida en nuestro planeta.

El carbono caliente es una forma de carbono que ha sido sometida a altas temperaturas y presiones, resultando en un material extremadamente resistente y duradero. De manera similar, el carbono comprimido es otra forma de carbono que ha sido sometida a altas presiones, lo que resulta en un material extremadamente denso. Ambas formas de carbono son utilizadas en una variedad de aplicaciones industriales, desde la fabricación de acero hasta la producción de energía.

Por otro lado, el carbono puro es una forma de carbono que no ha sido alterada o mezclada con otros elementos. Este tipo de carbono es muy valorado por su pureza y se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde la fabricación de joyas hasta la producción de materiales semiconductores.

Por último, el carbono equivalente es una medida utilizada para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero basándose en su potencial para contribuir al calentamiento global, es fundamental para mitigar el cambio climático.

El carbono es, a la vez, una herramienta única para conocer la historia de la vida en nuestro planeta gracias a los tres posibles isótopos (12, 13 y 14) con que el carbono se encuentra en la atmósfera y en los seres vivos, que lo incorporamos gracias a la alimentación mientras que las plantas lo hacen mediante la fotosíntesis. Gracias a la presencia del carbono en las estructuras orgánicas e inorgánicas de cualquier ser vivo es posible determinar el momento en que vivió en la Tierra durante los últimos 60.000 años, el máximo tiempo que permite este sistema de datación. La proporción del carbono-12 es muy estable y, medida con respecto a los cambios que experimenta el carbono-14, un isótopo radioactivo o inestable que va desapareciendo exponencialmente a partir de la muerte del organismo y su molécula es sustituida por nitrógeno, se determina el tiempo que ha transcurrido desde que un organismo murió.

2.1.6 Dióxido de carbono, elemento vital en los ecosistemas

El (CO_2), es un gas es emitido naturalmente a través de una serie de procesos biológicos, como la respiración de los seres vivos, y geológicos. Aunque a menudo se asocia con la contaminación y los efectos del cambio climático, por su liberación a partir de la materia orgánica en descomposición y la quema de combustibles fósiles,

el dióxido de carbono desempeña a su vez funciones vitales para la vida en nuestro planeta.

Sin embargo, cuando los niveles de (CO_2) atmosférico se elevan, debido a las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, puede dar lugar a un exceso de carbono caliente, aquel que ha sido liberado a la atmósfera. Dicho aumento en el carbono atmosférico puede llevar a un aumento en la temperatura del planeta, ocasionando el conocido calentamiento global. (KUNAK, 2025)

En resumen, es fundamental asumir la importancia del dióxido de carbono y su equilibrio a nivel global. La gestión cuidadosa de los recursos naturales y la reducción de nuestras emisiones de carbono son esenciales para mantener el equilibrio de carbono en nuestro planeta y garantizar un futuro sostenible para todas las formas de vida.

2.1.7 El dióxido de carbono y el efecto invernadero

El (CO_2) juega un papel fundamental en el fenómeno ambiental conocido como efecto invernadero, un aspecto de gran relevancia en la regulación de la temperatura del planeta debido a su estrecha relación con el calentamiento global.

El dióxido de carbono liberado al aire, junto con otros gases de efecto invernadero como el metano/">metano, el ozono/">ozono y el óxido nitroso, atrapa el calor del sol en la atmósfera terrestre, lo que provoca un aumento gradual de la temperatura global. De todos los gases que contribuyen al efecto invernadero, es el (CO_2) el más abundante de forma natural y, mediante las actividades antropogénicas, su concentración en la atmósfera ha aumentado drásticamente en las últimas décadas. Entre todos estos gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono destaca porque puede permanecer durante décadas en la atmósfera.

El calentamiento global conlleva cambios drásticos en el clima y en algunos lugares provoca situaciones catastróficas. Afecta los patrones de precipitación, causa sequías e inundaciones, y aumenta la frecuencia de eventos climáticos extremos. Además, el carbono atmosférico se absorbe en los océanos, causando acidificación, lo que ocasiona efectos perjudiciales para la vida marina.

Infinidad de riesgos ambientales se ciernen sobre el ser humano y la vida salvaje si no logramos reducir las actuales emisiones de (CO_2) a la atmósfera.

Las producciones agrícolas se reducirán, el agua potable no estará disponible para gran parte de la humanidad, el nivel del mar subirá y especies y ecosistemas

desaparecerán como ya están acusando los arrecifes de coral. Además, se iniciarán migraciones masivas impulsadas por los drásticos cambios climáticos que afectarán no solo a la vida silvestre sino a la geopolítica mundial. (KUNAK, 2025)

El coste económico de los desastres naturales en el mundo no sólo crece en cifras absolutas por el cambio climático, sino que se ha más que duplicado desde la década de 1980 por el peso que representa en el producto interior bruto (PIB), según la OCDE, que espera que esa tendencia continúe en los próximos años.

El grave riesgo e impacto del incremento en el carbono atmosférico resalta la necesidad de tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y así mitigar los efectos del cambio climático para evitar problemas futuros a nivel planetario.

2.1.8 El dióxido de carbono, usos y aplicaciones

Más allá de su papel regulador en el clima global, el dióxido de carbono también tiene una variedad de usos y aplicaciones en la industria. En su estado natural, el dióxido de carbono es un gas difuso. Pero cuando se comprime se convierte en un líquido o sólido supercrítico, dependiendo de la temperatura. Este (CO_2) comprimido puede ser utilizado como sustancia indispensable en numerosos procesos industriales y científicos debido a sus propiedades únicas como eliminar impurezas y evitar la oxidación en la industria del acero.

En estado comprimido se utiliza en la producción de alimentos y medicamentos, en la fabricación de bebidas carbonatadas, en la extinción de incendios y en la producción de hielo seco; forma sólida del carbono empleada para refrigerar alimentos y medicamentos y en el aire acondicionado por su eficiencia energética.

Además, el dióxido de carbono también tiene aplicaciones en el campo de la medicina, donde se utiliza para crear un ambiente controlado en ciertos tipos de cirugías mínimamente invasivas como la laparoscopia o en procedimientos de tratamiento como la crioterapia.

El carbono caliente, a su vez, es una forma de carbono que se ha calentado a extremadamente altas temperaturas y se utiliza en la producción de acero y otros materiales. A nivel molecular, el carbono puro es la base de numerosos compuestos orgánicos, desde los combustibles fósiles hasta transformarse en plásticos y medicamentos.

En el sector energético, el (CO_2) comprimido se utiliza en la recuperación mejorada de petróleo y gas. Una técnica que permite extraer más hidrocarburos de los yacimientos

de petróleo y gas natural. En la ciencia, el dióxido de carbono comprimido es una herramienta valiosa para el estudio del carbono atmosférico, el carbono global y otros aspectos del ciclo del carbono. (KUNAK, 2025)

En resumen, aunque el dióxido de carbono es más conocido por su papel en el cambio climático, también tiene una amplia gama de usos en la industria y la ciencia. Como tal, es esencial para la economía global y la vida tal como la conocemos y su demanda es previsible que siga creciendo en el futuro debido a sus numerosas aplicaciones y beneficios.

2.1.9 Efecto del dióxido de carbono en el cuerpo humano

El (CO_2) en niveles normales no es tóxico para las personas y juega un papel crucial en la regulación del pH y presión de la sangre, y la respiración. Sin embargo, la exposición a niveles elevados de (CO_2) puede provocar efectos nocivos como dolores de cabeza, mareos, espasmos musculares, dificultades respiratorias y cardiovasculares, incluso pérdida de conciencia y, en casos extremos, la muerte por asfixia.

Estos efectos son resultado de la disminución del oxígeno en la sangre debido a la presencia elevada de dióxido de carbono. Por tanto, es vital mantener un equilibrio en la concentración de (CO_2) atmosférico. A la vez, es importante mantener un entorno donde predomina el equilibrio de carbono, incluyendo carbono sólido, carbono caliente, carbono puro y carbono comprimido, para un funcionamiento óptimo del cuerpo.

2.1.10 ¿Cómo reducir las emisiones de dióxido de carbono?

En el escenario actual, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono se ha convertido en una cuestión ambiental prioritaria a nivel global para prevenir una gran diversidad de riesgos e impactos a futuro. La implementación de soluciones sostenibles que ayuden a reducir las emisiones de dióxido de carbono es esencial.

Estas soluciones no sólo deben centrarse en reducir la cantidad de carbono puro liberado en la atmósfera, sino también en gestionar eficientemente el carbono global para mantener el equilibrio de carbono en nuestro planeta.

Una de las formas más efectivas de reducir las emisiones de (CO_2) es a través de la captura y almacenamiento de carbono. Este proceso implica la captura de (CO_2) atmosférico liberado por fuentes industriales y su posterior almacenamiento en formaciones geológicas subterráneas. Esta transformación del carbono atmosférico a carbono sólido puede ayudar a reducir significativamente la concentración de (CO_2) en la atmósfera.

Según estudios recientes realizados por el CSIC con investigadores del IDAEA e IMEDEA (CSIC-UIB) inyectar miles de millones de toneladas de (CO₂) atmosférico bajo tierra posee un riesgo bajo de escapar a la superficie terrestre. Un almacenamiento geológico que puede emplearse como método seguro para mitigar el cambio climático. Es un proceso en desarrollo que ya cuenta con la primera planta de almacenamiento de (CO₂) de la atmósfera bajo tierra en Islandia.

De igual manera se pueden implementar las reforestaciones y plantaciones de árboles que son esenciales para la captura natural de (CO₂).

Los árboles y las plantas absorben el (CO₂) de la atmósfera y lo utilizan para realizar la fotosíntesis. Por lo tanto, la plantación de más árboles puede ayudar a reducir la cantidad de (CO₂) en la atmósfera y, por ende, mitigar el calentamiento global.

Otra solución sostenible es la utilización de energías renovables como la solar y la eólica, en lugar de combustibles fósiles, que no emiten (CO₂) en su producción. Este cambio puede reducir la cantidad de carbono caliente liberado a la atmósfera y, al mismo tiempo, asegurar una fuente de energía sostenible para el futuro.

Además, se pueden implementar prácticas de gestión de carbono comprimido, como la mejora de la eficiencia energética y la optimización de los procesos industriales para minimizar la liberación de carbono equivalente. Estas soluciones no sólo ayudan a reducir las emisiones de dióxido de carbono, sino que también contribuyen a un futuro más sostenible y respetuoso con el medioambiente. (KUNAK, 2025)

Herramientas para medir el dióxido de carbono

En el actual escenario de crisis climática originada por la actividad humana, la medición precisa del dióxido de carbono es de vital importancia para mitigar el calentamiento global ya que el carbono desempeña un papel preponderante para regular la temperatura y con ello el futuro de la vida en el planeta.

La medición del (CO₂) se lleva a cabo a través de diversas herramientas y técnicas, todas diseñadas para proporcionar la máxima precisión y fiabilidad.

Una de las técnicas más comunes para medir el (CO₂) es la espectroscopia de infrarrojos. Detecta y mide la presencia de este gas basándose en el carbono caliente y su capacidad de absorber la luz infrarroja. De igual manera la espectrometría de masas es ampliamente utilizada mediante el desarrollo de un proceso químico para separar las moléculas del gas en iones en función de su masa y carga. Para medir la cantidad de (CO₂) en un volumen específico de aire se utiliza el carbono comprimido.

A nivel atmosférico, los sistemas de medición de dióxido de carbono de Kunak han demostrado su precisión. Múltiples estudios, así como evaluaciones independientes a las que han sido sometidos, los sitúan entre los mejores sensores existentes a nivel internacional en la actualidad. Se basa en que el cartucho de dióxido de carbono lleva incorporado un sensor de infrarrojos no dispersivo (NDIR) que le proporciona capacidad para medir un rango amplio, desde las bajas a altas concentraciones del (CO₂) atmosférico.

Su calibración automática le confiere estabilidad a largo plazo sin ser vulnerable a la humedad, la temperatura y la presión. Compensar y mitigar los efectos de estas variables ambientales se consigue mediante el algoritmo integrado Kunak, capaz de calcular las concentraciones de (CO₂) localmente y en tiempo real sin necesidad de disponer de datos de referencia externos. No obstante, la medición del (CO₂) es solo una parte de la ecuación. En nuestras manos está el tomar medidas para reducir las emisiones de este gas a la atmósfera si queremos preservar la salud del planeta y con ello nuestro éxito de supervivencia como especie. (KUNAK, 2025)

Equilibrar el (CO₂) en el ambiente

Aparte de los satélites más avanzados que miden la concentración de (CO₂) desde el espacio a nivel global, resulta imprescindible calcular la huella de carbono. Conocerla es esencial para enfrentar la mitigación del (CO₂) presente en la atmósfera. Ya que el dióxido de carbono es el gas que, por su mayor proporción atmosférica, es empleado para calcular la huella de carbono y su impacto en el calentamiento global.

La transición del mundo hacia una economía adaptada al cambio climático va de la mano de una economía mundial baja en carbono.

“Los costos del cambio climático son potencialmente muy grandes, y los cálculos del costo social del carbono deberían reflejar los impactos en todo el mundo y en las generaciones futuras, que podrían verse empobrecidas si no actuamos”. Nicholas Stern.

Aunque el (CO₂) es un gas esencial para la vida y la respiración de las personas lo produce naturalmente, es adecuado regular sus emisiones atmosféricas y controlar su presencia en espacios interiores. Resulta imprescindible ventilar dichos ambientes periódicamente para que el aire se renueve y con ello cuidar la salud mientras permanecemos en espacios sanos y seguros.

A nivel ambiental hay que recuperar el equilibrio del (CO_2) a nivel planetario tal y como ha vivido la especie humana durante miles de años, antes de la era industrial, gracias a la proporción armónica entre la respiración de los seres vivos y la captación de dióxido de carbono que realizan las plantas mediante la fotosíntesis. Para lograrlo es necesario que los grandes focos de emisiones como las actividades industriales y la agricultura, centradas en procesos más eficientes y sostenibles, avancen hacia las emisiones netas nulas. (KUNAK, 2025)

2.1.11 Descripción del proceso en Carbón Engineering Nicaragua

Carbón Engineering Nicaragua es una planta industrial dedicada a limpieza y purificación de dióxido de carbono proveniente de la fermentación alcohólica.

Esta fermentación alcohólica ocurre por la acción de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), que es un microorganismo que transforma los azúcares en alcohol y durante ese proceso se genera simultáneamente CO_2 , que es la materia prima de Carbón Engineering. El dióxido de carbono generado en cada tanque fermentador es retenido y enviado directamente a la planta de Carbón Engineering vía tubería con un diámetro aproximado de 16”.



Inicialmente el dióxido de carbono atraviesa por columnas separadoras de espuma (espuma proveniente de la fermentación alcohólica), para luego llegar a unos sopladores que proporcionan al gas la presión necesaria para llegar a las etapas posteriores.

El gas presurizado llega a tres columnas de lavado con agua para terminar de eliminar cualquier tipo de arrastre de espuma, luego es dirigido a un enfriador de placa para disminuir gradualmente la temperatura, sale del enfriador hacia una columna de filtrado que retiene los arrastres líquido y humedad en el gas.

Llegando posteriormente al compresor de gas que es el encargado de comprimir e impulsar el gas hacia el sistema de purificación y refrigeración, haciendo pasar el gas por una columna que se encarga de eliminar malos olores (desodorizado); luego a una columna de carbón activado para retener las impurezas presentes en el gas, luego pasa por una columna de alúmina para el secado del gas posterior mente este gas ya seco pasa por el pre-enfriador para empezar a reducir su temperatura y poder pasar a la siguiente etapa que son los enfriadores saliendo de este a temperaturas inferiores al 0°C obteniendo de este proceso un producto limpio y listo para su almacenamiento y distribución.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Este marco es la recopilación y exposición de los conceptos fundamentales y las diversas variables que se estudiarán en el desarrollo de la investigación, permitiendo el consenso mínimo entre el investigador y el lector con respecto al lenguaje técnico y conceptos manejados en el proyecto.

2.2.1 Dióxido de carbono:

Cuando se habla de dióxido de carbono, anhídrido carbónico o CO_2 (a partir de su fórmula química: CO_2), se hace referencia a un gas incoloro y soluble en agua, cuyas moléculas se componen por un átomo de carbono y dos de oxígeno, unidos por enlaces dobles covalentes. (Álvarez, 2021)

2.2.2 Dióxido de carbono (CO_2): concepto y relevancia industrial

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro, inodoro y no inflamable, presente de forma natural en la atmósfera y ampliamente utilizado en distintos procesos industriales. Según Miller (2007), el CO_2 desempeña un papel clave en el equilibrio ecológico y en diversas actividades humanas, siendo un componente esencial en sectores como la industria alimentaria, la agricultura y la metalurgia.

Desde el punto de vista técnico, el CO_2 se puede obtener mediante procesos como la combustión de materiales orgánicos, la fermentación o la recuperación de gases de escape de plantas industriales (Perry & Green, 2008). En el caso de empresas especializadas en su producción, como Carbón Engineering Nicaragua, la eficiencia y calidad del proceso son determinantes para garantizar la pureza del gas, su almacenamiento seguro y su distribución conforme a estándares de calidad.

2.2.3 Sistema de producción de CO_2

El sistema de producción de CO_2 involucra distintas etapas: captura o generación del gas, purificación, compresión, licuefacción y almacenamiento. Estas fases deben operar bajo estrictos controles de calidad para asegurar que el producto final cumpla con los estándares establecidos para su uso industrial (Kirk-Othmer, 2013). Una gestión inadecuada de estos procesos puede conllevar fallas en la calidad del producto, afectación al medio ambiente e incluso riesgos para la salud ocupacional.

2.3 MARCO LEGAL

El marco legal en que se desarrollará el proyecto está basado en las leyes, decretos, reglamento, normas y ordenanzas municipales establecidas legalmente por los entes reguladores de la gestión técnicas ambientales en Nicaragua.

Tabla 2 Marco Legal

| MARCO LEGAL | | |
|--|---|--|
| Nombre Ley | ¿En Qué Consiste? | Artículo Retomado |
| Certificado HACCP | <p>Demuestra el compromiso de la empresa con la inocuidad de los alimentos</p> <p>Ayuda a cumplir con los requisitos legales de salud y alimentación</p> <p>Mejora la confianza de los clientes</p> <p>Puede ser un diferenciador frente a la competencia</p> <p>Puede abrir puertas a nuevos mercados internacionales</p> <p>Puede mejorar los procesos internos</p> | Publicada en La Gaceta Diario Oficial N°. 7 del 12 de enero de 1999 |
| Certificación internacional en temas de seguridad alimentaria (FSSC 22000) | <p>Es un esquema de certificación completo para sistemas de gestión de seguridad alimentaria basado en las normas existentes <u>ISO 22000</u>, <u>ISO 22003</u> y especificaciones técnicas para Programas de Prerrequisitos del sector correspondiente (producción de alimentos, fabricación de envases para la industria alimentaria o para el Transporte y Almacenamiento de alimentos).</p> | En abril de 2023 se publicó la nueva versión 6 de la norma FSSC 22000, que entrará en vigor para las auditorías realizadas a partir del 1 de abril de 2024 |

MARCO LEGAL

| Nombre Ley | ¿En Qué Consiste? | Artículo Retomado |
|---|--|--|
| Ley 618 de higiene y seguridad del trabajo | Que el artículo 82, inciso 4 de la Constitución Política de la República de Nicaragua reconoce el Derecho de los Trabajadores a Condiciones de Trabajo que les aseguren en especial: “La integridad física, la salud, la higiene y la disminución de los riesgos laborales para hacer efectiva la seguridad ocupacional del trabajador”. | Publicada en La Gaceta, Diario Oficial N°. 133 del 13 de julio de 2007 |
| Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales" (Ley N° 217) | El objetivo principal de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales es promo desarrollo sostenible en Nicaragua, garantizando la protección y el uso racional de los recursos | Arto 13, inciso 9; establece que la calidad de vida de la población depende del control y de la prevención de la contaminación ambiental, del adecuado aprovechamiento de los elementos naturales y del mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos. |
| Ley Orgánica del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y al Decreto No. 12099 | Monitoreo y Estudios del Territorio: El INETER tiene la responsabilidad de realizar estudios geográficos cartográficos, sismológicos, hidrológicos y meteorológicos en el territorio nacional. Esto incluye la recopilación y | Reglamento a la Ley No. 311" es atribución del INETER en el ámbito de la Meteorología; contribuir a la normalización y protección de la calidad ambiental a |

MARCO LEGAL

| Nombre Ley | ¿En Qué Consiste? | Artículo Retomado |
|-------------------|--|--|
| | procesamiento de datos de fenómenos naturales que pueden afectar la seguridad del país y sus habitantes. | través del monitoreo y evaluación de la contaminación atmosférica. |

Fuente: Elaboración de autores.

Figura 1 Logo UCC

2.4 MARCO INSTITUCIONAL

2.4.1 Universidad de Ciencias Comerciales:

UCC fue fundada por el Dr. Carlos Narvárez Moreira. Nació con el nombre de Instituto de Ciencias Comerciales y abre sus puertas por primera vez con la carrera de Contaduría Pública y Finanzas, aprobada con resolución ministerial No. 824 del 13 de enero 1964; posteriormente, en 1976 se cambia el nombre a la institución, adoptando el de “Centro de Ciencias Comerciales (CCC)”. Momentos importantes que se deben resaltar en la vida -



de la UCC son los siguientes: Nacimiento en 1964 de lo que será más tarde la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC).

- En 1966 se introducen las carreras de Técnico Superior de Secretariado Ejecutivo, Ejecutivos de Empresas, Ejecutivo de Relaciones Públicas.
- En 1974 se introduce la carrera de Licenciatura en Mercadeo y Publicidad.
- En 1976 se funge en tres niveles académicos: Educación Media. Técnica Superior. Licenciaturas.
- En 1978 la UCC, aún como CCC, introduce por primera vez en Nicaragua las carreras de Licenciatura en Diplomacia, Comercio Internacional y Administración de Empresas.
- En 1980 con la creación del Consejo Nacional de Educación Superior (CNES), la CCC reduce sus operaciones ofreciendo únicamente cursos a nivel de Técnico Medio para la Administración y Economía.
- En 1990 con la creación del Consejo Nacional de Universidades (CNU), el CCC solicita nuevamente su status oficial de Institución de Educación Superior. A partir de esta fecha se cambia el Nombre a Universidad de Ciencias Comerciales (UCC).
- En el año de 1991 la UCC junto a varias Universidades Latinoamericanas fundan, la Confederación Panamericana de Escuelas de Turismo y Hotelería (CONPETH), concebida como una organización que promueve la mejora de la calidad de la educación turística, hotelera y gastronómica en América. Actualmente participan en CONPETH 150 instituciones educativas de 27 países de América Latina y España.
- En 1992 la UCC introduce por primera vez en Nicaragua la Carrera de Administración de Empresas Turísticas y Hoteleras.

- El 18 de febrero de 1993 el Consejo Nacional de Universidades (CNU) autoriza el funcionamiento como Centro de Educación Técnico Superior. Gaceta No. 193 Decreto No.627.
- En 1995 la UCC se extiende a la ciudad de León, iniciándose en el segundo semestre promoviendo su oferta educativa y cursos intensivos de inglés. En 1996 inicia formalmente su oferta académica, convirtiéndose en la primera Universidad privada de Occidente.
- El 03 de abril de 1997, el CNU autoriza el cambio de categoría de Centro de Educación Técnico Superior por el de Universidad.
- **Presidenta de la Junta Directiva de UCC:** Nejama Bergman Padilla. nejama.bergman@ucc.edu.ni
- **Rector:** Eddy Baltodano. eddy.baltodano@ucc.edu.ni •
- **Vicerrector General:** Marvin Jiménez. marvin.jimenez@ucc.edu.ni

Vicerrector Académico:

Fabiola Somarriba. Fabiola,somarriba@ucc.edu.ni

• **secretaria general:**

Martha Potosme martha.potosme@ucc.edu.ni

FILOSOFÍA INSTITUCIONAL.

• **Misión**

Formar profesionales integrales, éticos, con visión humanística, competitivos, emprendedores y con liderazgo, comprometidos con el desarrollo del país.

• **Visión**

Ser reconocida como la Universidad con los más altos estándares de calidad de formación profesional, a fin de responder a las necesidades de la sociedad y al compromiso social de su proyecto educativo.

• **Valores.**

Liderazgo; Ética Profesional; Creatividad; Calidad.

• **Objetivos.**

- 1) Fortalecer la oferta académica de pregrado, posgrados y maestrías.
- 2) Desarrollar la vinculación de la Universidad con Graduados y Egresados.

- 3) Promover el uso de las tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos enseñanza aprendizaje y administrativos para mejorar la efectividad del desempeño.
- 4) Fomentar el desarrollo de la Investigación con calidad y pertinencia articulada con el desarrollo científico técnico, la docencia y la extensión.
- 5) Desarrollar la extensión universitaria compartiendo con la comunidad los conocimientos y fortalezas de la Universidad y recibiendo retroalimentación.
- 6) Fortalecer y desarrollar la vinculación y colaboración con empresarios y autoridades gubernamentales, impulsando la alianza Universidad-Empresa-Estado.
- 7) Desarrollar el talento humano con las competencias necesarias para mejorar el desempeño en todos los ámbitos.
- 8) Fortalecer la Gestión Administrativa de la Universidad, en función de asegurar su auto-sostenibilidad financiera y el cumplimiento de sus objetivos.
- 9) Desarrollar en la comunidad universitaria una cultura organizacional que propicie, que genere y se comprometa con el proceso de mejora continua.
- 10)Renovar y potenciar la presencia, la participación y el posicionamiento de la Universidad a nivel nacional y regional.

2.4.2 CARBÓN ENGINEERING NICARAGUA, S.A:

Es una empresa formada e inscrita bajo las leyes nicaragüenses, según establece el derecho mercantil vigente. Carbón Engineering está dedicada a la producción de gas carbónico que comercializa a nivel local y exporta hacia Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica y Panamá. La planta de producción está ubicada en Chichigalpa municipio circunscrito al departamento de Chinandega, la fábrica está situada en las instalaciones de Compañía Licorera de Nicaragua, S.A.

Esta ubicación obedece a que la materia prima para producir el gas carbónico lo constituye el bióxido de carbono emanado en el proceso de producción del alcohol el cual es capturado, tratado y almacenado en compresores para posteriormente ser enviado a los clientes y tanques estacionarios de la empresa. El uso de este gas es principalmente para gasear las bebidas dulces, bebidas alcohólicas, como medio aislante de secado, entre otros usos.

Figura 2 Logo Carbon Engineering Nicaragua



Carbón Engineering Nicaragua cuenta con uno de los mejores procesos de recuperación de gas carbónico en esta industria. El Dióxido de Carbono en altas concentraciones puede ser recuperado de la combustión, por

medio de la quema de combustible (derivados del petróleo y otros), además por la descomposición de la materia orgánica (fermentación de mostos), siendo este último un fuerte potencial de gas carbónico y teniendo este una baja concentración de hidrocarburos volátiles totales (CH₄), es que se hace mucho más fácil su proceso de saneamiento en comparación al de obtención de (CO₂) por medio de combustión.

El proceso de recuperación del (CO₂), da inicio en las cubas (tanques) de fermentación en Plantas de Destilación ISA de donde es extraído mediante tuberías de seis pulgadas de diámetro hacia tres columnas de agua situadas en serie, donde el gas (CO₂) es despojado en su mayoría, de todos los sub compuestos alcohólicos (acetaldehídos esterres y otros); luego es trasladado por medio de sopladores y a presión de 3 libras por pulgada cuadrada (psi), hacia dos deodorizadores de baja presión, los cuales contienen carbón activado que permite la eliminación del olor a mostos y otros compuestos alcohólicos que de alguna manera pudieran haber sido arrastrados hasta estos; sigue el recorrido por un reactor de permanganato y una columna más e agua donde todos los microorganismos biológicos que contiene el gas son oxidados y precipitados por dicha solución (permanganato de potasio).

Luego los compresores de gas carbónico comprimen el gas hasta 300 psi, para continuar el proceso por dos deodorizadores de alta presión que garantizan la calidad

del (CO₂); sigue su recorrido por un par de pre enfriadores los que ayudan a bajar la temperatura del gas que permite el eficaz funcionamiento de las torres de secado del (CO₂), las que contienen alúmina activada para la deshidratación del gas. Aquí es eliminada completamente la humedad del gas carbónico.

Para finalizar, llega a los condensadores donde el funcionamiento de dos compresores refrigerantes es de suma utilidad para el traslado del gas carbónico de su estado gaseoso al estado líquido que es el producto final y luego es almacenado en unidades refrigeradas que permiten mantener un rango específico de presión.

Carbón Engineering de Nicaragua está equipada con tres unidades de transporte para las debidas entregas, tanto nacionales como internacionales, y cuenta también con una moderna llenadora de cilindros con la cual se logra brindar servicios a la pequeña industria. El producto que ofrece la empresa cumple con las normas descritas por Quality Verification Level y CGA publication G-6-2 Commodity Specification for carbon dioxide; por EIGA publication AHG IGC 1.1 carbón dioxide source Certification y en el U: s: Foot Chemicals Codex. Además, cuenta con la aceptación de los clientes nacionales y extranjeros quienes se encargan de monitorear la calidad en sus propios laboratorios altamente avanzados. Tal es el caso de Coca Cola Interamerican Corporation, que realizan periódicamente auditorias de calidad y trazabilidad del producto.

Las características del gas entre otras son: Inodoro e incoloro, no inflamable y ligeramente ácido a la humedad, se le encuentra en proporción de 325 partes por millón en el aire atmosférico, constituye el 29.99 por ciento del aire que se encuentra en la atmósfera, se puede obtener por combustión, fermentación y descomposición térmica o química de calizas, producto comercial de 99.5 por ciento de pureza, puede manejarse en estado gaseoso y líquido, su estado ultimo tiene una coloración azul.

La empresa Carbón Engineering Nicaragua, generadora y distribuidora de CO₂ grado alimenticio, está en operaciones desde hace más de 15 años, su principal fuente de producción es el proceso de fermentación donde por acción de la levadura se libera este gas, dicho proceso se lleva a cabo en una planta independiente de Carbón Engineering, pero tiene la misma ubicación que esta, y el gas es transportado por tubería hacia la planta para iniciar su proceso

En este capítulo se realizará un análisis de esta Industria poco común en nuestro país, abordando sus características generales, condiciones básicas, así como la fuerza competitiva de ésta en el mercado.

SITUACION ACTUAL

Carbón Engineering de Nicaragua es una compañía que ha venido aumentando sus operaciones tanto locales como internacionales, con el paso de los años los resultados obtenidos son producto de la ejecución de planes de producción dirigidos al crecimiento de la empresa.

Los resultados corresponden a un solo producto lo que ha dejado buenos rendimientos, pero tiene la desventaja que si algunos clientes deciden integrarse hacia atrás se corre el riesgo de ir disminuir las ventas.

La dependencia de un solo producto y la falta de intentos por ofrecer otros usos ha incidido en una baja de las ventas del gas carbónico provocando una inversión en instalaciones no recuperadas y no cosechadas.

Por tanto, Carbón Engineering tiene que diversificarse ya que el aumento de la competencia en la región ha provocado a una baja en los mercados de Guatemala, El Salvador y Honduras lo que le obliga buscar nuevas alternativas de producción con eficiencia en los costos y ampliar la cartera de productos ofrecidos.

Siempre con el contexto actual la empresa se encuentra en fase de crecimiento, la explosión en la demanda generada por el consumo masivo de nuevas bebidas carbonatadas es significativa en el mercado; esto nos obliga a incrementar nuestra capacidad de producción y almacenamiento con el propósito de cubrir esta demanda y proyectarla a futuro, recientemente se realizaron inversiones con el objetivo de aumentar los volúmenes de producción, no obstante, aún hay limitaciones en el campo de la refrigeración, si bien la empresa es capaz de cubrir la demanda actual, nos limita para seguir el ritmo de crecimiento en los años venideros en el mercado local e internacional.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Tipo de Proyecto

El tipo de proyecto se define con base en criterios como la procedencia del capital, el sector al que pertenece, su orientación formativa y el área de influencia en la que se desarrolla. A continuación, se detallan estas características aplicadas al presente estudio:

3.1.1 Según la procedencia del capital:

El presente proyecto es privado, dado que la empresa en estudio es de capital propio de sus socios.

3.1.2 Según el sector:

Este proyecto es del tipo industrial, debido a las características de la operatividad de la empresa en estudio, a su vez con un enfoque de tipo de producción de dióxido de carbono ya que es la dirección que se le dio al proyecto.

3.1.3 Según su orientación:

Podemos definir este proyecto como un proyecto educativo, este sirvió para conocer la aplicación de los conocimientos adquiridos y se identificó cómo funcionan en la realidad de una empresa.

3.1.4 Según su área de influencia:

El presente es un proyecto local, ya que tanto la investigación como los resultados de esta están limitados a la empresa en estudio.

3.2 Área de estudio y unidades de análisis

El área de estudio es la empresa Carbón Engineering Nicaragua y la unidad de análisis es el proceso de producción de dióxido de carbono que llevan a cabo. Se analizaron:

Procesos:

Ya que es una herramienta crucial en la identificación de problemas dentro de una organización, así como en la detección de oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y reducir el dióxido de carbono.

Condiciones de trabajo y del entorno:

El análisis de las condiciones de trabajo y su entorno es esencial para identificar tanto las fortalezas como los puntos débiles de una organización, proporcionando una base sólida para la planificación estratégica y el desarrollo organizacional.

Gestión del personal:

Una gestión de personal efectiva es crucial para fortalecer la relación entre los colaboradores y la empresa, ya que mediante una planificación y análisis estructurados se pueden optimizar el tiempo, incrementar la productividad y mejorar la experiencia laboral.

3.3 Muestra: Tamaño de muestra y muestreo

La recolección de datos se centró en una única unidad informante: el gerente general de la empresa Carbón Engineering Nicaragua, quien posee un conocimiento integral del proceso de producción de dióxido de carbono (CO₂), así como acceso directo a la información técnica y operativa necesaria para el análisis.

En este caso, se utilizó un muestreo no probabilístico, de tipo intencional o por criterio, ya que la selección del informante no se realizó el azar ni en una muestra representativa de una población, sino en su rol estratégico dentro de la organización y en su capacidad para proporcionar información relevante, precisa y verificable sobre el objeto de estudio.

Esta decisión metodológica se sustenta en la necesidad de obtener datos confiables a partir de una fuente directa y calificada, lo que permitió abordar los objetivos planteados con base en evidencia proveniente de la gestión real del proceso productivo.

3.3. Métodos e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de la información necesaria se empleó el método descriptivo, el cual permitió analizar y caracterizar el estado actual del proceso de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la planta de la empresa Carbón Engineering Nicaragua.

Las técnicas utilizadas fueron la observación directa, mediante visitas de campo a la planta industrial, y la entrevista dirigida, aplicada al gerente general, quien actuó como informante clave por su conocimiento del proceso y acceso a datos operativos relevantes. Además, se aplicó un test estructurado al mismo informante, tanto de manera presencial como por vía virtual, con el objetivo de validar aspectos técnicos y administrativos del proceso.

Como instrumentos de recolección se emplearon:

- Guía de observación, utilizada durante las visitas de campo para registrar datos técnicos como la potencia de los equipos, voltajes de maquinaria y condiciones del entorno productivo.
- Cuestionario estructurado, para el test aplicado al gerente.

- Guía de entrevista semiestructurada, que permitió profundizar en aspectos relacionados con liderazgo, planificación, soporte operativo y gestión del desempeño.

La información recopilada fue organizada y representada gráficamente con el fin de facilitar el análisis, y sirvió como base para el diseño de un plan de mejora del proceso productivo.

3.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos

3.4.1. Ficha de validación del instrumento de investigación juicio de experto

Datos Generales:

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Nombre completo: | Ing. Deylin Rafael Vega |
| Título profesional: | Ingeniero Industrial |
| Institución donde labora: | Universidad de Ciencias comerciales |
| Correo electrónico: | prof.deyling.vega@ucc.edu.ni |
| Teléfono: | 8939 7104 |

Tabla 3 Validación del Experto

| Indicadores de evaluación del instrumento | Criterios de Evaluación | Deficiente (1/10) 1 | Regular (10/13) 2 | Bueno (14/16) 3 | Muy Bueno (17/18) 4 | Excelente (19/20) 5 |
|--|--|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Claridad y redacción de las preguntas | Las preguntas están redactadas de forma comprensible, sin ambigüedad ni errores ortográficos. | | | | | 20 |
| 2. Coherencia con los objetivos específicos | Cada ítem está relacionado directamente con los objetivos de la investigación. | | | | 18 | |
| 3. Pertinencia del contenido del instrumento | El contenido refleja aspectos clave del proceso de producción de CO ₂ y la productividad. | | | | | 20 |
| 4. Secuencia lógica de los ítems | Las preguntas siguen un orden progresivo y lógico, facilitando la respuesta del encuestado. | | | | 18 | |
| 5. Suficiencia del número de ítems | La cantidad de preguntas permite obtener información suficiente sin ser excesiva o repetitiva. | | | | | 20 |
| 6. Relevancia de la escala de medición (si aplica) | La escala utilizada es adecuada para medir el nivel de percepción. | | | | 18 | |



| Indicadores de evaluación del instrumento | Criterios de Evaluación | Deficiente (1/10) 1 | Regular (10/13) 2 | Bueno (14/16) 3 | Muy Bueno (17/18) 4 | Excelente (19/20) 5 |
|---|---|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 7. Comprensión general del instrumento para el público al que va dirigido | El lenguaje es apropiado para el nivel educativo y técnico del personal operativo o técnico que responderá. | | | | | 20 |
| Total | | (134/7) | | | 19.14 | Aceptable |

Fuente: Elaboración de autores

Interpretación de validación:

Valoración cuantitativa (19.14/20)

Valoración:

19.14/20

Cualitativa:

Aceptable

Leyenda

0-13 Improcedente

14-16 Aceptable con recomendación

17-20 Aceptable

Lugar y fecha: Ciudad de León el 26 de Julio del año 2025

Firma: Ing. Deyling Rafael Vega Berrios.

Datos Generales:

Nombre completo: Ing. Deylin Rafael Vega
 Título profesional: Ingeniero Industrial
 Institución donde labora: Universidad de Ciencias comerciales
 Correo electrónico: prof.deyling.vega@ucc.edu.ni

Tabla 4 Validación del experto

| Indicadores de evaluación del instrumento | Criterios de Evaluación | Deficiente | Regular | Bueno | Muy Bueno | Excelente |
|--|---|-------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| | | (1/10) | (10/13) | (14/16) | (17/18) | (19/20) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Lenguaje | Claridad y sencillez del lenguaje utilizado. | | | | | 20 |
| 2. Objetividad | Objetividad de las preguntas (libres de sesgos). | | | | 18 | |
| 3. Aplicabilidad práctica | Aplicabilidad práctica del instrumento en el contexto de estudio. | | | | 18 | |
| 4. Comprensión | Facilidad de comprensión por parte de los encuestados. | | | | | 20 |
| Total | | (76/7) | | | 19 | Acceptable |

Fuente: Elaboración de autores

Interpretación de validación:

Valoración cuantitativa (19/20)

Valoración:

19/20

Cualitativa:

Aceptable

Leyenda

0-13 Improcedente

14-16 Aceptable con recomendación

17-20 Aceptable

Lugar y fecha: Ciudad de León el 26 de Julio del año 2025



Firma: Ing. Deyling Rafael Vega Berrios.

Tabla 5 Puntuación del experto

| Experto | Puntuación total | Promedio | Interpretación |
|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 134 | 19.14 | Aceptable |
| 2 | 76 | 19 | Aceptable |

Fuente: Elaboración de autores.

3.5 Procesamiento y plan de análisis de la información

El instrumento utilizado para la recopilación de información, considerando las características del proyecto fue la realización de visita a la empresa Carbón Engineering de Nicaragua, el día 01 de Marzo del corriente año, la cual fue atendida por el Ing. Carlos Betancourt, gerente de la empresa, donde se mostró cada etapa del proceso desde el ingreso de la materia prima hasta la salida del producto final, igualmente se explicaron las condiciones óptimas de trabajo cómo rangos de temperatura y presión, mismos que fueron puntualmente verificados durante el recorrido, puesto que por el tipo de proceso y sistema del mismo no se pueden realizar dichas mediciones con equipos de manera externa, solamente visualizando manómetros conectados al sistema, a la vez se verificaron los certificados de calibración de estos equipos.

Puesto que durante la visita el enfoque fue totalmente al proceso y cada una de sus etapas, y debido a la disponibilidad de horario del Ing. Betancourt se coordinó con éste el llenado de cuestionarios posterior a la visita, Por lo que se le enviaron 2 documentos vía correo electrónico y cuyo contenido se encuentran en los anexos.

Cuestionario 1, 28 de marzo 2025: Este fue con el objetivo de obtener información general de la empresa, cómo por ejemplo organigrama, políticas, certificaciones, visión, clientes, competencia en el mercado, entre otros.

Cuestionario 2, 10 de Julio 2025: Objetivo, conocer más a fondo el impacto de uno de los equipos que actualmente forma parte del proceso (Enfriador) que se tiene en uso, pues se identificó en esta etapa una posible oportunidad de mejora al aumentar la capacidad de este, puesto que puede estarse frenando un poco la producción en este punto.

CAPITULO IV. DIAGNOSTICO SITUACIONAL

Carbón Engineering Nicaragua se dedica a la recuperación y purificación de dióxido de carbono (CO_2) a partir de mosto fermentado, una fuente orgánica con bajo contenido de hidrocarburos. El gas obtenido es destinado a diferentes industrias, incluyendo la alimentaria, farmacéutica y agrícola.

4.1 Análisis de la Industria:

En el amplio sector agroindustrial de Nicaragua actualmente sólo hay una empresa que incursiona en el proceso de generación de Dióxido de Carbono (CO_2), Carbón Engineering Nicaragua, que es el proveedor principal de las corporaciones de bebidas carbonatadas que incluyen este producto inocuo entre sus componentes, Carbón Engineering Nicaragua recibe su producto (CO_2) vía tuberías y se encarga de limpiar todas las impurezas, que este pueda contener propias del proceso donde se origina, a través de lavados y purificaciones químicas hasta obtener la pureza requerida y pueda ser liberado a los clientes.

La tecnología usada en la industria es moderna. La utilización de equipos y materiales de alta tecnología da como resultado la disminución de costos asociados con el manejo de los productos, que contribuye a incrementar la rentabilidad de la industria y garantizar la seguridad de los clientes siendo este, último aspecto un valor agregado de la industria.

Carbón Engineering Nicaragua cuenta con un multidisciplinario grupo de colaboradores técnicamente capacitados para cada una de las operaciones que se deben llevar a cabo en la planta, tales como manejo de insumos químicos, capacitación técnica para trabajar en procesos altamente presurizados, así como técnicas analíticas para evaluar la pureza del (CO_2) en las etapas del proceso donde se requiera, a través de Cromatografía.

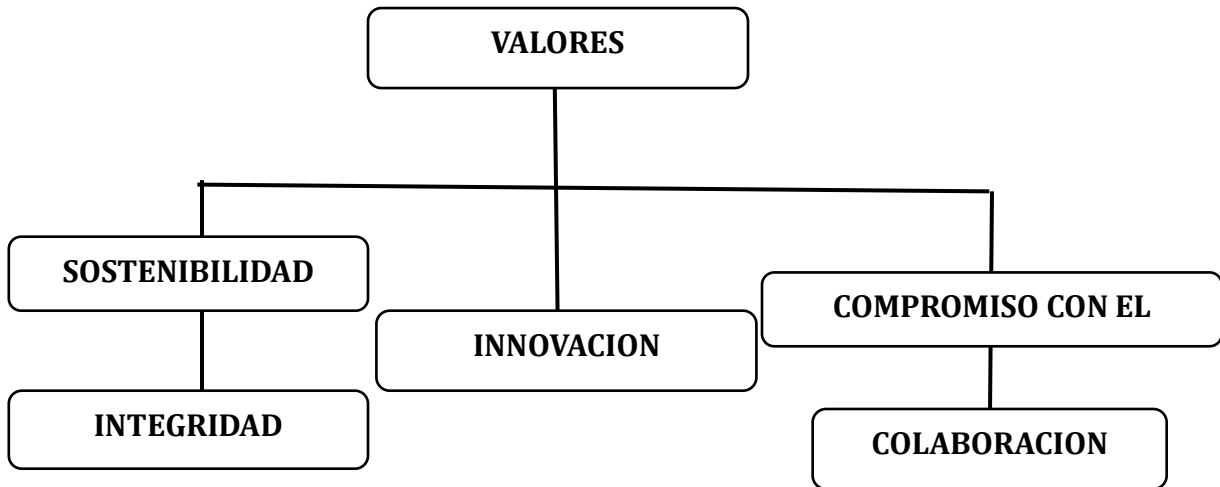
MISIÓN

Somos una empresa comprometida con la recuperación, purificación, almacenamiento y distribución de dióxido de carbono de grado alimenticio, garantizando un suministro seguro y confiable para la industria regional. Nos enfocamos en ofrecer productos de alta calidad con procesos eficientes y sostenibles, cumpliendo con los más altos estándares de seguridad y normativas ambientales.

VISIÓN

Ser la empresa líder en la recuperación y distribución de (CO_2) de grado alimenticio en la región, destacándonos por nuestra innovación, excelencia operativa y compromiso con el medio ambiente. Aspiramos a consolidarnos como un referente en soluciones sostenibles, contribuyendo al desarrollo de nuestros clientes y a la reducción de la huella de carbono industrial.

Figura 3 Valores Carbon Engineering Nicaragua



Fuente: Elaboración de autores.

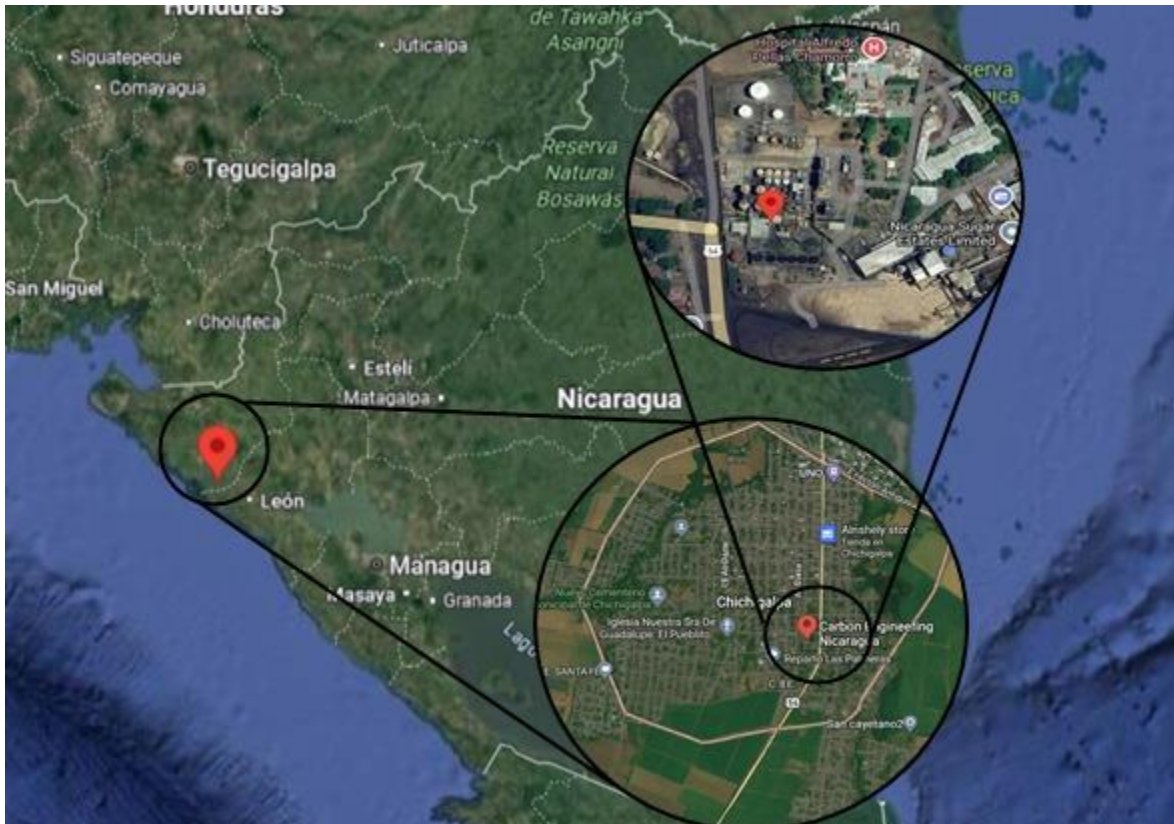
- Sostenibilidad: Operamos con procesos responsables que minimizan el impacto ambiental.
- Compromiso con el Cliente: Brindamos un servicio confiable, eficiente y orientado a sus necesidades.
- Innovación: Mejoramos continuamente nuestros procesos con tecnología avanzada.
- Integridad: Actuamos con ética, transparencia y responsabilidad en cada operación.
- Colaboración: Fomentamos el trabajo en equipo para alcanzar la excelencia.

4.1.1 Caracterización general de la Industria

Carbón Engineering Nicaragua está localizada a 120 Km al noroeste de Managua, en Chichigalpa, Chinandega y a 30 Km del Puerto de Corinto, en el Pacífico de Nicaragua, cuenta con una planta industrial especializada en la purificación y distribución de Dióxido de Carbono (CO₂).

Macro y Micro localización

Figura 4 Macro y Micro Localización Carbon Engineering Nicaragua



Fuente: Elaboración de autores

4.1.2 Condiciones básicas

Carbón Engineering Nicaragua es una planta que se dedica a la recuperación, purificación y distribución de dióxido de carbono CO₂, con fines de lucro para la elaboración de bebidas carbonatadas, realizándose a través de procesos seguros que garanticen un producto inocuo con los más altos estándares de calidad y seguridad alimentaria,

Figura 5 Condición básica carbon engineering nicaraqua



Fuente: Elaboración de autores

y que a su vez prevengan la contaminación al medio ambiente por lo que esta actividad es una estrategia para minimizar los gases de efecto invernadero emitidos por las actividades industriales y así estos tengan un impacto en el medio.

Infraestructura

La planta está situada estratégicamente cerca de la planta de destilación, pues la materia prima para producir el (CO₂) es el bióxido de Carbono emanado en el proceso de fermentación alcohólica, el cual es retenido y enviado vía tubería a la planta de Carbón Engineering, directamente de cada tanque fermentador, para ser tratado y almacenado en compresores para su posterior distribución a los clientes. Además, su cercanía a carreteras principales y puertos permite una eficiente distribución nacional e internacional de su producto. La planta cuenta con uno de los mejores procesos de recuperación de gas carbónico de la industria.

Carbón Engineering Nicaragua cuenta con su propia flota de unidades de transporte para entregas a sus clientes nacionales e internacionales.

Así mismo cabe mencionar que a lo largo de todo su proceso consume energía 100 % renovable lo que la hace meritoria de certificaciones de sostenibilidad, según requisitos de organismos nacionales e internacionales.

Materias Primas y Suministros

El Dióxido de Carbono obtenido por la descomposición de la materia orgánica (Mosto fermentado) constituye la principal fuente de materia prima de Carbón Engineering Nicaragua, tiene concentraciones bajas de hidrocarburos volátiles, por lo que su proceso de limpieza y purificación es mucho más fácil. (Chmiel, s.f.)

A lo largo del proceso atraviesa columnas de limpieza de compuestos residuales de su proceso original, columnas eliminadoras de olores, reactor de Permanganato de Potasio para eliminar microorganismos biológicos, compresores, torres de secado que contienen alúmina activa para la deshidratación del gas y compresores refrigerantes que son de suma utilidad para el traslado del gas carbónico de su estado gaseoso al estado líquido que es el producto final.

Tecnología y Procesos Productivos

Carbón Engineering Nicaragua cuenta con equipos de seguridad e indicadores de presión debidamente calibrados que permiten al operador asegurarse de sus condiciones de trabajo, además a lo largo del proceso hay un sistema de trampeo que garantiza que las soluciones de un equipo no entraran en contacto con las de otro equipo, cuenta con una moderna llenadora de cilindros, lo que le brindar servicio a la pequeña industria.

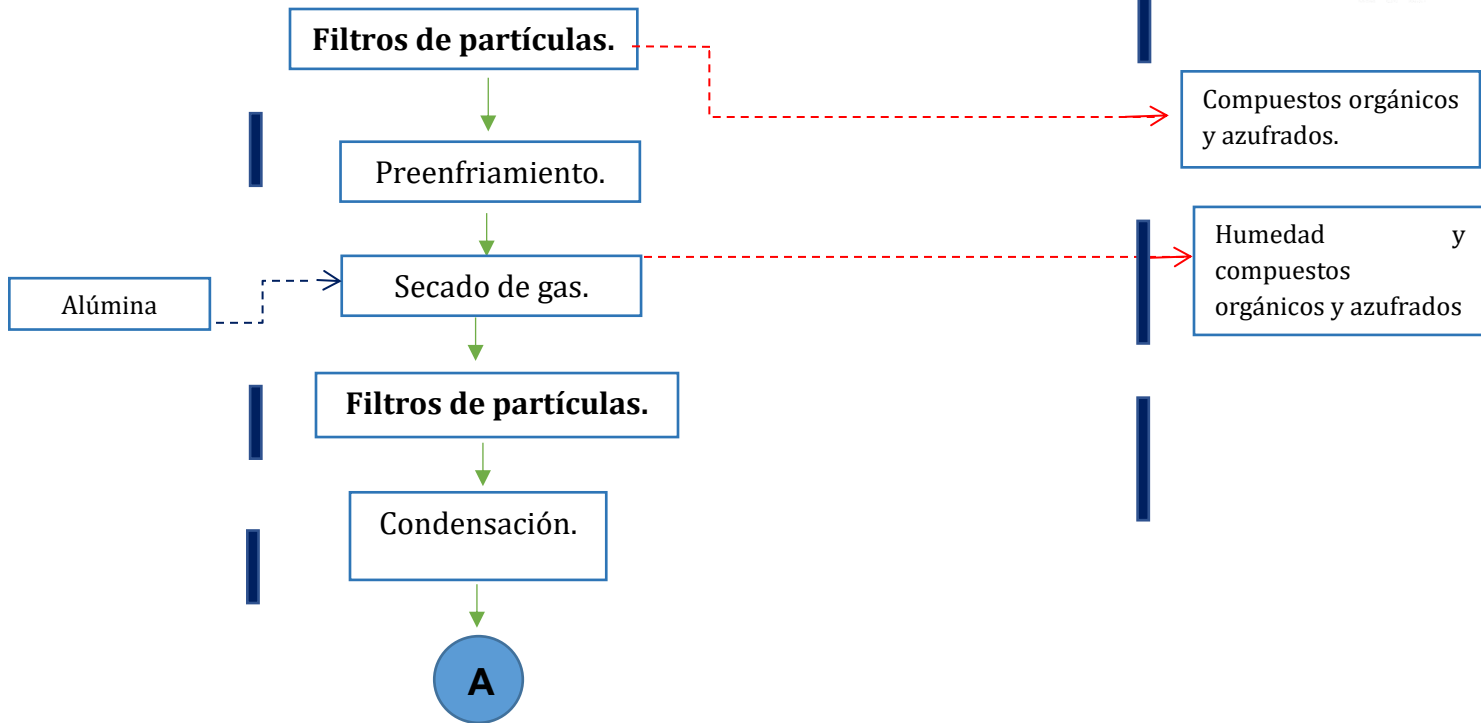
El proceso de recuperación del CO₂, da inicio en las cubas (tanques) de fermentación en Compañía Licorera Nicaragua, S.A. (CLNSA), de donde es extraído mediante tuberías de seis pulgadas de diámetro hacia tres columnas de agua situadas en serie, donde el gas (CO₂) es despojado en su mayoría, de todos los sub compuestos alcohólicos (acetaldehídos esterres y otros); luego es trasladado por medio de sopladores y a presión de 3 libras por pulgada cuadrada (psi), hacia dos deodorizadores de baja presión, los cuales contienen carbón activado que permite la eliminación del olor a mostos y otros compuestos alcohólicos que de alguna manera pudieran haber sido arrastrados hasta estos; sigue el recorrido por un reactor de permanganato y una columna más e agua donde todos los microorganismos biológicos que contiene el gas son oxidados y precipitados por dicha solución (permanganato de potasio).

Luego los compresores de gas carbónico comprimen el gas hasta 300 psi, para continuar el proceso por dos deodorizadores de alta presión que garantizan la calidad del CO₂; sigue su recorrido por un par de pre enfriadores los que ayudan a bajar la temperatura del gas que permite el eficaz funcionamiento de las torres de secado del CO₂, las que contienen alúmina activada para la deshidratación del gas. Aquí es eliminada completamente la humedad del gas carbónico.

Para finalizar, llega a los condensadores donde el funcionamiento de dos compresores refrigerantes es de suma utilidad para el traslado del gas carbónico de su estado gaseoso al estado líquido que es el producto final y luego es almacenado en unidades refrigeradas que permiten mantener un rango específico de presión.

El proceso descrito se representa de forma visual y secuencial en el siguiente flujo grama, facilitando la comprensión de cada etapa desde la extracción hasta el almacenamiento del CO₂.

“Universidad de Ciencias Comerciales”



Fuente: Carbon Engineering Nicaragua.

Certificaciones y Estándares de Calidad

La Empresa Carbón Engineering Nicaragua cumple con diversas certificaciones nacionales e internacionales que garantizan la calidad del producto, la seguridad en los procesos y la sostenibilidad ambiental. Entre las certificaciones más relevantes de la empresa se incluyen:

- ISO 9001:2015 (Gestión de Calidad): Garantiza que la empresa mantiene un sistema de gestión de calidad eficiente, mejorando continuamente sus procesos de producción y asegurando la satisfacción del cliente.
- ISO 22000 (Seguridad Alimentaria): Certificación clave para garantizar que el CO₂ destinado a la industria alimentaria y farmacéutica cumple con los estándares internacionales de seguridad.
- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM): Asegura que las condiciones de producción minimizan los riesgos de contaminación y cumplen con requisitos sanitarios.
- HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control): Implementado en la línea de producción para identificar y controlar posibles riesgos en la producción del (CO₂).
- ISO 45001:2018 (Seguridad y Salud en el Trabajo): Establece un sistema de gestión para prevenir accidentes y enfermedades laborales en la planta, reduciendo riesgos derivados de la exposición altas presiones, principalmente y manejo de sustancias químicas
- Normas Ambientales (ISO 14001): Compromiso con la reducción de emisiones y el manejo responsable de residuos industriales.

Además, la empresa cumple con otras regulaciones cómo NTON 05 014-02, NTON 05 031-07, Ley 618 y Ley 1162.

Carbón Engineering Nicaragua aplica la norma ISO 9001:2015 como base para establecer un sistema de gestión de calidad (SGC) orientado a la mejora continua, la estandarización de procesos productivos y la satisfacción del cliente. Esto incluye:

Documentación de procedimientos operativos estándar (POE).

Control de calidad en cada etapa del proceso de purificación de CO₂.

Auditorías internas periódicas y acciones correctivas/preventivas.

Evaluación del desempeño de proveedores y trazabilidad del producto.

4.2 Análisis de las fuerzas competitivas

4.2.1 Amenazas de nuevos ingresos

La amenaza de nuevos ingresos es latente pues esta industria es atractiva, y en ella se pueden alcanzar economías de escala, ya que la materia prima es natural y no tiene altos costos de adquisición.

Las empresas dedicadas a la producción de azúcar y todas las industrias que emanan cantidades de dióxido de carbono que puede ser tratado para alcanzar estándares de producción limpia podrían ser potenciales competidores.

4.2.2 Rivalidad entre los competidores existentes

En este sector las empresas que lo conforman son medianas y grandes, el número de competidores es bajo por lo que no existe gran rivalidad entre ellos.

Las empresas tienen semejanza en cuanto a la capacidad productiva y el rubro al que se dedican, sin embargo, su enfoque de mercado es diferente; pues, la empresa que puede representar mayor competencia ofrece productos más enfocados en la medicina y la industria metalmecánica, y no en gases que puedan ser incorporados a las bebidas.

4.2.3 Amenaza de productos sustitutos

La incursión de productos sustitutos en la industria de gases es baja, por ser productos de origen natural que para extraerlos requiere de un proceso de producción y purificación especializado y tiene que ser similar en cuanto a su contenido químico.

4.2.4 Poder de negociación de los proveedores.

Los costos por obtención de materia prima son bajos, por ser de origen natural, así mismo el resto de los proveedores no impactan de manera significativa en los costos, debido que las ordenes de compras se manejan de forma anual, lo que permite negociar los precios y asistencia técnica sobre todo en manejo de equipos.

El surgimiento de nuevos proveedores en esta industria es bajo por lo que el poder de negociación de éstos también es bajo al no tener un grupo fuerte con quien competir para ofrecer sus productos.

4.2.5 Poder de negociación de los compradores.

Esta fuerza tiene poca influencia en la industria, ya que al no haber otra empresa homóloga en la región los clientes aceptan los precios y condiciones que establecen los suplidores sin incidir significativamente. Para mantener sus precios Carbon Engineering consideran los precios establecidos en el resto de la región donde existen más competidores.

A continuación, se realizará un análisis de las fuerzas competitivas para Carbón Engineering aplicando los principios del método Porter. (Porter, 1979)

Figura 7 Análisis de las Fuerzas competitivas

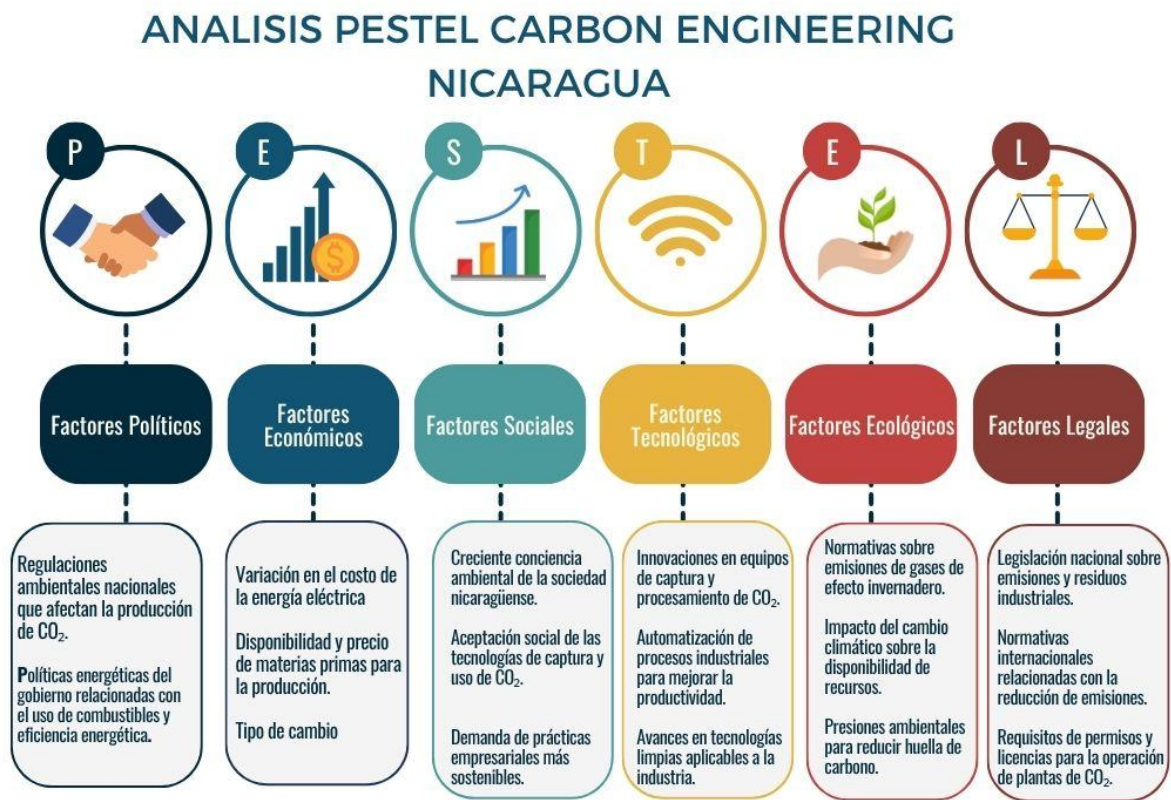


Fuente: Elaboración de autores.

4.3 ANALISIS MACROAMBIENTAL

Los cambios del entorno no pueden ser controlados, pero sí determinados por lo que en este capítulo se le realiza un análisis macro ambiental a la empresa CARBON ENGINEERING NICARAGUA, con el propósito de identificar y evaluar los factores externos que influyen en el entorno donde opera la organización. Para ello, se utilizará el método de PESTEL y a así evaluar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos, legales. Esta herramienta resulta fundamental para comprender cómo dichos factores pueden impactar directa o indirectamente en la producción de dióxido de carbono (CO₂), la toma de decisiones estratégicas y la capacidad de adaptación de la empresa ante cambios del entorno. A partir de este análisis, se busca fortalecer la planificación y gestión empresarial.

Figura 8 Análisis PESTEL de Carbon Engineering Nicaragua



Fuente: Elaboración de autores.

4.4 ANALISIS MICROAMBIENTAL

Para comprender el entorno inmediato que influye directamente en el desempeño de la empresa, se ha realizado un análisis micro ambiental de Carbón Engineering Nicaragua. Este apartado permite explorar desde los antecedentes y evolución histórica de la empresa, hasta su situación actual, desempeño productivo, proyecciones a futuro y análisis estratégico. La información detallada permite visualizar no solo el crecimiento de la producción de CO₂ en los últimos años, sino también identificar oportunidades de mejora, amenazas del entorno y fortalezas internas que le otorgan ventajas competitivas.

4.4.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La idea de procesar el bióxido de carbono surge como iniciativa para contribuir a la disminución de las emanaciones que dañan la capa de ozono. El proyecto fue presentado a inversionistas regionales y es de esta forma como se dan inicio a los estudios de factibilidad que se fueron cumpliendo en etapas de perfectibilidad y formulación del proyecto. Inició sus operaciones en diciembre de 1997 con una producción de 500 kilogramos por hora, pasando en plazo corto a 1,000 kilogramos por hora, atendiendo al mercado nacional en su totalidad, uso que se le está dando en ese momento es como materia prima en los refrescos de cola, naturales y bebidas alcohólicas

Línea de tiempo de la empresa

Tabla 6 Línea de tiempo de Carbón Engineering Nicaragua

| | |
|------|---|
| 1997 | Se constituye la sociedad cuyo capital es aportado por socios nacionales y extranjeros e inicia sus operaciones a media escala. |
|------|---|

| | |
|-----------|--|
| 1998-1999 | Inician las ventas locales atendiendo principalmente la industria de bebidas gaseosas, cervecera y en pequeña escala a otros consumidores como son las empresas que se dedican a la industria de extinguidores de incendios y Refrigerante de la industria cementera. Con esta incursión en el mercado doméstico, entra a competir con los oferentes extranjeros que proveían el producto a las Industrias arriba descritas. Se realizan las primeras exportaciones hacia Honduras |
| 2000-2001 | Toma el control del mercado local, amplía la capacidad instalada y realiza primeras exportaciones hacia Guatemala y El Salvador |
| 2002-2003 | Se siguen realizando ampliaciones en la capacidad instalada y se realizan exportaciones hacia Panamá y Costa Rica, teniendo presencia en toda el área centroamericana, con lo cual, forma parte de los proveedores a nivel regional y es considerado como un Competidor en la región. Las Ventas siguen con una tendencia al crecimiento. |
| 2004-2005 | Las ventas disminuyen respecto al año 2004, se busca la eficiencia en los costos de producción introduciendo tecnología que disminuya la dependencia de los derivados del petróleo. |
| 2007 | Sigue la tendencia de la disminución de las exportaciones, se inician los proyectos de investigación (hielo seco y limpieza criogénica) para introducir otros productos y dar a conocer otros usos del producto en otras industrias |

| | |
|------------|---|
| Actualidad | <p>Carbón Engineering Nicaragua se posiciona como un referente en la producción de 4, 870,081.04 kg anuales de CO₂, destacándose por su compromiso con la calidad y la mejora continua. La empresa avanza en la optimización de procesos y la implementación de ISO 9001, fortaleciendo su competitividad y consolidando su liderazgo en el mercado.</p> |
|------------|---|

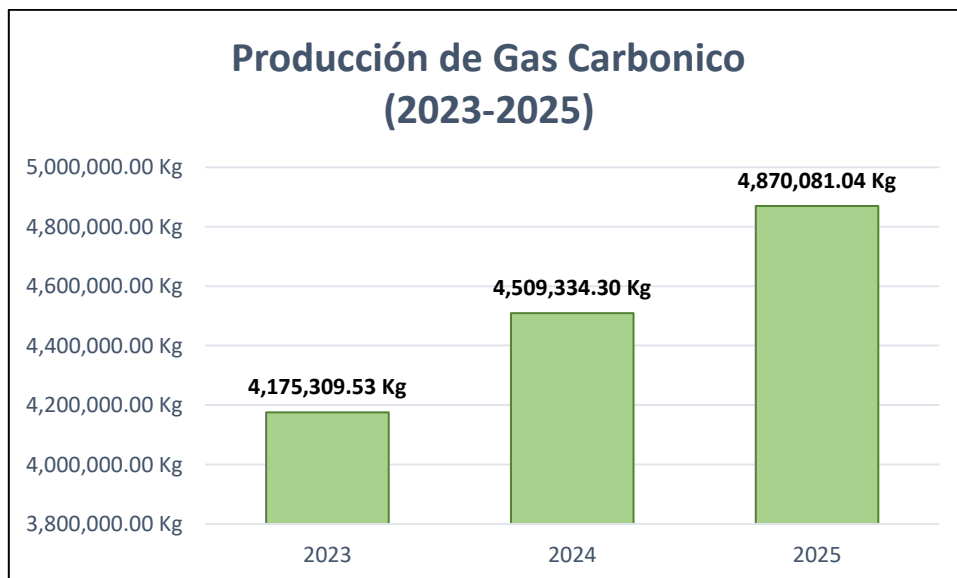
Fuente: Elaboración de autores.

4.4.2 DESEMPEÑO EN LOS ULTIMOS AÑOS 3 O 5 AÑOS

En los últimos 3 a 5 años, la producción de gas carbónico de Carbón Engineering Nicaragua ha experimentado un crecimiento sostenido, con incrementos anuales del 8 al 10%. Este crecimiento ha sido impulsado por la creciente demanda del mercado, particularmente en la industria de bebidas carbonatadas. Sin embargo, también ha enfrentado desafíos relacionados con la competencia y la necesidad de expandir su capacidad de almacenamiento y producción. (Nicaragua, s.f.)

Para visualizar el comportamiento productivo de la empresa en los últimos años, se presenta a continuación un histograma que muestra el crecimiento anual en la producción de dióxido de carbono (CO₂) durante el período 2023–2025. Este gráfico permite evidenciar el incremento sostenido que ha tenido la empresa, impulsado principalmente por la creciente demanda del mercado.

Figura 9 Producción de gas carbónico

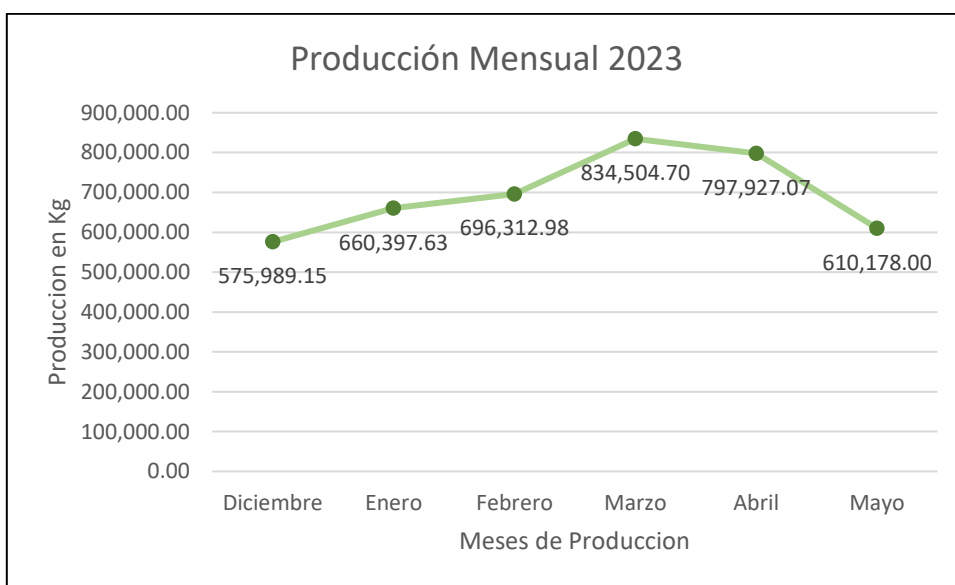


Fuente: Carbón Engineering Nicaragua

Hasta aquí se ha mostrado cómo la producción de dióxido de carbono ha mantenido un crecimiento sostenido en los últimos años. Sin embargo, para comprender mejor este desempeño no basta con observar únicamente los totales anuales, ya que la producción no se distribuye de manera uniforme a lo largo del año. Por ello, resulta útil revisar una estimación mensual que nos permita ver con mayor detalle cómo varía la producción en los meses de actividad de la planta y qué tan constantes son los niveles alcanzados.

La gráfica de producción mensual del año 2023 muestra cómo la planta fue aumentando su rendimiento a lo largo de la temporada de diciembre a mayo. En diciembre la producción fue relativamente baja, con 575,989.15 kg, pero en los meses siguientes se observa un crecimiento constante. El punto más alto se alcanzó en marzo con 834,504.70 kg, mientras que en abril todavía se mantuvo en un nivel elevado. Finalmente, en mayo la producción bajó a 610,178.00 kg, cerrando así el ciclo.

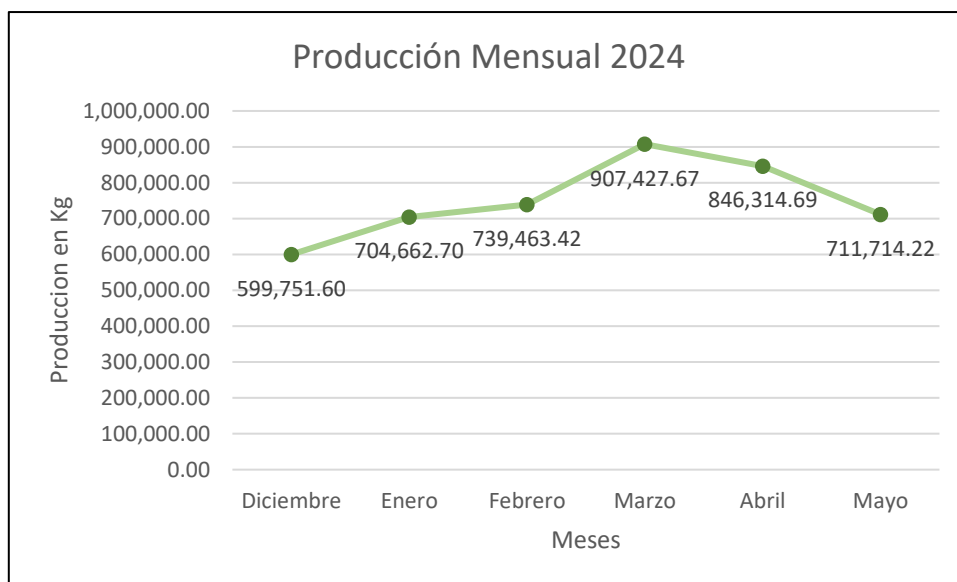
Figura 10 Producción de CO2 mensual 2023



Fuente: Elaboración de autores.

En el año 2024 la producción mensual muestra un desempeño más sólido en comparación con el ciclo anterior. Desde diciembre, con 599,751.60 kg, se observa un inicio estable que va creciendo con fuerza en los meses siguientes. La mayor producción se da en marzo, cuando la planta alcanza su punto máximo con 907,427.67 kg, superando el pico registrado en 2023. Aunque en abril la producción disminuye ligeramente, se mantiene en un nivel alto con 846,314.69 kg, y en mayo cierra la temporada con 711,714.22 kg. Estos resultados reflejan una operación más constante y con mejores resultados generales que el año previo.

Figura 11 Producción de CO2 mensual 2024



Fuente: Elaboración de autores.

4.4.3 SITUACION ACTUAL

Carbón Engineering Nicaragua está en una fase de crecimiento y consolidación, con una producción anual actual de 4, 870,081.04 kg de dióxido de carbono (CO₂). La demanda del mercado ha aumentado debido al crecimiento del consumo de bebidas carbonatadas, lo que ha impulsado a la empresa a invertir en su capacidad de producción y almacenamiento. Sin embargo, enfrenta limitaciones en el campo de la refrigeración, lo que podría afectar su capacidad para seguir el ritmo de crecimiento en los próximos años.

La empresa también enfrenta desafíos relacionados con la dependencia de un solo producto, pero ha identificado oportunidades de diversificación con productos como el hielo seco y la limpieza criogénica. Estas iniciativas buscan fortalecer su posicionamiento en la industria de gases industriales. (Nicaragua, 2025)

A pesar de algunos desafíos, como la competencia creciente y la necesidad de mejorar la oferta de productos, Carbón Engineering Nicaragua está bien posicionada para capitalizar sobre estas oportunidades gracias a su infraestructura, experiencia en la industria, y un sólido respaldo financiero. El análisis FODA revela las fortalezas de la empresa, como su capacidad de producción, calidad del producto, y fuerte presencia en el mercado, lo que le otorga ventajas estratégicas para continuar creciendo en la región.

Tabla 7 Análisis FODA de Carbon Engineering Nicaragua

| Fortalezas | Oportunidades |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Producción actual elevada: 4, 870,081.04 kg anuales de CO₂. • Infraestructura técnica consolidada. • Experiencia en la industria de gases industriales. • Personal capacitado. | <ul style="list-style-type: none"> • Demanda creciente del CO₂ en bebidas carbonatadas. • Posibilidad de diversificación (hielo seco, limpieza criogénica). • Potencial de expansión a nuevos mercados. • Aplicaciones industriales adicionales del CO₂. |
| Debilidades | Amenazas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones en el sistema de refrigeración. • Dependencia de un solo producto. • Necesidad de mayor automatización y control de procesos. | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la competencia en el mercado. • Costos energéticos en alza. • Posibles regulaciones ambientales más estrictas. |

Fuente: Elaboración de autores.

En resumen, Carbón Engineering Nicaragua está en una fase de expansión que promete una mayor diversificación y crecimiento de sus productos, lo que la posicionará como un jugador clave en la industria de gases industriales y sus derivados en la región.

4.4.4 PERSPECTIVAS DE LA EMPRESA

La empresa mantiene una tendencia de crecimiento alto, con una participación significativa en el mercado local y regional. A corto plazo, su enfoque seguirá siendo el dióxido de carbono como producto principal, mientras que en el mediano plazo busca consolidar la producción de hielo seco y limpieza criogénica. Estos productos tienen un gran potencial debido a su creciente demanda en sectores industriales y de alimentos.

Además, la empresa planea fortalecer su presencia en mercados internacionales y explorar nuevas aplicaciones del (CO₂) en la industria farmacéutica y el tratamiento de aguas residuales. Su estrategia se centra en la optimización de procesos, la adopción de tecnologías sostenibles y el establecimiento de alianzas estratégicas con clientes y proveedores.

Carbón Engineering Nicaragua se encuentra en un momento estratégico de crecimiento y desarrollo dentro de la industria de gases industriales, particularmente en la producción de dióxido de carbono (CO₂). Su comportamiento productivo, con un incremento anual sostenido del 8 al 10 % en los últimos años, evidencia una tendencia positiva que refleja tanto la creciente demanda del mercado como la capacidad instalada de la empresa para responder a esta dinámica.

Diversificación e innovación

Otro factor que marca las perspectivas positivas de Carbón Engineering Nicaragua es su interés en diversificar la producción con productos derivados como el hielo seco y los servicios de limpieza criogénica. Estos productos tienen alta demanda en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica y de transporte de mercancías sensibles, ampliando así el portafolio de la empresa y reduciendo el riesgo de dependencia de un solo producto.

Desarrollo tecnológico y automatización

Las perspectivas de modernización e inversión en tecnologías de automatización, monitoreo de calidad y eficiencia energética también son factores determinantes. Estas iniciativas permitirán a la empresa optimizar su producción, reducir costos operativos y asegurar una trazabilidad adecuada en todos los procesos.

Conclusión de las Perspectivas

En síntesis, Carbón Engineering Nicaragua tiene un panorama favorable para continuar expandiéndose y posicionándose como un referente en la industria de gases industriales. Su apuesta por la calidad, la diversificación de productos y la innovación tecnológica refuerza sus capacidades estratégicas para afrontar los retos del mercado y asegurar su sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE INGENIERIA

5.1 Producción de CO₂ a partir de fermentación alcohólica de melaza

En la industria azucarera y sus derivados, la melaza representa un subproducto de gran valor para procesos de fermentación, particularmente en la producción de etanol y dióxido de carbono (CO₂). Su importancia radica en que contiene un alto porcentaje de azúcares fermentables, principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, que son utilizados por microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* para generar etanol como producto principal y CO₂ como subproducto.

En el caso de Carbon Engineering Nicaragua, este CO₂ liberado durante la fermentación constituye la materia prima para su sistema de captura, purificación y licuefacción. Por ello, comprender la composición química de la melaza y su rendimiento potencial en la generación de CO₂ es esencial para estimar la eficiencia operativa de la planta y planificar el abastecimiento de materia prima.

Este apartado desarrolla un análisis completo que inicia con la caracterización de la melaza como materia prima, continúa con la explicación química del proceso de fermentación alcohólica y culmina con un balance de materia basado en datos reales, determinando cuánta melaza es necesaria para producir un volumen específico de CO₂.

La melaza de caña es un subproducto viscoso, denso y de color marrón oscuro, obtenido tras las etapas finales de cristalización del azúcar en los ingenios. Su composición exacta varía dependiendo de la variedad de caña, condiciones climáticas y tecnología de proceso, pero generalmente presenta las siguientes características:

Tabla 8 Componente de la melaza

| Componente | Rango Típico % |
|---|----------------|
| Sacarosa (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁) | 30 – 35 % |
| Azúcares reductores (glucosa + fructosa) | 10 – 15 % |
| Agua | 18 – 25 % |
| Materia inorgánica (cenizas) | 8 – 10 % |
| Compuestos nitrogenados (proteínas, aminoácidos) | 3 – 5 % |

| | |
|--|-------|
| Otros orgánicos (ácidos, pigmentos, vitaminas) | 5 – % |
|--|-------|

Fuente: Elaboración de autores,

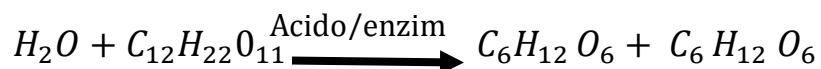
Estos valores determinan el potencial fermentativo y, en consecuencia, el volumen de CO₂ que se puede generar.

5.1.1 Fundamento químico de la producción de CO₂

La producción de CO₂ a partir de melaza implica dos reacciones químicas clave:

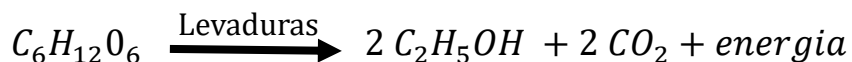
Inversión de la sacarosa (hidrólisis): La sacarosa, principal azúcar de la melaza, no es directamente metabolizada por las levaduras, por lo que primero debe ser hidrolizada. En presencia de agua y medio ácido (o por acción enzimática de la invertasa producida por las levaduras), la sacarosa se divide en una molécula de glucosa y una de fructosa, ambas fermentables:

Ecuación 1



Fermentación alcohólica: La glucosa y la fructosa son transformadas por *Saccharomyces cerevisiae* en etanol y dióxido de carbono bajo condiciones anaeróbicas:

Ecuación 2



De la estequiometría de la fermentación se desprende que 1 mol de glucosa (180 g) produce 2 moles de CO₂ (2 × 44 g = 88 g). Esta proporción permite calcular la cantidad de azúcar necesaria para generar una masa específica de CO₂.

5.1.2 Balance de materia para la producción de CO₂

El balance de materia es una herramienta fundamental en ingeniería de procesos, ya que permite establecer la relación cuantitativa entre los insumos que ingresan a un sistema y los productos que se obtienen, tomando en cuenta las reacciones químicas involucradas. En el caso de la producción de CO₂ a partir de melaza, el balance se basa en la fermentación alcohólica como reacción principal, y en la inversión de la sacarosa como reacción previa indispensable para que el azúcar sea aprovechado por las levaduras.

Este cálculo se desarrolla en varias etapas, siguiendo una secuencia lógica que asegura la comprensión de cada conversión de masa y su fundamento químico. Los datos y operaciones se presentan de forma directa, pero acompañados de explicaciones que clarifican el porqué de cada paso.

Definición del objetivo de producción

El punto de partida del balance es el objetivo de producción de CO₂, que para este caso es de 32,000 kg. Esta cantidad corresponde al gas que se desea obtener de forma pura después de la fermentación y captura.

Para facilitar los cálculos estequiométricos, se convierte a gramos:

$$32,000 \text{ kg} = 32,000,000 \text{ g}$$

Este valor se utilizará como referencia para determinar cuánta glucosa y, posteriormente, cuánta melaza se necesita para generarlo.

Relación entre CO₂ y glucosa

La reacción global de fermentación alcohólica es:



En términos de masa molecular:

- 1 mol de glucosa (180 g) → 2 moles de CO₂ (2 × 44 g = 88g)

Esto significa que, por cada 180 g de glucosa consumida, se generan 88 g de CO₂.

Aplicando esta proporción:

Ecuación 3

$$\frac{32,000,000 \text{ g } CO_2 \cdot 180 \text{ g glucosa}}{88 \text{ g } CO_2} = 65,454,545.5 \text{ g glucosa}$$

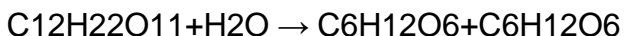
En kilogramos:

65,454.54 kg de glucosa

Este valor representa la masa de azúcar simple fermentable necesaria para alcanzar la meta de CO₂.

Conversión de glucosa a sacarosa equivalente

La melaza no contiene exclusivamente glucosa. La mayor fracción de sus azúcares se encuentra en forma de sacarosa, un disacárido no fermentable directamente por las levaduras. Antes de ser utilizada, la sacarosa se somete a un proceso de inversión o hidrólisis, donde se descompone en una molécula de glucosa y una de fructosa:



Este proceso ocurre de manera natural durante la fermentación gracias a la enzima invertasa, producida por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

En términos de masas:

- 1 mol de sacarosa (342 g) produce 2 moles de azúcares simples (360 g).

Por lo tanto, para producir la masa de glucosa necesaria se calcula la masa de sacarosa equivalente:

Ecuación 4

$$\frac{65,454.54 \cdot 342}{360} = 62,181.77 \text{ kg de sacarosa}$$

Este resultado indica que, si todo el azúcar de la melaza estuviera en forma de sacarosa, esta sería la cantidad requerida para producir la glucosa necesaria.

Conversión de sacarosa a melaza total requerida

La melaza es una mezcla compleja en la que solo una fracción corresponde a sacarosa. En este caso, se considera que la melaza utilizada contiene 32 % de sacarosa (0,32 en fracción másica).

Para conocer la masa total de melaza requerida:

Ecuación 5

$$\frac{62,181.77}{0.32} = 191,318 \text{ kg de melaza}$$

Este valor corresponde a las condiciones teóricas ideales, donde se asume que toda la sacarosa presente es hidrolizada y fermentada completamente, y que el CO₂ producido se captura en su totalidad.

5.2 Análisis de producción de Co₂ con variaciones en porcentaje de POL

Con el fin de evaluar el efecto del contenido de sacarosa aparente (POL) de la melaza sobre la producción de CO₂, se realizó un análisis manteniendo constante la masa de melaza procesada en 194,318 kg, que corresponde al valor calculado en el escenario base con POL = 0.32. Bajo esta condición, el único factor que varía es el porcentaje de sacarosa contenido en la materia prima, lo cual impacta directamente en la cantidad de azúcares fermentables disponibles y, en consecuencia, en la producción teórica de CO₂.

5.2.1 Metodología de cálculo

El procedimiento seguido consistió en aplicar las relaciones estequiométricas de la fermentación alcohólica a partir de la masa de melaza fija. En primer lugar, se determinó la cantidad de sacarosa equivalente en función del valor de POL de la melaza. Posteriormente, la sacarosa se convirtió a su equivalente en glucosa/fructosa mediante la reacción de inversión. Finalmente, se aplicó la ecuación global de fermentación, donde 180 g de glucosa producen 88 g de CO₂, con el fin de calcular la producción teórica de gas. Este procedimiento se repitió de manera sistemática para valores de POL comprendidos entre 0.30 y 0.37, permitiendo observar cómo se modifica la producción de CO₂ con la misma cantidad de melaza.

Tabla 9 Cantidad de POL en la melaza

| POL | 0.3 |
|-------------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 58295.40 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 61363.5789 |
| Producción de Co ₂ | 29999.9719 |

| POL | 0.31 |
|-------------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 60238.58 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 63409.0316 |
| Producción de Co ₂ | 30999.971 |

| POL | 0.32 |
|-------------------------------|-------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 62181.76 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 65454.48421 |
| Producción de Co ₂ | 31999.97006 |

| POL | 0.33 |
|-----------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 64124.94 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 67499.9368 |
| Producción de Co2 | 32999.9691 |

| POL | 0.34 |
|-----------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 66068.12 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 69545.3895 |
| Producción de Co2 | 33999.9682 |

| POL | 0.35 |
|-----------------------------|-------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 68011.30 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 71590.84211 |
| Producción de Co2 | 34999.96725 |

| POL | 0.36 |
|-----------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 69954.48 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 73636.2947 |
| Producción de Co2 | 35999.9663 |

| POL | 0.37 |
|-----------------------------|------------|
| Cant melaza | 194,318 |
| Sacarosa | 71897.66 |
| Cant de glucosa y fructuosa | 75681.7474 |
| Producción de Co2 | 36999.9654 |

Fuente: Elaboración de autores.

5.2.2 Resultados

Los resultados muestran que, para una melaza con POL = 0.30, la producción de CO₂ se reduce a aproximadamente 30,000 kg, es decir, unas 2 toneladas menos respecto al escenario base (POL = 0.32). A medida que el POL aumenta, la producción de CO₂ crece de manera prácticamente lineal, alcanzando 33,000 kg con POL = 0.33, 35,000 kg con POL = 0.35 y hasta 37,000 kg con POL = 0.37. En términos prácticos, esto significa que cada incremento de un punto porcentual en el POL de la melaza genera alrededor de 1,000 kg adicionales de CO₂, siempre que se procese la misma masa de materia prima.

Este comportamiento confirma que el contenido de sacarosa en la melaza es un parámetro crítico para la eficiencia operativa del proceso. Si el POL disminuye por debajo de lo esperado, la planta producirá menos CO₂ aunque procese la misma cantidad de melaza, lo que afecta la planificación de producción y el cumplimiento de metas. Por el contrario, un aumento en el POL permite obtener un mayor volumen de gas sin necesidad de incrementar el consumo de materia prima, lo cual repercute positivamente en el costo de operación y en la eficiencia energética del sistema. Sin

embargo, este incremento en la generación de CO₂ también puede representar un riesgo de pérdidas si la planta no cuenta con la capacidad instalada suficiente para manejar el mayor caudal de gas. En ese caso, el exceso de CO₂ producido no podría ser capturado ni aprovechado en su totalidad, generando emisiones no planificadas y reduciendo la eficiencia global del proceso.

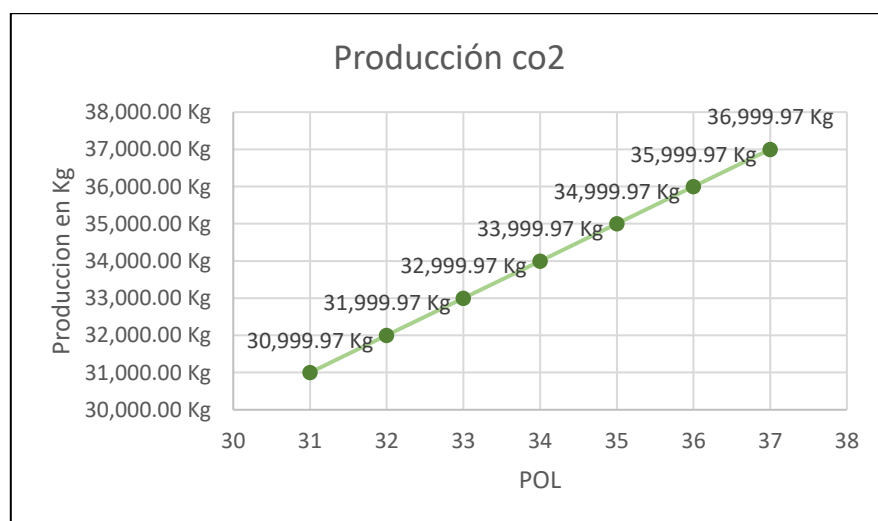
Representación gráfica

Con el propósito de visualizar de manera más clara las tendencias observadas, se elaboraron una serie de gráficas que muestran la relación entre el POL de la melaza, la cantidad de azúcares fermentables disponibles y la producción de CO₂ estimada. Estas representaciones permiten interpretar de forma intuitiva los resultados del balance de materia y facilitan la identificación de escenarios de sobreproducción o subproducción en función de la capacidad instalada de la planta.

Producción de CO₂ vs POL

La primera gráfica representa la relación entre el contenido de sacarosa aparente en la melaza (POL) y la producción teórica de dióxido de carbono (CO₂), manteniendo constante la masa de melaza procesada. Se observa que a medida que aumenta el POL, la producción de CO₂ crece de manera lineal, lo que confirma que este parámetro es un factor determinante en la eficiencia del proceso fermentativo. Esta representación permite dimensionar el impacto directo que tiene la calidad de la melaza sobre el volumen de gas generado, aspecto crítico para la planificación de la producción y la gestión de la capacidad instalada en la planta de recuperación de CO₂.

Figura 12 Producción CO₂

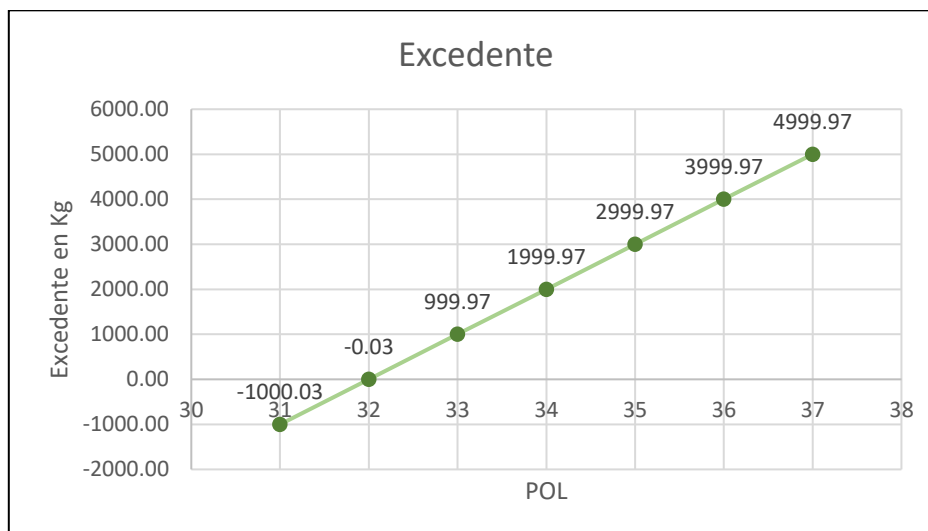


Fuente: Elaboración de autores.

Excedentes de Producción de CO₂ respecto a la Capacidad

La siguiente gráfica muestra los excedentes obtenidos en el proceso de producción de dióxido de carbono (CO₂) a partir de la melaza utilizada como materia prima. Estos excedentes reflejan la diferencia entre la capacidad teórica de conversión de azúcares y el rendimiento real alcanzado en la planta. Su análisis permite identificar el grado de aprovechamiento de los insumos, así como las oportunidades de optimización dentro de las etapas de fermentación, enfriamiento y compresión. Un excedente controlado es indicador de eficiencia en el proceso, mientras que valores elevados evidencian pérdidas energéticas o limitaciones en la capacidad operativa.

Figura 13 Excedente de producción de CO₂ respecto a la capacidad



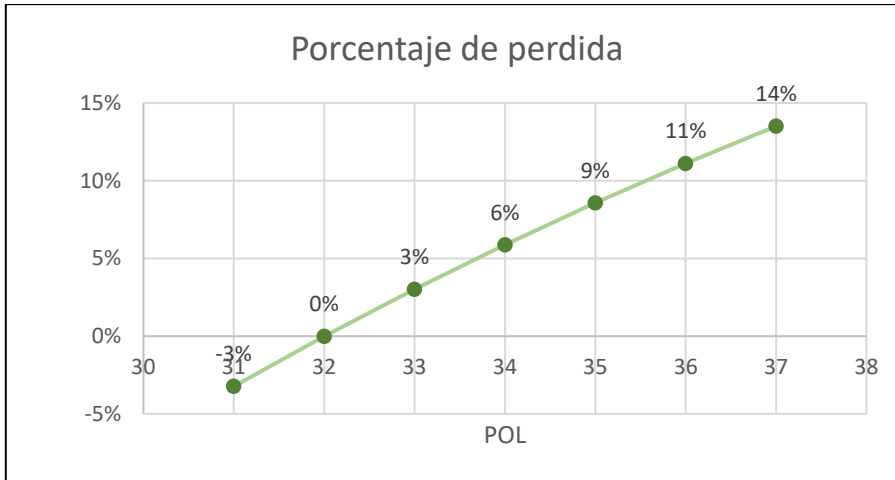
Fuente: Elaboración de autores.

Porcentaje de Pérdida en el Proceso de Producción de CO₂

En la gráfica de porcentaje de pérdida se representan las ineficiencias del proceso de producción de CO₂, asociadas principalmente a limitaciones en el sistema de preenfriadores y a la capacidad de los equipos de refrigeración. Este indicador es clave para evaluar la sostenibilidad del proceso, ya que una alta proporción de pérdidas reduce la productividad total, incrementa los costos y afecta la calidad del producto final. El seguimiento de estas pérdidas permite establecer un punto de referencia para

las mejoras técnicas propuestas, con el objetivo de alcanzar un equilibrio entre consumo energético, rendimiento operativo y estabilidad en la producción.

Figura 14 Porcentaje de Pérdida en el Proceso de Producción de CO₂

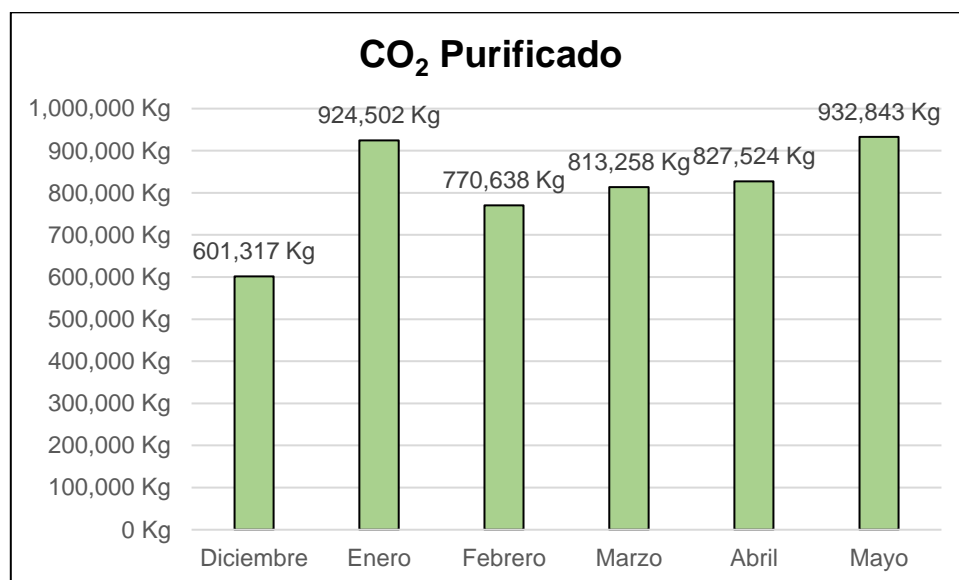


Fuente: Elaboración de autores.

5.3 Producción mensual de CO₂ en el año 2025

Una vez definido el comportamiento teórico de la producción de CO₂ a partir de la fermentación alcohólica de la melaza, se procedió a contrastar dichos resultados con los datos obtenidos en la zafra 2024–2025. En la Tabla () se presenta la producción mensual de CO₂ purificado entre diciembre y mayo, alcanzando un total de 4,870,082 kg en el ciclo. La gráfica correspondiente muestra que el mayor volumen se registró en enero, mientras que el valor más bajo se presentó en febrero, lo cual coincide con el cierre progresivo de la temporada. Este comportamiento confirma la tendencia observada en años anteriores: la producción tiende a concentrarse en los meses centrales de la zafra, cuando la planta alcanza sus niveles más altos de eficiencia operativa.

Figura 15 Producción mensual de CO₂ en el año 2025

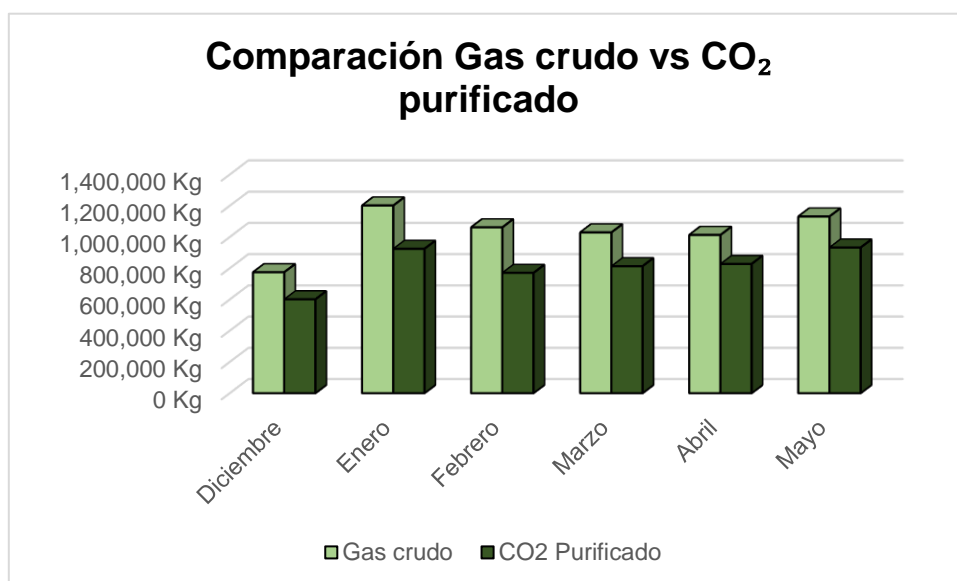


Fuente: Elaboración de autores.

5.3.2 Comparación entre Gas Crudo y CO₂ Purificado en 2025

Además de analizar la producción mensual de CO₂ purificado, resulta fundamental evaluar la relación con el gas crudo capturado durante el mismo período. La gráfica correspondiente presenta esta comparación, mostrando los volúmenes procesados entre diciembre y mayo de la zafra 2024–2025.

Figura 16 Comparación entre Gas Crudo y CO₂ Purificado en 2025



Fuente: Elaboración de autores.

Los datos evidencian que, si bien la cantidad de gas crudo capturado fue superior en todos los meses, solo una fracción de este pudo transformarse en CO₂ purificado, lo que refleja las pérdidas propias del proceso de enfriamiento, compresión y purificación. La diferencia entre ambas variables constituye un indicador clave de eficiencia, ya que permite determinar qué porcentaje del gas capturado es finalmente aprovechado como producto comercial.

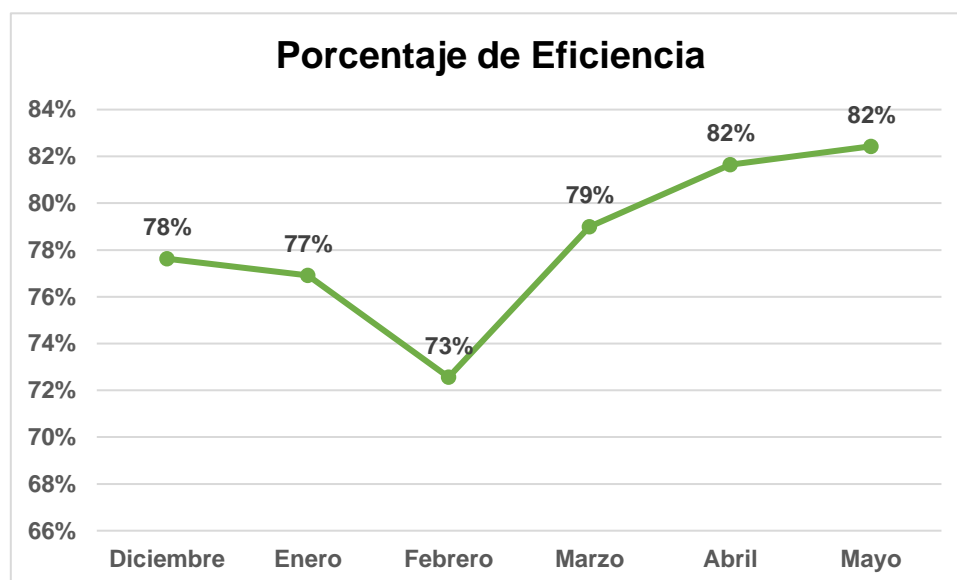
Se observa que los meses de mayor producción (febrero y marzo) también concentran la mayor eficiencia de conversión, mientras que en los extremos de la temporada (diciembre y mayo) las pérdidas tienden a ser más elevadas. Este comportamiento coincide con la dinámica operativa de la planta, donde los equipos alcanzan su mejor rendimiento en la etapa central de la zafra.

En síntesis, la comparación entre gas crudo y CO₂ purificado no solo muestra el volumen de producción efectiva, sino que también permite identificar oportunidades de mejora en la captura y el aprovechamiento del gas, aspectos esenciales para incrementar la competitividad y sostenibilidad de la planta.

5.3.3 Porcentaje de eficiencia en la producción de CO₂ (2025)

Para complementar el análisis de volúmenes, se calculó el porcentaje de eficiencia del proceso de captura y purificación de CO₂ durante la zafra 2024–2025. Este indicador resulta de la relación entre el CO₂ purificado y el gas crudo capturado, expresado en porcentaje, y es fundamental porque permite evaluar con mayor precisión el rendimiento de la planta más allá de los valores absolutos de producción.

Figura 17 Porcentaje de eficiencia en la producción de CO₂ (2025)



Fuente: Elaboración de autores.

La gráfica de eficiencia evidencia un comportamiento dinámico a lo largo de la temporada. En diciembre y enero, los niveles se mantuvieron relativamente estables, con un 78% y 77% respectivamente, lo que refleja un arranque con buen desempeño. Sin embargo, en febrero se registró la menor eficiencia del ciclo, con apenas un 73%, posiblemente debido a ajustes operativos o variaciones en la calidad de la melaza utilizada. Posteriormente, a partir de marzo, el indicador mostró una recuperación, alcanzando un 79% y llegando a los valores más altos en abril y mayo, con un 82% en ambos meses.

Este análisis confirma que la eficiencia del proceso no depende únicamente del volumen de gas procesado, sino también de la capacidad de los equipos para operar de manera estable en la etapa de purificación. Reconocer estas variaciones mensuales resulta clave para implementar mejoras en mantenimiento preventivo, optimización energética y gestión de producción, con el fin de asegurar un mayor aprovechamiento del gas capturado y minimizar las pérdidas en futuros ciclos.

5.4 Análisis de la Capacidad Operativa de los Equipos

Después de haber analizado el porcentaje de eficiencia alcanzado en el proceso de producción de dióxido de carbono durante el año 2025, resulta necesario profundizar en los factores internos que influyen directamente en dichos resultados. Entre ellos, la capacidad operativa de los equipos juega un papel determinante, ya que condiciona la estabilidad y continuidad de la línea productiva. En este sentido, se procedió a evaluar el desempeño de las principales etapas del sistema con especial énfasis en el preenfriamiento y la condensación con el propósito de identificar posibles limitaciones técnicas que estén generando restricciones en la eficiencia global del proceso.

5.4.1 Evaluación Técnica de Equipos Críticos

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de la capacidad operativa global, se consideró necesario realizar un estudio más detallado de ciertos equipos clave del sistema de producción. Este análisis puntual permite evaluar no solo si sus dimensiones constructivas y condiciones de operación son acordes con los parámetros de diseño, sino también identificar posibles márgenes de sobrecarga o sobredimensionamiento que puedan comprometer la eficiencia y continuidad del proceso.

5.4.1.1 Evaluación del Separador de Espuma

El separador de espuma instalado en la planta presenta un diámetro interno de 1,00 m y una altura tangente de 1,50 m, dimensiones que determinan directamente la capacidad volumétrica y el área de sección transversal disponible para el paso del gas.

Este equipo, conocido como foam trap o knock-out drum, tiene como función principal retener la espuma y las gotas de líquido arrastradas en el flujo de CO₂ proveniente de los fermentadores, evitando que alcancen las etapas posteriores del proceso. La correcta selección de su tamaño es fundamental, ya que un diámetro insuficiente puede generar velocidades de gas demasiado altas que arrastren líquido, mientras que una altura inadecuada limita el tiempo de residencia necesario para la separación y la acumulación de espuma. A continuación, se presentan los cálculos de diseño que permitirán analizar si las dimensiones actuales del equipo resultan apropiadas frente a las condiciones de operación de la planta.

Datos Proporcionados:

- Producción de CO₂ (m_CO₂): 32,000 kg/día
- Presión de Fermentación (P_man): 2 bar manométrica
- Datos del Mosto/Materia Prima: Brix 85, Pol 28, Pureza 33.

Asunciones de Ingeniería:

- Temperatura del Gas (T): Saliendo del fermentador de 35 °C (308.15 K).
- Presión Absoluta (P_abs): P_abs=P_man+P_atm. Asumiendo una presión atmosférica estándar de 1.013 bar.
- P_abs=2 bar+1.013 bar=3.013 bar=301,300 Pa.
- Propiedades del Líquido Arrastrado: mosto ligero: ρ_L≈980 kg/m³.

Calcular Propiedades del Gas (CO₂) a Condiciones de Proceso

1. Masa Molar del CO₂ (M): 44.01 g/mol o 0.04401 kg/mol.
2. Constante Universal de los Gases (R): 8.314 J/(mol·K).
3. Densidad del Gas (ρ_g): Usando la ley de los gases ideales, $p_g = \frac{P_{abs} \cdot M}{R \cdot T}$
5.17
4. Flujo Másico en kg/s (m):

Ecuación 6

$$m = \frac{32,000 \text{ kg / dia}}{24 \text{ h/dia} \cdot 36000 \text{ s/h}} \approx 0.3704 \text{ kg/s}$$

Flujo Volumétrico del Gas (Q):

Ecuación 7

$$Q = \frac{m}{\rho_g} = \frac{0.3704 \text{ kg /s}}{5.17 \text{ kg /m}^3} = 0.0716 \text{ m}^3 /s$$

Dimensionamiento del Recipiente Separador (Vertical)

Se utiliza el principio de la velocidad terminal de la gota y el factor K de Souders-Brown.

1. Velocidad Máxima Permisible del Gas (V_{max}):

Ecuación 8

$$V_{max} = K \sqrt{\frac{PL - Pg}{Pg}}$$

Para un separador vertical con un demister (malla para atrapar niebla), un valor conservador y típico es **K = 0.1 m/s**.

Ecuación 9

$$V_{max} = 0.1 \cdot \sqrt{\frac{980 - 5.17}{5.17}} \approx 0.1 \cdot \sqrt{188.55} \approx 1.37 \text{ m/s}$$

2. Área Transversal Mínima del Recipiente (A):

Ecuación 10

$$A = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{0.0716 \text{ m}^3/\text{s}}{1.37 \text{ m/s}} \approx 0.0523 \text{ m}^2$$

3. Diámetro Interno del Recipiente (D):

Ecuación 11

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

Ecuación 12

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0523m^2}{\pi}} \approx 0.258 m$$

Por razones prácticas de construcción y acceso, se redondearía a un diámetro estándar superior. Un buen valor de partida sería **D = 0.3 m (300 mm)**.

Altura del Recipiente (L):

Se utiliza una relación L/D (Largo/Diámetro) que típicamente está entre 3 y 5 para un buen funcionamiento. Usemos L/D = 4.

$$L = 4 \cdot D = 4 \cdot 0.3 m = 1.2 m$$

Esta altura se distribuye para permitir la separación, acumulación de líquido y espacio para el demister.

Resumen del Diseño Preliminar:

- Tipo de Separador: Vertical con demister.
- Diámetro Interno (D): 0.3 metros (300 mm).
- Altura Tangente a Tangente (L): 1.2 metros (1200 mm).

Según los cálculos de diseño evidenciamos que el separador de espuma de la planta está holgado y sobredimensionado para su capacidad. Sin embargo, esto asegura que el equipo nunca estará sobrecargado, proporcionando un amplio margen de seguridad para el proceso.

5.4.1.2 Evaluación de la Columna de Lavado de CO₂

Continuando con el proceso de purificación de dióxido de carbono, una vez que el gas ha sido liberado de los sólidos y el exceso de humedad por el separador de espuma, el siguiente paso crítico es la remoción de impurezas solubles como el etanol. Este es el propósito de la columna de lavado de CO₂, un equipo esencial en el que el gas crudo se somete a un lavado a contracorriente con agua. El diseño de este componente es vital para garantizar una purificación eficiente y la calidad del producto final. En esta etapa, el CO₂ que salía del separador con un flujo de 32,000 kg/día se prepara para su etapa de purificación.

Datos proporcionados

- Flujo de Gas de CO₂: 32,000 kg/día
- Presión de Operación: 2 bar
- Temperatura de Operación: 35 °C
- Flujo de Agua de Lavado: 4,000 L/h
- Pureza de Salida Deseada: 99.8% de CO₂
- Empaque de la Columna: Monturas Intalox de 2 pulgadas (plástico)
- Concentración de impurezas a la entrada del 3.0%

Parámetros Físicos y de Empaque

Flujo Másico de CO₂ (m):

Ecuación 13

$$m = \frac{32,000 \text{ kg}}{24 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 0.3704 \text{ kg/s}$$

Densidad del CO₂ (Pg):

Ecuación 14

$$Pg = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} = \frac{(200,000 \text{ Pa})(44.01 \text{ kg/mol})}{(8314.3 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{Kmol} \cdot \text{k})(308.15 \text{ K})} = 3.44 \text{ kg/m}^3$$

* Densidad del Agua (pL): 994 kg/m³

* Factor de Empaque (Fp): 22 m⁻¹ (Monturas Intalox de 2 pulgadas)

* Altura de una Unidad de Transferencia (HTU): 0.6 m

Cálculos y Dimensiones de Diseño

Diámetro de la Columna

Flujo Volumétrico de Gas (QG):

Ecuación 15

$$Q_G = \frac{m}{\rho_G} = \frac{0.3704 \text{ Kg/s}}{3.44 \text{ Kg/m}^3} = 0.1077 \text{ m}^3$$

Velocidad Real de Operación:

Ecuación 16

$$U_{G,Real} = \frac{Q_G}{A} = \frac{0.1077 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(1.2 \text{ m})^2/4} = 0.095$$

Velocidad de Inundación:

Ecuación 17

$$U_{G,Flood} = \sqrt{\frac{(0.05)(9.81)(3.44)(994)}{(22)(0.00072)^{0.1}}} = 2.85 \text{ m/s}$$

Conclusión: La velocidad de operación (0.095 m/s) es solo el 3.3% de la velocidad de inundación, lo cual confirma que el diámetro de 1.2 metros es seguro y efectivo, aunque considerablemente sobredimensionado para el flujo de gas.

Altura del Empaque

La altura se calcula para lograr la purificación deseada, usando la fórmula

$$Z = NTU \times HTU.$$

Número de Unidades de Transferencia (NTU): Se basa en la reducción de impurezas del 3.0% al 0.2%.

Ecuación 18

$$NTU = \ln\left(\frac{\text{Concentracion de entrada}}{\text{Concentracion de salida}}\right) = \ln\left(\frac{0.030}{0.002}\right) = \ln(15) = 2.71$$

Altura del Empaque (Z):

Ecuación 19

$$Z = NTU \times HTU = 2.71 \times 0.6 \text{ m} = 1.63 \text{ m}$$

Conclusión: Se requiere una altura de empaque de 1.63 metros para alcanzar la pureza del 99.8% en el peor escenario de impurezas.

C. Caída de Presión

La caída de presión es la energía necesaria para mover el gas a través del empaque.

Caída de Presión por Metro: Se estima en 20 Pa/m para las condiciones de operación.

Caída de Presión Total:

Ecuación 20

$$\Delta P_{total} = (20 \text{ Pa/m}) \times (1.63 \text{ m}) = 32.6 \text{ Pa}$$

Conclusión: La caída de presión es insignificante, lo que indica un diseño de alta eficiencia energética.

Especificaciones del Diseño Final

- Diámetro Interno: 1.2 metros.
- Altura de Empaque: 1.63 metros.
- Altura Total de la Columna: Se recomienda una altura de 2.5 a 3.0 metros para incluir espacios de distribución, soportes y conexiones.
- Tipo de Empaque: Monturas Intalox de 2 pulgadas, de plástico.

Este análisis demuestra que la columna de lavado de la planta, con sus 6 m de altura y 1.2 m de diámetro, está holgada y sobredimensionada para las necesidades actuales del proceso. El diámetro es más que suficiente para manejar el flujo de gas sin sobrecarga, mientras que la altura instalada es casi cuatro veces la altura mínima requerida para lograr la pureza deseada. Esta capacidad adicional es una ventaja significativa, ya que asegura que el equipo nunca se sobrecargue, incluso si el flujo de gas aumenta o si la concentración de impurezas es más alta de lo esperado. En lugar de ser un diseño ineficiente, esta holgura de capacidad proporciona un excelente

margen de seguridad que garantiza la fiabilidad del proceso y la calidad del producto final a largo plazo.

5.4.1.3 Evaluación del Filtro de Partículas

Un filtro de partículas es un equipo crucial en procesos industriales, diseñado para capturar y remover impurezas sólidas o líquidas microscópicas (aerosoles) de un flujo de gas. Su propósito principal en la purificación de CO₂ es proteger los equipos posteriores, como los compresores y los secadores, de daños y garantizar que el producto final cumpla con los estándares de pureza requeridos. A diferencia de un lavador que elimina impurezas solubles, el filtro se encarga de las partículas físicas, actuando como una barrera de seguridad en la línea de producción.

Datos de Proceso

- Flujo Volumétrico de CO₂ (QG): 0.1077m³/s
- Tamaño de las Partículas a Remover: 10 micrones o más grandes.
- Eficiencia de Filtración Requerida: 99.9%.
- Máxima Caída de Presión Permitida: 2000 Pa.

Dimensionamiento del Filtro

El diseño se centra en determinar el área de superficie del filtro necesaria para manejar el flujo de gas. Para esto, usamos la velocidad del gas a través del medio filtrante. Una velocidad superficial típica para filtros de alta eficiencia es de 0.01 a 0.05 m/s.

Cálculo del Área del Filtro:

Usaremos una velocidad conservadora de 0.03m/s

Ecuación 21

$$A_{filtro} = \frac{Q_G}{Velocidad\ del\ Gas} = \frac{0.1077\ m^3/s}{0.03\ m/s} = 3.59\ m^2$$

Conclusión del Diseño: Se requiere un filtro de partículas con un área de superficie efectiva de aproximadamente 3.6 metro cuadrado.

5.4.1.4 Análisis del Pre-enfriador de CO₂

El Pre-enfriador es el equipo encargado de recibir el CO₂ directamente de los filtros de partículas y reducir considerablemente la temperatura a la que llega el gas durante las etapas previas de limpieza y purificación, preparándolo para su posterior ingreso al enfriador y etapas posteriores este equipo recibe el gas a una temperatura entre 30 y 34 °C y sale a 5 °C

- Diámetro interno (Di)
Di=5/8 pulgadas=0.625 pulgadas
0.625 pulgadas x 0.0254 m/pulgada=0.015875 m
- Espesor del tubo (t) =1/16 pulgadas=0.0625 pulgadas
0.0625 pulgadas x 0.0254 m/pulgada=0.00158

Cálculo del área de transferencia de calor requerida (A)

Nuevo coeficiente de transferencia de calor (U) que es 90 W/m²°C.

Ecuación 22

$$A = \frac{Q}{U \cdot \text{LMTD}}$$

$$A = \frac{68,864.88 \text{ W}}{90 \text{ W/m}^2 \text{°C} \cdot 23.35 \text{ °C}}$$

$$A = \frac{68,864.88}{2092.5} \text{ m}^2$$

$$A \approx 32.91 \text{ m}^2$$

El área requerida es de **32.91 m²**

El área superficial de un solo tubo permanece sin cambios: 0.1858 m²/tubo

Ecuación 23

$$N_t = \frac{A}{A_{\text{tubo}}}$$

$$N_t = \frac{32.91m^2}{0.1858m^2 / \text{tubo}} \approx 177.12 \text{ tubos}$$

Se necesitarían aproximadamente $N_t = 178$ tubos

En base a cálculos realizados con la longitud de los tubos y su diámetro externo se concluye que el pre-enfriador requiere 178 tubos, y actualmente cuenta con 184, que si bien al igual que el enfriador tienen un poco más de lo requerido, no son suficientes para posibles incrementos de producción, incluso con los picos de producción que se presentan en algunos períodos de la temporada productiva en este punto se generan cuellos de botella o frena un poco el flujo de producción, pues se deben garantizar ante todo las condiciones del producto.

5.4.1.5 Evaluación del Enfriador

El enfriador es un equipo que se encuentra ubicado en una de las etapas del proceso que reciben CO₂ ya limpio de impureza tanto químicas como físicas, que cumple con sus parámetros de calidad e inocuidad, tiene como función principal según su nombre lo indica disminuir la temperatura del producto que recibe, mismo que ya fue enfriado previamente en los pre-enfriadores este equipo recibe el gas a una temperatura de 5 °C y sale de él a una temperatura de -17 , -22 °C , a continuación realizaremos los cálculos para analizar su eficiencia.

- Carga Térmica (Q): 42.22 kW
- Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (LMTD): 20.33 °C
- Longitud del tubo (L): 3.10 m
- Diámetro externo del tubo (Do): 0.01905 m
- Nuevo coeficiente global de transferencia de calor (U): 60 W/m²°C

Cálculo del Área de Transferencia de Calor Requerida (A)

Ecuación 24

$$A = \frac{Q}{U \cdot \text{LMTD}}$$

Ecuación 25

$$A = \frac{42,216.5 \text{ W}}{60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 20.33 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = \frac{42,216.5}{1219.8} \text{ m}^2$$

$$A \approx 34.61 \text{ m}^2$$

El área de transferencia requerida es de **34.61 m²**.

El área superficial de un solo tubo permanece sin cambios:

0.1858 m²/tubo

Ecuación 26

$$N_t = \frac{A}{A_{\text{tubo}}}$$

$$N_t = \frac{34.61 \text{ m}^2}{0.1858 \text{ m}^2 / \text{tubo}} \approx 186.27 \text{ tubos}$$

Se necesitarían aproximadamente $N_t = 187$ tubos

Según los cálculos realizados con la longitud de los tubos y su diámetro externo se comprueba que para un eficiente trabajo se necesitan 187 tubos, y actualmente el enfriador cuenta con 194, que, si bien es mayor de lo requerido, no son suficientes para posibles incrementos de producción.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 PROPUESTA

Propuesta de Mejora para la Optimización del Sistema de Producción de Dióxido de Carbono (CO₂) en Carbon Engineering Nicaragua

6.1.1 Introducción

La presente propuesta detalla un plan para optimizar el sistema de producción de CO₂ en la empresa Carbon Engineering Nicaragua. El diagnóstico técnico del proceso productivo, llevado a cabo entre junio y noviembre de 2025, identificó limitaciones significativas en la capacidad de los pre-enfriadores, lo que causa pérdidas en la purificación del gas y una eficiencia fluctuante. Para resolver estas deficiencias y respaldar el crecimiento anual proyectado, se propone la sustitución de los equipos de compresión y la instalación de un nuevo enfriador de tubo y coraza con mayor capacidad. La implementación de esta mejora busca incrementar la eficiencia, reducir pérdidas, y asegurar un suministro estable de producto de alta calidad, contribuyendo a la sostenibilidad operativa y competitividad de la empresa en el mercado regional.

6.1.2 Objetivos General

- Presentar los resultados obtenidos del sistema de producción de dióxido de carbono (CO₂) en la empresa Carbon Engineering Nicaragua tomando en cuenta el desempeño de compresores con refrigerantes R717 y R404A.

6.1.3 Justificación

El proyecto se justifica por la creciente demanda de CO₂ en el mercado industrial y por las limitaciones que presenta el sistema productivo actual. El análisis del sistema de producción de Carbon Engineering Nicaragua reveló que los pre-enfriadores no tienen la capacidad suficiente para el volumen de gas que procesan los compresores. Esto ha provocado pérdidas y una inestabilidad en la eficiencia, que llegó a ser tan baja como 73% en febrero de 2025. Además, se ha comprobado que el sistema de pre-enfriamiento y condensación opera al 125% de su capacidad nominal, lo que constituye un punto crítico que limita la eficiencia global.

6.1.4 Alcance

El alcance incluye ajustes operativos, mantenimiento preventivo sencillo y control de indicadores básicos para asegurar que el gas llegue en mejores condiciones al secado, evitando pérdidas y caídas en la capacidad de compresión y condensación. También se contempla una breve capacitación al personal para estandarizar el manejo de equipos en estas etapas.

6.1.5 Diseño y justificación de la propuesta de inversión

6.1.5.1 Determinación de la Línea Base Histórica

El análisis pormenorizado de los datos de la Zafra 2024-2025, obtenidos del archivo de producción, establece los parámetros operativos reales que sirven como punto de partida para la propuesta de mejora.

Capacidad Máxima Teórica (Flujo de Entrada): El flujo máximo registrado de Gas Crudo que ingresó al proceso fue de 45,096 kg/día, lo que define el potencial absoluto de materia prima que la planta puede generar a partir de la fermentación.

Producción Promedio de CO₂ Purificado (Línea Base): La producción media diaria real durante el periodo de operación fue de 30,823.30 kg/día.

Eficiencia Operativa Promedio: La eficiencia real del proceso, determinada por la relación entre el CO₂ Purificado y el Gas Crudo total, se situó en 78.38%, confirmando la existencia de una ineficiencia estructural que limita la productividad.

6.1.5.2 Justificación del Flujo de Diseño (45,096 kg/día)

La decisión de ingeniería para dimensionar los nuevos equipos se basa en el flujo máximo de Gas Crudo (45,096 kg/día) y no en el CO₂ Purificado máximo histórico.

Principio de Ingeniería: El diseño de un sistema para eliminar un cuello de botella debe basarse en la capacidad máxima de la etapa anterior (fermentación) para garantizar que la limitación no se traslade al nuevo equipo. El CO₂ Purificado es una salida limitada por el equipo antiguo, mientras que el Gas Crudo es la entrada no restringida que define el potencial.

Objetivo de la Propuesta: La meta de la propuesta es alcanzar una eficiencia del 95% sobre el flujo máximo de materia prima.

Producción Proyectada al 95%=Flujo Máximo Gas Crudo×0.95

Producción Proyectada (Meta)=45,096 kg/día×0.95=42,841.20 kg/día

6.1.5.3 Cálculos de Dimensionamiento de los Nuevos Equipos

La propuesta implica la sustitución del sistema de enfriamiento ineficiente por un nuevo Enfriador de Tubo y Coraza y un nuevo Compresor R717 (Amoníaco), ambos dimensionados para el nuevo flujo de diseño.

6.1.5.4 Cálculo y Dimensionamiento del Enfriador de Tubo y Coraza

El dimensionamiento se realiza escalando la carga térmica (42.22 kW para 32,000 kg/día) para el nuevo flujo de diseño de 45,096 kg/día.

A. Carga Térmica Requerida

La carga térmica que el nuevo equipo debe remover se calcula por proporcionalidad:

Ecuación 27

$$Q_{m\acute{a}x} = 42.22 \text{ kW} \cdot \frac{45,096 \text{ kg /dia}}{32,000 \text{ kg /dia}} \approx 59.48 \text{ kW}$$

B. Número de Tubos Requeridos (N')

El número de tubos del nuevo diseño (basado en el diseño inicial de 187 tubos) debe escalarse para garantizar la superficie de transferencia de calor necesaria para gestionar los 59.48 kW.

Ecuación 28

$$N' = 187 \text{ tubos} \cdot \frac{59.48 \text{ kW}}{42.22 \text{ kW}} \approx 263 \text{ tubos}$$

Conclusión del Diseño: El nuevo enfriador debe ser diseñado para gestionar una carga térmica de 59.48 kW, lo cual requiere un área superficial equivalente a 263 tubos. Este dimensionamiento elimina el cuello de botella.

6.1.5.5 Selección y Capacidad del Nuevo Compresor R717

El nuevo compresor debe ser seleccionado para manejar el flujo másico máximo, utilizando las ventajas del refrigerante R717.

A. Flujo Másico de Diseño

El compresor debe procesar la masa correspondiente al flujo máximo del proceso:

Ecuación 29

$$m_{m\acute{a}x} = \frac{45,096 \text{ kg /dia}}{24 \text{ horas /dia}} \approx 1,879.00 \text{ kg /h}$$

B. Especificación y Justificación

La potencia (BHP) y el caudal volumétrico (V') del compresor R717 seleccionado deben ser superiores al 1,879.00 kg/h (a las condiciones de succión) para asegurar que la compresión no limite el proceso. El uso de R717 (Amoníaco) se justifica por su alta eficiencia termodinámica y su nulo impacto ambiental (PAO=0, PCG=0), lo que reduce el consumo eléctrico por unidad de CO₂ purificado.

6.1.5.6 Conclusión y Proyección del Incremento de Producción

La propuesta de inversión está justificada por la eliminación del cuello de botella y el consecuente aumento de la capacidad de procesamiento.

Tabla 10 Métrica de producción

| Métrica de Producción | Valor (kg/día) |
|---|----------------|
| A. Producción Promedio Actual (Línea Base) | 30,823.30 |
| B. Producción Proyectada (Meta 95% de Eficiencia) | 42,841.20 |
| Incremento Total de Capacidad (B - A) | 12,017.90 |

Fuente: Elaboración de autores

El incremento porcentual de la producción esperado es:

Ecuación 30

Incremento porcentual

$$= \frac{\text{Produccion proyectada} - \text{Produccion promedio actual}}{\text{Produccion promedio actual}} \times 100$$

$$\text{Incremento porcentual} = \frac{42,841.20 \text{ kg / dia} - 30,823.30 \text{ kg/ dia}}{30,823.30 \text{ kg/ dia}} \times 100 \approx \mathbf{39.00\%}$$

En conclusión, la implementación del nuevo enfriador dimensionado para 263 tubos y el nuevo compresor R717 compatible con el flujo de 1,879.00 kg/h permitirá un incremento de la producción diaria de 12,017.90 kg, lo que representa un aumento del **39.00%** respecto a la producción promedio actual. Este margen de mejora no solo cumple con el requisito de cubrir el crecimiento proyectado de la demanda (10%), sino que también dota a la planta de una reserva de capacidad operativa estratégica para el futuro.

6.1.6 Propuesta de Cambio de maquinaria de mayor rendimiento.

Para solucionar las deficiencias identificadas, se propone un plan de mejora enfocado en la modernización de los equipos de refrigeración y compresión.

- Nuevo Compresor:


Modelo Propuesto: Se recomienda la implementación de compresores de alta eficiencia, como los modelos R717 (amoníaco) o R404A, que son más eficientes y adecuados para operaciones de gran escala.

Justificación: El uso del amoníaco (R717) ofrece alta eficiencia, robustez y un bajo impacto ambiental, mientras que el R404A es una opción viable con menor inversión inicial. La modernización de estos equipos es clave para resolver los problemas de capacidad y rendimiento que afectan el proceso productivo.

- Nuevo Enfriador de Tubo y Coraza:

Diseño y Capacidad: Para complementar al nuevo compresor, es necesario un nuevo enfriador de tubo y coraza diseñado para una mayor capacidad de transferencia de calor. A modo de ejemplo de los cálculos que se necesitan realizar, una carga térmica de 42.22 kW y un coeficiente de transferencia de calor (U) de 60 W/m²°C requerirían un área de transferencia de 34.61 m² y un total de 187 tubos. Estos cálculos sirven como base para dimensionar el equipo adecuado que garantice que el gas de descarga del compresor se enfríe de manera eficiente, optimizando la densidad del gas y mejorando el rendimiento del compresor.

Tabla 11 Compresor MAYEKAWA 9J-4014-4C

| Maquinas | Voltios | kWh | Foto | Modos de fallas potenciales |
|------------------------|----------------|-------|--|--|
| MAYEKAWA 9J-4014-4C | 380 – 440 V | 78.95 |  | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Sobrecalentamiento del motor ❖ Fugas de refrigerante ❖ Desgaste de cojinetes ❖ Bloqueo por impurezas ❖ Fallo eléctrico en contactores o protecciones |

Fuente: Elaboración de autores.

6.1.7 Presupuesto

Tabla 12 sustitución de MAYEKAWA 9J-4014-4C

| Nombre | Detalles | Foto | Precio/ Proveedor |
|---|--|------|--|
| <p>Bitzer OSNA7462-K (R717) en sustitución de MAYEKAWA 9J-4014-4C</p> | <p>Los compresores diseñados para trabajar con R717 suelen ser tipo tornillo abierto debido a la alta capacidad de refrigeración que demandan las plantas industriales. Estos equipos permiten un funcionamiento continuo, estable y con buen rendimiento a bajas temperaturas de evaporación, lo cual es esencial en sistemas de producción y licuefacción de CO₂.</p> | | <div data-bbox="1154 478 1511 779" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> </div> <p>PRECIO ESTIMADO: US \$30,000 y \$150,000</p> |

Fuente: Elaboración de autores.

Tabla 13 Compresor Embraco 1 Hp 404^a

| Nombre | Detalles | Foto | Precio/ Proveedor |
|---|---|------|---|
| <p>Compresor Embraco 1 Hp 404a Media Presión Nt6222gkv en sustitución de MAYEKAWA 9J-4014-4C</p> | <p>Los compresores que utilizan R-404A están diseñados para aplicaciones de refrigeración comercial y de baja temperatura. A diferencia de los compresores de tornillo de alta capacidad, los compresores para R-404A suelen ser de tipo semihermético de pistón o scroll. Estos diseños son ideales para un amplio rango de potencias, desde pequeños equipos de congelación hasta cámaras frigoríficas de tamaño mediano.</p> | | <div data-bbox="1190 457 1539 772" style="text-align: center;"> </div> <p>PRECIO ESTIMADO: US \$11,569</p> |

Fuente: Elaboración de autores.

Tabla 14 Presupuesto de implementación

| Concepto | Cantidad | Monto por unidad (U\$) | Monto total (U\$) | Monto anual (U\$) |
|--|----------|------------------------|----------------------|---------------------|
| Compresor Bitzer OSNA7462-K (R717, tornillo abierto) | 1 | \$ 150,000.00 | \$ 150,000.00 | \$ 15,000.00 |
| Otros costos (instalación, repuestos, pruebas) Bitzer | 1 | \$ 15,000.00 | \$ 15,000.00 | \$ 1,500.00 |
| Total, Opción A | | - | \$ 165,000.00 | \$ 16,500.00 |
| Compresor Embraco NT6222GKV 1 HP (R404A) | 1 | \$ 11,569.00 | \$ 11,569.00 | \$ 1,156.90 |
| Otros costos (instalación, repuestos, pruebas) Embraco | 1 | \$ 1,156.90 | \$ 1,156.90 | \$ 115.69 |
| Total, Opción B | | - | \$ 12,725.90 | \$ 1,272.59 |
| Total, Opción A+B | | | \$ 177,725.90 | \$ 17,772.59 |

Fuente: Elaboración de autores.

6.1.8 cronograma

Tabla 15 Cronograma de implementación del proyecto

| No. | Actividades principales | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre |
|-----|---|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|
| 1 | Adquisición de equipos (compresor, pre-enfriador, accesorios) | | | | | | |
| 2 | Instalación de nuevos equipos en planta | | | | | | |
| 3 | Capacitación técnica al personal | | | | | | |
| 4 | Pruebas piloto de funcionamiento | | | | | | |
| 5 | Ajustes y optimización del sistema | | | | | | |
| 6 | Evaluación de resultados y entrega del informe final | | | | | | |

Fuente: Elaboración de autores.

6.2 CONCLUSIONES

Tras el análisis exhaustivo del proceso de producción de dióxido de carbono en Carbón Engineering Nicaragua, esta investigación ha llegado a las siguientes conclusiones fundamentales:

- La principal limitación que obstaculiza el desempeño de la planta no se encuentra en la generación de gas, sino en un cuello de botella técnico claramente identificado en el sistema de pre-enfriamiento y compresión. Se concluye que los equipos actuales son insuficientes para manejar el volumen de gas que demandan los compresores, lo que provoca una pérdida de eficiencia en la purificación y licuefacción.
- Se ha determinado que el rendimiento del proceso es altamente sensible a la calidad de la materia prima. Existe una correlación directa y positiva entre el porcentaje de sacarosa (POL) en la melaza y el volumen de CO₂ generado. Por lo tanto, el control de esta variable es crítico para la estabilidad operativa y la previsibilidad de la producción.
- Como consecuencia directa del cuello de botella técnico, se concluye que la capacidad instalada de la planta está siendo subutilizada. El sistema opera de forma inestable, en un rango de eficiencia de entre 73% y 82%, demostrando su incapacidad para procesar la totalidad del gas crudo capturado y limitando la respuesta de la empresa a la creciente demanda del mercado.
- Finalmente, se concluye que la propuesta de modernización es una solución de ingeniería viable y estratégica para resolver la ineficiencia del sistema. La sustitución de los equipos de compresión por tecnología de alta eficiencia (R717 o R404A) y la instalación de un nuevo enfriador de tubo y coraza, dimensionado para el flujo máximo, permitirá eliminar la restricción actual. Esta implementación proyecta elevar la eficiencia global del proceso a una meta sostenible del 95%, fortaleciendo decisivamente la productividad y competitividad de la planta.

6.3 RECOMENDACIONES

A partir del análisis técnico y los resultados obtenidos en este proyecto, se presentan las siguientes recomendaciones dirigidas a las partes involucradas:

Para la Gerencia de Carbon Engineering Nicaragua:

- Implementación de nuevos equipos: Se recomienda la modernización del sistema de compresión y enfriamiento como una prioridad estratégica. La instalación de un compresor de alta eficiencia (como los modelos R717 o R404A) junto con un nuevo enfriador de tubo y coraza es la solución más viable para resolver las limitaciones de capacidad.
- Capacitación del personal: Invertir en la capacitación del personal para el manejo y mantenimiento de los nuevos equipos es fundamental para proteger la inversión y garantizar una operación segura y eficiente.

Para la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC):

- Fomento de la investigación aplicada: Se recomienda a la universidad continuar promoviendo proyectos de investigación que vinculen a los estudiantes con los desafíos reales de la industria. Este enfoque no solo enriquece el proceso de aprendizaje, sino que también posiciona a la institución como un socio estratégico para el desarrollo industrial y tecnológico en la región.
- Actualización curricular: Considerar la incorporación de estudios de casos o prácticas de campo sobre sistemas de refrigeración y optimización de procesos industriales. Esto fortalecería la preparación de los futuros ingenieros para enfrentar problemas complejos en el mercado laboral.

Para los Estudiantes:

- Profundizar en el análisis: Se sugiere a futuros investigadores que tomen este estudio como punto de partida. Un área de especial interés es el análisis económico detallado de la implementación de los nuevos compresores, incluyendo el cálculo preciso del retorno de la inversión (ROI) a largo plazo.
- Exploración de nuevas tecnologías: Se recomienda explorar alternativas tecnológicas de refrigeración más allá de las mencionadas, así como la posibilidad de optimizar otros procesos en la cadena de valor de la empresa, como la purificación o el almacenamiento de CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA MEZA, Y. D., & GUTIÉRREZ ÚBEDA, F. D. (s.f.). *LA IMPORTANCIA DE LAS NORMAS ISO 9001 PARA LA*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/7185/1/6618.pdf>
- Aburto Galeano, O. J., & Benavides Araica, L. E. (s.f.). *Plan estratégico de Carbox de Nicaragua S.A. (período 2008-2012)*. Obtenido de <https://repositorio.ausjal.org/handle/20.500.12032/51610>
- Álamo, D. F. (Junio de 2024). *Planta de producción de metanol a partir del CO2 capturado*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/68743/TFG-I-2991.pdf;jsessionid=7DEAB23A6F475C7FC45D22E14F490D96?sequence=1>
- Álvarez, D. O. (15 de 07 de 2021). *Concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/dioxido-de-carbono-co2/>
- Díaz, C. P. (2019). *Análisis y optimización de dos sistemas de refrigeración avanzados de (CO₂) conectados a sistemas geotérmicos*. Obtenido de <https://orcid.org/0000-0002-4450-2438>
- Flores, L. N. (Junio de 2024). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA POR MEDIO DE LA NORMA ISO 50001 EN PLANTA 4 YAZAKI EN EL DEPARTAMENTO DE LEÓN, EN EL PERIODO COMPRENDIDO DE ENERO-JUNIO 2024*. Obtenido de [Obtenido de https://repositorio.ucc.edu.ni/1406/](https://repositorio.ucc.edu.ni/1406/)
- KUNAK. (2025). *Dióxido de carbono: elemento vital con impacto significativo*. Obtenido de <https://kunakair.com/es/dioxido-de-carbono/>
- Pacheco, A. S. (2018). *“Refrigeración con (CO₂) en aplicaciones comerciales”*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid. Junio de 2018, Madrid España. Obteniendo unas palabras claves: (CO₂), R744, F- Gas, transcrito
- Porter. (1979). *Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia*.
- Porter, M. E. (1979). *Competitive Forces Shape Strategy*. *Harvard Business Review*.
- Quiroa. (2024). *sistemas de producción cerrado*.

- Ruiz, E. G. (2012). *Estudio de impacto ambiental para la creación de un centro de regeneración de refrigerantes*. Obtenido de (Tesis doctoral, Universidad Pontificia Bolivariana). Universidad Pontificia Bolivariana.
- RUIZ, J. D. (2012). *Estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes de la universidad pontificia bolivariana*”, . Obtenido de El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Unidad Técnica de Ozono (UTO),
- Urroz, J. D. (2023). *Evaluación de la emisión de dióxido de carbono microbiano en suelos con sistemas de agricultura de conservación, Condega, Yalagüina, Nicaragua, 2023. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, Managua (Nicaragua)*. Condega, Yalagüina, Nicaragua: Direccion Especifica de Ciencias Agricolas.
- Vílchez, B. A. (2017). *Evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero en tres sistemas de uso de suelos en la microcuenca Tecomapa, municipio de Somotillo, Chinandega-Nicaragua*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3460/>.

ANEXOS

Figura 18 Planta de Producción



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua

Figura 19 Carga de cisterna con CO₂



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua.

Figura 20 Columna de lavado



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua.

Figura 21 Visita a Carbón Engineering Nicaragua



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua.

Figura 22 Visita a Carbon Engineering Nicaragua



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua.

Figura 23 Visita a Carbón Engineering Nicaragua



Fuente: Carbón Engineering Nicaragua.

Tabla 16 Cronograma del proyecto

| No. | Actividades principales | Junio | Julio | Agosto | Septiembre |
|------------|--|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 1 | Inducción al curso de culminación | | | | |
| 2 | Aceptación del tema | | | | |
| 3 | Revisión del tema, formulación de objetivos, planteamiento del problema. | | | | |
| 4 | Marco teórico, antecedentes, Marco legal | | | | |
| 5 | Metodología y diseño de investigación | | | | |
| 6 | Validación del experto | | | | |
| 7 | Macro y Micro localización | | | | |
| 8 | Estudio de ingeniería y análisis de resultado | | | | |

Fuente: Elaboración de autores.

Guía de entrevista aplicada al Gerente de la empresa Carbon Engineering Nicaragua

Entrevistado: Ing. Carlos Alejandro Betancourt Silva

Cargo: Gerente de Producción

Fecha: 25 de marzo del 2025

Lugar: Carbon Engineering Nicaragua

Tipo de entrevista: Estructurada

- **Pregunta 1: ¿Cuál es la historia de la empresa Carbón Engineering Nicaragua y su especialización en la producción de CO₂?**

Respuesta: Carbón Engineering Nicaragua nace como una iniciativa local para aprovechar subproductos de procesos fermentativos industriales y transformarlos en CO₂ de calidad industrial. Desde sus inicios, la empresa se especializó en la captura, purificación y comercialización de dióxido de carbono para usos industriales y de proceso, desarrollando procedimientos para obtener CO₂ con concentraciones bajas de hidrocarburos volátiles y bajo contenido de impurezas.

- **Pregunta 2: ¿Cuáles son los principales mercados o clientes a los que se destina el CO₂ producido?**

Respuesta: Industrias de bebidas, industrias alimentarias, procesos industriales y de soldadura, y clientes locales para usos de laboratorio o agrícolas.

- **Pregunta 3: ¿Cómo se alinea el proyecto de mejora de la producción con los objetivos estratégicos a largo plazo de la empresa?**

Respuesta: El proyecto busca incrementar la productividad y eficiencia del sistema de producción entre junio y noviembre de 2025, reduciendo costos unitarios, mejorando el suministro y aumentando la capacidad competitiva.

Cuestionario técnico aplicado al área de Operaciones

Entrevistados: Personal del área de Producción

Tipo de instrumento: Cuestionario técnico estructurado

Fecha: 28 de marzo del 2025

Lugar: Carbon Engineering Nicaragua

- **Pregunta 1: ¿Se realizan análisis de laboratorio a la melaza para determinar el contenido de azúcar (sacarosa) antes de su uso?**

Respuesta: Sí, se realizan análisis de calidad para determinar contenido de sólidos y sacarosa, permitiendo ajustar las condiciones de fermentación.

- **Pregunta 2: Actualmente, ¿cuál es el porcentaje de la capacidad instalada que se está utilizando?**

Respuesta: En promedio, se utiliza entre el 73 % –82 % de la capacidad disponible, debido a limitaciones de materia prima y paradas no planificadas.

- **Pregunta 3: ¿Qué mejoras se han implementado en el sistema de producción en los últimos años?**

Respuesta: Se han realizado optimizaciones en separadores y secadores, ajustes en rutinas de control de proceso y mejoras en instrumentación.

Chichigalpa, 26 de marzo de 2025

De: Carbox de Nicaragua, S. A
Para: Arq. Cesar Augusto Valladares
Sus manos

Es un placer dirigirme a usted en calidad de representante de Carbox de Nicaragua, S.A. Valoramos enormemente los estudios e investigaciones que contribuyan al análisis y la mejora continua de los procesos industriales, y consideramos que el análisis propuesto puede ofrecer una valiosa perspectiva en cuanto a la eficiencia de nuestro proceso.

Con base en lo anterior, le otorgamos nuestra autorización para realizar el estudio mencionado en nuestras instalaciones, siempre y cuando se respeten los protocolos y normativas internas de la empresa, así como la confidencialidad de la información que se manejará durante el proceso de investigación.

Quedamos a su disposición para lo que se requiera y le deseamos mucho éxito en su trabajo académico.

Atentamente,



Carlos Betancourt Silva
Gerente de producción
Carbox de Nicaragua, S.A.

