



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SUMINISTRO Y CONSUMO DE  
GAS CARBÓNICO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4 DE BEBIDAS  
GASEOSAS EN AJEVEN, C.A.**

Autores:  
Alberto Martínez  
Cinthia Sierra

Valencia, Mayo de 2006



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SUMINISTRO Y CONSUMO DE  
GAS CARBÓNICO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4 DE BEBIDAS  
GASEOSAS EN AJEVEN, C.A.**

**Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de  
Carabobo para optar al título de Ingeniero Químico**

Tutor académico:

Prof. Donato Magarelli

Tutor industrial:

Ing. Simón Cordido

Autores:

Alberto Martínez

Cinthia Sierra

Valencia, Mayo de 2006

*"Jamás desesperes, aún estando en las  
más sombrías aflicciones, pues de  
las nubes negras cae agua  
limpia y fecundante"*

---

*Miguel de Unamuno*

## *Dedicatoria*

*Al Dr. José Gregorio Hernández, Santo de todos los venezolanos y a quien le tengo tanta fe.  
¡Ruego por su pronta beatificación!*

*A mis padres, Marlene y Esteban, las personas más importantes en mi vida y a quienes les  
debo todo lo que hoy soy. Espero en el futuro poder retribuirles con alegrías, orgullos y  
satisfacciones por lo menos la mitad de la felicidad que me han dado y que me seguirán  
dando en mi vida... ¡Los quiero mucho!*

*A mis hermanas, Marjorie y Margloryn, las mejores que Dios me pudo dar...  
¡Desde pequeños, siempre tan unidos!*

*A mi bisabuela “La Abuelita” Emelinda, quien desde el cielo sé que me colma de bendiciones  
todos los días*

*A mis abuelas Socorro y Waldina, por tanto amor y por darme los mejores padres del  
mundo*

*A mi sobrinito Samir, a quién llamo cariñosamente “Pequeño Tom”, por brindarme las  
sonrisas que solo los niños saben ofrecer*

*A Cinthia, compañera en esta ardua labor, con quien he compartido tantos momentos  
importantes y quién con el pasar de los años ha demostrado ser una “verdadera amiga”  
¡Estoy muy orgulloso de compartir este trabajo contigo!*

*A mis amigos: Andreína Oliveros, Firza Ascanio, Álvaro Cepeda, Berta Padrón, Tatiana  
Rybak, Semia Rafeh, América Arveláez, Alicia González, Andreína Díaz, Brenda  
Andrade, Sandra Magdalena, Ferdinand Molina y Karen Luque; con quienes he  
compartido tantos momentos de alegría, diversión y preocupación*

*A la memoria de mi cuñado y amigo Sub-Comisario (PC) Abog./Lic. Samir Cedeño, de quien  
guardo gratos recuerdos*

*Alberto E. Martínez M.*

## *Dedicatoria*

*A Dios Todopoderoso, fuente primordial de vida. A Él por permitir y ayudarme a conseguir mis metas. Sin él este triunfo no hubiera sido posible*

*A mi padre; por dedicar, con arduo trabajo, gran parte de su vida a ayudarme a cosechar mis éxitos*

*A mi madre, por darme la vida, aconsejarme y compartir a mi lado momentos de dificultad. ¡Padres, esto es para ustedes!*

*A mi querido hermano, aunque lejos, siempre un ejemplo a seguir. En los momentos de dificultad, siempre estás presente. Te quiero mucho...*

*A mi bella abuela Esther, quien a pesar de compartir tan pocos momentos a su lado, es una de las personas más especiales e importantes de mi vida. Siempre te tengo presente y nunca te olvido*

*A mi Papito, aunque te fuiste ya hace algún tiempo, siempre ocuparás un lugar muy especial en mi corazón*

*A mis amigos: Sheyla, Firza, Andre, Vicente y Álvaro, por compartir tantos momentos a su lado, llenos de alegrías, tristezas, decepciones y dificultades. A ustedes amigos por ser como son*

*A mi amigo, el paciente Alberto, quién a lo largo del tiempo se ha convertido en un gran aliado y verdadero amigo. Qué placer culminar esta importante etapa de mi vida a tu lado*

*Y finalmente a un gran amigo, quien durante casi tres años me enseñó, con su experiencia, a luchar y a no decaer ante los problemas por más difíciles que éstos parezcan. Hoy en día es un hombre por el cual siento profundo respeto y admiración*

*Cynthia E. Sierra J.*

## *Agradecimientos*

*A Dios, nuestro Señor, por darnos vida, salud y por guiarnos por el sendero del bien a lo largo de nuestras vidas y especialmente por darnos la tenacidad y la constancia necesarias para lograr cumplir con éxito esta meta*

*A nuestros padres y familiares, por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo. ¡Gracias por los consejos y la compañía incondicional!*

*A nuestro tutor académico, Prof. Donato Magarelli, por sus oportunas observaciones y por colocar incondicionalmente a nuestra disposición todos sus conocimientos cada vez que lo requeríamos*

*A nuestro tutor industrial, Ing. Simón Cordido, y a todo el equipo de AJEVEN, C.A. por apoyarnos durante la realización de la presente investigación*

*Al Ing. Carlos Chacón, por sus oportunas asesorías y valiosa colaboración en el área del estudio del comportamiento de gases criogénicos*

*Al Prof. José Hugo Chourio de la Facultad de Educación de nuestra querida universidad, sin cuyo conocimiento no hubiéramos logrado las bases estadísticas presentadas en esta investigación*

*Y finalmente, a todos aquellos amigos y allegados que de alguna u otra forma colaboraron positivamente y nos ayudaron a culminar con éxito este trabajo tan importante en esta etapa de nuestras vidas*

*¡A todos, nuestro eterno agradecimiento!*

*Alberto y Cinthia*

## **RESUMEN**

En la presente investigación se requiere la evaluación de los procedimientos de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción 3 y 4 de bebidas gaseosas presentes en **AJEVEN, C.A.**; para lo cual se planteó el diagnóstico de la situación inicial del proceso, la evaluación del sistema de tuberías de gas carbónico, la estimación de las pérdidas del mismo inherentes al proceso, y la generación y selección de alternativas de mejora para el rendimiento de CO<sub>2</sub>. Por último, la estimación de un índice económico para la alternativa de mayor impacto desde este punto de vista permitió lograr el cumplimiento de la finalidad de esta investigación.

Durante el desarrollo de este trabajo se registraron las siguientes variables: el rendimiento de gas carbónico, los consumos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>), la producción de bebidas gaseosas y las condiciones de operación de los equipos involucrados. De igual forma, se tomaron en cuenta los parámetros indicadores de la calidad del producto y los flujos monetarios correspondientes a los costos operacionales para la implementación de las alternativas para la reducción de costos.

De esta manera, la metodología se basa en la determinación de las causas principales del bajo rendimiento de CO<sub>2</sub>; seguidamente se evalúa el sistema de tuberías de suministro y consumo de dicho gas y se estiman las pérdidas del mismo asociadas al proceso de llenado. Luego, usando una matriz de selección, se plantean las alternativas de mejora del rendimiento; y finalmente, a través de la estimación de indicadores económicos, se determina la rentabilidad de la alternativa generada de mayor impacto económico.

La investigación se realizó principalmente en el área de llenado de las líneas de producción 3 y 4, las cuales se encuentran conformadas por los siguientes equipos: inyector, en el cual se fija el CO<sub>2</sub> en el jarabe preparado previamente

atendiendo a las condiciones de presión y temperatura establecidas; el tanque carbonatador, que se encarga de asegurar la saturación de la bebida, además de almacenarla para su posterior envasado y finalmente la máquina llenadora en la cual se envasa la bebida ya terminada. Adicionalmente, el suministro de dióxido de carbono engloba un tanque de almacenamiento para éste en estado líquido, así como un sistema de intercambiadores ambientales que proporcionan el gas necesario para la producción de la bebida.

Entre los principales logros alcanzados con la elaboración del proyecto se tiene un incremento en el rendimiento de gas carbónico durante el mes de julio hasta un  $(48 \pm 7)\%$ . Además, se observó que el rendimiento de  $\text{CO}_2$  en la línea de llenado 5 aumentó aproximadamente en un 25% trabajando con  $\text{N}_2$  como presurizador en las tazas de las máquinas llenadoras.

Entre las conclusiones se tiene que las causas principales que afectan el rendimiento de  $\text{CO}_2$  se concentran en mano de obra, máquina, medición y método operacional; donde el uso innecesario de dicho gas en algunas etapas del proceso afecta negativamente el rendimiento estudiado. Por otro lado, se observó que el sistema de tuberías no presenta limitaciones para el manejo de los flujos actuales, a la vez que se determinó que las pérdidas principales de  $\text{CO}_2$  se deben a los tiempos de paradas, obteniéndose una relación lineal entre dichas variables. Además, la tasa interna de retorno con el uso de nitrógeno como alternativa en parte del proceso fue de 118%; notándose que esto no afectó las especificaciones del producto final, a la vez que el consumo de masa fue menor al que se tiene si se utiliza  $\text{CO}_2$  para el mismo efecto.

Finalmente, este proyecto de investigación planteó como recomendaciones seguir un calendario de monitoreo de fugas de  $\text{CO}_2$  a manera de control del indicador de rendimiento del mismo, capacitar a los operadores en el manejo de las máquinas llenadoras y adquirir equipos medidores de flujo para la cuantificación y control del  $\text{CO}_2$  utilizado en el proceso.

## **INTRODUCCIÓN**

En la industria de bebidas gaseosas es de vital importancia el control de las mermas de gas carbónico durante el suministro de éste al proceso, así como también mientras ocurre el consumo del mismo a las líneas de producción 3 y 4. En virtud de esto, el presente trabajo se fundamenta en la evaluación de los procedimientos seguidos durante el suministro y consumo del gas con la finalidad de incrementar el rendimiento de gas carbónico en el proceso.

Para el logro de los objetivos, la metodología a seguir se basa primeramente en la comprensión del proceso productivo, así como también de la relación que permite medir el aprovechamiento del gas carbónico en la planta. A partir de esto, la utilización de herramientas de calidad como el diagrama Causa-Efecto, permite determinar las causas que influyen directamente en el problema planteado. Aunado a esto, la cuantificación de las pérdidas de gas carbónico inherentes al proceso de llenado por medio de la identificación y evaluación de las variables críticas del área en estudio, contribuye a la generación de alternativas de mejora que conllevan al logro de los objetivos planteados en la investigación. Finalmente, la recolección de los datos necesarios por medio de la aplicación de una serie de procedimientos permite la estimación del impacto económico generado por la implementación de las alternativas de mejora.

La información contenida en el presente trabajo se distribuye en siete capítulos. El primer capítulo describe la problemática que dio origen a la investigación, los objetivos planteados; así como también la justificación y limitaciones de la misma. El segundo muestra la información bibliográfica necesaria para la comprensión del trabajo a desarrollar. El tercer capítulo se refiere a la descripción del proceso de elaboración de bebidas gaseosas evaluado. El capítulo cuatro comprende la metodología a seguir para alcanzar los objetivos planteados durante el desarrollo de la investigación. En el quinto se muestran y analizan los resultados obtenidos. El capítulo seis se refiere a la

implementación de las alternativas generadas para el mejoramiento del problema establecido y finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron una vez culminada la investigación.

El desarrollo de este Trabajo Especial de Grado le permitirá a la empresa contar con diversas alternativas de mejora, así como también conocer el comportamiento del proceso ante la implementación de algunas de éstas, lo cual le permitirá disminuir las pérdidas de gas carbónico incrementando el rendimiento del mismo, generando así una disminución de algunos costos operacionales.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

---

*En esta sección se plantea el problema que se quiere evaluar, enfocándolo desde su situación actual y proyectándolo hasta la situación deseada, además se plantean los objetivos que se llevarán a cabo tanto de forma general como específica. Por último, se justifica y se establece el alcance y las limitaciones de esta investigación*

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

**AJEVEN, C.A.** es una empresa productora y comercializadora de bebidas para consumo humano, destinada a ser la mejor alternativa de productos elaborados a través de una cultura de servicios y crecimiento que busca la excelencia desarrollando a sus colaboradores y contribuyendo al bienestar de la sociedad. Su visión es ser la empresa de bebidas de mayor preferencia por el consumidor a través de una organización ligera, eficiente, sólida, comprometida y productiva, ofreciendo el mayor valor en producto y siendo líderes en costos.

En la zona industrial El Recreo, estado Carabobo, se ubica **AJEVEN, C.A.**, la cual tiene como objetivo principal, obtener productos inocuos, de excelente calidad al precio justo, que cumplan con las exigencias del mercado y que mediante su comercialización se logre un beneficio económico para la planta y satisfacción de clientes y trabajadores.

**AJEVEN, C.A.** tiene actualmente una capacidad de producción diaria total de aproximadamente 30.000 cajas donde se incluyen toda la variedad de productos elaborados; produce principalmente bebidas gaseosas y agua mineral, ambas destinadas al consumo humano.

En 1999 inicia operaciones Industrias Añaños de Venezuela, C.A., hoy **AJEVEN, C.A.**, en la ciudad de Valencia, con una moderna planta de embotellado que cuenta con siete (7) líneas de producción. Dentro de su gama de productos, actualmente se tienen bebidas gaseosas reconocidas, tales como: Big Cola en formatos de presentación de 355 mL, 600 mL, 1700 mL y 3100 mL; Kola Real (KR) en formatos de 600 mL y 1700 mL, Agua Cielo en formatos de 355 mL y 600 mL y la bebida isotónica denominada Sporade de 475 mL.

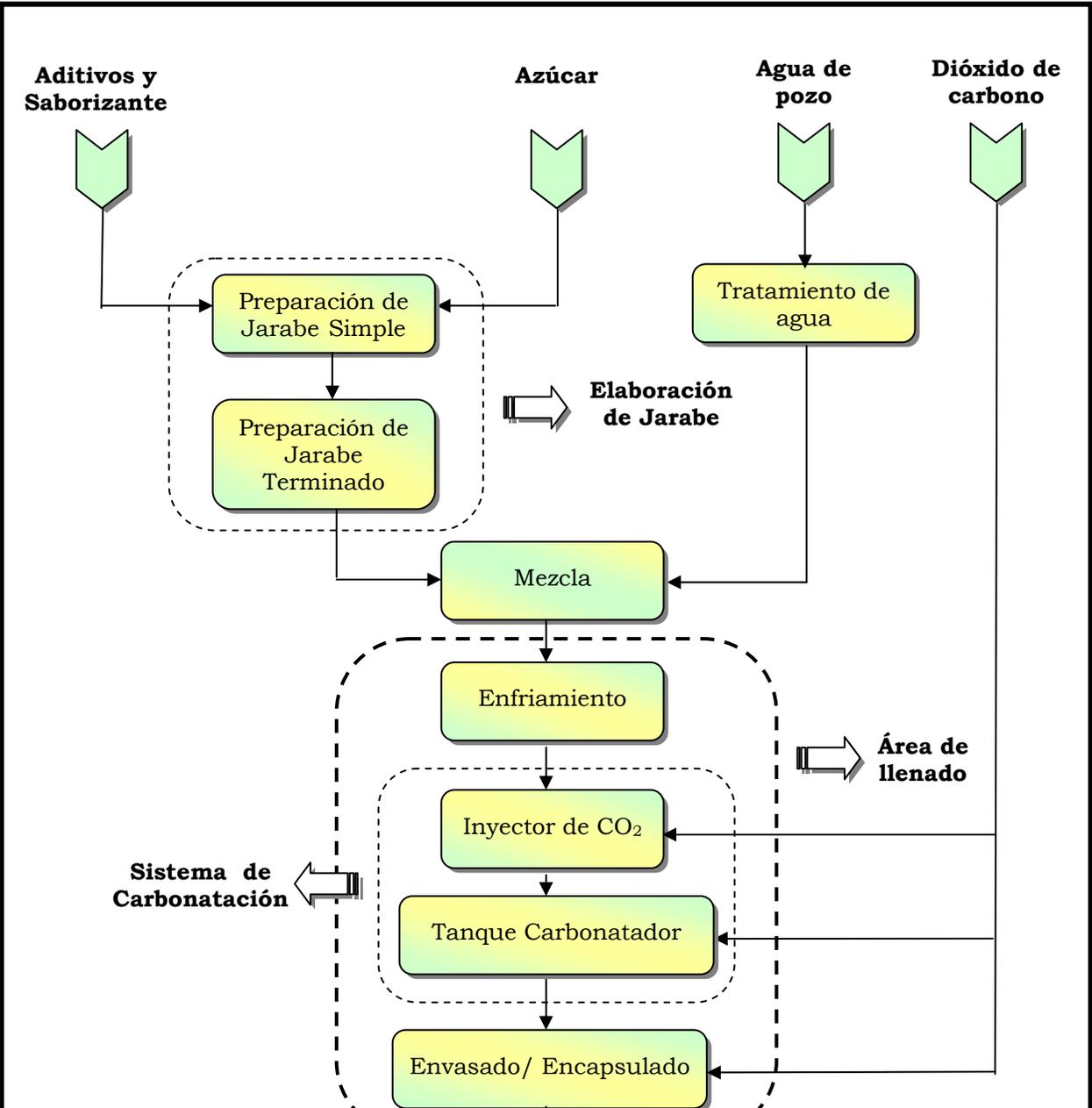
Esta gama de productos se destina a la venta al público mediante su colocación en dieciocho (18) centros de distribución, los cuales se encargan de comercializar dichos productos en todas las ciudades de Venezuela.

En **AJEVEN, C.A.** se emplea tecnología moderna y estrictos procesos productivos, lo cual garantiza la mejor calidad del producto final. Por estas razones, esta empresa cuenta actualmente con la certificación ISO 9000 2000, reconocimiento que confirma los altos estándares en los procesos de distribución, logística, recursos humanos, comercialización y administración.

El proceso para la elaboración de bebidas gaseosas, tal como se indica en la Figura 1.1., se inicia con la extracción del agua necesaria para la elaboración

de las mismas. Dicha extracción se realiza a partir del agua subterránea contenida en un pozo, el cual se encuentra dentro de las instalaciones de la planta. Este recurso es tratado por medio de procedimientos fisicoquímicos con la finalidad de hacerla apta para el proceso, garantizando así sus características, tal que cumpla con los requerimientos necesarios para la elaboración de las bebidas gaseosas producidas por la empresa.

El agua tratada en el proceso anterior es utilizada para la elaboración del jarabe simple, el cual a su vez necesita azúcar para su culminación. Dicha mezcla se emplea para la preparación de un jarabe terminado al cual se le adicionan aditivos químicos y saborizantes artificiales que le dan las



**Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de bebidas gaseosas en AJEVEN, C.A. (Fuente: Propia)**

características propias dependiendo de la bebida que se esté elaborando.

Cada uno de los jarabes que se preparan en los tanques son bombeados al área de llenado, la cual cuenta con cinco (5) líneas de producción de bebidas gaseosas, cada una destinada a los diferentes sabores y formatos elaborados por la planta.

Previo al área de llenado, el jarabe terminado pasa por una unidad donde se mezcla con agua tratada, cuyo resultado se transporta hasta una unidad de enfriamiento para disminuir su temperatura y posteriormente llega al sistema de carbonatación (conformado por el precarbonatador y carbonatador) pasando finalmente al proceso de llenado y encapsulado de las botellas dependiendo del formato y sabor de la bebida que se esté elaborando en el momento.

Una vez envasado, el producto pasa por la termoencogible, la cual se encarga de empaquetar la bebida en función del volumen fabricado. Posteriormente, los paquetes se agrupan en paletas, se envuelven y son almacenados en espera de una futura distribución.

Dentro de las líneas de investigación de la empresa, se encuentra la búsqueda de alternativas con el fin de reducir las pérdidas materiales durante el proceso de elaboración de sus productos, a fin de incrementar el desempeño de la planta por medio de la evaluación de ciertos rendimientos que reflejen dicho comportamiento. En tal sentido, se pretende el estudio de las variables que afectan el control del proceso productivo y por ende, sus posibilidades de mejora, siendo esto último relevante desde el punto de vista productivo y económico.

Actualmente, la empresa requiere del análisis de los procesos y procedimientos de suministro y consumo de las materias primas más importantes para la elaboración de bebidas gaseosas, puesto que hasta ahora los valores de los rendimientos de estos insumos son bajos, lo cual se traduce indiscutiblemente en pérdidas económicas para la empresa. Por lo anteriormente expuesto, **AJEVEN, C.A.** busca un aumento sustancial en dichos valores, con lo cual se consigue el aprovechamiento de las materias primas en pro de la disminución de costos, lo cual se traduce finalmente en beneficios económicos.

Así es como, los niveles del rendimiento de CO<sub>2</sub> se atribuyen principalmente a fugas de este gas en los tanques de suministro y líneas de producción de bebidas carbonatadas, pérdidas durante los procesos de saneamiento y arranque de dichas líneas y pérdidas referidas a la presurización del tanque carbonatador y de la taza de las máquinas llenadoras.

Las mencionadas pérdidas se presentan en las cinco (5) líneas de producción de bebidas gaseosas distribuidas en la planta, siendo las líneas 3 y 4 las responsables de aproximadamente el 70% de la producción y por ende las que aportan mayor proporción de mermas al sistema. Esta situación trae como consecuencia gastos en la adquisición de materia prima que no está siendo aprovechada en la elaboración de sus productos, y ocasionando un alza en los costos de producción.

Es menester para la empresa cambiar esta situación y elaborar sus productos garantizando un máximo aprovechamiento de las materias primas involucradas en la producción de los mismos, así como también un incremento en el rendimiento de CO<sub>2</sub>; de manera que se minimicen los costos de producción y se elaboren bebidas gaseosas que cumplan con los requerimientos de calidad y que continúen satisfaciendo las necesidades de sus clientes contribuyendo al bienestar de la sociedad.

De esta manera, se pretende lograr un incremento en los valores del rendimiento del mencionado gas en aquellos procesos para la elaboración de la bebida en los cuales no es necesario emplear CO<sub>2</sub>.

Lo anterior tomará en cuenta la cuantificación de los procesos en los cuales se utiliza gas carbónico, asegurando que el mismo no se vea afectado y a su vez, se sigan manteniendo los parámetros de calidad del producto elaborado. En otras palabras, el consumo y aprovechamiento de las materias primas se enfatizará en su eficaz utilización para los procesos en los cuales se requiere esencialmente un balance entre los beneficios económicos de la planta y la satisfacción de las necesidades de sus clientes.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Para **AJEVEN, C.A.**, uno de sus principales problemas se basa en las mermas de gas carbónico durante los procesos de suministro y consumo del mismo en las líneas de producción de bebidas gaseosas. Por ello, frente a esta situación, la empresa tiene un especial interés en disminuir todas aquellas situaciones de pérdidas de este insumo de manera tal que el rendimiento de CO<sub>2</sub> se incremente y sea aprovechado en la producción de las bebidas gaseosas elaboradas en la misma.

### **1.2.1. Situación actual**

En estos momentos **AJEVEN C.A.**, elabora bebidas gaseosas destinadas al consumo humano, requiriendo mejorar el desempeño de la planta. Dicha mejora, se refleja en la necesidad de incrementar los valores de sus rendimientos, específicamente el referido al CO<sub>2</sub> como materia prima empleada en la preparación de las bebidas refrescantes procesadas en la misma, debido a que se evidencian bajos niveles en los mismos atribuidos a las pérdidas suscitadas durante los procedimientos de suministro y consumo donde el mismo se ve involucrado. De continuar así esta situación, seguirían empleándose grandes cantidades de gas carbónico que no se verían reflejadas en la producción final acarreándose así gastos innecesarios en la adquisición de materia prima.

### **1.2.2. Situación deseada**

**AJEVEN, C.A.**, requiere la elaboración de sus bebidas gaseosas garantizando el mayor aprovechamiento de gas carbónico durante el proceso; por lo que con el objeto de satisfacer las necesidades de la empresa, es menester cuantificar en las líneas 3 y 4, en la medida de lo posible, las pérdidas de dicho insumo y a su vez de minimizarlas, así como analizar las posibles alternativas de mejora que puedan introducir un incremento significativo del rendimiento de CO<sub>2</sub>, garantizando así una disminución de las pérdidas en la misma proporción en que dichas líneas afectan la producción en la planta, a un costo que desde el punto de vista productivo certifique los beneficios generados a la empresa.

Además, la empresa necesita de la implementación de un gas alternativo en todas las líneas de llenado, específicamente en las máquinas llenadoras, con la finalidad de que éste pueda ser utilizado como presurizador de la taza de las mismas, necesitando además analizar la influencia del mismo en lo que al rendimiento de CO<sub>2</sub> se refiere.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar los procedimientos de suministro y consumo de gas carbónico en las líneas de producción 3 y 4 de bebidas gaseosas con la finalidad de incrementar el rendimiento de CO<sub>2</sub> en el proceso productivo.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- 1.3.2.1. Diagnosticar la situación actual del proceso de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción de bebidas gaseosas con el fin de reconocer los puntos críticos que afectan el rendimiento del mismo
- 1.3.2.2. Evaluar el sistema de tuberías de gas carbónico asociado a las líneas de producción 3 y 4 a fin de proponer soluciones al proceso para disminuir las limitaciones del mismo mediante la definición de las posibles variaciones de diseño y/o parámetros de operación
- 1.3.2.3. Estimar las pérdidas de CO<sub>2</sub> inherentes al proceso de llenado en las líneas de producción 3 y 4 con el objeto de definir la proporción en que éstas afectan a dichas líneas
- 1.3.2.4. Generar alternativas de mejora para el rendimiento de CO<sub>2</sub> con el objeto de seleccionar las más convenientes a fin disminuir las pérdidas de gas carbónico durante el proceso
- 1.3.2.5. Evaluar la rentabilidad de la alternativa de mejora seleccionada de mayor influencia desde el punto de vista económico con el propósito de analizar su impacto dentro de los costos operacionales de la empresa

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Disminuir, a través de la implementación de alternativas de mejora, las pérdidas de gas carbónico en el proceso de elaboración de bebidas gaseosas, es

una situación de especial interés para **AJEVEN, C.A.**, ya que le permitirá elevar el rendimiento de CO<sub>2</sub> como materia prima importante involucrada en dicho proceso productivo. Por otro lado, la evaluación que se llevará a cabo permitirá conocer los puntos críticos del sistema de suministro y consumo de gas carbónico, a fin de establecer los factores primordiales que pueden afectar negativamente dicho indicador.

Este proyecto plantea, entre otras alternativas, la posibilidad de utilizar un agente diferente al CO<sub>2</sub> que cumpla con la característica de presurizador y a su vez permita su utilización durante el sanitizado de las líneas, sin que el proceso como tal resulte afectado por dichos cambios.

De esta manera **AJEVEN, C.A.** contará con el desarrollo de un trabajo de resultados concretos, producto de esta investigación, el cual le permitirá tomar decisiones y formular estrategias para el mejoramiento de la producción de bebidas gaseosas. Como consecuencia de lo expuesto, esta empresa dispondrá de un trabajo realizado sobre un área de vital importancia dentro del proceso mencionado, lo cual constituye un medio de solución a la problemática del rendimiento de CO<sub>2</sub> en el futuro.

En relación a los conocimientos aportados por este trabajo, la presente investigación permite dejar documentado en la Universidad de Carabobo información sobre la evaluación de un proceso real como el suministro y consumo de gas carbónico durante la elaboración de bebidas gaseosas, el cual está constituido por algunos equipos que no son estudiados durante la carrera de Ingeniería Química de esta universidad, permitiendo al estudiantado y personal docente contar con este material que aportará un valor teórico en lo que respecta al proceso de carbonatación.

Entre otros beneficios está que al disminuir las pérdidas de CO<sub>2</sub>, se reducen claramente los costos de adquisición de dicha materia prima, lo cual se traduce

en un aumento de los indicadores económicos de la empresa, lográndose así que las bebidas refrescantes continúen siendo accesibles para los consumidores a través de su precio justo. Por otra parte, se tiene un aporte metodológico ya que se presenta una estrategia muy clara de los pasos necesarios para evaluar un área de producción y de generar soluciones ante diversos problemas.

En el ámbito personal, la experiencia en cuanto a relaciones personales no solo entre los autores sino también con el entorno que rodea a esta investigación será significativa en la realización de futuras tareas, donde posiblemente se requerirá del trabajo en equipo y en donde se impondrán sin duda alguna las relaciones interpersonales como estandarte para la obtención del éxito.

Finalmente, la realización de este trabajo será preponderante en la ampliación y adquisición de nuevos conocimientos para los autores, consolidando su formación integral como futuros profesionales, no solo a nivel intelectual sino también a nivel personal.

### **1.5. LIMITACIONES**

El trabajo de investigación que se llevará a cabo presenta como restricción principal la adquisición de datos para la evaluación exhaustiva del rendimiento de CO<sub>2</sub>; así como también de las condiciones inherentes al proceso de llenado, ante la colocación del agente alternativo para su uso durante los procesos de llenado y sanitizado de las líneas de producción de bebidas gaseosas presentes en **AJEVEN, C.A.** Por esta razón, se considerará tomar otros datos cuya procedencia sea confiable. En tal sentido, los métodos de evaluación que se apliquen serán seleccionados en función de los modelos matemáticos y procedimientos que proporcionen los resultados más precisos.

Adicionalmente, la falta de instrumentos y equipos de medición, dificulta la toma confiable de datos y por ende, algunos de los resultados obtenidos

proviene de mediciones realizadas haciendo uso de métodos que no son tan precisos como lo esperado. Dichos resultados probablemente presentarán un grado de incertidumbre mayor al deseado, debido a que la recolección de datos no se realice con la rigurosidad que éstos requieren, tal como se dijo anteriormente.

Finalmente, este trabajo se restringe a condiciones técnicas y económicamente factibles en vista de la reiterada necesidad de desarrollar estudios profundos para el análisis de todas las variables que pudieran afectar el proceso. Sin embargo, la constante búsqueda de la información requerida y la necesidad de realizar los análisis de interés permiten en lo sucesivo subsanar este obstáculo a medida que avance el desarrollo del presente trabajo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

*El presente capítulo muestra los antecedentes empleados por esta investigación y detalla las bases teóricas más relevantes relacionadas con el proceso de elaboración de bebidas y gaseosas así como otros principios de interés que sirven para el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados en el presente estudio*

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Corona, R. y Lau, C. en su trabajo **“Rediseño de la línea de tratamiento químico de los perfiles de aluminio de la empresa I.V.I.V. Group, C.A.”**, plantean como objetivo principal, rediseñar la línea de tratamiento químico de los perfiles de aluminio de la empresa **I.V.I.V. Group, C.A.**, con el fin de lograr un mejor acabado en el producto terminado ofrecido al mercado de la construcción de la región central del país.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten determinar parámetros óptimos de operación de la línea de tratamiento, los cuales maximizan su

desempeño, siendo la temperatura un requisito de interés fundamental. Adicionalmente, el rediseño etapa de tratamiento químico resultó rentable, proporcionando un beneficio económico de alrededor 74.500 dólares anuales, siendo éste uno de los logros más importantes.

Este trabajo será de gran utilidad para el desarrollo de los objetivos tres y cinco en cuanto a la metodología en general utilizada en esta investigación, donde se desarrolla un estudio económico para verificar la posibilidad de implementación de cambios en parte del proceso, pasando por una etapa de rediseño de acuerdo a las alternativas de solución generadas ante los problemas iniciales.

La diferencia del mencionado trabajo y el que se realiza radica principalmente en que se trata de procesos cuyas ramas de producción son totalmente diferentes; puesto que a pesar de ser ambos procesos industriales relacionados con el área de la Ingeniería Química, las variables críticas involucradas en ellas difieren significativamente, lo cual está estrechamente relacionado no solo con las materias primas empleadas sino también con las características generales de producción.

Colón, Karen en su trabajo del año 2003, evalúa la línea de producción de concentrado de naranja de **Corporación INLACA, C.A.** mediante cálculos de productividad a fin de mejorar el uso de los equipos y tiempos del proceso, lo cual se inicia con un diagnóstico del mismo para detectar sus fallas y deficiencias.

De acuerdo a los resultados obtenidos, Colón propone una alternativa de solución que permite mejorar el proceso de elaboración de concentrado de naranja, implementada desde el punto de vista económico de acuerdo a la relación costo/beneficio que se obtiene y evaluada mediante identificadores de productividad. La implementación de algunas de las etapas de la alternativa de solución arroja un incremento de la efectividad del 31,08%; no obstante para

lograr un mayor incremento es necesario el cumplimiento de todos los pasos que comprenden la alternativa de solución.

Este trabajo será de gran utilidad, puesto que la metodología empleada para determinar los factores que afectan el proceso de producción en ambas investigaciones es similar, usándose para ello un diagrama Causa-Efecto. Por otro lado, también se analizan y cuantifican mediante balances de masa la pérdida de materia prima importante dentro del proceso productivo, estableciéndose en ambos estudios alternativas y mejoras de solución teniendo en cuenta aspectos técnicos a fin de obtener un mayor rendimiento en el proceso.

La principal diferencia entre ambos estudios, además del tipo de bebida analizada, radica en que la presente investigación además evalúa el funcionamiento del sistema de tuberías de suministro y consumo de una de las materias primas de interés, con la finalidad de verificar las condiciones y parámetros de diseño de las mismas en concordancia con el proceso productivo

Fernández, Purificación en el año 2002, plantea la evaluación de los diferentes riesgos físicos, químicos y microbiológicos en la línea de producción de harina precocida de maíz y arroz, donde la ausencia de un control de los mismos puede ocasionar una contaminación del producto, y por tanto resultar éste perjudicial para consumo humano.

Tras el análisis de los resultados obtenidos, el estudio de la Ingeniero Fernández, logra una evaluación de riesgos y control de puntos críticos (HACCP) que asegure la calidad higiénica de la harina precocida de maíz y arroz para consumo humano, a todo lo largo del proceso. A su vez, debido a la baja eficiencia de la etapa de molienda, propone un arreglo de mallas para el cernidor de harina a fin de aumentar dicho indicador.

La principal similitud existente entre éste y el estudio desarrollado en la actualidad consiste en el análisis del proceso de sanitizado involucrado en ambos procesos de producción, lo cual es de interés debido al incremento de costos de materia prima que implica dicha etapa. Por otro lado, el costo en la implementación de las acciones correctivas también es de relevancia en ambas investigaciones.

La diferencia con esta nueva investigación está en que la actual estudia las características productivas relacionadas directamente con el proceso de elaboración de las bebidas gaseosas, considerando claro está, las especificaciones requeridas en el producto terminado. En tal sentido, esta investigación de referencia parece concentrarse aún más el producto final, partiendo de allí para la proposición de mejoras que satisfagan las necesidades prioritarias de la empresa.

Orduz, Eliana (2002), en su trabajo **“Mejoramiento del proceso de llenado en la Cervecería Polar del Centro, C.A.”**, plantea como objetivo principal, mejorar el proceso de llenado en la **Cervecería Polar del Centro, C.A.**, con el propósito de reducir la cantidad de productos fuera de especificaciones en volumen de llenado, contenido de oxígeno y contenido de dióxido de carbono.

Entre las principales conclusiones destaca la disminución considerable del consumo del dióxido de carbono en el área de envasado mediante una reducción de las fugas en las llenadoras, lo cual equivale aproximadamente entre un 40% y 70% del consumo actual; lográndose además disminuir el número de rechazos por contenido de oxígeno total y contenido de dióxido de carbono entre un 55% y 100% respectivamente, al implementar mejoras en función del volumen de llenado.

Por otro lado, Orduz establece las condiciones de operación más apropiadas en el proceso a fin de reducir el porcentaje de rechazo, siempre que se cumpla con

el programa de mantenimiento preventivo, el cual considera los aspectos de orden técnico más influyentes en esta área con el objeto de facilitar el desarrollo del mismo sin mayores dificultades.

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en que básicamente en ambos se tratan de dar alternativas en cuanto al mejoramiento del suministro y consumo del gas carbónico en el área de llenado durante el proceso de elaboración de las bebidas respectivas.

Para lo anterior, se analizan principalmente las causas que afectan el control de las variables críticas que influyen en dicho proceso, proponiéndose además una serie de alternativas correctivas necesarias para alcanzar la finalidad del objetivo general de la investigación, contribuyéndose así con la elaboración de guías de procedimientos que a futuro permitan al menos mantener los resultados de las mejoras realizadas.

Este estudio difiere del que se realiza no solo en las características del producto analizado, sino también en la metodología empleada para la determinación de las posibles causas que intervienen directamente en el problema planteado.

Además, la evaluación de las mejoras realizadas se lleva a cabo mediante la utilización de relaciones diferentes, lo cual depende de las claras necesidades de la empresa donde se desarrolla la investigación.

Finalmente, Martínez, A. y Ríos, M. en el año 2001 evalúan y mejoran la línea de producción de colados de la **Industria de Alimentos Heinz, C.A.**, apoyándose en balances de masa y cálculos de efectividad; mediante indicadores de productividad como el rendimiento, la calidad y disponibilidad; a fin de lograr la actualización de las técnicas de empleadas en el proceso de producción.

Los estudios realizados por Martínez y Ríos permiten concluir que las mejoras implementadas en la línea de colado salado son indispensables y prioritarias, ya que se evidencia un aumento considerable de la efectividad, aunque para lograr un incremento mayor se necesita el cumplimiento de la sincronización de las etapas de molienda y preparación, piezas claves para evitar el retraso en la producción y por ende un aumento mayor de la efectividad.

La semejanza entre ambos estudios radica en la búsqueda e implementación de alternativas con el objeto de obtener un aumento en el indicador de gestión apropiado que permite verificar dicha implementación dentro del proceso productivo. Así es como, en ambas investigaciones se cuenta con un análisis costo/beneficio de las alternativas de mejora propuesta, tomando en cuenta además aspectos técnicos involucrados en la calidad del producto y por lo tanto en el rendimiento y producción de las líneas analizadas.

La diferencia del trabajo mencionado y el que se lleva a cabo actualmente está en el tipo de producto analizado, lo cual trae como consecuencia la influencia de variables de proceso diferentes, las cuales están estrechamente relacionadas con el producto en sí. De allí que los procesos de producción y la metodología empleada para el diagnóstico de las características de los mismos difieren significativamente, puesto que tanto la propuesta de alternativas de mejora en los procesos, como la implementación de las mismas dependerán de la situación inicial y de las características críticas presentes en cada uno de ellos.

*A continuación se describen algunos términos importantes relacionados con el desarrollo de la presente investigación, los cuales fueron empleados básicamente en el análisis de cada uno de los objetivos propuestos con la finalidad de proponer soluciones al problema planteado*

## **2.2. FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE BEBIDAS**

### 2.2.1. Bebidas

Hay varias clases de bebidas que no se toman por su valor nutritivo, sino por su poder de quitar la sed o por sus efectos estimulantes. Dentro de esta clasificación existen básicamente tres grupos principales: las bebidas carbonatadas sin alcohol (refrescos), las bebidas carbonatadas con un contenido moderado de alcohol (cerveza) y las bebidas estimulantes no carbonatadas y sin alcohol (café y té).

Todas éstas deben considerarse alimentos importantes en el sentido más amplio, ya que todas se elaboran a base de ingredientes alimenticios, todas se consumen en cantidades verdaderamente enormes, y en algunos países y áreas pueden tomarse con mayor seguridad que el agua de abastecimiento local. Además, la cerveza y los refrescos carbonatados (con excepción de los de fórmulas dietéticas) proporcionan calorías; tal que las tecnologías de producción de cada una de estas bebidas constituyen en sí estudios complejos.

### 2.2.2. Bebidas Carbonatadas

Estas bebidas, de las cuales los refrescos son el principal ejemplo, (ver Figura 2.1.) están por lo general endulzadas, saborizadas, aciduladas, coloreadas, carbonatadas, y a veces conservadas mediante un aditivo químico. Sus orígenes datan de la época greco-romana donde las aguas minerales eran preciadas por sus propiedades “medicinales” y refrescantes.



**Figura 2.1. Algunas bebidas gaseosas (Fuente: <http://www.yelconet.com/>)**

En uno de los primeros métodos empleados, se obtenía el dióxido de carbono mediante la acidificación de bicarbonato de sodio o carbonato de sodio, y el uso de estas sales sódicas originó el nombre de “soda” que todavía

su uso en algunos países a pesar de que, por lo común, el dióxido de carbono ya no se genera de este modo.

Poco a poco se empezaron a agregar jugos y extractos de fruta al agua carbonatada a fin de mejorar su sabor, a lo que también se añadió azúcar y algún ácido. Para que se conserve el gas, se envasa la bebida gaseosa en recipientes herméticamente cerrados. (Potter, 1990)

Para algunos propósitos, suele aplicarse la siguiente clasificación de bebidas gaseosas:

- **Bebidas gaseosas de bajas calorías:** son las bebidas gaseosas cuyo contenido calórico no excede de 40 calorías por 100 g de producto.
- **Bebidas gaseosas en calorías reducidas:** son las bebidas gaseosas cuyo contenido calórico está en un 33,3% de las calorías que normalmente están contenidas en 100 g de producto terminado.
- **Bebidas gaseosas libres de calorías:** son las bebidas gaseosas cuyo contenido calórico es menor de 5 calorías por porción. (COVENIN 2182-1995)

### **2.2.3. Ingredientes**

De acuerdo a la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), los refrescos pueden contener alcohol en cantidad no mayor a 0,5% en peso del producto terminado, como resultado del que puedan aportar las sustancias saborizantes utilizadas. Los principales ingredientes de los refrescos son azúcar, saborizantes, colorantes, ácido, agua, dióxido de carbono y preservativos. (COVENIN 2182-1995)

#### **2.2.3.1. Azúcar**

El azúcar empleado es principalmente sacarosa, adquirida del fabricante en forma de jarabe puro e incoloro, o bien, convertida en jarabe en la embotelladora a partir de azúcar cristalizada muy pura. Más tarde se suplementa el jarabe de azúcar con los ingredientes saborizantes, colorantes y ácidos, y a veces se estabiliza la bebida mediante un preservador.

El producto final contiene del 8 al 14% de azúcar. Este no solo contribuye dulzura y calorías a la bebida, sino que también le da cuerpo y una textura que se aprecia en la boca. Por esta razón, cuando se hacen bebidas dietéticas con edulcorantes no nutritivos para sustituir al azúcar, se requiere también un ingrediente adicional, como carboximetil celulosa o una pectina, para darles cuerpo. (Potter, 1990)

### **2.2.3.2. Saborizantes**

Los saborizantes para las bebidas gaseosas se preparan por empresas especializadas, lo cual permite producir una variedad de sabores (ver Figura 2.2.). Cada sustancia se suministra con instrucciones claras y con la forma exacta para la preparación del jarabe. Los saborizantes son extractos alcohólicos, emulsiones, soluciones alcohólicas o jugos de frutas. (Miller y Hale, 1975)



**Figura 2.2. Bebidas gaseosas de distintos sabores (Fuente: <http://www.yelconet.com/>)**

Éstos existen en forma de compuestos saborizantes sintéticos, extractos de sabores naturales, y concentrados de jugos de fruta. Tienen que permanecer estables bajo las condiciones ácidas de la bebida y bajo la exposición a la luz durante un año, como mínimo, ya que las bebidas embotelladas suelen guardarse por este tiempo o más. No tienen que permanecer estables a una

temperatura muy arriba de 40°C, porque estas bebidas por lo común no se esterilizan ni se pasteurizan. Los sabores de cola contienen generalmente una fuente de cafeína, que es un leve estimulante. (Potter, 1990)

#### **2.2.3.3. Colorantes**

Los más importantes agentes colorantes empleados en los refrescos son los sintéticos, particularmente los colores certificados de anilina. También se emplea comúnmente el color obtenido de azúcar quemado, que no es sintético. Se prefieren estos materiales colorantes a los colores naturales de la fruta, debido a su mayor fuerza colorante y a su mayor estabilidad. Aún cuando se emplean extractos o jugos de frutas naturales, se acostumbra suplementar sus colores con los colorantes sintéticos. (Potter, 1990)

El caramelo, por ejemplo, es un color vegetal que se prepara quemando azúcar de maíz (glucosa), generalmente con una sal amónica como catalizador. Es el color vegetal más usado y se añade a los refrescos estilo **cola**. En la industria de refrescos se conocen dos clases de caramelos: el espumoso y el no espumoso. (Miller y Hale, 1975)

#### **2.2.3.4. Ácido**

El dióxido de carbono en solución contribuye a la acidez, pero se le suplementa con ácido adicional en la mayoría de las bebidas carbonatadas. Los principales ácidos utilizados son fosfórico, cítrico, tártrico y málico. Con excepción del ácido fosfórico, todos éstos son importantes ácidos naturales de las frutas, de manera que se emplean más bien para mejorar las bebidas con sabor a fruta, y el cítrico es el que más se usa. El fosfórico es el que se emplea en cola, cerveza de raíz y otras bebidas que no contienen sabores a frutas.

Además de mejorar el sabor, el ácido ejerce acción preservativa en las bebidas, que no se someten a tratamientos térmicos. Sin embargo, a menos que haya un control sanitario muy estricto durante la elaboración de los refrescos, el pH contribuido por el ácido, aún en combinación con jugos de frutas ácidos, no es suficiente para asegurar la estabilidad microbiana prolongada. Por esta razón, puede haber necesidad de un conservador adicional, y éste suele ser benzoato de sodio al nivel del 0,03 al 0,05% en el producto final. (Potter, 1990)

#### **2.2.3.5. Agua**

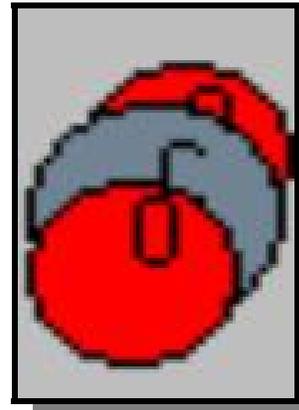
El agua es el principal ingrediente de los refrescos carbonatados y puede representar hasta el 92% de la bebida. Es esencial que tenga el máximo grado de pureza química factible comercialmente, ya que los rastros de impurezas tienden a reaccionar con diversos componentes de la bebida.

El nivel de alcalinidad tiene que ser bajo a fin de prevenir la neutralización del ácido empleado en el refresco, lo cual alteraría su sabor y disminuiría su estabilidad. Los niveles de hierro y manganeso tienen que ser bajos a fin de prevenir la reacción con agentes colorantes y componentes saborizantes. El cloro residual tiene que ser casi inexistente, ya que afectaría en forma adversa el sabor de la bebida.

La turbidez y el color tienen que ser mínimos para que no disminuyan la apariencia atractiva de la bebida. El nivel de materia orgánica así como los sólidos inorgánicos tiene que ser bajo, ya que las partículas coloidales proporcionarían núcleos para la acumulación de dióxido de carbono y su liberación de la solución, lo cual resultaría en la ebullición y derramamiento del líquido cuando se llenan o abren las botellas. (Potter, 1990)

#### **2.2.3.6. Dióxido de Carbono**

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido y no inflamable. Es una molécula lineal con fórmula molecular  $\text{CO}_2$  (ver Figura 2.3.), por lo cual está constituida por un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno. A pesar que éste existe principalmente en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida. Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los  $78^\circ\text{C}$ .



**Figura 2.3. Molécula de  $\text{CO}_2$  (Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/>)**

El  $\text{CO}_2$  líquido existe principalmente cuando el dióxido de carbono se disuelve en agua. El dióxido de carbono solamente es soluble en agua cuando la presión se mantiene. Cuando la presión desciende intentará escapar al aire, dejando una masa de burbujas de aire en el agua. El  $\text{CO}_2$  es moderadamente soluble en agua, las soluciones resultantes tienen una acidez moderada como resultado de la formación de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). El  $\text{CO}_2$  es un componente secundario de la atmósfera terrestre pero contribuye en forma importante al llamado efecto invernadero. Aunque no es tóxico, altas concentraciones aumentan el ritmo de la respiración y puede causar asfixia. (Potter, 1990)

El dióxido de carbono se encuentra principalmente en el aire, pero también en el agua formando parte del ciclo del carbono. El  $\text{CO}_2$  sólido se lo conoce como hielo seco, de ahí que aproximadamente la mitad del dióxido de carbono que se consume cada año es utilizado para refrigeración. Otro uso importante es la producción de bebidas gaseosas, en la producción de bicarbonato para hornear, etc. (<http://www.lenntech.com/espanol/>)

Entre las propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono que son de importancia, se encuentran las mostradas en la Tabla 2.1.:

**Tabla 2.1. Algunas propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono**

<b>Masa Molecular (g/gmol)</b>	<b>Gravedad específica (adim)</b>	<b>Densidad (g/L)</b>	<b>Solubilidad en agua (v/v)</b>	<b>Estabilidad</b>
44,01	1,53 (21°C)	1,97	0,9 (20°C)	Alta

Fuente: Perry, 2001

La efervescencia y sabor especial de las bebidas gaseosas es el resultado de su contenido de gas dióxido de carbono. Este se obtiene de carbonatos, cal, la quema de combustibles orgánicos y los procesos de fermentación industriales. Habitualmente, las empresas embotelladoras adquieren el dióxido de carbono en cilindros de alta presión, de fabricantes que lo producen de acuerdo con los reglamentos que gobiernan la pureza de los alimentos. En los cilindros, el gas bajo presión, está en forma líquida. La cantidad de CO<sub>2</sub> empleada en el refresco varía según el sabor y la marca. (Potter, 1990)

En los refrescos, el CO<sub>2</sub> mejora el sabor, contribuye acción ácida preservativa, produce una sensación de hormigueo en la lengua y da a la bebida una apariencia efervescente y espumosa. Por lo general, el dióxido de carbono se disuelve en la bebida en la proporción de aproximadamente 1,5 a 4 volúmenes de gas (bajo condiciones normales de temperatura y presión) por cada volumen de líquido. (Potter, 1990)

### **2.2.3.7. Preservativos**

La mayoría de las bebidas gaseosas se conservan bien con el ácido que lleva el refresco y con el gas carbónico. Añadiendo 0,86 g de ácido cítrico a un litro de solución de azúcar al 10%, se impide la fermentación. El gas carbónico ayuda a

evitar el desarrollo de hongos. Las bacterias patógenas no viven más de unas cuantas horas en una bebida gaseosa acidificada. (Miller y Hale, 1975)

#### **2.2.4. Requisitos**

En las bebidas gaseosas como las mostradas en la Figura 2.4., las alteraciones químicas que se operan son: oxidación, acción enzimática, reacción de cloro libre, saponificación de ésteres, hidrólisis y otras reacciones químicas de los saborizantes y desintegración de la molécula compleja del caramelo por la reacción de los ácidos y sustancias minerales. La oxidación puede ser ocasionada por el aire que en mayor o menor proporción contienen todas las bebidas gaseosas. Cuando es defectuoso el aparato de carbonatación, es posible que se introduzca mayor cantidad de aire y entonces el producto no contiene la cantidad adecuada de gas.



**Figura 2.4. Ejemplos de bebidas gaseosas (Fuente: <http://www.yelconet.com/>)**

Con frecuencia la bebida contiene alguna cantidad de cloro libre procedente del agua de abastecimiento público o de los aparatos que no fueron bien enjuagados, lo cual origina alteraciones muy notables e inconvenientes en el sabor y en el color del producto. Con el tiempo cambia paulatinamente el olor de las bebidas gaseosas, lo que sin duda es debido en parte a la reacción del ácido con los aceites esenciales saborizantes. El caramelo con frecuencia se vuelve insoluble al cabo de varios días, lo que se atribuye a que su molécula compleja se descompone por la acción de los ácidos y algunas veces de sales minerales.

La multiplicación de microorganismos puede ser causa de que en la bebida gaseosa se forme nata, nebulosidad, sedimento, etc. Los microbios causales son protozoos, algas, hongos, bacterias y levaduras. Los protozoos son organismos

unicelulares que proceden siempre del agua y dan a las bebidas sabor extraño u otros caracteres indeseables. Las algas son plantas unicelulares que contienen clorofila y requieren luz para su desarrollo. No pocas veces penetran en estas bebidas número suficiente de dichas plantas para producir sabores desagradables y sedimentos.

Los hongos son microorganismos saprofitos que necesitan oxígeno para su multiplicación, y de ahí que una bebida gaseosa bien preparada no sea medio propicio para el desarrollo de gérmenes, por falta de aire suficiente. Los hongos crecen rápidamente en la superficie de soluciones fuertemente ácidas, en jarabes guardados y en tanques no muy limpios, de donde pueden pasar en número suficiente para dar a las bebidas olor de moho. (Miller y Hale, 1975)

Las bebidas gaseosas deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe presentar el color, olor y sabor característico del producto.
- No debe contener materias extrañas, tales como fragmentos metálicos, partículas de vidrio u otros.
- No debe contener insectos o fragmentos de éstos, huevos y larvas de insectos.
- Contaminantes: no deben exceder los límites establecidos para cada uno de los siguientes metales: arsénico (0,05 ppm), cobre (0,2 ppm), aluminio (0,3 ppm/5,0 ppm en bebidas enlatadas), hierro (0,3 ppm/3,0 ppm en bebidas enlatadas), zinc (0,2 ppm); mientras que el mercurio y el plomo no deben estar presentes.

Las bebidas gaseosas debidamente preparadas no fomentan la multiplicación de bacterias, pues al desarrollo de éstas se oponen el gas carbónico y el ácido del líquido. Por eso en las investigaciones de orden sanitario se halla un reducido índice de **colibacilar**; esto es, que contienen pequeño número de **Escherichia coli** por 100 mL de líquido. El acedamiento o fermentación de

bebidas gaseosas es debido a la multiplicación de levaduras, microbios del género **Saccharomyces** que se alimentan del azúcar y se estima son la causa del 90% de la inutilización de las bebidas gaseosas.

Las bebidas poco ácidas o que contiene poco gas o no lo contienen son más susceptibles a la invasión por sacaromices, pues los ácidos inhiben su desarrollo. Las que se preparan con agua muy alcalina fermentan fácilmente a causa de la neutralización del ácido. La bebida gaseosa típica tiene acidez de 1,23 g de ácido cítrico por litro, que basta para inhibir la reproducción de sacaromices.

Durante el proceso de elaboración, los jarabes para gaseosas están continuamente expuestos a la contaminación. La contaminación con metales produce efecto muy notable en el sabor de la bebida. Los jarabes acidificados cuando se ponen en contacto con cualquier metal, excepto el acero inoxidable y el metal múnel, lo atacan, y de ahí que los enseres de la planta embotelladora deban ser de materiales que resistan la acción de los ácidos y del agua gaseosa. Los utensilios enchapados con otros metales, como la plata, deben ser revisados frecuentemente para descubrir posibles puntos de contaminación metálica.

En ocasiones, el aceite de la maquinaria con que se produce el dióxido de carbono penetra en la solución gaseosa. Si no se procura siempre escurrir el aceite de los convertidores de hielo seco, puede penetrar en la tubería del gas y en el carbonatador, y en la cabeza de la llenadora y llegar a la bebida gaseosa. La contaminación más insidiosa es la adsorción de olores extraños procedentes de la atmósfera y ocasionados acaso por el desaseo de la planta, o bien por la ubicación de ésta en zonas industriales donde el aire se impregna de olores desagradables. Para evitar esta clase de contaminación es preciso que las embotelladoras se conserven limpias de tales olores. (Miller y Hale, 1975)

### **2.3. CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

En el procedimiento Test-retest, un mismo instrumento de medición (o ítems o indicadores) se aplica dos o más veces a un mismo grupo de personas, después de cierto período. Si la correlación entre los resultados de las diferentes aplicaciones es altamente positiva, el instrumento se considera confiable. Se trata de una especie de diseño panel.

Desde luego, el período entre las mediciones es un factor a considerar. Si el período es largo y la variable susceptible de cambios, ello suele confundir la interpretación de los resultados obtenidos. Y si el período es corto, las personas pueden recordar cómo respondieron en la primera aplicación del instrumento, para aparecer como más consistentes de lo que en realidad son. Resulta complejo obtener la validez de contenido. Primero, es necesario revisar cómo ha sido medida la variable por otros investigadores. Y, con base en dicha revisión, elaborar un universo de ítems posibles para medir la variable y sus dimensiones (el universo debe ser lo más exhaustivo factible).

Después, se consulta a investigadores familiarizados con la variable para ver si el universo es exhaustivo. Se seleccionan los ítems bajo una cuidadosa evaluación. Y si la variable está compuesta por diversas dimensiones o facetas, se extrae una muestra probabilística de ítems, ya sea al azar o estratificada (cada dimensión constituiría un estrato). Se administran los ítems, se correlacionan las puntuaciones de los ítems entre sí (tiene que haber correlaciones altas, en especial entre ítems que miden una misma dimensión), y se hacen estimaciones estadísticas para ver si la muestra es representativa.

### **2.4. ESCALAMIENTO TIPO LIKERT**

Consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, ante los cuales se pide la reacción de los respondientes. Es decir, se

presenta cada afirmación y se pide a la persona que externe su reacción eligiendo uno de los cinco puntos de la escala. A cada punto se le asigna un valor numérico. Así, el sujeto obtiene una puntuación respecto a la afirmación y al final su puntuación total, sumando las puntuaciones obtenidas en relación con todas las afirmaciones.

Las puntuaciones de las escalas de Likert se obtienen sumando los valores alcanzados respecto a cada frase. Por ello se denomina escala aditiva. Una puntuación se considera alta o baja según el número de ítems o afirmaciones. La escala de Likert es, en estricto sentido, una medición ordinal; sin embargo, es común que se le trabaje como si fuera de intervalo. Asimismo, a veces se utiliza un rango de 0 a 4 o de -2 a +2, en lugar de 1 a 5; pero esto no importa porque se cambia el marco de referencia de la interpretación.

En términos generales, una escala de Likert se construye generando un elevado número de afirmaciones que califiquen al objeto de actitud y se administran a un grupo piloto para obtener las puntuaciones del grupo en cada afirmación. Estas puntuaciones se correlacionan con las puntuaciones del grupo a toda la escala (la suma de las puntuaciones de todas las afirmaciones), y las afirmaciones, cuyas puntuaciones se correlacionan significativamente con las puntuaciones de toda la escala, se seleccionan para integrar el instrumento de medición. Asimismo, debe determinarse la confiabilidad y validez de la escala. (Hernández y otros, 2003)

## **2.5. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA**

Para tomar decisiones, es conveniente hacer ciertos supuestos acerca de las poblaciones objeto de investigación. Estos supuestos que pueden ser ciertos o falsos, en base a las distribuciones de probabilidad de las poblaciones, se llaman **Hipótesis Estadísticas**. Una hipótesis estadística es un enunciado

provisional referente a uno o más parámetros de una población o grupo de poblaciones.

Si se quiere decidir, por ejemplo, si un procedimiento es mejor que otro, se formula la hipótesis de que no hay diferencia real entre los procedimientos (y cualquier diferencia observada se debe simplemente a fluctuaciones de muestreo de la población). Este tipo de hipótesis se denomina **Hipótesis Nula** y se representa por  $H_0$ .

Cualquier hipótesis que sea diferente a la hipótesis nula ( $H_0$ ), se conoce como **Hipótesis Alternativa** y se representa por  $H_A$ . La hipótesis alternativa correspondiente a la hipótesis nula formulada anteriormente, diría que sí existe una diferencia real entre los procedimientos. La hipótesis nula en definitiva consiste en una proposición de no diferencia entre las cuestiones que se están investigando. La hipótesis alternativa siempre señala lo contrario de la  $H_0$ . (Chourio, 1987)

## **2.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS**

La hipótesis nula ( $H_0$ ) siempre se formula con la intención de contrastarla, es decir, someterla a prueba. Si en un experimento, se seleccionan dos series de datos, una llamada Control y la otra Experimental, aplicando métodos de enseñanza diferentes en cada una de ellas, y si después de cierto tiempo ambos grupos se someten a una prueba de conocimientos, calculando las medias y desviaciones típicas, en este caso la hipótesis nula ( $H_0$ ) diría: No existe diferencia significativa entre ambos grupos; el siguiente paso sería el de tomar la decisión de aceptar o no la  $H_0$ .

El que realiza la investigación debe establecer, a priori, un nivel de significación o probabilidad respecto de la cual se va a poner a prueba la hipótesis. Por ejemplo, se podría elegir el nivel de significación de 0,05 o el de 0,01 (o

posiblemente otro). Cuando no se acepta la  $H_0$  al nivel 0,05 ó 5%, existen 5 posibilidades entre 100 de equivocarse (riesgo), o sea, que no se acepta la  $H_0$ , siendo cierta. En otras ocasiones, se comete el error de aceptar la  $H_0$  cuando es falsa. (Chourio, 1987)

Uno de los métodos más empleados consiste en rechazar  $H_0$  si el estadístico de prueba cae en la región de rechazo que está delimitada por el valor crítico. Debe tenerse cuidado de comparar los valores adecuados, dependiendo de la hipótesis alternativa de que se trata. El valor crítico es el número que se lee en las tablas de la distribución de referencia, y se puede pensar como el número que separa las regiones de aceptación y de rechazo.

La significancia predefinida que se denota con  $\alpha$  (alpha), es el riesgo máximo que el experimentador está dispuesto a correr, de rechazar  $H_0$  indebidamente, mientras que la significancia observada o calculada, también conocida como p-value o valor-p, es el área bajo la distribución de referencia más allá del estadístico de prueba. (Gutiérrez y De la Vara, 2004)

## **2.7. HIPÓTESIS PARA DOS MEDIAS**

Supóngase que interesa comparar el desempeño de dos máquinas A y B que realizan la misma operación. Para ello se obtiene una muestra aleatoria de observaciones de cada máquina.

Para que la comparación sea justa, cada unidad de material se asigna aleatoriamente a las máquinas, y las  $2n$  pruebas o corridas se hacen en orden aleatorio. No es adecuado realizar primero todas las corridas de la máquina A y después las de la máquina B, porque eso puede favorecer a una de las máquinas afectando (sesgando) la comparación. La asignación aleatoria del material hace posible que a cada máquina le corresponda un material con una calidad equivalente y el orden aleatorio de las pruebas nulifica el efecto de

todas las fuentes de variabilidad que actúan durante el transcurso de las mismas (como son las variables ambientales), al repartir su efecto equitativamente en ambas máquinas.

Sean dos procesos con medias  $\mu_x$  y  $\mu_y$  y varianzas  $\sigma_x^2$  y  $\sigma_y^2$ , respectivamente. Interesa investigar si las medias de dichos procesos se pueden considerar estadísticamente iguales. Para ello se plantean las hipótesis:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y$$

Para probar  $H_0$  se toman dos muestras aleatorias de tamaño  $n_x$  la del proceso X y de tamaño  $n_y$  la del proceso Y; en general es recomendable que  $n_x = n_y = n$ , pero también puede trabajarse con  $n_x \neq n_y$ , si no pudieran tomarse iguales. Si cada proceso sigue una distribución normal y son independientes entre ellos, se usa el estadístico de prueba adecuado para probar la hipótesis de igualdad de medias. (Gutiérrez y De la Vara, 2004)

Si se detecta una falta de normalidad, a menudo puede rectificarse aplicando una de las transformaciones que se listan en la Tabla 2.2.:

**Tabla 2.2. Transformaciones para estabilizar la varianza de una respuesta**

Tipo de datos	Características	Transformación
Poisson	Conteos por unidad de tiempo, distancia, volumen, etc.	$y^* = \sqrt{y}$
Binomial	Proporciones, porcentajes o números de éxitos en un número fijo de n pruebas	$y^* = \text{sen}^{-1} \sqrt{y}$
Multiplicativa	Datos comerciales y económicos	$y^* = \log(y)$

Fuente: Mendenhall, 1997

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO DESCRIPTIVO**

---

*En esta sección se explican cada una de las etapas involucradas en el proceso de elaboración de bebidas gaseosas en estudio, haciéndose énfasis en aquellas fases del mismo que resultan de mayor interés para el desarrollo de los objetivos propuestos en la presente investigación*

#### **3.1. ELABORACIÓN DE JARABE**

En **AJEVEN, C.A.** se destina una sala separada a la mezcla de jarabe. En esta área se elaboran los diferentes sabores de las bebidas producidas dentro de las instalaciones de la empresa. Dicha área incluye la elaboración del jarabe simple y terminado.

La solución de azúcar en agua es el jarabe simple, el cual se somete a un sistema de agitación y a un posterior tiempo de reposo que garantiza una determinada concentración de azúcar en la mezcla. Para preparar el jarabe, se coloca la cantidad necesaria de agua, previamente tratada, en un tanque mezclador provisto de agitador mecánico, agitando sin cesar, y se añade poco a poco la cantidad adecuada de azúcar.

El jarabe simple elaborado pasa a otros tanques en los cuales se le agregan el saborizante, color, ácido y preservativo involucrados en la preparación del sabor requerido de acuerdo a la planificación estipulada previamente para la producción diaria. En estos tanques, al igual que en los de jarabe simple, la mezcla también es sometida a un determinado tiempo de agitación y posterior reposo; así como también a pruebas para determinar los grados Brix de la mezcla elaborada para garantizar que llegue al área de llenado bajo las especificaciones de calidad estipuladas. Dicha mezcla se denomina jarabe terminado.

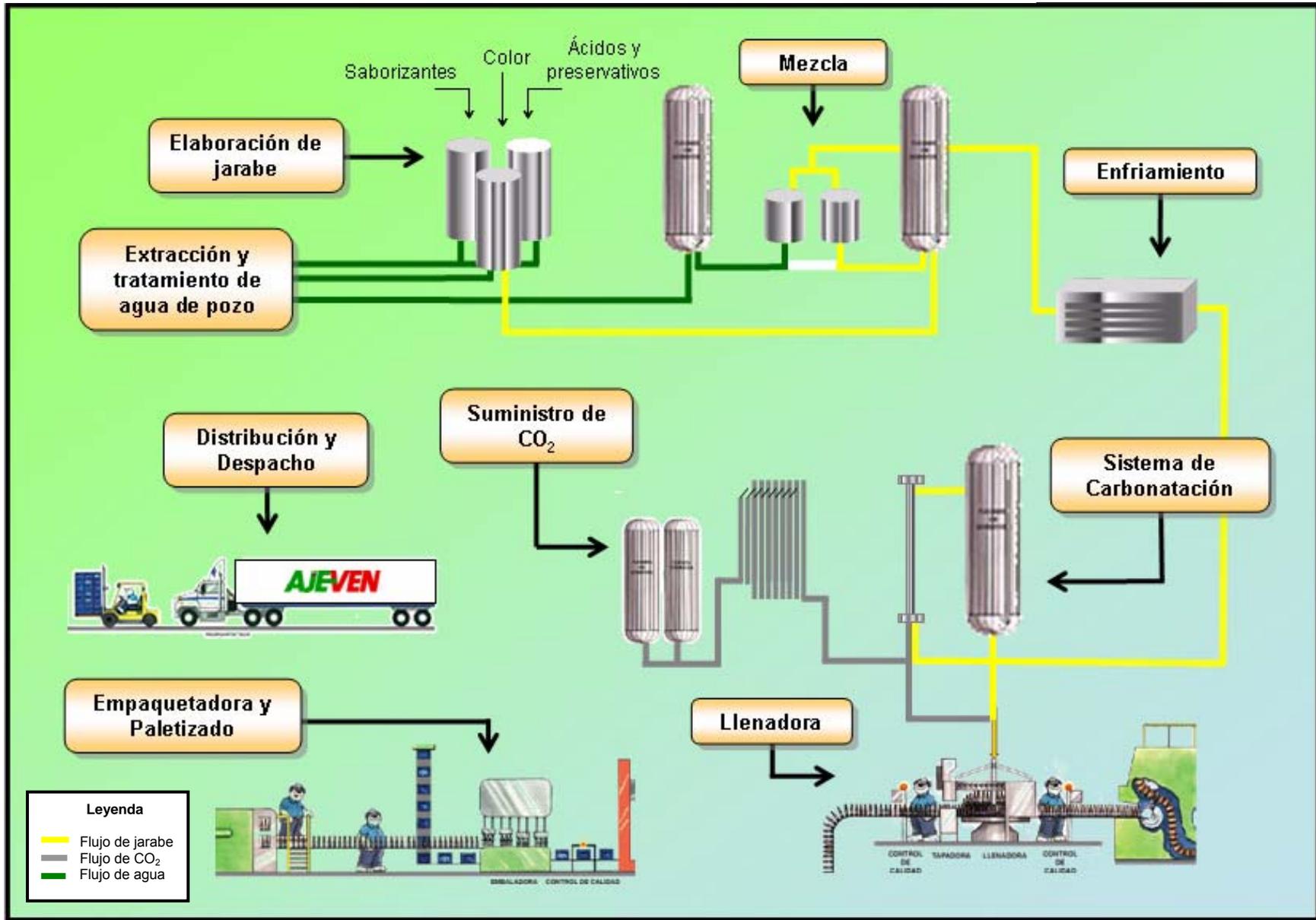


Figura 3.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bebidas gaseosas en AJEVEN, C.A. (Fuente: Propia)

### 3.2. ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE DIÓXIDO DE CARBONO

La elaboración de bebidas gaseosas contempla la utilización de CO<sub>2</sub>, pues es éste el que le otorga ese sabor característico y la sensación tan agradable al paladar producida cuando ésta se incorpora en la misma.

En **AJEVEN, C.A.** se cuenta con una planta de almacenamiento de dióxido de carbono líquido; dicha planta se encuentra formada por cuatro tanques de almacenamiento, de los cuales tres fueron proporcionados por **PRAXAIR, C.A.** y uno por la compañía **BOC GASES, C.A.**

El dióxido de carbono líquido no existe en condiciones normales, éste se puede encontrar de esta forma a condiciones presión y temperatura bajas, por lo que dichos tanques proporcionan las condiciones necesarias para el almacenamiento de éste en la forma establecida. Adicionalmente, la planta cuenta con intercambiadores de calor ambientales de manera de asegurar la llegada del dióxido de carbono en estado gaseoso al área de llenado para la posterior carbonatación de la bebida.

Para fines de la investigación se trabajó con el tanque de almacenamiento de CO<sub>2</sub> proporcionado por la empresa **BOC GASES, C.A.** Éste, tal y como se muestra en la Figura 3.2., es el único que presenta la particularidad de ser un tanque criogénico el cual tiene un tiempo de instalación menor a 2 años y por ende minimiza cualquier pérdida de gas carbónico que pueda ocurrir durante su almacenamiento.



**Figura 3.2. Tanque almacenador de CO<sub>2</sub> de BOC GASES, C.A. (Fuente: Propia)**

### 3.3. LLENADO

Esta etapa implica el paso del jarabe terminado a una bebida gaseosa con características propias bien definidas. Para esto, el área comprende diversas etapas:

#### 3.3.1. Mezcla

No es más que la combinación de jarabe terminado con agua previamente tratada, en diferentes proporciones hasta obtener una mezcla de concentración determinada. El proceso de mezclado se realiza en un equipo denominado **flomix**, el cual se encuentra conformado por dos tanques balanceados, uno de agua y el otro de jarabe que se encuentran conectados a una bomba que presenta dos impulsores, teniéndose de esta manera una bomba de mezcla para el agua y la otra para el jarabe terminado.

Adicionalmente, este equipo cuenta con una válvula micrométrica la cual se encarga de controlar la rata de flujo de agua para la preparación de la bebida final a la concentración estipulada en las especificaciones. Para el balance, los tanques son alimentados con aire a baja presión de manera que se mantengan a la misma atmósfera de presión y por ende controlar el nivel de los mismos.

#### 3.3.2. Enfriamiento

Este proceso se fundamenta en la transferencia de calor de una sustancia a otra, en este caso particular se refiere a la transferencia de calor de la bebida gaseosa hacia la sustancia refrigerante produciendo un incremento en la temperatura de este último y por ende el enfriamiento de la bebida gaseosa, con el fin de prepararla para la posterior fijación de gas carbónico en la misma. Las cuatro partes esenciales conforman el sistema de refrigeración:

- **Evaporador:** este componente está formado por platos de enfriamiento donde se extrae calor desde la bebida para ser enfriada por el refrigerante. Este último cambia de estado de líquido a gas durante el proceso de evaporación.
- **Compresor:** este componente comprime el “gas refrigerante”, preparándolo para la condensación antes de regresarlo al estado líquido.
- **Condensador:** éste es el sistema de agua y aire fríos que al entrar en contacto con el gas refrigerante comprimido lo retorna al estado líquido para ser reusado nuevamente en el proceso.
- **Refrigerante:** el refrigerante utilizado por el sistema ubicado en la planta es amoníaco. Su función principal es transferir calor, el cual absorbe por evaporación a baja presión y temperatura, cediéndolo durante su condensación a temperatura y presión elevada.

El sistema a su vez presenta otros componentes adicionales tales como: válvulas, reguladores, mecanismos de control; los cuales se requieren para completar el sistema de refrigeración. (Manual CROWN, 1981)

### 3.3.3. Sistema de carbonatación

Este sistema se encuentra conformado por un tanque vertical, una bomba centrífuga y un sistema de inyección en el cual se inicia la carbonatación del producto. Este último no es más que un tubo de diámetro pequeño elaborado de un material poroso. El CO<sub>2</sub> es suministrado por la parte interna del tubo y a su vez regulado por una válvula que controla la rata de flujo que circula por el mismo; logrando así solubilizar el gas carbónico en la bebida a las condiciones de presión y temperatura establecidas.

El tanque carbonatador de la Figura 3.3. tiene como función primordial estabilizar la bebida antes que ésta sea enviada a la llenadora; contribuyendo a mantener la carbonatación en el producto, presurizando dicho tanque con una atmósfera de CO<sub>2</sub> a una presión apropiada, manteniendo ésta en el set-point fijado en el sistema de control. Este último es el encargado de inyectar gas carbónico al tanque en el caso de que la presión en el tanque baje y de realizar purgas constantes de gas en caso de que la presión en el mismo se incremente. (Manual CROWN, 1981)



**Figura 3.3. Carbonatador  
(Fuente: Propia)**

#### **3.3.4. Llenadora**

Es una máquina encargada de distribuir la bebida proveniente del tanque carbonatador introduciéndolo al envase dispuesto para tales fines (PET: poliestirenterestolato) para luego ser tapado herméticamente. El equipo utilizado para esto es la llenadora, la cual es una máquina giratoria de forma similar a un carrusel, que se puede ajustar para envasar los productos dependiendo de su formato, es decir, según el contenido de líquido indicado en para cada presentación.

En la empresa **AJEVEN, C.A.** se encuentran dos tipos de llenadoras, una conocida como **KHS** y la otra como **ALSIM**, esta última se diferencia de la anterior debido a la presencia de una cámara de volumen que contiene la cantidad de líquido dispuesta según el formato requerido, mientras que por otro lado la máquina **KHS** permite el llenado gracias a la presencia de un tubo de venteo que no hace necesaria la presencia de los tanques mencionados.

Para fines de la investigación realizada, se centrará el estudio en el principio de funcionamiento de la llenadora marca **ALSIM** puesto que este tipo de maquinaria se encuentra presente en las líneas de producción designadas para el estudio a realizar (líneas 3 y 4) (Manual ALSIM, 1980).

### 3.3.4.1. Flujo de las botellas y producto

Este esquema muestra el recorrido que las botellas siguen a través de la máquina. Tal y como puede observarse en la Figura 3.4., los principales componentes de la máquina son:



**Figura 3.4. Carrusel de enjuague (Fuente: Propia)**

- **Carrusel de enjuague:** su función es la de eliminar, mediante un chorro a presión de agua, aire estéril o de agua adicionada con productos detergentes, los residuos que puedan encontrarse en el interior de las botellas antes que las mismas pasen al llenado.
- **Carrusel de llenado:** es el principal componente de la máquina, en este se encuentra el depósito, las válvulas de llenado debidamente enumeradas y las tuberías correspondientes para el producto y el CO<sub>2</sub>. El depósito, también conocido como taza, es de forma cilíndrica con secciones esféricas en la parte superior e inferior de la misma y en su interior contiene dióxido de carbono a presión y producto.

El líquido sale del depósito a través de los tubos por las válvulas según el principio de vasos comunicantes. Los tubos de CO<sub>2</sub> y de presurización están colocados por arriba de la válvula y tienen forma anular, acoplados al

distribuidor central y alimentados por una válvula moduladora que mantiene constante el valor de compresión establecido.

- **Tapadora:** la botella lista para ser tapada, sale de la estrella de salida de la llenadora y pasa al coronador, el cual no es más que una estructura rotatoria que posee varios cilindros acoplados a la misma que son los que se encargan de colocar la tapa a la botella, ejerciendo el torque necesario para introducir la tapa en la parte enroscada hasta el anillo del cuello de la misma. Las tapas son suministradas a cada cilindro por una vía transportadora que lleva las mismas desde la tolva ubicada en la parte superior de la llenadora hasta el molino que alimenta al capsulador.
  
- **Válvula de llenado:** Es uno de los dispositivos esenciales de la máquina. Esta se distingue por las siguientes características y funciones:
  - 1) Llenado volumétrico con ajuste al cilindro de la válvula
  - 2) Fácil regulación del volumen de llenado
  - 3) Regulación centralizada del volumen de llenado
  - 4) Predisposición para procesar botellas de plástico con anillo en el cuello
  - 5) Llenado de productos gaseados y llanos
  - 6) Llenado en contrapresión con CO<sub>2</sub> o aire estéril
  - 7) Descompresión colectorizada
  - 8) Horquilla de soporte de las botellas dispuesta para elaborar distintos formatos con las mismas dimensiones del cuello (Manual ALSIM, 1980)

#### 3.3.4.2. Ciclo de llenado

El ciclo de llenado se ejecuta en fases sucesivas a partir de la entrada de las botellas vacías en el carrusel de llenado, hasta la salida de las botellas llenas del propio carrusel y está dividido en distintos sectores y fases de llenado. Éstas son:

- **Entrada a la llenadora:** en esta posición la cámara de volumen se encuentra llena de producto y la botella vacía arrastrada por la estrella de entrada se coloca sobre la horquilla.
- **Elevación y puesta en centro:** la botella es elevada por el pistón y puesta en el centro por la campana asegurando la adhesión de la boca de la botella a la válvula de llenado por medio de la presión ejercida por dicho pistón.
- **Presurización:** consiste en comunicar la presión interna de la máquina por medio del tubo de contrapresión con la botella, poniendo esta última a la presión de llenado.
- **Llenado:** cuando las presiones se estabilizan, la válvula se abre y el producto comienza a fluir en la botella a través de la acción de la gravedad. El gas presente en la botella es desplazado y regresado mediante el tubo hacia el tanque central.



**Figura 3.5. Llenadora ALSIM  
(Fuente: Propia)**

El producto desciende en la botella mediante la espiral con movimiento circular y se adhiere a la pared de la botella. El mecanismo empleado se muestra en la Figura 3.5.

- **Primera descompresión:** en esta fase la palanca del distribuidor del gas se coloca en una posición que comunica el interior de la botella con el tubo de entrega del gas descargando así la presión restante en el cuello después del llenado.

- **Estabilización:** en esta condición todos los circuitos estarán cerrados y el interior de la botella estará aislado del resto de la máquina, el producto en el interior de la botella liberará parte del gas, creando una presión en la zona del cuello estabilizándose.
- **Segunda descompresión:** la excéntrica del comando de segunda descompresión lleva el comando del gas a la posición de descompresión, descargando así, la presión que se había creado en el cuello después de la estabilización, dejando la botella a presión ambiente.
- **Descenso:** la botella llena desciende colocando en posición baja la horquilla para colocarse al nivel de la salida de la máquina.
- **Salida de la llenadora:** la botella es extraída del carrusel de llenado siendo arrastrada por la estrella de salida para pasar al capsulador y de esta manera ser tapada (Manual ALSIM, 1980).

### 3.4. COMPROBACIÓN DE LA CALIDAD

Se hacen determinaciones de la bebida gaseosa acabada, que se expresa en grados Brix; los grados Brix de soluciones de azúcar puro equivalen exactamente al porcentaje de azúcar. Para determinar la densidad con el hidrómetro es necesario desgasificar antes la bebida, para lo cual se traspasa varias veces de una vasija a otra. También se determina el grado de carbonatación por la presión del gas y la temperatura (Figura 3.6.); conociendo estos dos factores, se calcula con ayuda de una tabla, el número de volúmenes de gas que contiene el líquido. La presión de gas se determina insertando un manómetro a través de la tapa (Figura 3.7.), después de lo cual se agita la botella para cerciorarse de que están en equilibrio las fases líquida y gaseosa, pues de lo contrario puede ser muy bajo el resultado.



**Figura 3.6. Medidor de temperatura de la bebida (Fuente: Propia)**



**Figura 3.7. Medidor de presión de CO<sub>2</sub> (Fuente: Propia)**

Con el término alteración se designan las variaciones anormales que se producen en el aspecto, color, sabor u olor de la bebida gaseosa, y que pueden ser ocasionadas por cambios físicos o químicos o por microorganismos. Las alteraciones físicas pueden ser originadas por el calor o por la luz solar. La luz directa del sol es perjudicial al sabor de casi todas las gaseosas, en particular de las que se preparan con jugos de frutos cítricos.

La alteración del sabor causada por la luz en las gaseosas se designa con los términos aceitosa y trementinácea; en casi todas las demás bebidas hay simplemente pérdida de sabor y de carácter. Algunos colores para alimentos, en particular la tartracina, se desvanecen rápidamente con la luz solar. El color ordinario no basta para producir ningún efecto en particular, como el sabor de **cocimiento**; pero las altas temperaturas aceleran las reacciones químicas y, por tanto, hacen que se pierda la frescura (Miller y Hale, 1975).

## CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO

*En la presente sección se enumeran cada uno de los pasos, según una secuencia lógica, para el desarrollo de los objetivos propuestos en la presente investigación, haciendo referencia de algunos de los instrumentos empleados para tal fin*

De acuerdo a la estrategia adoptada por los autores, la presente investigación se considera de tipo experimental, lo cual se debe a la inclusión de una fase importante de toma y análisis de datos a fin de obtener la información certera acerca de la incidencia de cambios relevantes en el comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub>, considerando las diferencias suscitadas en éste una vez desarrollada la etapa experimental presentada en esta investigación.

Por otra parte, en lo que se refiere al grado de profundidad, este proyecto se categoriza como uno de tipo evaluativo, debido a que se estudian las variables más influyentes en las pérdidas de gas carbónico durante el proceso de elaboración de bebidas gaseosas para obtener las causas que deben ser resueltas con prioridad a fin de reducir las pérdidas de CO<sub>2</sub> y así lograr un aumento del rendimiento del mismo.

Para el desarrollo sistemático de la investigación **(DSI)**, se plantean las siguientes fases:

- Diagnóstico de la situación actual del proceso de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción de bebidas gaseosas
- Evaluación del sistema de tuberías de gas carbónico asociado a las líneas de producción 3 y 4
- Estimación de las pérdidas de CO<sub>2</sub> inherentes al proceso de llenado en las líneas de producción 3 y 4
- Generación de alternativas de mejora para el rendimiento de CO<sub>2</sub>
- Evaluación de la rentabilidad de la alternativa seleccionada de mayor influencia económica

#### **4.1. DIANOSTICAR LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE SUMINISTRO Y CONSUMO DE CO<sub>2</sub> EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS GASEOSAS**

#### **4.1.1. Comprensión de cada una de las áreas de producción involucradas en la elaboración de bebidas gaseosas**

Para el desarrollo del presente objetivo, se requirió la elaboración del diagrama Causa-Efecto, el cual permite la identificación y jerarquización de las causas primordiales que, en este caso, afectan el bajo rendimiento de gas carbónico, obteniéndose así los problemas prioritarios que deben ser atacados.

Así, los recorridos realizados por la planta y las entrevistas sostenidas con personal de la misma (operadores, mecánicos, supervisores y demás conocedores del proceso) fueron de vital importancia para afianzar los conocimientos adquiridos por medio de la información previamente recopilada. Además, fue necesaria la aplicación de la observación directa del proceso, la cual abarcó todas las áreas involucradas en el mismo, desde la recepción de la materia prima hasta el empaquetado del producto final para su posterior distribución.

#### **4.1.2. Reconocimiento del sistema de suministro y consumo de CO<sub>2</sub>**

Conocido el proceso de elaboración de bebidas gaseosas empleado en **AJEVEN, C.A.**, se procedió a delimitar el área de estudio, por lo cual se hizo una inspección visual del sistema de suministro y consumo de gas carbónico presente en la planta, con la finalidad de reconocer las redes de distribución de dicha materia prima hacia cada una de las líneas de producción donde la misma es requerida. Dicha revisión abarcó el área donde se ubican los cuatro tanques provenientes **BOC GASES, C.A.** y **PRAXAIR, C.A.**

Posteriormente, se realizó el estudio de los procedimientos de alimentación y consumo de CO<sub>2</sub> proveniente de **BOC GASES, C.A.** correspondientes a las líneas de producción 3 y 4, lo cual implicó la observación exhaustiva de los

procesos relacionados con las mismas, tales como: saneamiento y arranque de las líneas, presurización de la taza y purgas de gas carbónico en las máquinas llenadoras, inyección de CO<sub>2</sub> en las bebidas y presurización en el tanque carbonatador. El estudio preliminar del comportamiento de las redes de distribución de gas carbónico hacia las líneas de interés permitió la identificación de las posibles causas estrechamente vinculadas con el bajo rendimiento de CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.3. Establecimiento del rendimiento de CO<sub>2</sub>

La organización con la finalidad de monitorear el comportamiento y desempeño del proceso productivo contempla la utilización de una serie de rendimientos que permiten mantener, mejorar e innovar el proceso del cual dan cuenta. Así es como, en el caso preciso de este trabajo, se analizó el referente al dióxido de carbono, el cual es evaluado como materia prima con la finalidad de medir el porcentaje de utilización del mismo. Haciendo revisiones de los procedimientos e instructivos establecidos para el cumplimiento de la certificación ISO 9000 2000, se encontró que la expresión que define dicho indicador es la siguiente:

$$\%R = \frac{mCO_{2(\text{con})}}{mCO_{2(\text{a lim})}} \cdot 100 \quad \text{(I) (AJEVEN, C.A., 2005)}$$

Donde:

%R: porcentaje de rendimiento, (adim)

$mCO_{2(\text{con})}$ : masa de CO<sub>2</sub> consumida en la producción, (kg/día)

$mCO_{2(\text{a lim})}$ : masa de CO<sub>2</sub> alimentada, (kg/día)

El análisis de esta relación también implicó conocer los niveles de la misma al inicio de esta investigación. En el caso específico de las líneas 3 y 4 fue necesario aplicar el Procedimiento D.1. diseñado para tal fin (ver Apéndice D).

La masa consumida durante un día de producción se calculó mediante la ecuación:

$$mCO_{2(a\text{lim})} = mCO_{2(\text{inicial})} - mCO_{2(\text{final})} \quad (\text{II}) \quad (\text{AJEVEN, C.A., 2005})$$

Donde:

$mCO_{2(\text{inicial})}$  : masa de  $CO_2$  con la lectura inicial en el tanque, (kg/día)

$mCO_{2(\text{final})}$  : masa de  $CO_2$  con la lectura final en el tanque, (kg/día)

La masa de gas carbónico consumida en la producción se calculó mediante la expresión:

$$m_{CO_2(\text{con})} = \frac{V_S \cdot L_B \cdot \rho_B \cdot N^{\circ}_{Bot}}{1000} \quad (\text{III}) \quad (\text{AJEVEN, C.A., 2005})$$

Donde:

$V_S$ : volumen standard de  $CO_2$ , (adim)

$L_B$ : litros de bebida contenida en la botella, (L)

$\rho_B$ : densidad de la bebida, (g/L)

$N^{\circ}_{Bot}$ : número de botellas contenidas en producción, (adim)

Tal y como se puede apreciar en la ecuación (III), existen parámetros que hasta los momentos se toman de acuerdo con las especificaciones del producto, entre los cuales se encuentran el volumen de carbonatación y el nivel de llenado. Con el fin de tomar en cuenta las condiciones actuales que rigen el proceso, se tomaron datos de registros históricos, procesados y evaluados por medio de un tratamiento estadístico. Éstos se encuentran presentados en una investigación llevada a cabo en la empresa a la par de ésta. De esta manera se pretendió minimizar el margen de error incurrido al hacer este tipo de estimaciones.

Finalmente, los datos necesarios recogidos para cada línea, incluyendo las condiciones de trabajo, se registraron en una tabla similar a la siguiente:

**Tabla 4.1. Variables involucradas en la determinación del rendimiento de CO<sub>2</sub> para la línea de llenado \_\_ durante 15 días del mes de mayo**

Fecha (dd/mm/aa)	Lectura inicial en el manómetro diferencial (P <sub>O</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O	Lectura final en el manómetro diferencial (P <sub>F</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O	Producción (número de botellas)	Tiempo de paradas (t <sub>p</sub> ± 0,1) min

Presión en la taza de la llenadora: ( ± 0,01) bar

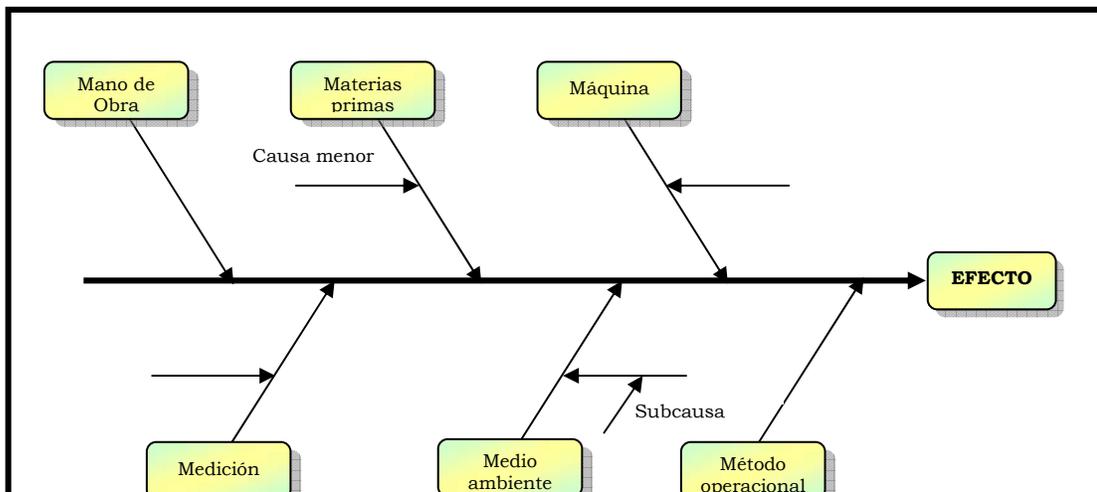
Presión en el carbonatador: ( ± 0,5) psig

Velocidad de la llenadora: ( ± 1) bpm

**4.1.4. Elaboración del diagrama Causa-Efecto**

La identificación de todas las posibles causas inherentes al problema implicó conocer las fuentes de variabilidad que influyen en los factores que determinan, en este caso, los bajos rendimientos de gas carbónico dentro del proceso productivo.

Así es como, al realizar este estudio, se dispuso de una panorámica de mucha utilidad para enfocar las posibles alternativas de solución, tal que se lograron calificar cuáles pueden ser o no las causas de las discrepancias a través de seis categorías: mano de obra, máquina, método, materias primas, medición y medio ambiente, como se muestra en la Figura 4.1. Para lo anterior, se hizo necesario el análisis de cada una de las posibles causantes de los bajos rendimientos de CO<sub>2</sub>, tal que se obtuviera una idea inicial de la situación.



**Figura 4.1. Estructura del diagrama Causa-Efecto (Fuente: Walter, 2005)**

#### **4.1.4.1. Aplicación de la técnica tormenta de ideas**

Una vez constituido un equipo multidisciplinario, se procedió a la aplicación de una **Tormenta de Ideas**, a fin de identificar las posibles causas que inciden en el problema estudiado. Sin embargo, la lista de posibles causas obtenidas a través de esta técnica también fue consultada con personal especializado a fin de considerar todos los puntos de vistas y enfoques posibles de la situación.

#### **4.1.4.2. Identificación de las causas por grupos**

Con cada una de las causas planteadas como “posibles”, se procedió a la clasificación de las mismas de acuerdo a los seis grupos constituyentes del diagrama Causa-Efecto, obteniéndose así causas para cada una de las categorías en concordancia con su influencia en el “efecto” analizado.

#### **4.1.2.3. Desarrollo del diagrama Causa-Efecto preliminar**

Una vez clasificadas las causas por grupos, se procedió a la elaboración del diagrama Causa-Efecto preliminar (ver Figura 4.1.) considerando todas y cada una de las ideas propuestas durante la ejecución de la técnica seleccionada, siendo luego indispensable la jerarquización de dichas causas con el objeto de dar solución al problema.

#### **4.1.2.4. Análisis de las causas reales**

Con el diagrama Causa-Efecto preliminar, se prosiguió a la depuración del mismo, determinando las causas más influyentes en el problema, siendo necesaria la identificación de aquellas causas cuya incidencia es altamente significativa. Para ello, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Elaboración y aplicación de encuestas estructuradas al personal especializado.** Se realizó el diseño del instrumento más apropiado con el propósito de evaluar la actitud de cada uno de los encuestados en cuanto al nivel de influencia de cada una de las causas listadas en el problema de la investigación. El diseño de las encuestas incluyó la selección de un escalamiento tipo Likert constituido por cuatro categorías, quedando así estructurado el cuestionario con 27 preguntas clasificadas en cada una de las categorías correspondientes al diagrama Causa-Efecto (ver Tabla 4.2.).

**Tabla 4.2. Ponderación de cada respuesta en las encuestas aplicadas**

Respuesta	Interpretación	Ponderación
A	Afecta significativamente	4
B	Afecta moderadamente	3
C	Afecta muy poco	2
D	No afecta	1

El universo disponible para la aplicación de las encuestas estuvo constituido por 30 personas, provenientes de los distintos departamentos involucrados en el área. Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó la ecuación correspondiente al cálculo de muestras en poblaciones finitas de acuerdo a la bibliografía consultada:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot (1 - p)} \quad \text{(IV) (Chourio, 1987)}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra, (adim)

N: tamaño de la población involucrada en el estudio del problema, (adim)

$Z_{\alpha}$ : Z correspondiente a una confianza del 95%, (adim)

d: error máximo admisible, (adim)

p: proporción de una categoría de la variable, (adim)

La validez del instrumento diseñado, se determinó mediante la aplicación del denominado **Test-retest**, por lo cual se aplicó semanalmente, la misma encuesta, tres veces a un mismo grupo de cinco personas seleccionado inicialmente al azar, durante un período de tres semanas (Prueba Piloto). Además, el contenido de la encuesta fue consultado con investigadores familiarizados con las variables analizadas, comparándose además la estructura del instrumento diseñado con metodologías empleadas por otros investigadores al momento de medir variables similares.

Finalmente, los cuestionarios se aplicaron a 18 personas, divididos por área: seis encuestados provenientes del Departamento de Producción y tres personas de cada uno de los departamentos de: Aseguramiento de la Calidad, Mantenimiento, Llenado y Mejoramiento Continuo. Se eligió de esta forma debido a que la primera área es fundamental dentro del proceso. La forma de aplicación de los instrumentos fue autoadministrada, donde se hizo entrega del cuestionario a cada uno de los respondientes, los cuales procedieron a marcar, respecto a cada afirmación, la categoría que mejor describía su reacción o respuesta.

- **Procesamiento de los datos.** Para la conversión de la información en valores numéricos, se le asignaron “pesos” a cada una de las categorías de la escala de Likert empleada (ver Tabla 4.2.). Posteriormente, se contabilizó el número de respuestas de cada tipo obtenido en las afirmaciones propuestas y se multiplicó el total en cada categoría por la ponderación asignada a cada

una de ellas. La suma de dichos resultados se seleccionó como el valor representativo de cada causa.

Debido a los valores asignados a las categorías, las causas pueden obtener una ponderación mínima y máxima de 18 y 72 puntos respectivamente, ubicándose el origen de la escala en 45; por lo tanto se consideraron aquellas causas con una valoración superior a dicho origen como altamente influyentes en el desarrollo del problema estudiado.

- **Selección de las alternativas más influyentes.** Empleando los resultados obtenidos con la utilización del escalamiento tipo Likert, se lograron identificar las causas principales, las cuales (según opinión del personal especializado consultado) requieren de solución prioritaria para lograr aumentar el nivel en la relación empleada como medida del aprovechamiento del CO<sub>2</sub> en el proceso.

#### **4.1.4.5. Representación gráfica del diagrama Causa-Efecto definitivo**

Finalmente, se procedió a la representación del diagrama de forma depurada, eliminándose así algunas causas consideradas en un principio, y que luego de la aplicación de las encuestas diseñadas, obtuvieron una puntuación inferior al origen de la escala de Likert seleccionada. De esta manera, se procedió a la presentación del diagrama Causa-Efecto (ver Figura 4.1.), indicándose en él los motivos principales de los bajos niveles en el rendimiento de CO<sub>2</sub>.

## **4.2. EVALUAR EL SISTEMA DE TUBERÍAS DE GAS CARBÓNICO ASOCIADO A LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4**

### **4.2.1. Determinación de las características físicas del sistema de tuberías de consumo y suministro de CO<sub>2</sub>**

La determinación de las características físicas del sistema de tuberías involucró la medición de las longitudes y diámetros de las mismas por parte de los autores, con lo cual se procedió a la realización de un esquema del trazado de las tuberías a fin de obtener la distribución de las mismas a lo largo de la planta. Adicionalmente, se tomó nota de la ubicación de los demás accesorios componentes del sistema, lo cual incluyó válvulas de diversos tipos, medidores de presión y temperatura, codos, uniones, etc.

**4.2.2. Elaboración de la isometría de las redes de tuberías de CO<sub>2</sub> correspondientes a las líneas de producción 3 y 4**

Con la información recopilada en la actividad anterior, se prosiguió con la elaboración de la vista isométrica de todo el sistema de suministro y consumo de CO<sub>2</sub>, haciéndose especial énfasis en las líneas de producción 3 y 4. Adicionalmente, se incluyó en el diagrama toda la planta de suministro del gas carbónico, la cual involucra los intercambiadores de calor y el tanque de almacenamiento de dicha materia prima.

**4.2.3. Recopilación de la información relacionada con las condiciones técnicas y operativas del sistema de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> en AJEVEN, C.A**

Mediante el monitoreo del comportamiento de las presiones en los puntos más importantes del sistema de tuberías en funcionamiento, durante dos semanas en distintos momentos del día, se logró recopilar la información necesaria con la finalidad de estimar la pérdidas debidas al transporte de fluidos a lo largo de todo el sistema. Los datos necesarios fueron registrados en la Tabla 4.3.:

**Tabla 4.3. Presiones en distintos puntos del sistema de suministro y consumo de gas carbónico**

Hora	Línea	Presión en	Presión en el	Presión en la	Presión a la	Presión de	Presión a la
------	-------	------------	---------------	---------------	--------------	------------	--------------

		el inyector (P <sub>I</sub> ± 0,5) psi	carbonatador (P <sub>C</sub> ± 0,5) psi	taza de la llenadora (P <sub>L</sub> ± 0,5) psi	entrada regulador (P <sub>E</sub> ± 0,5) psi	vapor en el tanque (P <sub>V</sub> ± 0,5) psi	Salida del tanque (P <sub>S</sub> ± 0,5) psi
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

**4.2.4. Aplicación de los modelos matemáticos apropiados para la estimación de las características del sistema relacionadas con el transporte de fluidos**

Conocidas cada una de las presiones en los componentes claves del sistema de tuberías analizado, se procedió a la determinación de las pérdidas ocasionadas por el transporte del fluido mediante el siguiente procedimiento:

- Se determinó la longitud total de cada tubería que se deseaba analizar a la cual se le sumó la longitud equivalente correspondiente a cada uno de los accesorios presentes en dicha tubería según fuera el caso. Dicha longitud total se expresó en pies
- Mediante la alimentación de CO<sub>2</sub> y la producción en la planta almacenada en registros previos a este análisis suministrados por le empresa, se estimó el flujo volumétrico crítico de CO<sub>2</sub> ( $\dot{Q}_{CO_2}$ ) de trabajo. Para ello se emplearon los factores de conversión mostrados en la Tabla B.3.4.
- El flujo volumétrico de CO<sub>2</sub> se convirtió en flujo volumétrico de aire mediante la expresión:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{CO_2} \cdot \frac{\rho_{aire}}{\rho_{CO_2}} \quad (V) \quad (\text{Minnesota Valley Engineerin Inc., 1995})$$

Donde:

$\dot{Q}_{aire}$  : flujo volumétrico de aire, (pie<sup>3</sup>/min)

$\dot{Q}_{CO_2}$  : flujo volumétrico de gas carbónico, (pie<sup>3</sup>/min)

$\rho_{\text{aire}}$  : densidad del aire, (lb/pie<sup>3</sup>)

$\rho_{\text{CO}_2}$  : densidad del gas carbónico, (lb/pie<sup>3</sup>)

- Conocido el flujo volumétrico de aire, se empleó la Tabla B.3.5 a fin de determinar las pérdidas (por cada 100 pies de longitud) con el diámetro más pequeño posible. En caso de presiones por encima a las condiciones estándar (100 psig), el flujo volumétrico debe corregirse mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{Q}_{\text{aire}} \cdot \left( \frac{14,7}{14,7 + P_t} \right) \quad (\text{VI}) \quad (\text{Minnesota Valley Engineerin Inc., 1995})$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{aire}}$  : flujo volumétrico de aire corregido, (pie<sup>3</sup>/min)

$P_t$ : presión de trabajo, (psi)

T: temperatura de trabajo, (°F)

- El valor de las pérdidas por fricción obtenido se multiplicó por la longitud de tuberías total calculada inicialmente y así estimar las pérdidas buscadas

#### **4.2.5. Análisis de las características actuales del sistema de tuberías de CO<sub>2</sub> de la empresa con respecto a las condiciones de diseño**

A través del procedimiento citado anteriormente se obtuvieron los mejores diámetros de tuberías acordes con el sistema por lo que se procedió a comparar dichos valores con los utilizados en la planta actualmente, lo cual involucró analizar el funcionamiento de los mismos considerando cualquier factor adicional importante.

#### **4.2.6. Recomendación de las posibles variaciones de diseño y/o parámetros de operación**

En concordancia con el análisis de pérdidas desde el punto de vista de manejo de fluidos realizado previamente, se procedió a la recomendación de nuevos diámetros de las tuberías a fin de disminuir dichas pérdidas lo más posible de acuerdo con el funcionamiento del sistema.

### **4.3. ESTIMAR LAS PÉRDIDAS DE CO<sub>2</sub> INHERENTES AL PROCESO DE LLENADO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4**

#### **4.3.1. Inspección visual de las líneas de producción 3 y 4**

La investigación se dirigió al área de llenado donde se le da uso al gas carbónico, tal que se realizaron observaciones de los equipos presentes en la misma, los cuales son: tanque carbonatador, inyector y llenadora. Las observaciones se hicieron con éstos en pleno funcionamiento así como detenidos. Adicionalmente, se llevaron a cabo entrevistas con el personal relacionado con el proceso, se consultaron manuales de los equipos, procedimientos e instructivos, todo con la finalidad de comprender en su totalidad el funcionamiento de los mismos.

#### **4.3.2. Identificación de las variables críticas y delimitación del área en estudio durante el proceso de llenado**

Las causas de las pérdidas de CO<sub>2</sub> permitieron delimitar el área en estudio, para lo cual se tomó como criterio la selección del lugar que involucrara la mayor utilización de gas carbónico. A su vez, se tomó en cuenta el hecho de que algunas de las causas determinadas no pueden ser cuantificadas en su totalidad debido a la carencia de instrumentos y equipos, tal es el caso de las pérdidas ocasionadas por fugas físicas y la falta de instrucción de los operadores. Así, solo se hizo posible la estimación para las mermas de gas carbónico referidas al sistema de carbonatación y llenado.

La investigación estuvo dirigida a la realización de evaluaciones en dicha área, de allí que las variables consideradas críticas, de acuerdo con la información recopilada fueron: presión en la taza de las llenadoras ALSIM, presión en el tanque carbonatador e inyector de CO<sub>2</sub>, velocidad de las máquinas llenadoras, tiempo de paradas de las líneas.

#### **4.3.3. Estudio de la relación entre las variables críticas identificadas**

El estudio de la relación entre las variables críticas se realizó por medio de las observaciones y el análisis de las líneas realizado previamente, lo cual permitió determinar que el tiempo de paradas en las mismas parecía incrementar las pérdidas de CO<sub>2</sub>. Se realizó un ensayo en el sistema de carbonatación; mientras que para el área de llenado (taza de la llenadora) se estimaron las pérdidas siguiendo un procedimiento diferente. De este modo, se determinaron cuáles variables influyen realmente en las pérdidas CO<sub>2</sub> en dicha área.

#### **4.3.4. Evaluación de la influencia de la(s) variable(s) crítica(s) en el incremento de la pérdidas de CO<sub>2</sub> inherentes al proceso de llenado**

El tratamiento en las dos zonas que conforman al área delimitada fue el siguiente:

**I) Sistema de Carbonatación:** para este sistema la metodología a seguir fue la mostrada a continuación:

##### **4.3.4.1. Planificación del experimento**

##### **4.3.4.1.1. Identificación de las condiciones existentes en el proceso referidas a la toma de datos**

Las variables críticas que se tomaron en cuenta fueron: presión del tanque carbonatador e inyector de CO<sub>2</sub> y tiempo de paradas. Otras variables implícitas en la determinación de las pérdidas mencionadas fueron: presión de CO<sub>2</sub> y temperatura de la bebida en la botella, volumen de carbonatación, presión de la columna de líquido en el tanque almacenador de gas carbónico al principio y fin de cada ensayo y la producción neta en botellas durante el mismo tiempo de estudio. Adicionalmente se midió la temperatura de la bebida antes de ser envasada, así como la velocidad de la llenadora con el fin de monitorear el proceso y garantizar la uniformidad de condiciones para cada ensayo realizado.

**4.3.4.1.2. Selección de los volúmenes de control necesarios para la realización de los balances de masa respectivos.**

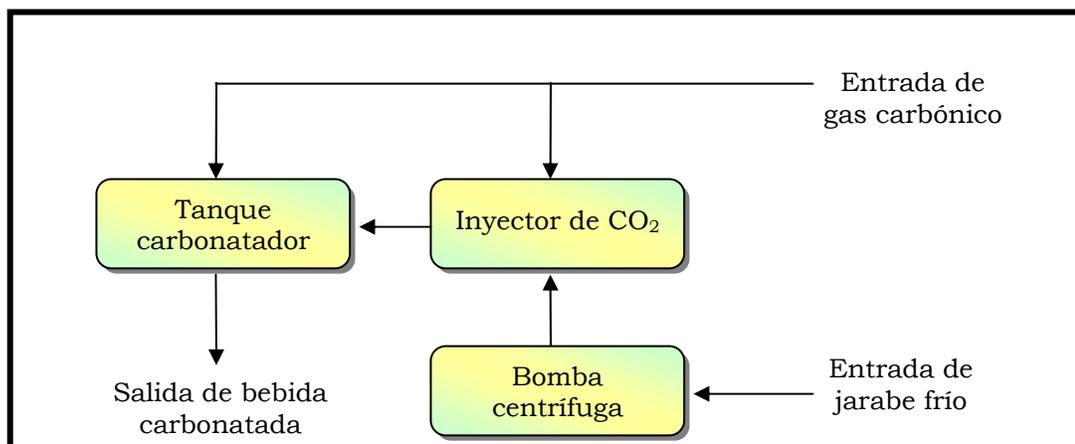
La estimación de las pérdidas de gas carbónico originadas por purgas en el tanque carbonatador se basó principalmente en la elaboración de un balance de masa para dicho gas. El volumen de control seleccionado para tal fin es el mostrado en la Figura 4.2., éste comprende el sistema de inyección de gas a la bebida y el tanque destinado para generar el transporte de la bebida hacia la máquina llenadora.

El balance de masa se precisó bajo la siguiente expresión:

$$m_{CO_2(\text{perdida})} = m_{CO_2(\text{a lim})} - m_{CO_2(\text{con})} \quad \text{(VII) (Himmelblau, 1997)}$$

Donde:

$m_{CO_2(\text{perdida})}$  : masa de gas carbónico perdida en el sistema, (kg)



**Figura 4.2. Volumen de control seleccionado para la elaboración del balance de masa en el sistema de carbonatación**

#### 4.3.4.1.3. Establecimiento del método operacional

Para llevar a cabo el experimento planteado, se siguió el Procedimiento D.2. mostrado en el Apéndice D.

#### 4.3.4.1.4. Diseño de los instrumentos de recolección de datos

Los datos recogidos mediante la metodología empleada, se registraron en la siguiente tabla de datos:

**Tabla 4.4. Variables involucradas para la cuantificación de las pérdidas de CO<sub>2</sub> inherentes al proceso de carbonatación en la línea de llenado \_\_\_ de bebidas gaseosas**

Presión de líquido en el tanque de suministro (P ± 0,3) "H <sub>2</sub> O		Velocidad de la llenadora (V <sub>LL</sub> ± 1) bpm*	Volumen de carbonatación			Producción (número de botellas)		Presión manométrica		Temperatura de la bebida (T <sub>B</sub> ± ) °C
Inicial	Final		Presión (P ± 0,5) psig	Temperatura (T ± 0,5) °F	Volumen (v/v)	Inicial	Final	Inyector (P <sub>i</sub> ± 0,5) bar	Carbonatador (P <sub>c</sub> ± 0,5) psig	

Tiempo de paradas: ( ± 0,1) min

Tiempo total de medición: ( ± 0,1) min

(\*) bpm: botellas por minuto

#### 4.3.4.2. Desarrollo del experimento

El experimento se realizó con un total de 30 repeticiones por línea, evaluando en cada una el comportamiento de las variables mencionadas anteriormente. En relación al número de repeticiones, su valor se fijó tomando en cuenta que

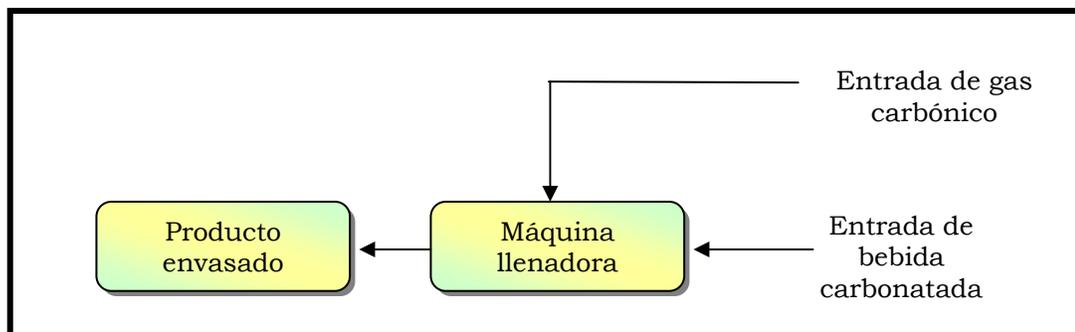
se necesitaban una cantidad de datos apreciables y representativos del comportamiento de las variables y de la existencia de posibles relaciones entre las mismas. De esta manera, el tiempo fue una restricción para la ejecución de cada una de las experiencias, lo cual fue un elemento de gran influencia para la determinación de la cantidad de experimentos realizados.

**4.3.4.3. Tratamiento matemático de los datos durante la experiencia práctica y registro de los resultados procesados**

El tratamiento de los datos incluyó la aplicación del balance de masa definido bajo la ecuación (VI). Para esto se hizo necesario el cálculo de la masa de gas carbónico alimentada al sistema, así como también de la contenida en la producción elaborada durante la toma de datos. Dichos valores se calculan según lo indicado en el apartado 4.1.3.

Adicionalmente, en el sistema de carbonatación al generarse paradas de tiempo considerable se produce el desalojo de la bebida contenida en el tanque carbonatador; para contabilizar la merma de gas carbónico así generada se procedió a tomar las longitudes y diámetros correspondientes al tanque y al sistema de tuberías involucrado en el transporte de la bebida hasta la máquina llenadora.

**II) Área de Llenado:** se planteó un procedimiento el cual tuvo como finalidad obtener una estimación de las mermas de CO<sub>2</sub> que ocurren durante el llenado. La Figura 4.3. muestra el volumen de control tomado en cuenta para dicha determinación; en el cual no se consideraron las mismas variables contempladas anteriormente.



**Figura 4.3. Volumen de control seleccionado para la determinación de las pérdidas de gas carbónico en el área de llenado**

El método empleado para la determinación del consumo de gas carbónico en la taza de la máquina llenadora ALSIM de acuerdo a las características del sistema se presenta en el Apéndice D (Procedimiento D.3.). Los datos necesarios recogidos en la líneas 3 y 4 se registraron en una tabla similar a la siguiente previamente diseñada:

**Tabla 4.5 Variables involucradas en la cuantificación del consumo de CO<sub>2</sub> necesario para la presurización de la taza de la llenadora ubicada en la línea \_\_\_ de elaboración de bebidas gaseosas**

Fecha (dd/mm/aa)	Lectura inicial en el manómetro diferencial (P <sub>O</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O	Lectura final en el manómetro diferencial (P <sub>F</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O	Presión en la taza de la llenadora (P <sub>LL</sub> ± 0,5) psig	Tiempo de paradas (t <sub>p</sub> ± 0,1) min

Velocidad de la llenadora: ( ± 1) bpm

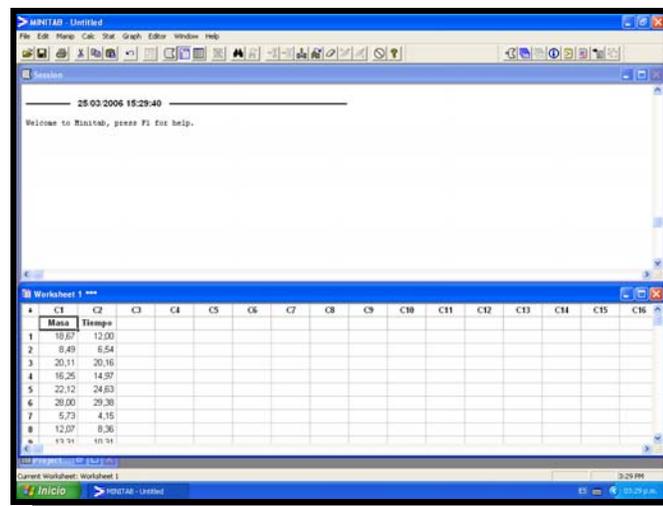
Al igual que para sistema de carbonatación, en la taza de la llenadora se produce el desalojo de bebida al ocurrir paradas superiores a 30 minutos, por lo tanto también se hizo necesario determinar las longitudes de la misma para estimar la merma de gas carbónico al ocurrir dicha situación.

#### **4.3.5. Comprobación estadística de la representatividad de los resultados obtenidos**

Para el tratamiento de los resultados mediante el programa comercial **MINITAB 13.20**, se procedió a la verificación de las condiciones necesarias previo al análisis de regresión lineal mediante los procedimientos indicados como sigue.

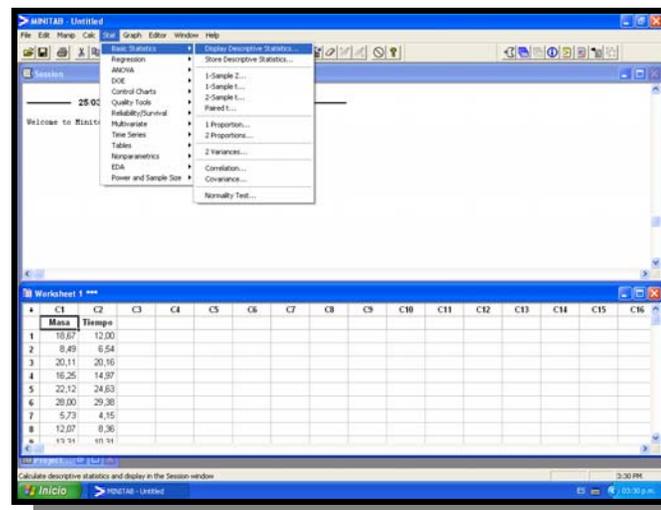
#### 4.3.5.1. Prueba de existencia de comportamiento normal en los datos

- Se ejecutó el programa desde el escritorio de Windows, con lo cual se observa la pantalla principal
- Luego se escribieron los datos por columnas, ubicando los mismos en las columnas identificadas con C1 y C2, donde además también se colocó el nombre correspondiente a cada variable. Se observó la siguiente pantalla:



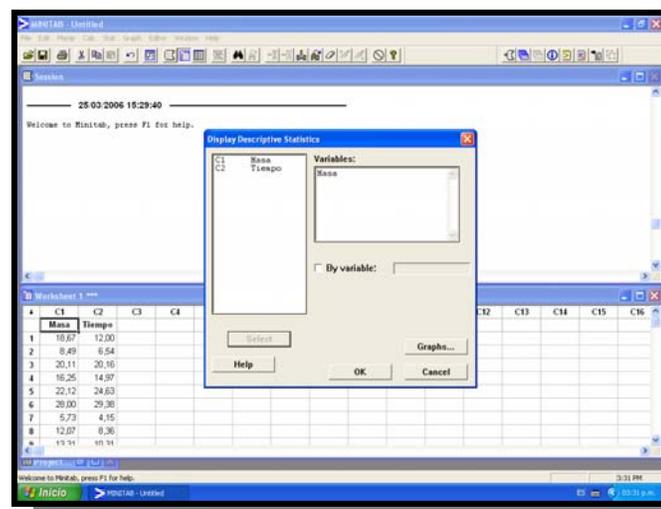
**Figura 4.4. Pantalla inicial del Programa MINITAB 13.20 con los datos introducidos**

- Para activar la Prueba de Normalidad requerida en este caso se siguió la secuencia:  
Stat>Basic Statistics>Display Descriptive Statistics, ver Figura 4.5.



**Figura 4.5. Secuencia para la activación de la Prueba de Normalidad**

- Así, apareció la pantalla mostrada en la Figura 4.6., donde se debió seleccionar la variable objeto de la prueba, de modo que se repitió todo el procedimiento aquí descrito para cada variable necesaria. Se seleccionó el nombre de la variable requerida y se pulsó la opción “Select”



**Figura 4.6. Selección de la variable objeto de la Prueba de Normalidad**

- En la misma ventana, se seleccionó la opción “Graphs”, con la cual se desplegó un nuevo menú donde se marcó la alternativa “Graphical summary” (95% de nivel de confianza), tal como se muestra en la Figura 4.7.

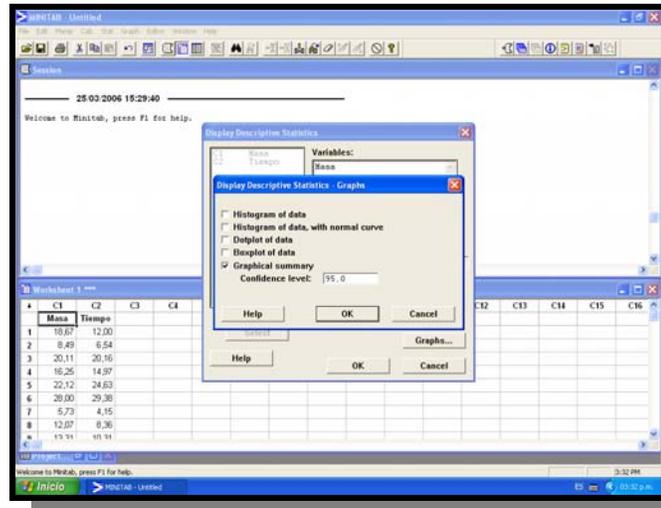


Figura 4.7. Selección de los resultados necesarios

- Al pulsar la tecla “OK”, se obtienen los resultados donde fue de interés el estadístico P de la Prueba de Normalidad Anderson-Darling, ver Figura 4.8.

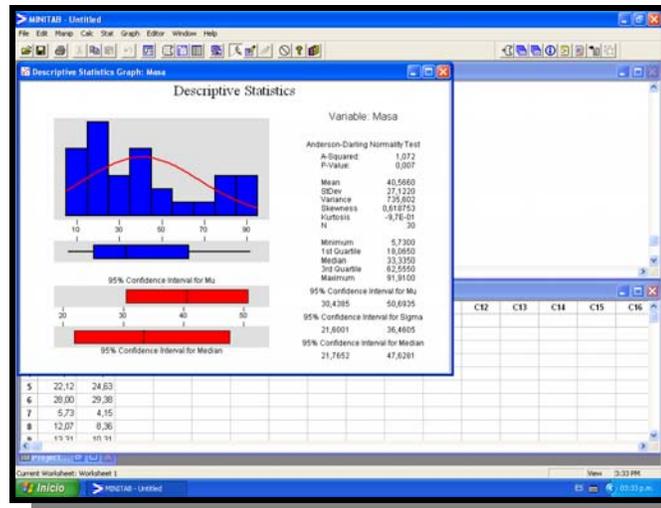
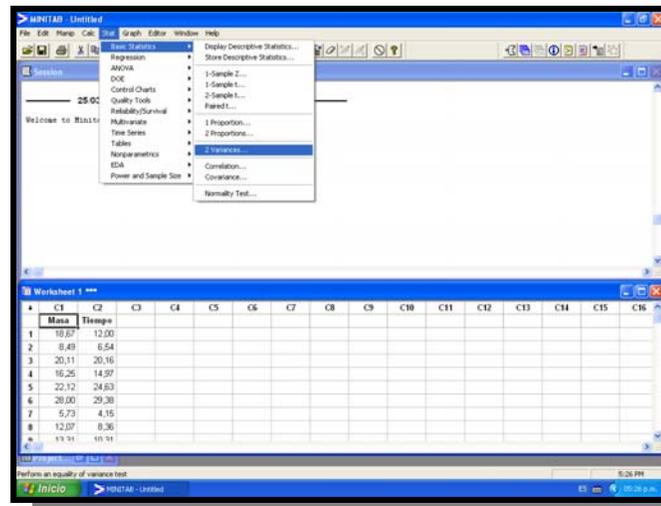


Figura 4.8. Pantalla de resultados de la Prueba de Normalidad

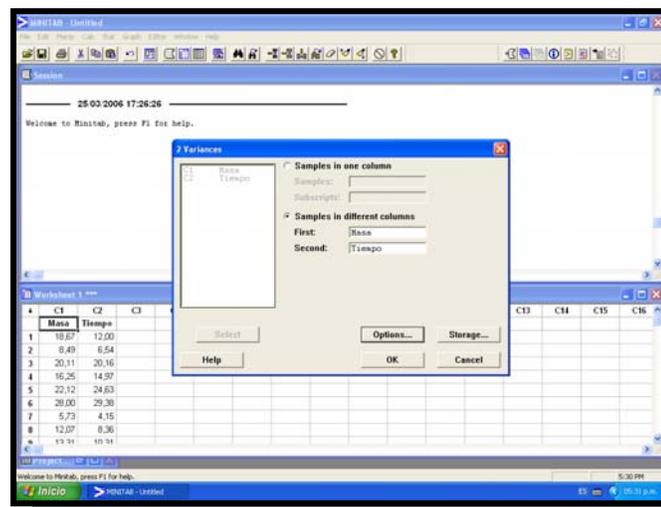
#### 4.3.5.2. Prueba de Homoscedasticidad (Igualdad de Varianzas)

- Con los datos introducidos según lo ya explicado, se ejecutó la secuencia: Stat>Basic Statistics>2 Variances, ver Figura 4.9.



**Figura 4.9. Secuencia de activación de la Prueba de Igualdad de Varianzas**

- Con la activación de la prueba, apareció una nueva ventana, donde se señaló la opción “Samples in different columns”, lo cual permitió seleccionar cada una de las variables colocadas en columnas diferentes, las cuales están indicadas como “First” y “Second”. Para ello se emplea la tecla “Select”, ver Figura 4.10.



**Figura 4.10. Selección de las variables para la Prueba de Igualdad de Varianzas**

- Al pulsar la tecla “OK”, el programa mostró la ventana de resultados, donde fue de interés el estadístico indicado como P-value (F-Test)

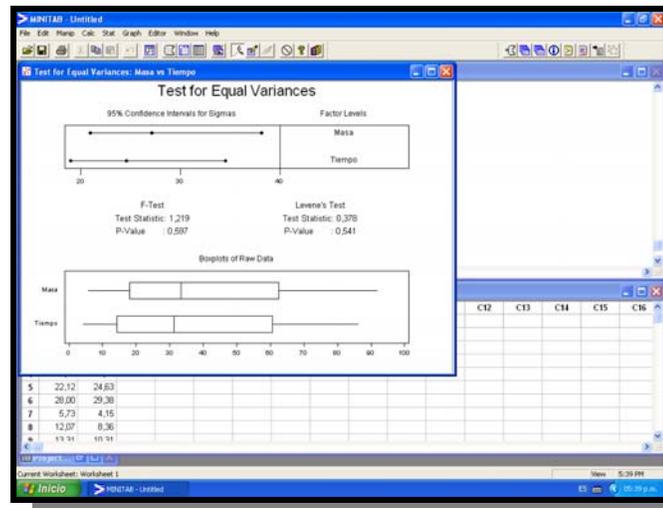


Figura 4.11. Pantalla de resultados de la Prueba de Igualdad de Varianzas

#### 4.3.5.3. Obtención de la recta de regresión

- Una vez introducidos los datos por columnas, se empleó la siguiente secuencia que permitió originar la regresión lineal:

Stat>Regression>Regression, ver Figura 4.12.

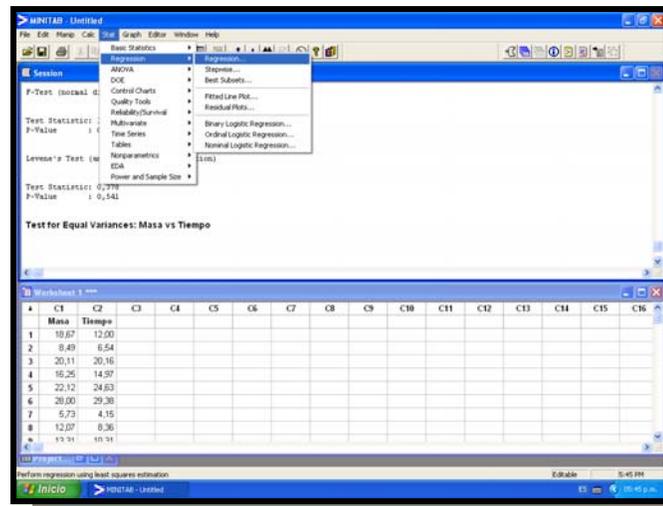
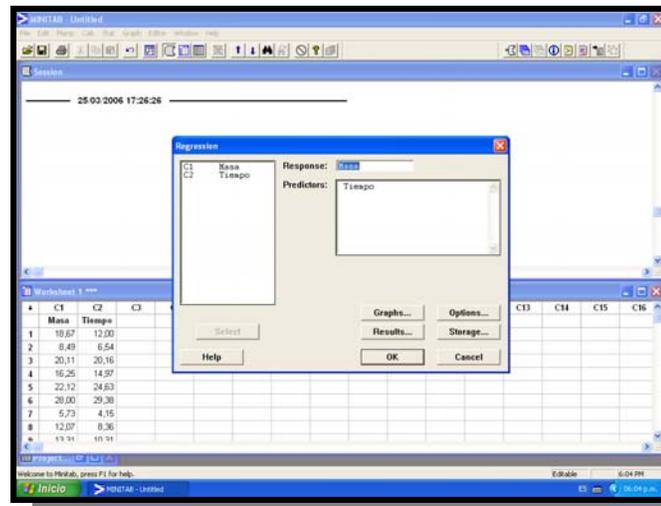


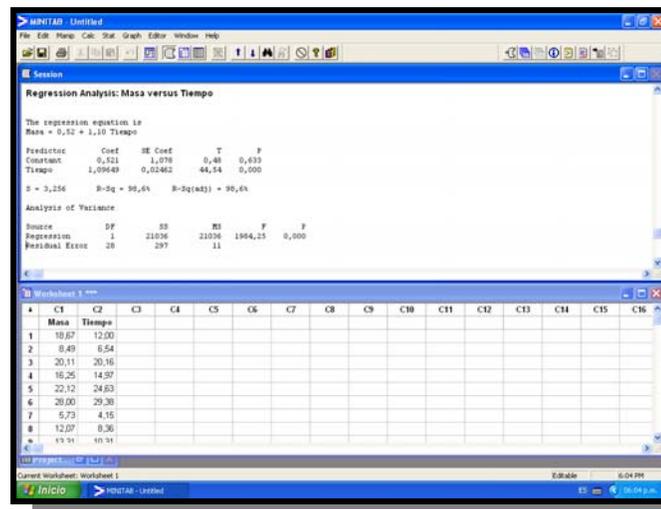
Figura 4.12. Secuencia para la creación de la correlación entre las variables

- Luego se seleccionó la variable independiente (Predictors) y la variable dependiente (Response), ver Figura 4.13.



**Figura 4.13. Selección de la variable dependiente e independiente**

- Así, se obtuvieron los parámetros de la recta de regresión y el Análisis de Varianza con los grados de libertad necesarios, ver Figura 4.14.



**Figura 4.14. Pantalla de resultados de la aplicación de la Regresión Lineal**

#### 4.3.7. Evaluación de la influencia del procedimiento de sanitizado y arranque de línea en las pérdidas de CO<sub>2</sub> inherentes al proceso de llenado

Durante la inspección realizada, se evidenció que para llevar a cabo la limpieza y el posterior arranque de una línea de producción, se hace necesaria la

utilización de una determinada cantidad de gas carbónico que se traduce en una pérdida que impacta directamente el valor del indicador de rendimiento de CO<sub>2</sub>. Debido al bajo rendimiento de gas carbónico durante el saneamiento y arranque de línea, se hizo necesario determinar el consumo de éste para el tanque carbonatador y en la taza de la llenadora. En este caso se estudió la línea 4 y se siguieron los Procedimientos D.4. y D.5. Los datos obtenidos se organizaron de acuerdo a:

**Tabla 4.6. Variables involucradas en la cuantificación del consumo de CO<sub>2</sub> necesario para generar presión en la taza de la llenadora ubicada en la línea 4 durante el procedimiento de sanitizado y arranque**

Fecha (dd/mm/aa)	Duración (t <sub>D</sub> ± 0,01) s	Lectura inicial (L <sub>O</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O	Lectura final (L <sub>F</sub> ± 0,3) "H <sub>2</sub> O

Velocidad de la llenadora: ( ± 1) bpm

Tipo de sanitizado:

#### **4.3.8. Establecimiento del modelo matemático para la determinación del indicador de rendimiento de gas carbónico**

Una vez determinada la proporción de pérdidas para el sistema analizado, dichos valores fueron utilizados para mejorar la ecuación que definía hasta el momento el valor del indicador de rendimiento de CO<sub>2</sub>. Este valor se vio influenciado por dos factores importantes: las pérdidas por sanitizado y arranque de línea, los cuales hasta el momento no se tomaban en cuenta. Es así como la expresión quedó definida de la siguiente manera:

##### **4.3.8.1. Sin tomar en cuenta sanitizado y arranque de las líneas**

Esta expresión se definió para utilizarla al final de cada día de producción en el cuales no se efectuara saneamiento y por ende arranque por línea. Las variables necesarias para el cálculo son las siguientes: tiempo de paradas,

producción total por día, consumo de CO<sub>2</sub> igualmente por día y volumen de jarabe desalojado. Éstas dependen de la línea a ser evaluada, en este caso solo aplica a la línea 3 ó 4 según sea el caso. La expresión es:

$$\%R = \frac{mCO_{2(\text{con})}}{mCO_{2(\text{a lim})} - mCO_{2(\text{mermas})}} \quad (\text{VIII}) \quad (\text{Propia, 2006})$$

Donde:

$mCO_{2(\text{mermas})}$ : masa de CO<sub>2</sub> perdida debido a mermas, (kg/día)

#### **4.3.8.2. Tomando en cuenta el sanitizado y arranque de las líneas**

Esta expresión a diferencia de la anterior solo se utilizará en el caso de que ocurra el saneamiento de línea. Las variables a utilizar son las mismas y su aplicación se restringe a las condiciones ya establecidas en el caso anterior. El término correspondiente a las mermas de CO<sub>2</sub> será explicado en detalle en el Capítulo V.

### **4.4. GENERAR ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA EL RENDIMIENTO DE CO<sub>2</sub>**

#### **4.4.1. Planteamiento de las alternativas de solución para cada una de las causas más influyentes en el bajo rendimiento de gas carbónico en el proceso**

La revisión de material bibliográfico relacionado con el tema permitió obtener una visión de cada una de las causas que posteriormente van a ser atacadas. Además, se desarrollaron entrevistas con personal especializado a fin de obtener un panorama de las distintas posibilidades de solución y así lograr definir la lista de opciones idóneas a ser planteadas para resolver el problema estudiado, estableciéndose las soluciones identificadas con anterioridad como

las más adecuadas, a lo cual le siguieron los estudios técnicos y económicos según convenga.

#### **4.4.2. Identificación y búsqueda de los factores técnicos y económicos de interés de cada una de las alternativas propuestas como posibles**

Se seleccionaron los aspectos técnicos más importantes de cada una de las alternativas planteadas, así como también se determinaron los factores económicos asociados a las mismas mediante la consulta al personal especializado; de esta manera se obtuvo la información necesaria para el análisis de las alternativas propuestas a fin de identificar las más factibles desde el punto de vista de su implementación.

#### **4.4.3. Análisis de los factores técnicos y económicos relacionados con las alternativas generadas**

Se procedió al análisis de cada uno de los factores asociados a las mismas con el objeto de determinar la incidencia de cada uno de éstos en la posibilidad de implementación de las mismas. Así, se lograron verificar los aspectos de mayores ventajas de cada una de dichas alternativas a fin de considerar posteriormente cuáles son las más accesibles dentro del proceso productivo desde el punto de vista económico y técnico para su futura implementación.

#### **4.4.4. Selección de la(s) alternativa(s) más apropiada(s) para cada una de las causas reales identificadas previamente**

Para cada una de las causas más influyentes donde se generó más de una alternativa de solución, se procedió a la aplicación de una matriz de selección (ver Tabla 4.7.) con la finalidad de comparar las alternativas propuestas y seleccionar así la más apropiada para su posterior implementación. En dicha matriz de selección se establecieron los criterios evaluados a los cuales se les

asignó una ponderación de acuerdo al nivel de importancia que los mismos presenten.

El establecimiento de los parámetros de comparación se realizó mediante entrevistas al personal de la planta, determinando así el nivel de influencia de cada uno de éstos de acuerdo a los beneficios que los mismos pudieron o no generar en el marco de la solución de los problemas analizados. Luego se ponderó de acuerdo al grado de importancia y se estableció el puntaje de acuerdo a las escalas establecidas.

**Tabla 4.7. Estructura general de una matriz de selección**

Criterios a evaluar	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor
<b>Valor General</b>		---		---	

#### **4.5. EVALUAR LA RENTABILIDAD DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA SELECCIONADA DE MAYOR INFLUENCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO**

##### **4.5.1. Determinación de los índices de rentabilidad**

Se planteó la estimación de tres índices que expresaran la operación del proyecto desde el punto de vista económico: valor actual, equivalente anual y tasa interna de retorno; los cuales fueron evaluados tomando en cuenta dos alternativas, la primera fue la situación actual y la segunda la alternativa de

mejora seleccionada de mayor influencia desde el punto de vista económico. Con los resultados obtenidos en el objetivo anterior, expresados en el Capítulo IV, la alternativa de reducción de costos planteada fue la utilización de nitrógeno para la presurización de la taza en las máquinas llenadoras. Finalmente, la rentabilidad del proyecto en cuestión se basó en el flujo extra generado entre los costos operacionales de ambas alternativas.

#### **4.5.1.1. Determinación de los costos relacionados con la inversión inicial, vinculados a la implementación de la alternativa seleccionada**

La investigación contempló, entre sus propuestas, la adecuación de las líneas de llenado con nitrógeno. Así, se realizó el levantamiento del sistema de red de tuberías necesario para la adecuación de las líneas 3 y 4 con la finalidad de hacer la orden de compra para los materiales involucrados, así como también de su servicio de instalación. Dicha orden implicó la solicitud de varias cotizaciones por parte de diversas compañías ligadas con el ramo; éstas fueron analizadas con el fin de escoger la opción que generara menor costo en materiales e instalación y mayor calidad de servicio.

Una vez seleccionada la opción por el departamento encargado, se tomó un porcentaje correspondiente al 30% del precio de compra de los materiales y un 5% correspondiente a otros gastos que se pudieran generar durante la instalación. La suma de estas cantidades correspondió al capital fijo asociado al proyecto, al no involucrar costos asociados al capital de trabajo para el desarrollo del proyecto, la inversión inicial vino representada por los costos relacionados con capital fijo.

#### **4.5.1.2. Estimación del tiempo de estudio para el proyecto de inversión**

Para conocer la rentabilidad para la inversión de capital se hizo necesario el establecimiento del periodo de estudio del proyecto, el cual depende de una

serie de factores. En este caso particular las necesidades del servicio para la generación de ganancias a largo plazo fue el factor determinante para el establecimiento del tiempo de estudio. Así, la escala de tiempo se fijó por año y el período se tomó de 5 años para el análisis de las alternativas planteadas.

#### 4.5.1.3. Cuantificación de los flujos monetarios por año para cada alternativa

Para la alternativa A, el flujo monetario vino dado por el consumo de gas carbónico en la taza de la llenadora por año para las líneas 3 y 4. Como en la empresa no se contaba con registros de consumo de ningún tipo para tales máquinas y mucho menos por línea, se aplicó el Procedimiento D.3., donde el promedio de los valores obtenidos durante los días en los cuales se recogieron los datos representó el consumo de gas carbónico por día para cada línea de producción. Además, en dicho costo se consideraron los valores obtenidos en el Objetivo 3 referentes al consumo de CO<sub>2</sub> durante el sanitizado y arranque de línea, obteniéndose la cantidad consumida durante el tiempo en el cual se realiza la limpieza de cada línea de producción.

Para estimar el consumo por año, se recopiló información con el Departamento de Producción de la planta, el cual suministró la información correspondiente la cantidad de días de producción planificados por mes. Esta información en conjunto con el consumo diario y el costo de gas carbónico proporcionado por la empresa proveedora, determinó los costos anuales generados. La expresión que define lo dicho anteriormente es la siguiente:

$$C_{opA} = \left[ (mCO_{2(a\ lim)_1} + mCO_{2(a\ lim)_2})N + (mCO_{2(a\ lim)_3} + mCO_{2(a\ lim)_4})N \right] C \quad (IX) \quad (Propia, 2006)$$

Donde:

C<sub>opA</sub> : costos operacionales de la alternativa A, (Bs./año)

$mCO_{2(a\ lim)_1}$  : masa de gas alimentada a la taza de la línea 3, (kg/día)

$mCO_{2(a\ lim)_2}$  : masa de gas alimentada a la taza de la línea 4, (kg/día)

$mCO_{2(a\ lim)_3}$  : masa de gas alimentada a la línea 3 durante sanitizado, (kg/día)

$mCO_{2(a\ lim)_4}$  : masa de gas alimentada a la línea 4 durante sanitizado, (kg/día)

N: días de producción al año sin sanitizado de líneas, (días/año)

N': días de sanitizado de líneas al año, (días/año)

C: costos de gas como materia prima, (Bs./kg)

Para la alternativa B, se siguió un tratamiento similar, en este caso el consumo correspondió al nitrógeno, estudiándose la línea 5 (destinada a la elaboración de bebidas gaseosas). Aunque, adicionalmente se determinó el consumo en la línea 6 (elaboración de agua mineral), la cual hasta los momentos era la única línea que utilizaba dicho gas para los fines ya mencionados; se pudo conocer el incremento que se produciría al aumentar el consumo de nitrógeno en la planta.

A partir de estudios preliminares en la línea 5, se estimó que la diferencia entre los volúmenes utilizados para generar presión en ambos tipos de llenadoras (KHS: línea 5 y ALSIM: líneas 3 y 4) es poco significativa, a pesar de que las condiciones de operación, el proceso de llenado y el producto elaborado son diferentes. Por lo anterior, se asumió que el consumo de nitrógeno en esta línea representaba una estimación lo suficientemente cercana al valor que se debería de presentar si las líneas 3 y 4 estuvieran adecuada para tal fin.

La masa de nitrógeno consumida se calculó mediante la ecuación:

$$mN_{2(a\ lim)} = mN_{2(inicial)} - mN_{2(finial)} \quad (X) \quad (AJEVEN, C.A., 2005)$$

Donde:

$mN_{2(a\ lim)}$  : masa de  $N_2$  alimentada, (kg/día)

$mN_{2(\text{inicial})}$  : masa de  $N_2$  con la lectura inicial en el tanque, (kg/día)

$mN_{2(\text{final})}$  : masa de  $N_2$  con la lectura final en el tanque, (kg/día)

Los datos necesarios fueron organizados en un formato similar al mostrado en la Tabla 4.8.:

**Tabla 4.8. Variables involucradas en la cuantificación del consumo de  $N_2$  necesario para generar presión en la taza de la llenadora ubicada en la línea \_\_\_\_**

Fecha (dd/mm/aa)	Lectura inicial en el manómetro diferencial ( $P_o \pm 0,3$ ) "H <sub>2</sub> O	Lectura final en el manómetro diferencial ( $P_f \pm 0,3$ ) "H <sub>2</sub> O	Presión en la taza de la llenadora ( $P_T \pm 0,5$ ) psig	Tiempo de paradas ( $t_p \pm 0,01$ ) s

Velocidad de la llenadora: (       $\pm 1$ ) bpm

De igual forma, se tomó en cuenta la cantidad de gas utilizada durante el saneamiento y arranque de línea, en este caso se verificó solo el incremento suscitado los días en los cuales este fue planificado. Así, se siguió el Procedimiento D.7., usándose finalmente la expresión:

$$C_{opB} = (mCO_{2(a\text{lim})_1} + mCO_{2(a\text{lim})_2})N_t.C \quad \text{(XI) (Propia, 2006)}$$

Donde:

$C_{opB}$  : costos operacionales de la alternativa B, (Bs./año)

$N_t$ : días de producción al año incluyendo sanitizado de líneas, (días/año)

#### 4.5.1.4. Determinación de los flujos monetarios extras generados entre ambas alternativas

Una vez determinados los costos operacionales anuales para cada alternativa, el flujo monetario extra viene dado por la siguiente expresión:

$$C_{op_{B-A}} = C_{op_B} - C_{op_A} \quad \text{(XII) (Giugni y otras, 1989)}$$

Donde:

$C_{op_{B-A}}$  : costos operacionales por año, (Bs./año)

#### 4.5.1.5. Cálculo de los índices de rentabilidad: VA, EA, TIR para el flujo extra

Tomando una tasa mínima de rendimiento igual al 13% recomendada por la empresa, en conjunto con el flujo monetario extra anual determinado previamente en pasos anteriores y las Tablas Financieras presentes en el Apéndice B, los índices de rentabilidad se calcularon mediante las siguientes expresiones:

$$VA(i) = F(0) + F \left( \frac{P}{R_{i,t}} \right) \quad \text{(XIII) (Giugni y otras, 1989)}$$

Donde:

VA(i): valor actual, (Bs.)

F(0): flujo monetario para el año cero o inversión inicial, (Bs.)

F: flujo monetario uniforme, (Bs.)

$\frac{P}{R_{i,t}}$  : factor de actualización de la serie uniforme, (adim)

$$EA(i) = F(0) \left[ \frac{R}{P_{i,n}} \right] + F \left[ \frac{R}{S_{i,n}} \right] \quad \text{(XIV) (Giugni y otras, 1989)}$$

Donde:

EA(i): equivalente anual, (Bs.)

$\frac{R}{P_{i,n}}$  : factor de recuperación de capital, (adim)

$\frac{R}{S_{i,n}}$  : factor del fondo de amortización, (adim)

Para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), se empleó el procedimiento de tanteo descrito a continuación, el cual requirió del empleo de las Tablas B.4.1., B.4.2. y B.4.3.:

- Se calculó el equivalente anual para  $i = 0\%$ , que representa el beneficio neto anual para esta tasa de interés
- Luego, se determinó la tasa interna de retorno aproximada mediante la ecuación:

$$TIR^* = \frac{EA(0)}{F(0)} \quad (XV) \quad (\text{Giugni y otras, 1989})$$

Donde:

TIR\*: tasa interna de retorno aproximada, (adim)

EA(0): equivalente anual al 0% de interés, (Bs.)

- Con los valores calculados anteriormente, se dio inicio al procedimiento de tanteo tomando en cuenta la siguiente regla que se presenta a continuación, si:

$$II > VR \quad \text{entonces} \quad TIR > TIR^*$$

$$II < VR \quad \quad \quad TIR < TIR^*$$

$$II = VR \quad \quad \quad TIR = TIR^*$$

Donde:

VR: valor residual, (Bs.)

II: inversión inicial (Bs.)

- Finalmente, se hacen las iteraciones necesarias para obtener el resultado buscado

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

*En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados en esta investigación, acompañados de un análisis detallado, con lo cual se logra la explicación precisa de éstos a través de los planteamientos teóricos más apropiados*

#### **5.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE SUMINISTRO Y CONSUMO DE CO<sub>2</sub> EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS GASEOSAS**

Un ejemplo de los bajos rendimientos de gas carbónico se evidencia durante la producción del mes de mayo, previo al inicio de esta investigación, donde se observó una media que se ubicaba alrededor del 40%, la cual se considera como un valor bajo en cuanto al aprovechamiento del gas carbónico. En la Tabla A.1.1. (ver Apéndice A) se muestran los valores de masa de CO<sub>2</sub> consumida y la producción neta en litros convertida a dióxido de carbono, suministrados por la empresa a fin de lograr conocer el nivel del rendimiento para dicho mes.

Es de hacer notar, que para la determinación de la masa de gas carbónico en la producción, se empleó el volumen de carbonatación promedio del mes en estudio. Para meses posteriores a mayo, dicha información fue aportada por un trabajo realizado en paralelo con éste en la misma empresa, puesto que el manejo de los datos necesarios formaba parte de la investigación desarrollada por éste y cuyos resultados finalmente serían empleados a futuro por la empresa. No obstante, para el mes de mayo la empresa aportó a los autores de la presente investigación la información solicitada en cuanto a la producción ya convertida a litros, para lo cual se les sugirió dar dichos valores empleando la

media del mencionado volumen en el mes en cuestión, la cual resultó ser  $(4,3 \pm 0,1)$  v/v.

Los mencionados resultados son reflejados en la Tabla 5.1., obteniéndose un valor medio de  $(43 \pm 9)\%$  durante el mes de mayo. Para dicho cálculo, no se tomaron en cuenta los rendimientos para los días 2, 16 y 26 del mayo ya que los mismos se alejaban de la tendencia reflejada para el resto del mes. Los valores bajos se deben a que en dichos días se realizó el saneamiento de las líneas, razón por la cual el CO<sub>2</sub> empleado se cuantificó para la determinación del rendimiento sin que éste se vea reflejado en la producción final, mientras que el valor máximo observado se debió a que en dicho día de producción no se suscitaron paradas de línea tan repetitivas ni se desarrolló limpieza en las mismas, lo cual no dio lugar a pérdidas considerables.

**Tabla 5.1. Variación del rendimiento de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción de bebidas gaseosas durante el mes de mayo**

Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)	Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)
02/05/2005	1	70,8	16/05/2005	13	27,4
03/05/2005	2	42,7	17/05/2005	14	43,4
04/05/2005	3	45,0	18/05/2005	15	46,5
05/05/2005	4	34,0	19/05/2005	16	43,5
06/05/2005	5	56,4	23/05/2005	17	33,9
07/05/2005	6	56,4	24/05/2005	18	42,0
09/05/2005	7	30,3	25/05/2005	19	37,3
10/05/2005	8	38,4	26/05/2005	20	27,2
11/05/2005	9	30,2	27/05/2005	21	45,6
12/05/2005	10	32,8	28/05/2005	22	33,7
13/05/2005	11	54,2	30/05/2005	23	44,1
14/05/2005	12	54,2	31/05/2005	24	54,6

No obstante, debido a la importancia de conocer un estimado de los valores de los rendimientos de dióxido de carbono para las líneas 3 y 4, se pudo recolectar

la información para cada línea durante 15 días productivos del mes de mayo permitidos por la empresa. Así, se corroboró que el comportamiento de las mismas se asemeja al determinado para todas las líneas en conjunto durante el mismo mes. Lo anterior, se puede evidenciar claramente mediante el promedio de los valores del rendimiento de CO<sub>2</sub> para las líneas en estudio mostrados en las tablas a continuación:

**Tabla 5.2. Variación del rendimiento de CO<sub>2</sub> en la línea 3 de producción en los primeros 15 días del mes de mayo**

Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)	Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)
01/05/2005	1	39,9	19/05/2005	8	45,1
02/05/2005	2	29,3	20/05/2005	9	32,2
07/05/2005	3	41,5	24/05/2005	10	35,1
09/05/2005	4	55,9	25/05/2005	11	43,1
13/05/2005	5	59,2	28/05/2005	12	46,1
14/05/2005	6	48,5	31/05/2005	13	31,2
16/05/2005	7	52,0			

**Tabla 5.3. Variación del rendimiento de CO<sub>2</sub> en la línea 4 de producción en los últimos 15 días del mes de mayo**

Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)	Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)
03/05/2005	1	41,7	18/05/2005	8	43,1
06/05/2005	2	31,2	21/05/2005	9	56,1
08/05/2005	3	36,9	23/05/2005	10	30,0
10/05/2005	4	53,9	26/05/2005	11	26,8
11/05/2005	5	44,1	27/05/2005	12	40,4
15/05/2005	6	38,8	30/05/2005	13	46,4
17/05/2005	7	34,8			

Con los resultados anteriores se obtuvieron los valores de  $(43 \pm 9)\%$  y  $(40 \pm 9)\%$  como medias para los rendimientos en las líneas 3 y 4 respectivamente en los

días indicados, los cuales reflejan la panorámica inicial manejada en la empresa en cuanto a los niveles de este indicador, razón por la cual se hizo necesaria la búsqueda de mejoras en el mismo.

En lo que al diagnóstico del problema se refiere, debido a las necesidades de **AJEVEN, C.A.** se tomaron en cuenta todas las posibles causas que generan el problema en cuestión sin restringir dicho análisis a las líneas 3 y 4. Todo esto le permite a la empresa contar con un panorama bastante acertado de la realidad que rodea a la problemática del bajo rendimiento de gas carbónico, lo cual en el futuro les será indispensable al momento de resolver paulatinamente dicha situación en el resto de la planta.

Por otro lado, como las causas propuestas como “posibles” durante la aplicación de la técnica **Tormenta de Ideas**, se hicieron reiteradas en cada una de las líneas, especialmente aquellas causas enmarcadas en las categorías de maquinaria, método operacional y medición; por lo cual el diagnóstico general de la situación de todas las líneas de producción, incluidas las objeto de estudio de esta investigación, se ajusta a los requerimientos del presente análisis. Cabe resaltar que la aplicación de la mencionada técnica se debió a las ventajas que la misma presenta, puesto que permite obtener un gran número de ideas referidas a la situación estudiada, empleando un grupo de personas relativamente pequeño a través del desarrollo de sesiones cortas.

Tal como recomienda la bibliografía especializada, la aplicación de esta técnica se desarrolló con un grupo no superior a 20 personas a fin de que el líder fácilmente pudiera regular el desarrollo de la sesión bajo las reglas impuestas y sin ningún contratiempo. Es de hacer notar, que debido a restricciones propias de las actividades desarrolladas por la empresa y su personal, la reunión del grupo necesario fue sumamente difícil, por lo cual la aplicación de la técnica para el diagnóstico inicial de la situación se redujo a una sola sesión; así que se optó posteriormente por la consulta individual de otros investigadores y

conocedores del proceso, para la complementación de la información; a fin de considerar otros enfoques válidos de la problemática y que serían de importancia al momento de obtener el diagnóstico definitivo.

Con los resultados obtenidos, se procedió a la clasificación de las causas por grupos, elaborándose así el diagrama Causa-Efecto preliminar mostrado en la Figura 5.1. En éste se indican todas las posibles causas de los bajos niveles del indicador de gestión de CO<sub>2</sub> resultantes de la **Tormenta de Ideas**.

Los factores mostrados en la mencionada figura son los que definen de alguna manera la situación actual en cuanto al rendimiento de CO<sub>2</sub>. De éstos, los más importantes son atacados durante el desarrollo de este proyecto de investigación tratándolos por medio de los objetivos planteados en este estudio.

Con el objeto de medir el nivel de influencia de cada una de las causas propuestas se diseñaron encuestas donde se utilizó un escalamiento tipo Likert, el cual permitió medir el grado de actitud de los respondientes ante una determinada variable y así determinar las causas que influyen de forma importante en el proceso productivo (ver Tabla 4.1.).

Al hacer uso de la mencionada escala, las afirmaciones del instrumento diseñado se consideran **cerradas** puesto que los encuestados debieron elegir una y solo una de las opciones de respuestas proporcionadas para cada uno de los ítems. Estas afirmaciones califican a cada una de las causas de acuerdo a la opinión de los respondientes, lo cual permite jerarquizar las mismas de acuerdo a su influencia en el problema planteado.

Luego de la consulta con personal especializado se procedió a la estructuración de las encuestas según lo explicado anteriormente. Ahora bien, la validez de contenido fue aprobada por un asesor en la materia, obteniéndose así un

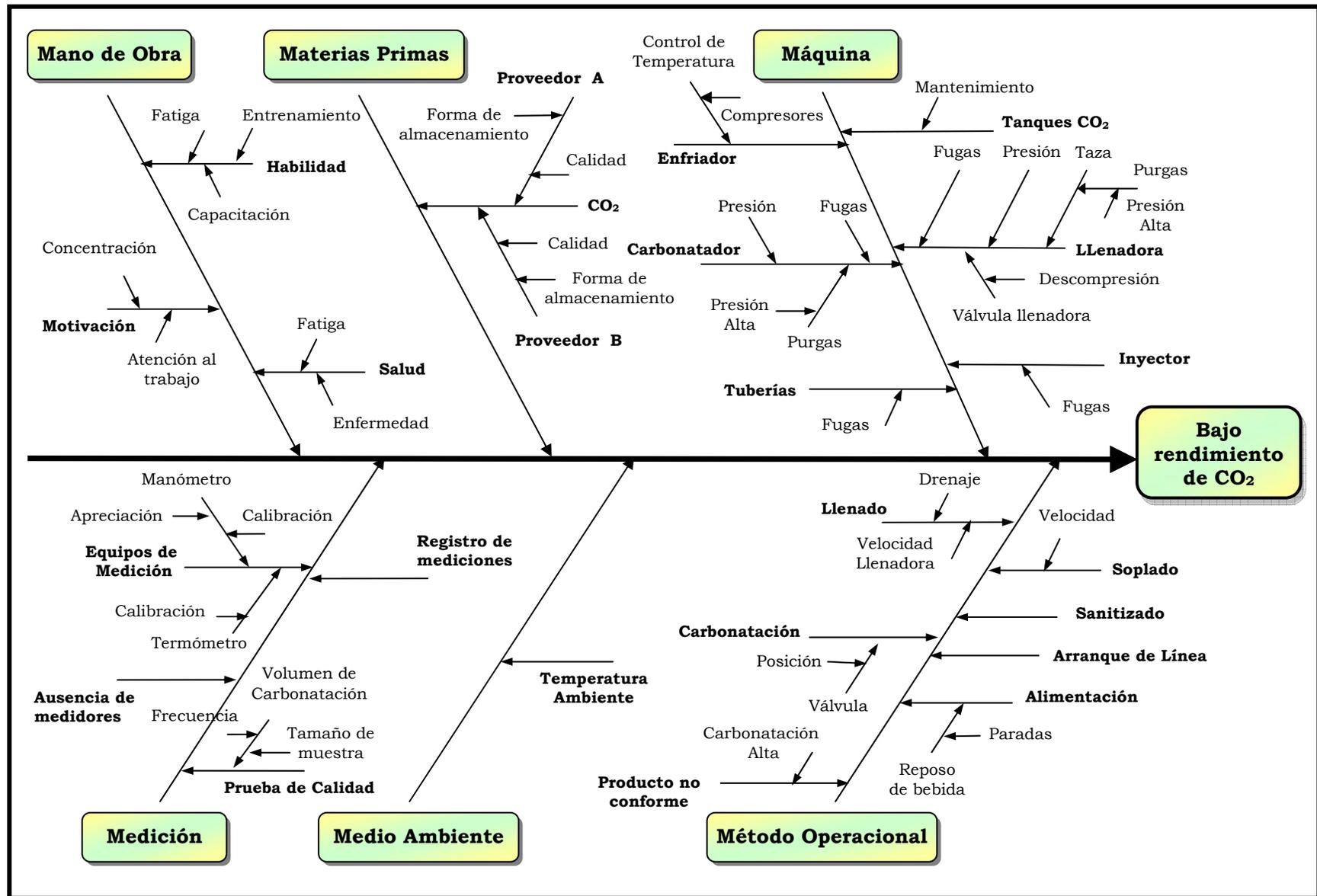


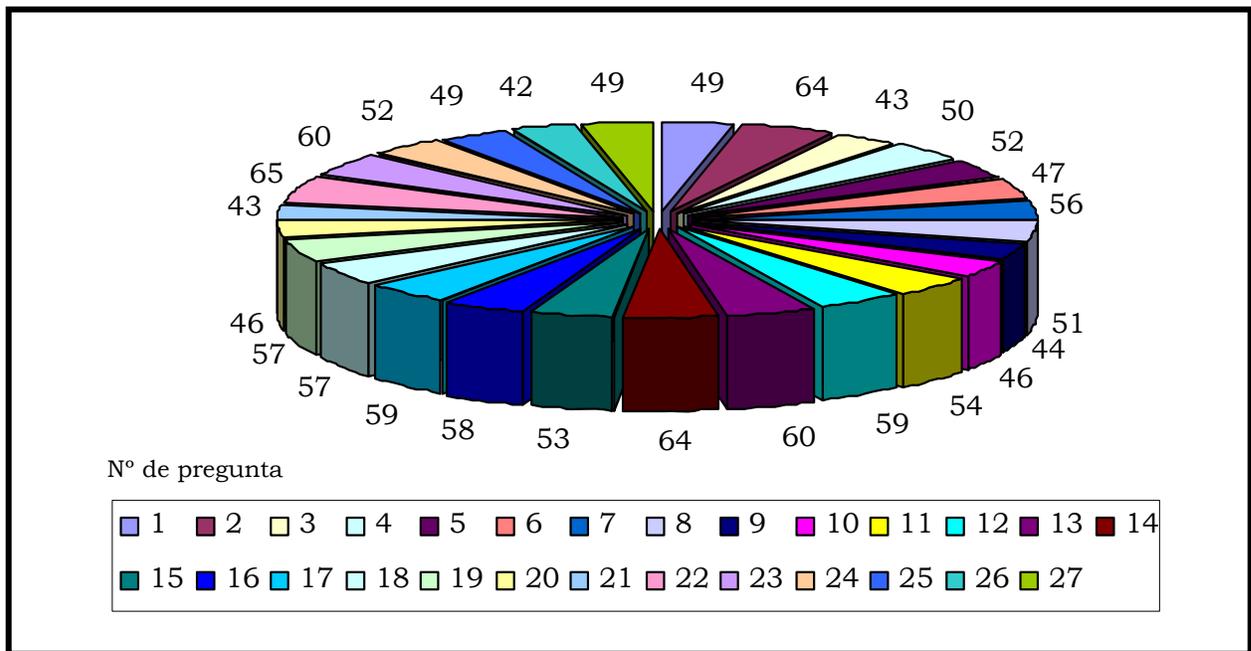
Figura 5.1. Diagrama de Causa-Efecto preliminar del bajo rendimiento de CO<sub>2</sub> en AJEVEN, C.A.

instrumento adecuado para el objetivo planteado, lo cual se complementó mediante la utilización del denominado **Test-retest**. Su aplicación se debió a la sencillez y facilidad de desarrollo del mismo; considerándose una semana como tiempo apropiado para la aplicación de las encuestas pilotos en el período seleccionado, siendo esto adecuado para evitar que las personas pudieran recordar con exactitud cómo respondieron en la primera aplicación del instrumento y de esta manera se pudieran medir las opiniones reales de los encuestados.

Del universo de 30 personas se tomaron 18 encuestados, constituyéndose así una muestra estratificada puesto que de éstos, 6 respondientes laboran en el Departamento de Producción, considerada como la dependencia de mayor responsabilidad en el proceso de suministro y consumo de gas carbónico y en el proceso de elaboración de bebidas gaseosas en general; mientras que el resto provino de otros departamentos. Para obtener el tamaño de la muestra asignada se empleó la ecuación (I) correspondiente a poblaciones finitas (menor de 100.000 elementos), tomándose un error máximo del 15% y un nivel de confianza del 95%, los cuales son valores aceptables, de acuerdo a los investigadores consultados, para el tipo de estudio desarrollado sin que se vean afectados notablemente los resultados obtenidos. Según Chourio (1987), “cuando no es posible estimar la característica mediante un ensayo piloto (p en %), se adopta la suposición de que dicho porcentaje es igual a 50%)”.

La aplicación de estas encuestas pilotos se hizo de forma aleatoria a una pequeña parte de la población disponible, tal como lo indica la metodología de referencia, tomando en cuenta la importancia de cada respondiente dentro del proceso productivo. Una vez asignadas las ponderaciones respectivas a cada una de las categorías seleccionadas; y procesados los datos de acuerdo a lo estipulado por el escalamiento tipo Likert, se obtuvieron las puntuaciones para las afirmaciones propuestas en el cuestionario diseñado (ver Apéndice D).

De acuerdo al escalamiento empleado, el mínimo valor que puede obtener uno de los ítems es 18 puntos (suponiendo que todos los encuestados seleccionaran la opción D), mientras que el valor máximo posible es de 72 puntos (si todos los respondientes escogen la opción A para la afirmación). Por lo tanto, el origen de la escala se ubica en 45 puntos (punto medio), razón por la cual se consideraron como las causas más influyentes aquéllas cuya puntuación superó este valor, por encontrarse el mismo lo más cercano posible a la ponderación máxima. Así es como, los puntos obtenidos para cada opción se muestran en la Figura 5.2.:



**Figura 5.2. Puntuaciones obtenidas en cada una de las preguntas realizadas en la aplicación del cuestionario diseñado**

De esta manera, se consideraron como las causas más influyentes en el problema, aquellas cuyas puntuaciones se encontraron por encima del origen de la escala y que a su vez contaran con valores próximos al máximo de la misma. Es importante señalar que el funcionamiento de la escala no es estricto, y en este caso en particular, sirve solo como una guía en el objetivo de clasificar dichas causas. Así, se obtiene la siguiente lista en orden descendente de importancia:

- Utilización de CO<sub>2</sub> durante el sanitizado y arranque de las líneas
- Entrenamiento y capacitación de los operarios en el área de trabajo
- Fugas de CO<sub>2</sub> en tuberías, uniones y equipos en las líneas de suministro y consumo de gas carbónico
- Pérdida de bebidas gaseosas debido al tiempo de paradas
- Purgas de CO<sub>2</sub> debido al aumento de presión en el tanque carbonatador
- Purgas de CO<sub>2</sub> debido al aumento de presión en las máquinas llenadoras
- Pérdidas de CO<sub>2</sub> debido al empleo de este agente para generar presión en el tanque carbonatador
- Pérdidas de CO<sub>2</sub> debido al empleo de este agente para generar presión en las máquinas llenadoras
- Pérdidas de CO<sub>2</sub> por descompresión de las botellas en las máquinas llenadoras
- Ausencia de controles de temperaturas en el enfriamiento de las bebidas
- Calibración de los instrumentos de medición empleados (presión y temperatura)
- Falta de medidores de flujo a lo largo del sistema

En este caso en particular, la utilización de un diagrama de Pareto no fue factible, puesto que al momento de considerar las frecuencias relativas necesarias para su análisis, no se obtuvieron diferencias significativas entre éstas con lo cual no se podía discernir con claridad los problemas prioritarios mediante la utilización de la regla del 80-20%.

Por lo tanto, del análisis de los resultados de la aplicación del escalamiento ya explicado, se obtuvo que tanto las pérdidas de gas carbónico atribuidas a fugas físicas como el uso de CO<sub>2</sub> en diferentes etapas del proceso requieren de inmediata solución. Durante el saneamiento de las líneas de llenado para bebidas gaseosas se produce un gasto de gas carbónico al ser utilizado éste para generar las presiones necesarias en el carbonatador y taza de las

máquinas llenadoras presentes en las mismas con el objeto de hacer fluir el líquido y a su vez producir el efecto esperado en las distintas operaciones realizadas en el mencionado procedimiento.

El empleo de CO<sub>2</sub> en las máquinas llenadoras y en los carbonatadores con la finalidad de establecer las presiones necesarias en dichos equipos implica la pérdida de cantidades importantes de gas carbónico debido a la imposibilidad de reutilización del mismo, teniéndose así un consumo de dicha materia prima que no se verá reflejado en el producto final ocasionando bajas en los rendimientos respectivos. Esto último, también se ve afectado por las purgas ocurridas en algunas de las maquinarias involucradas ante los aumentos de presión en las mismas durante el proceso.

Por otro lado, los tiempos de paradas que se hacen frecuentes durante la elaboración de las bebidas se deben básicamente al desbalanceo existente en las líneas, puesto que dichas paradas se originan, en parte, por la falta de botellas procedentes de la máquina sopladora, la falta de tapas durante la etapa de llenado y el congestionamiento durante el empaquetado por problemas en la termoencogible. Esto ocurre a la vez que se sigue alimentando gas carbónico al sistema provocando los efectos que se traducen en las purgas explicadas con anterioridad.

Tal como se observa en la Figura 5.3., durante la depuración del diagrama Causa-Efecto preliminar, las categorías correspondientes a medio ambiente y materia prima fueron eliminadas del diagrama, lo cual se debe a la baja puntuación de las causas relacionadas con dichas secciones una vez aplicadas las encuestas. Así se evidencia que los mayores problemas se concentran en máquina y método operacional, ya que son éstas las categorías que acumulan una mayor cantidad de puntos, representando así las causas que deben atacarse con la finalidad de elevar lo más posible el indicador de gestión de CO<sub>2</sub>.

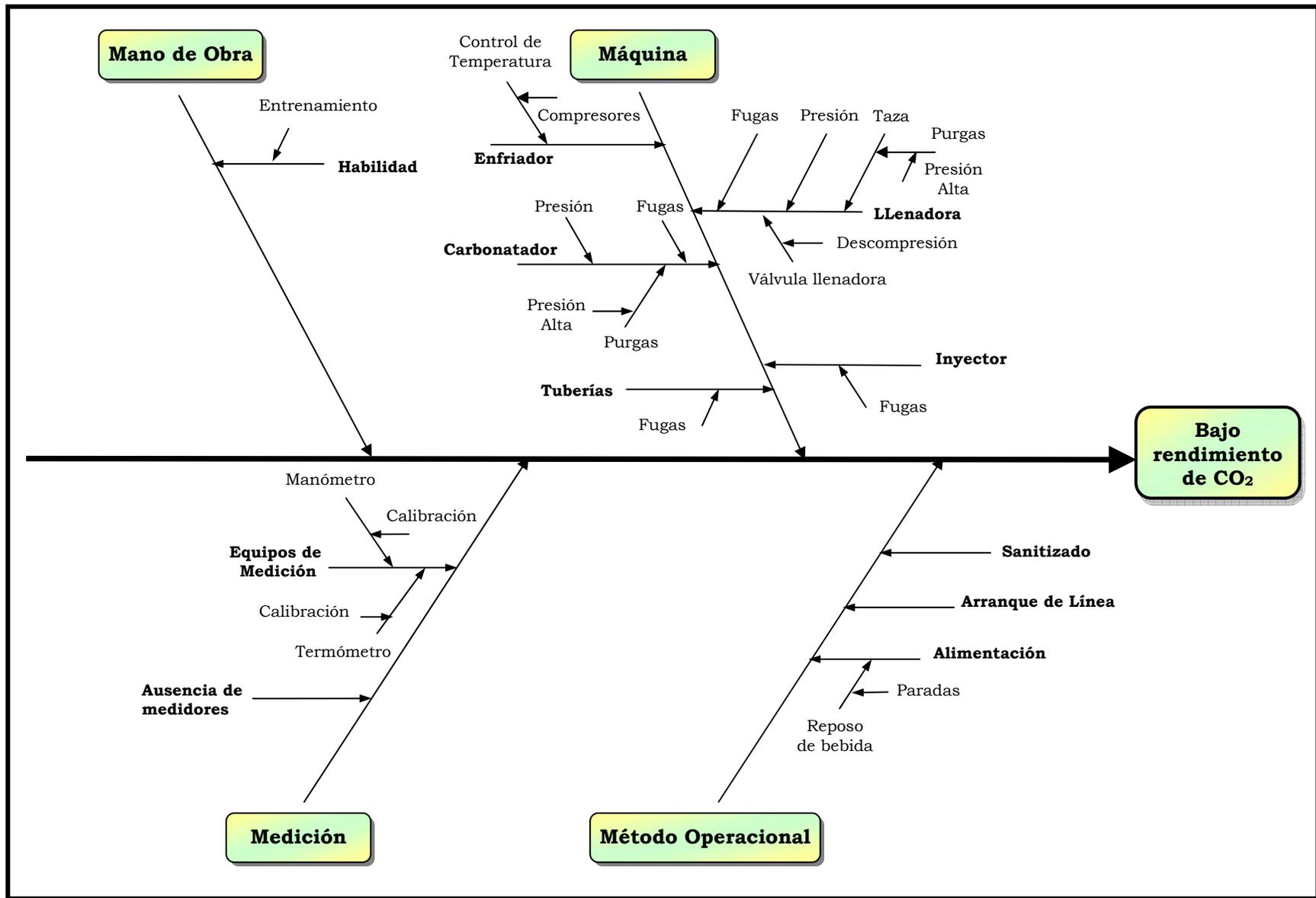


Figura 5.3. Diagrama de Causa-Efecto depurado del bajo rendimiento de CO<sub>2</sub> en AJEVEN, C.A.

Está claro, que debido a razones técnicas y económicas explicadas en su momento, hay problemas que no pueden resolverse a corto plazo y que salen de lo delimitado en esta investigación puesto que la implementación de las alternativas más viable depende de la disponibilidad de la empresa para solventar dicha situación.

No obstante, la problemática que debe resolverse queda bien definida mediante la metodología empleada, aunque es importante no perder de vista las causas menores a que a pesar de no influir en una medida importante, con el transcurrir del tiempo pudieran convertirse en focos perturbadores en el proceso de suministro y consumo de gas carbónico; por lo que lo más importante ante esta situación es procurar dar solución, en la medida de lo posible, a cada una de las causas propuestas en este trabajo considerando por supuesto el nivel de influencia de cada una de éstas.

## **5.2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE GAS CARBÓNICO ASOCIADO A LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4**

La evaluación del sistema de tuberías de gas carbónico correspondiente al suministro de dicha materia prima hasta su posterior consumo en las líneas de producción 3 y 4, se basó específicamente en la estimación de las pérdidas por fricción debido al transporte del fluido a través de dicho sistema, con el objeto de verificar la existencia de alguna limitación para obtener las condiciones de presión necesarias en el proceso. Así, el estudio se limitó a las líneas 3 y 4 así como al sistema de distribución de las líneas principales, puesto que el resto de la red de tuberías forman parte del diseño ya establecido por **BOC GASES, C.A.** para instalaciones de este tipo.

Al momento de iniciar el desarrollo del presente objetivo, fue necesario elaborar un esquema del trazado del sistema de tuberías en estudio, debido a que la empresa no contaba con el mismo, en el cual se pudieran observar las

longitudes de dichas tuberías, así como los diámetros y accesorios de las mismas. Debido a lo anteriormente expuesto, se requirió de los autores la medición y recopilación de dicha información, la cual se organizó en el diagrama correspondiente (ver Anexos).

Las condiciones observadas según indica la Tabla A.3.1., se repitieron en varios días de análisis y fueron consultadas adicionalmente con el personal especializado de la empresa a fin de verificar su variabilidad. Es importante señalar que el ajuste de las presiones necesarias forma parte de las actividades habituales del personal de planta encargado, por lo que al momento de no observarse el valor necesario, se realiza la manipulación de las válvulas necesaria para solventar dicha situación. Esto trajo como consecuencia, que al momento de realizar el registro correspondiente, se repitiera el mismo con la frecuencia tabulada.

No obstante, en otros días de observación, algunas de las condiciones mostradas en la Tabla A.3.1. registraron una pequeña variación, lo cual se evidencia en la Tabla A.3.2.; esto se pudo deber a las necesidades de producción y de funcionamiento del sistema. Más allá de los cambios indicados en las tablas correspondientes, no se registraron otras modificaciones considerables por lo que a partir de los datos recopilados se pudo obtener un panorama bastante certero acerca del comportamiento del sistema.

En el caso del tanque carbonatador, el flujo de  $\text{CO}_2$  depende básicamente de la cantidad de purgas en el mismo debido al tiempo de paradas, ya que cuando se exceden las presiones en el mismo, la válvula automática correspondiente libera el gas necesario para establecer el nivel de presión adecuado; aunque si por el contrario la presión disminuye del valor necesario, el  $\text{CO}_2$  debe ser repuesto para reestablecer el nivel. Estas actividades definen el flujo volumétrico de gas que es manejado por la tubería que llega al carbonatador. Para la estimación de dicho flujo se empleó la condición más desfavorable

observada (10 horas de paradas en un día de producción) y con ello se determinó dicho flujo a través del procedimiento sugerido en el Objetivo 3.

Por otro lado, el consumo total del sistema y los consumos individuales por líneas se determinaron a partir del mayor consumo observado en meses anteriores, siempre haciendo aproximaciones por exceso que permitieran sobreestimar los valores buscados y con ello garantizar cierto sobrediseño en el sistema. Ya que las tablas empleadas para la estimación deseada están destinadas al fluido aire, se realizó la conversión del gas de trabajo al gas establecido en éstas mediante la ecuación (V). Si adicionalmente la tubería se encuentra presurizada por encima de 100 psig (según la tabla empleada), debe realizarse el ajuste de acuerdo a la ecuación (VI). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4. Pérdidas por fricción convertidas a aire correspondientes a la línea 3 de producción**

Tubería	Longitud equivalente por accesorios (pie)*	Longitud total (pie)	Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig/ 100 pie)	Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig)
Punto F- Carbonatador	12,42	28,86	2,21	0,640
Punto F- Inyector	3,75 17,92	5,06 27,83	1,00 5,49	0,050 1,530
Regulador 1- Punto F	5,00	8,44	1,10	0,090
Punto G- Regulador 1	11,25	17,94	0,02	0,004
Regulador 2- Llenadora	22,33	34,52	0,58	0,200
Punto G- Regulador 2	5,00	29,80	---	----
Punto C- Punto G	5,00	11,02	0,02	0,002

(\*) Incluye la suma de las longitudes equivalentes de accesorios multiplicadas por los diámetros de las tuberías más las longitudes totales de éstas

Para la estimación de las pérdidas equivalentes a aire se empleó la Tabla B.3.5. (ver Apéndice B), siempre aproximando por exceso el flujo volumétrico empleado a fin de tener un estimado de pérdidas superior al verdadero con la finalidad de contar con un porcentaje de seguridad al momento de hacerse el cambio de diámetro si fuera el caso.

En cuanto a la determinación de la longitud equivalente de los accesorios presentes en cada una de las líneas, se emplearon los valores reportados para fluidos líquidos, puesto que no se encontraron los valores correspondientes a gases. Sin embargo, considerando que la viscosidad de los gases es muy baja, al asumir este criterio lo que se obtienen son valores de pérdidas por fricción aún mayores a las reales, lo cual no sugiera ningún tipo de limitación en el análisis realizado, ver Tablas 5.5. y 5.6.

**Tabla 5.5. Pérdidas por fricción convertidas a aire correspondientes a la línea 4 de producción**

<b>Tubería</b>	<b>Longitud equivalente por accesorios (pie)*</b>	<b>Longitud total (pie)</b>	<b>Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig/ 100 pie)</b>	<b>Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig)</b>
Punto H- Carbonatador	16,75	24,03	1,00	0,240
Punto H- Inyector	32,30	47,88	4,24	2,030
Regulador 3- Punto H	17,33	24,81	1,43	0,350
Punto I- Regulador 3	0,00	2,62	0,02	0,001
Regulador 4- Llenadora	17,50	30,66	0,47	0,180
Punto I- Regulador 4	2,50	18,90	----	----
Punto D- Punto I	2,50	8,73	0,02	0,002

(\*) Incluye la suma de las longitudes equivalentes de accesorios multiplicadas por los diámetros de las tuberías más las longitudes totales de éstas

Con respecto a las longitudes equivalentes correspondientes a las válvulas, se debe mencionar que en el caso de la válvula de aguja, se empleó el dato registrado para la válvula de globo, debido a que ambas se caracterizan por cambiar la dirección del fluido, a la vez que tienen igual área de sección transversal. Por otro lado, la válvula de bola 100% abierta presenta el mismo comportamiento de una válvula de compuerta; mientras que para las válvulas automáticas, al no contarse con las características específicas de las mismas, se optó por considerar la longitud equivalente tabulada para las válvulas de compuertas.

**Tabla 5.6. Pérdidas por fricción convertidas a aire correspondientes al sistema de distribución de CO<sub>2</sub>**

<b>Tubería</b>	<b>Longitud equivalente por accesorios (pie)*</b>	<b>Longitud total (pie)</b>	<b>Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig/ 100 pie)</b>	<b>Pérdidas por fricción equivalente a aire (psig)</b>
Punto A- Punto B	16,75	24,03	----	----
Punto B- Punto C	32,30	47,88	----	----
Punto C- Punto D	17,33	24,81	----	----
Punto D- Punto E	0,00	2,62	----	----
Punto P- Punto A	17,50	30,66	----	----

(\*) Incluye la suma de las longitudes equivalentes de accesorios multiplicadas por los diámetros de las tuberías más las longitudes totales de éstas

Al momento de hacer la estimación de las pérdidas por fricción equivalentes a aire se logra verificar, que dichos valores son bastante bajos, hasta el punto en que para los flujos volumétricos manejados por algunas tuberías las tablas no reportan las pérdidas buscadas ya que las mismas son prácticamente nulas por cada 100 pies de longitud de tuberías. Ahora bien, si se evidencia que el sistema funciona desde este punto de vista de manera apropiada utilizando la

conversión a aire, es de suponer que para el gas carbónico el comportamiento debe ser similar sin exceder los valores aquí presentados.

De hecho, en la práctica, tal como se consultó, el diseño de tuberías de este tipo se desarrolla utilizando los valores de pérdidas reportados para aire y al tratarse de otro fluido, la condición queda subsanada mediante la conversión ya indicada en esta discusión. Asimismo, cabe mencionar que el efecto de la temperatura con respecto a la finalidad del presente objetivo no se consideró, puesto que para temperaturas inferiores a 30 °C, el factor de corrección produce una disminución poco significativa del flujo volumétrico.

Puesto que a medida que el flujo volumétrico convertido a aire aumenta, también se incrementan las pérdidas por fricción, cualquier efecto en pro de disminuir dicho flujo implica obtener valores de pérdidas menores, por lo que para la verificación de las condiciones de diseño en sí no es preponderante dicha situación una vez obtenidos los resultados tan bajos observados. Sin embargo, para temperaturas superiores a 30 °C si debe considerar este efecto, puesto que por encima de la mencionada temperatura el flujo volumétrico aumenta considerablemente.

En referencia a los valores de pérdidas obtenidos, para las tuberías identificadas como Punto F-Inyector (línea 3) y Punto H-Inyector (línea 4) destacan por ser los mayores en cada una de las líneas correspondientes, donde se sabe que ambas logran manejar el fluido apropiadamente, por lo que ello no radica en un problema de importancia. Sin embargo, las tuberías Punto G-Regulador 1 y Punto G-Regulador 2 de la línea 3 debería ser de diámetros de  $\frac{1}{2}$ ”; mientras que las tuberías Punto I-Regulador 3 y Punto I-Regulador 4 están en capacidad de manejar un flujo volumétrico mucho mayor por lo que están siendo subutilizadas y bajo las condiciones actuales deberían emplearse en éstas diámetros de  $\frac{3}{4}$ ” y  $\frac{1}{2}$ ” respectivamente, aunque dicha situación no es restrictiva si se considera que la instalación ya está realizada.

Para las tuberías correspondientes a la distribución del gas carbónico a cada una de las líneas, la situación es similar a la ya explicada anteriormente, puesto que las pérdidas obtenidas son muy pequeñas, observándose así que dicho sistema debería emplear un diámetro igual a 1½”, aunque el diámetro actual no es restrictivo; al contrario, permite manejar flujos mucho mayores.

De esta manera, la evaluación realizada permite afirmar que desde el punto de vista del manejo del fluido, el sistema es capaz trabajar apropiadamente para flujos volumétricos por encima de los tomados críticamente para la realización del presente análisis, puesto que los resultados verdaderos se encuentran un poco por debajo de los obtenidos en este desarrollo, dadas las condiciones de evaluación así asumidas.

### **5.3. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CO<sub>2</sub> INHERENTES AL PROCESO DE LLENADO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 3 Y 4**

Durante el proceso de llenado se producen pérdidas de gas carbónico derivadas de las condiciones de éste y a su vez por el uso de dicho gas en operaciones distintas a la carbonatación de la bebida. Los usos a los cuales se hace referencia, tienen que ver con la utilización del CO<sub>2</sub> para la presurización del tanque carbonatador y de la taza de la llenadora durante la elaboración de las bebidas gaseosas, así como también durante la limpieza de las líneas. Por ende, esto trae como consecuencia un porcentaje de pérdidas adicional al originado por fugas y por la descompresión de la botella durante el envasado, las cuales son pérdidas innatas generadas durante el proceso.

#### **I) Sistema de Carbonatación**

Para el sistema de carbonatación, se planteó la posibilidad de que existiera relación entre el tiempo de paradas y las pérdidas de gas carbónico originadas por purgas en el tanque carbonatador. Las otras variables, al estar establecidas

en un valor prácticamente fijo de acuerdo a las características y limitaciones del equipo y del proceso, se convierten en parámetros que no influyen en el rendimiento de CO<sub>2</sub>, siempre y cuando se mantengan bajo el valor estipulado. Al contrario, el tiempo de paradas se encuentra en constante variación debido a que se hace prácticamente incontrolable el hecho de evitar alguna falla en los equipos relacionados con el área de llenado.

Para cada una de las líneas se realizó un análisis de varianza de la regresión lineal buscada. Según Chourio (1987), “en la estimación por medio de las ecuaciones de regresión, se hacen tres suposiciones, y si estas condiciones no se cumplen, tanto la ecuación de regresión como el error estándar de estimación no darán informaciones precisas:

- La relación entre las variables X e Y debe ser lineal
- Las líneas de regresión son utilizadas bajo el supuesto de que las distribuciones de las variables X e Y son normales, o por lo menos no muy asimétricas
- El grado de dispersión de las variables X e Y, alrededor de sus respectivas medias ( $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$ ) deben ser iguales ( $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2$ ); esta condición se conoce como homoscedasticidad (esta palabra significa “dispersión uniforme”).

Dicho autor además recomienda la utilización de una muestra mínima constituida por 30 elementos para cada una de las variables X e Y, así como asegurarse de la naturaleza continua de los datos recopilados.

Por lo anteriormente expuesto, antes de determinar la mejor curva de regresión que se ajustara a dichos datos, se procedió a la verificación de las condiciones mencionadas mediante la utilización de las pruebas más idóneas según fuera el caso.

**Tabla 5.7. Masa de CO<sub>2</sub> perdida debido a las purgas durante los tiempos de paradas en la líneas de producción 3 y 4**

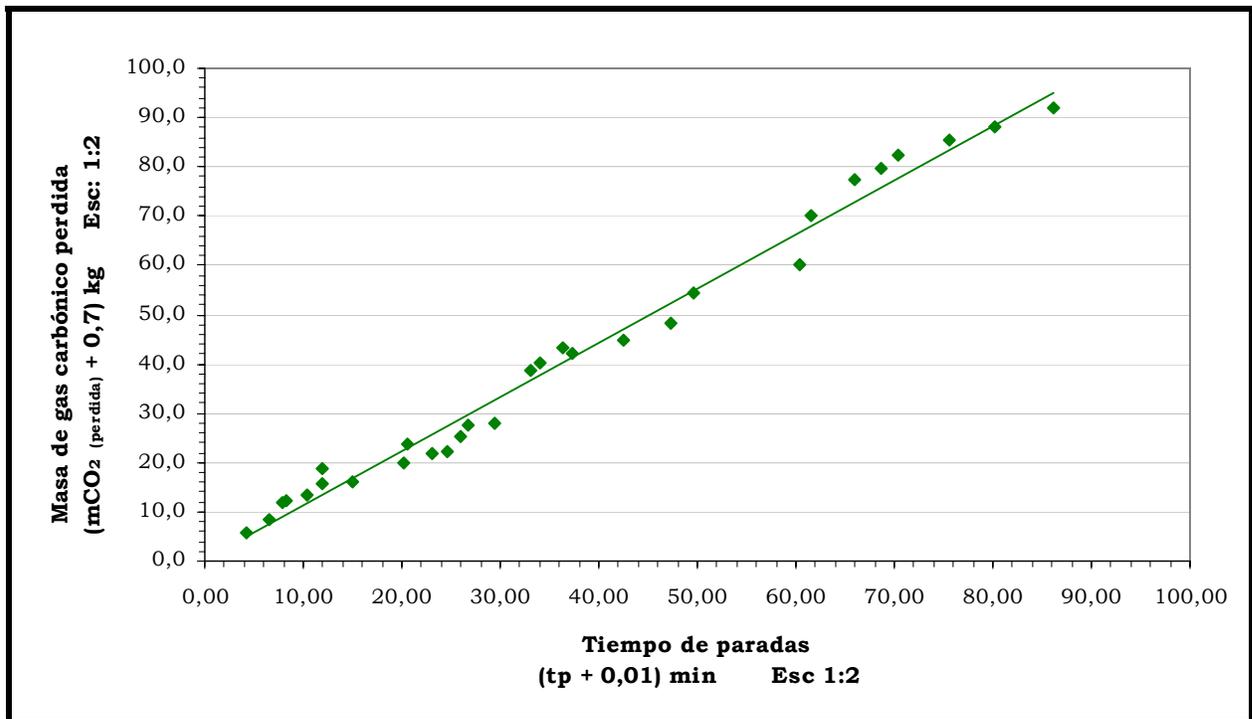
Línea 3		Línea 4	
Tiempo de paradas ( $t_p \pm 0,1$ ) min	Masa de CO <sub>2</sub> perdida ( $m_{CO_2(perdida)} \pm 0,7$ ) kg	Tiempo de paradas ( $t_p \pm 0,1$ ) min	Masa de CO <sub>2</sub> perdida ( $m_{CO_2(perdida)} \pm 0,9$ ) kg
12,0	18,7	14,5	44,2
6,5	8,5	12,9	33,3
20,2	20,1	8,9	31,9
15,0	16,2	26,6	56,3
24,6	22,1	28,3	56,3
29,4	28,0	30,1	57,8
4,2	5,7	20,7	49,7
8,4	12,1	17,1	48,1
10,3	13,3	23,7	50,4
11,9	15,6	35,7	68,5
26,8	27,5	38,4	71,8
33,1	38,7	44,1	75,5
36,3	43,2	49,3	80,1
23,1	21,7	52,8	84,5
26,1	25,2	55,8	88,9
7,8	11,8	8,2	28,2
20,5	23,8	11,2	32,2
34,1	40,1	21,8	49,1
42,6	44,9	33,6	62,8
37,2	42,3	43,9	72,9
49,6	54,3	45,6	76,7
47,3	48,4	47,6	76,7
61,5	70,1	54,7	85,3
65,9	77,2	62,0	98,4
70,4	82,3	67,3	103,5
68,7	79,5	68,8	106,8
75,7	85,4	73,3	112,9
60,3	60,0	75,6	118,5
80,2	88,2	80,8	124,4
86,1	91,9	85,3	135,5

De esta manera, con los valores mostrados en la Tabla 5.7., se procedió a la verificación de los supuestos en los datos recogidos (masa de CO<sub>2</sub> perdida y

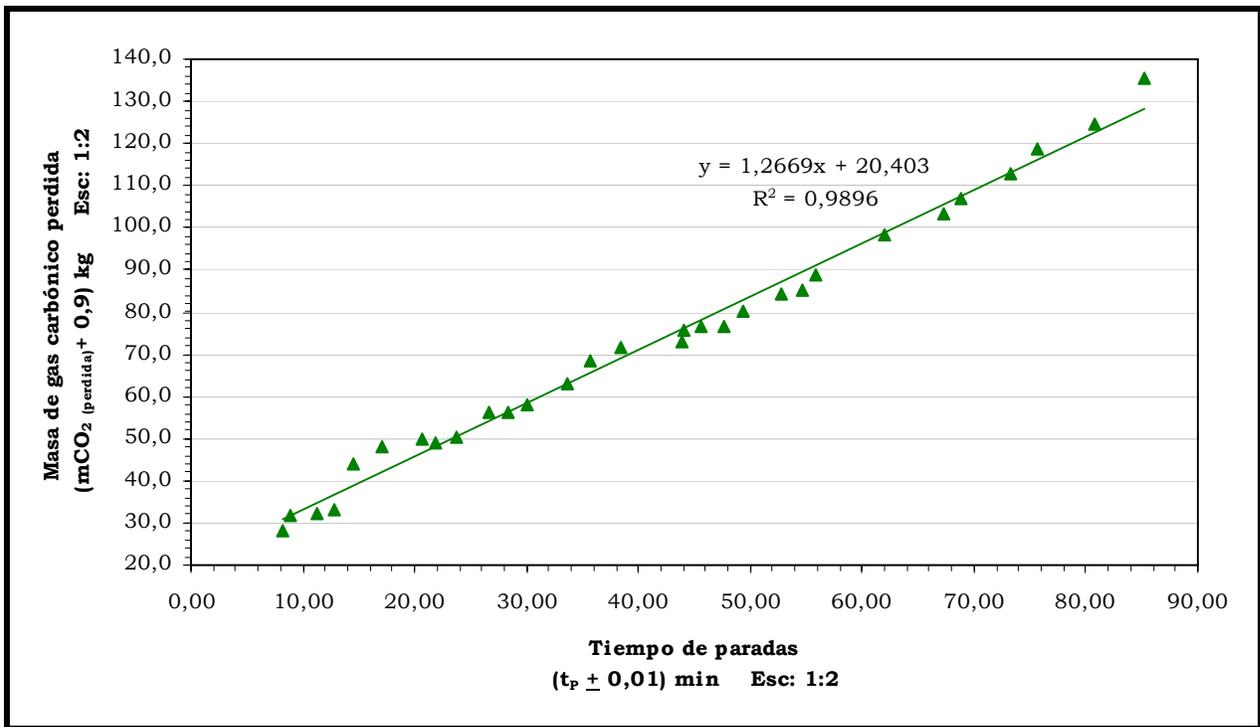
tiempo de paradas) para cada línea de producción, por lo que se plantaron las hipótesis estadísticas indicadas utilizando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ) apropiado debido al tipo de estudio realizado y el área de desarrollo:

- Prueba de Normalidad:                   Ho: Hay normalidad  
  H<sub>A</sub>: No hay normalidad
- Prueba de Homoscedasticidad:   Ho:  $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2$   
  H<sub>A</sub>:  $\sigma_X^2 \neq \sigma_Y^2$

La condición de la relación de linealidad entre las variables estudiadas se puede observar en las Figuras 5.4. y 5.5., donde los gráficos de dispersión indican una cierta tendencia lineal en los valores allí representados. Lo anterior se debió también a la necesidad de obtener un modelo sencillo de utilizar al momento de establecer la ecuación de rendimiento buscada.



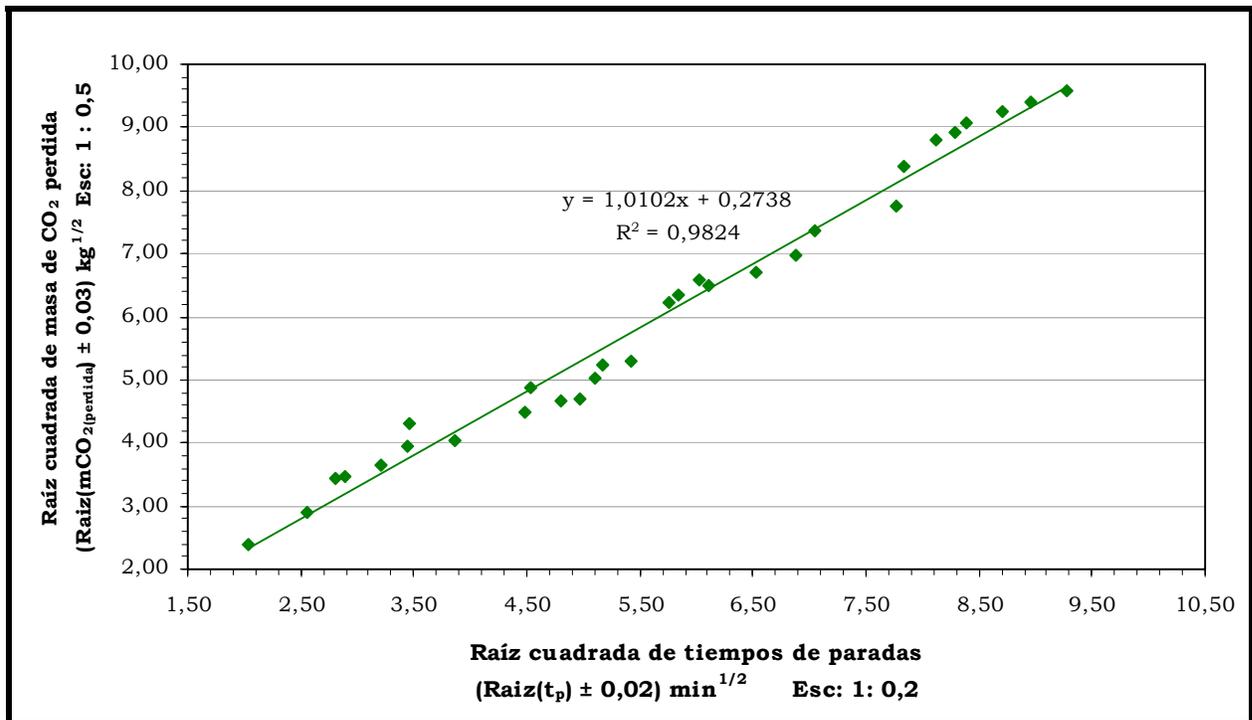
**Figura 5.4. Comportamiento de las pérdidas de CO<sub>2</sub> debido a purgas en función de los tiempos de paradas para la línea 3 de producción**



**Figura 5.5. Comportamiento de las pérdidas de CO<sub>2</sub> debido a purgas en función de los tiempos de paradas para la línea 4 de producción**

En el caso de los valores referidos a la línea 3, se corroboró que los datos correspondientes a la variable “masa de CO<sub>2</sub> perdida” no siguieron una distribución normal ( $P = 0,007$ ), razón por la cual se hizo necesaria la aplicación de la transformación adecuada según lo indicado en la Tabla 2.2. (ver Capítulo II), siendo ésta la raíz cuadrada de los datos recopilados según la naturaleza de los mismos (tipo de variable). Por otro lado, para la variable “tiempo de paradas” los datos siguieron una distribución normal según  $P = 0,05$ .

Para obtener dichos resultados, se aplicó la regla de decisión que consiste en rechazar la hipótesis nula en el caso que  $P$  obtenido sea menor a 0,05 (nivel de confianza establecido), mientras que si  $P$  resulta mayor o igual a dicho valor no se rechaza la mencionada hipótesis. Esto se debe a las zonas de rechazo y aceptación involucradas con el estadístico empleado, por lo que en este caso se busca la aceptación de la hipótesis nula.



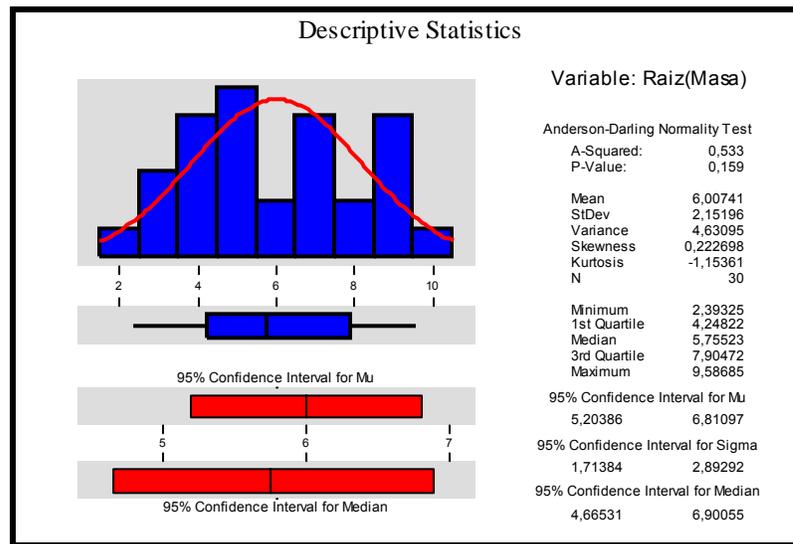
**Figura 5.6. Comportamiento de las pérdidas de CO<sub>2</sub> y los tiempos de paradas transformados para la línea 3 de producción**

En referencia a la uniformidad de varianzas de la masa de CO<sub>2</sub> perdida transformada y los tiempos de paradas, se obtuvo P = 0,000 (empleando el resultado de distribuciones continuas), por lo que de acuerdo a la regla de decisión ya explicada debe rechazarse el supuesto de igualdad de varianzas. De esta manera, para lograr la estabilización de las mismas, se aplicó también la transformación ya indicada a la variable “tiempo de paradas”. Puede notarse en la Figura 5.6., que una vez transformados los datos en cuestión, los mismos siguieron presentando la tendencia lineal necesaria.

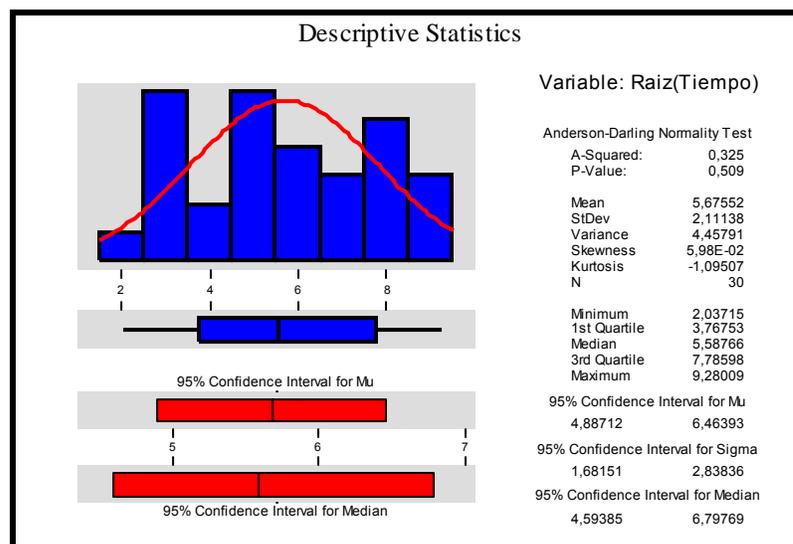
La Tabla 5.8. muestra los valores obtenidos una vez aplicadas las pruebas de verificación de los supuestos a las variables transformadas recogidas para la línea 3 de producción. A través los resultados del estadístico P se acepta en ambos casos la hipótesis nula, por lo que con los datos transformados se pudo proceder a la determinación de la recta de regresión más adecuada. Esto puede observarse también en las Figuras 5.7. y 5.8. mostradas por el programa.

**Tabla 5.8. Valores de P para las pruebas de hipótesis de las variables en estudio para la línea 3 de producción**

Variabes	Prueba Anderson-Darling	Prueba de Homoscedasticidad
Masa de CO <sub>2</sub> perdida (transformada)	0,159	0,919
Tiempo de paradas (transformado)	0,509	



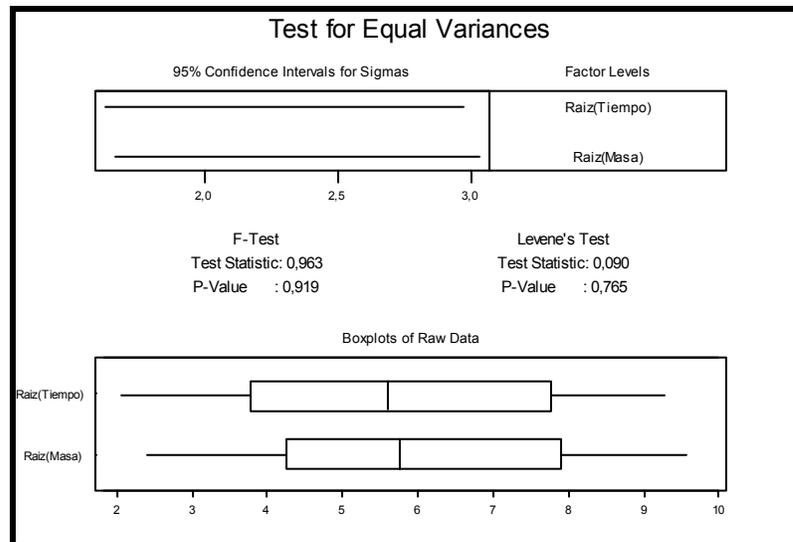
**Figura 5.7. Prueba de Normalidad para la masa de CO<sub>2</sub> perdida transformada de la línea 3**



**Figura 5.8. Prueba de Normalidad para los tiempos de paradas transformados de la línea 3**

Para la Prueba de Igualdad de Varianzas, el programa dio como resultados los diagramas de caja correspondientes, donde se puede visualizar la ubicación del valor medio y el intervalo correspondiente a la dispersión de los datos, lo cual permite analizar gráficamente el nivel de igualdad de las mismas.

No obstante, para la distribución normal utilizada, **MINITAB 13.20** proporcionó el estadístico adecuado para concluir acerca de dicha prueba, ver Figura 5.9.

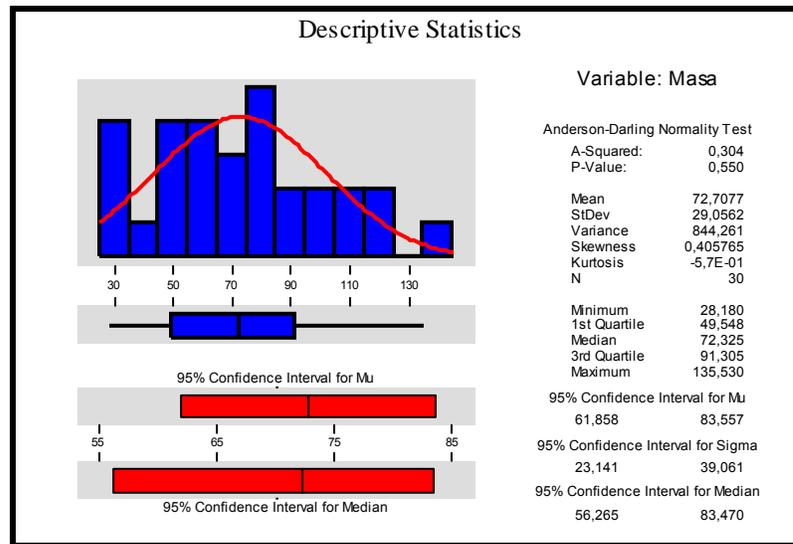


**Figura 5.9. Prueba de Igualdad de Varianzas para los datos transformados de la línea 3**

En el caso de la línea 4, la aplicación de los procedimientos ya expuestos arrojó como resultados los siguientes valores:

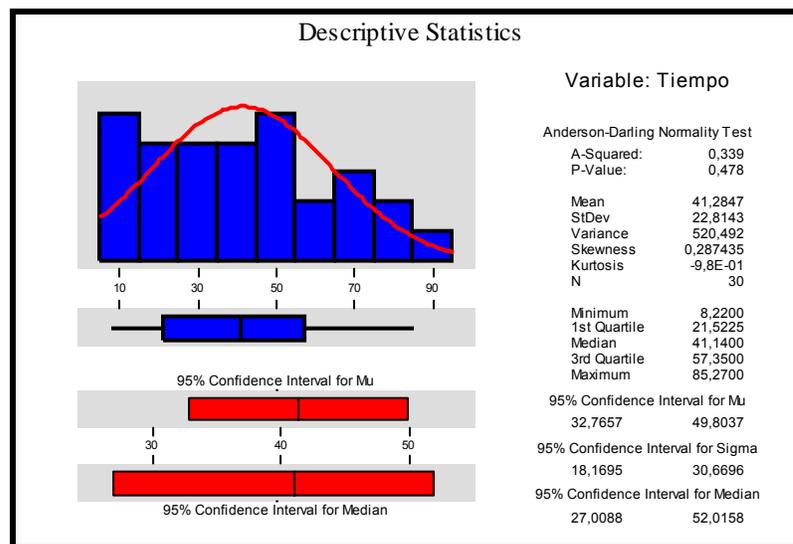
**Tabla 5.9. Valores de P para las pruebas de hipótesis de las variables en estudio para la línea 4 de producción**

Variabes	Prueba Anderson-Darling	Prueba de Homoscedasticidad
Masa de CO <sub>2</sub> perdida	0,550	0,199
Tiempo de paradas	0,478	



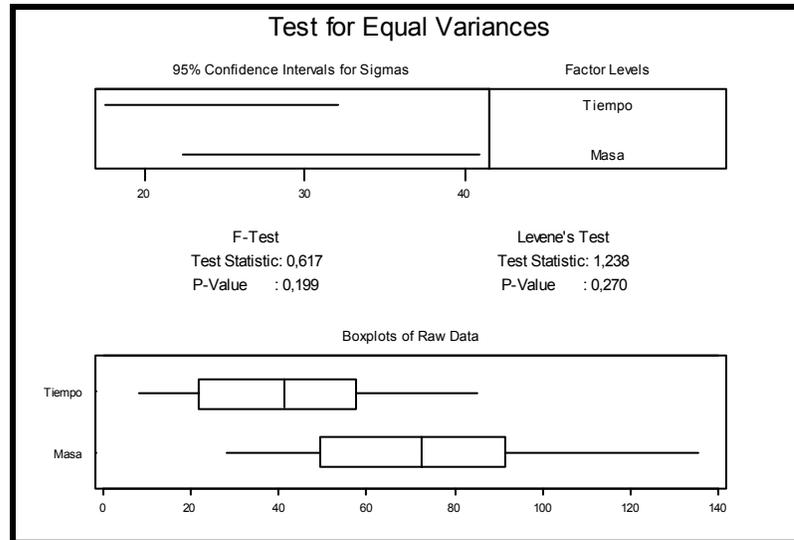
**Figura 5.10. Prueba de Normalidad para los valores de masa de CO<sub>2</sub> perdida de la línea 4**

Los valores correspondientes a la línea 4 presentaron el comportamiento de normalidad y uniformidad de varianza esperado sin necesidad de recurrirse a una transformación; debido a que para el estadístico P los valores son mayores al nivel de confianza establecido. Dichos resultados fueron mostrados por **MINITAB 13.20** según lo indicado en la Figura 5.10. Los criterios de análisis de los valores obtenidos ya fueron explicados en esta discusión.



**Figura 5.11. Prueba de Normalidad para los valores de tiempo de paradas de la línea 4**

En las figuras correspondientes a las pruebas de normalidad representadas anteriormente, se observa que la curva envolvente trazada muestra una forma de campana, la cual permite confirmar la existencia de un comportamiento normal en los datos. La Figura 5.12. se corresponde con la Prueba de Igualdad de Varianzas ya explicada en líneas anteriores.



**Figura 5.12. Prueba de Igualdad de Varianzas para los datos transformados de la línea 4**

En el caso de los valores recopilados para la línea 3 de producción, el programa arrojó como mejor ecuación de regresión la siguiente:

$$\text{Raíz}(m\text{CO}_{2(\text{perdida})}) = 0,274 + 1,01\text{Raíz}(t_p) \quad (\text{XVI}) \quad (\text{MINITAB 13.20, 2006})$$

Donde:

$m\text{CO}_{2(\text{perdida})}$  : masa de gas carbónico perdida, (kg)

$t_p$ : tiempo de paradas, (min)

De este resultado se puede notar que un aumento en el tiempo de paradas se traduce en un incremento de la masa perdida de gas carbónico, por lo que se dice que la relación entre dichas variables es positiva. El resultado obtenido era de esperarse puesto que al ocurrir una parada en la línea el sistema de control

instalado en el tanque responde de tal manera que produce purgas en el mismo con la finalidad de mantener la presión fijada como parámetro de operación del proceso.

De acuerdo al modelo matemático obtenido se tiene que para tiempos de paradas iguales a cero en el proceso, la masa de CO<sub>2</sub> perdida es aproximadamente (0,08 ± 0,03) kg; esto es lógico puesto que durante la operación del sistema se generan purgas pequeñas de este gas con menor ocurrencia que cuando existen paradas en el sistema.

Un comportamiento similar se observa para la ecuación de regresión obtenida en el caso de los valores correspondientes a la línea 4, de modo que la recta resultante de la aplicación del programa fue la siguiente:

$$m\text{CO}_{2(\text{perdida})} = 20,4 + 1,27t_p \quad (\text{XVII}) \quad (\text{MINITAB 13.20, 2006})$$

Las pérdidas de CO<sub>2</sub> se ven incrementadas con los aumentos en los tiempos de parada, tanto que para la ausencia de éstos, en el caso de la línea 4, la masa de dióxido de carbono perdida es de (20,4 ± 0,9) kg. La pendiente de la recta indica un incremento de 1,27 kg por cada minuto de parada suscitado durante el desarrollo del proceso. Así, para la 4 se generan pérdidas de gas superiores a la línea 3 para tiempos de paradas similares, debido a la inestabilidad del sistema en cuanto a la capacidad de los equipos, lo que origina que durante el proceso ocurran purgas con mayor frecuencia originando pérdidas de gas mayores.

Para el análisis de los modelos obtenidos, se planteó la necesidad de verificar si realmente las mismas se encuentran relacionadas entre sí, por lo que empleó una Tabla de Análisis de Varianza, considerando básicamente la información aportada por el estadístico F a través de la prueba del mismo nombre. Para ello, se plantearon las siguientes hipótesis al nivel del modelo:

Ho: No hay relación entre las variables

H<sub>A</sub>: Hay relación entre las variables

En concordancia con lo anterior, se buscó a través del estadístico F rechazar la hipótesis nula, con lo cual se esperó que el valor del mismo arrojado por tablas fuera menor que el valor aportado por el Análisis de Varianza. Haciendo uso del programa **MINITAB 13.20**, se obtuvieron los siguientes valores para el mencionado análisis:

**Tabla 5.10. Análisis de Varianza para los tiempos de paradas y masa de CO<sub>2</sub> perdida correspondientes a la línea 3 a nivel de la muestra**

Parámetro	Valor	Estadístico T	Estadístico P
Intercepto con Y	0,2738	1,78	0,087
Pendiente	1,01024	39,59	0,000

**Tabla 5.11. Análisis de Varianza para los tiempos de paradas y masa de CO<sub>2</sub> perdida correspondientes a la línea 4 a nivel de la muestra**

Parámetro	Valor	Estadístico T	Estadístico P
Intercepto con Y	20,402	17,68	0,000
Pendiente	1,26695	51,58	0,000

**Tabla 5.12. Análisis de Varianza para los tiempos de paradas y masa de CO<sub>2</sub> perdida correspondientes a la línea 3 a nivel del modelo**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico F	Estadístico P
Regresión	1	131,94	131,94	1567,43	0,000
Error residual	28	2,36	0,08	----	----
Total	29	134,30	----	----	----

**Tabla 5.13. Análisis de Varianza para los tiempos de paradas y masa de CO<sub>2</sub> perdida correspondientes a la línea 4 a nivel de modelo**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico F	Estadístico P
Regresión	1	24229	24229	2660,79	0,000
Error residual	28	255	9	----	----
Total	29	24484	----	----	----

A nivel de muestra existe una recta que puede denotarse como:  $y_i = a + bx_i$ , mientras que a nivel de la población existe otra recta:  $Y_i = A + Bx_i$ , con lo que se espera que **a** y **b** sean buenos estimadores de **A** y **B** respectivamente en la población de donde se extrajo la muestra analizada. Para ello, se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: a, b = 0 \text{ (no son buenos estimadores de A y B)}$$

$$H_A: a, b \neq 0 \text{ (son buenos estimadores de A y B)}$$

Con los valores de P mostrados en las Tablas 5.10. y 5.11., se logra precisar que solo el parámetro **a** correspondiente a la línea 3 no se puede considerar como buen estimador de **A** en la población. No obstante, el Análisis de Varianza correspondiente a los modelos determinados (Tablas 5.12. y 5.13.), establece que los mismos, como conjunto, pueden predecir satisfactoriamente las variables requeridas puesto que en ambos casos se obtuvieron P-values < 0,05. De esta manera, se acepta la hipótesis alternativa que indica la existencia de relación entre las variables analizadas.

Lo anterior se puede corroborar a través de la información suministrada por el estadístico F, por lo que para las líneas 3 y 4 los valores teóricos del mismo con

un nivel de confianza del 95%, según lo mostrado en la Tabla B.2. (ver Apéndice B) resultó ser igual a 4,20 ( $m = 1$  y  $n = 28$ ).

Para ambas líneas se cumple que el valor de F proporcionado por el análisis realizado es mayor que el registrado por la tabla consultada, por lo que se acepta que la variable “tiempos de paradas” está relacionada con la variable “masa de CO<sub>2</sub> perdida” con el nivel de confianza establecido. Adicionalmente, los coeficientes de correlación (R) aportados por el programa (98,2% y 99,0% para las líneas 3 y 4 respectivamente), permiten indicar una fuerte relación positiva entre las variables mencionadas.

Por otro lado, los coeficientes de determinación obtenidos para la línea 3 ( $R^2 = 98,2\%$ ) y para la línea 4 ( $R^2 = 98,9\%$ ), indican que cerca del 99% de las pérdidas de CO<sub>2</sub> por purgas ocurren por los tiempos de paradas, considerando los valores estimados en las condiciones de operación establecidas. Así, las ecuaciones XVI y XVII, se pueden utilizar para estimar las pérdidas de gas carbónico debido a las purgas por tiempos de paradas en el sistema.

**Tabla 5.14. Estadística descriptiva para las características de calidad involucradas en la determinación de pérdidas de gas carbónico en la línea 3 de llenado**

Mes	Volumen de carbonatación (adim)		Volumen de llenado (mL)	
	Media ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\delta$ )	Media ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\delta$ )
Mayo	4,3	0,1	3076	13
Junio	4,3	0,1	3077	14
Julio	4,3	0,1	3078	12
Agosto	4,3	0,1	3074	10
Septiembre	4,3	0,1	3078	15
Octubre	4,4	0,1	3120 <sup>(*)</sup>	17

(\*) Ajuste de válvulas de llenado

**Tabla 5.15. Estadística descriptiva para las características de calidad involucradas en la determinación de pérdidas de gas carbónico en la línea 4 de llenado**

Mes	Volumen de carbonatación (adim)		Volumen de llenado (mL)	
	Media ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\delta$ )	Media ( $\mu$ )	Desviación estándar ( $\delta$ )
Mayo	4,3	0,1	3079	14
Junio	4,3	0,1	3078	12
Julio	4,4	0,1	3070	14
Agosto	4,4	0,1	3081	16
Septiembre	4,3	0,1	3080	14
Octubre	4,4	0,1	3107 <sup>(*)</sup>	20

(\*) Ajuste de válvulas de llenado

Tomando en cuenta los valores reportados en las Tablas 5.14. y 5.15., fue necesario fijar los parámetros de cálculo; al observar los valores obtenidos para el volumen de carbonatación, la estadística evidencia un descentrado hacia el valor de 4,3 v/v; tomando en cuenta que la especificación establece un valor de  $(4,4 \pm 0,2)$  v/v. De igual forma para el volumen de llenado, tomando en cuenta el ajuste realizado con la finalidad de generar un incremento en el mismo, se tomó el valor de 3100 mL equivalente a la especificación puesto que a pesar de la poca cantidad de mediciones tomadas para el momento del análisis, el ajuste reflejó valores muy cercanos al valor nominal establecido.

Al originarse paradas de superiores a media hora, es necesario drenar la bebida contenida en el tanque, lo cual trae como consecuencia la introducción de mermas de gas carbónico que al no ser cuantificadas producen la disminución del indicador de rendimiento de dicho gas. En la Tabla 5.16. se muestran los resultados de las masas obtenidas correspondientes a distintos niveles de líquido en el tanque carbonatador.

**Tabla 5.16. Masa de CO<sub>2</sub> contenida en el carbonatador en función de la altura del visor del tanque del mismo**

Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)
1,00	0,0051	19,50	1,3954	38,00	3,1774	56,50	4,9586	75,00	6,7397	93,50	8,5217
1,50	0,0111	20,00	1,4440	38,50	3,2251	57,00	5,0071	75,50	6,7882	94,00	8,5693
2,00	0,0196	20,50	1,4925	39,00	3,2736	57,50	5,0548	76,00	6,8359	94,50	8,6179
2,50	0,0298	21,00	1,5402	39,50	3,3213	58,00	5,1033	76,50	6,8844	95,00	8,6655
3,00	0,0434	21,50	1,5887	40,00	3,3698	58,50	5,1510	77,00	6,9330	95,50	8,7141
3,50	0,0587	22,00	1,6364	40,50	3,4175	59,00	5,1995	77,50	6,9806	96,00	8,7618
4,00	0,0766	22,50	1,6849	41,00	3,4660	59,50	5,2472	78,00	7,0292	96,50	8,8103
4,50	0,0979	23,00	1,7326	41,50	3,5146	60,00	5,2957	78,50	7,0768	97,00	8,8580
5,00	0,1200	23,50	1,7811	42,00	3,5623	60,50	5,3434	79,00	7,1254	97,50	8,9065
5,50	0,1456	24,00	1,8288	42,50	3,6108	61,00	5,3919	79,50	7,1730	98,00	8,9550
6,00	0,1737	24,50	1,8773	43,00	3,6585	61,50	5,4404	80,00	7,2216	98,50	9,0027
6,50	0,2035	25,00	1,9250	43,50	3,7070	62,00	5,4881	80,50	7,2693	99,00	9,0512
7,00	0,2358	25,50	1,9735	44,00	3,7547	62,50	5,5367	81,00	7,3178	99,50	9,0989
7,50	0,2707	26,00	2,0221	44,50	3,8032	63,00	5,5843	81,50	7,3655	100,00	9,1474
8,00	0,3082	26,50	2,0698	45,00	3,8509	63,50	5,6329	82,00	7,4140	100,50	9,1951
8,50	0,3482	27,00	2,1183	45,50	3,8994	64,00	5,6805	82,50	7,4625	101,00	9,2436
9,00	0,3899	27,50	2,1660	46,00	3,9479	64,50	5,7291	83,00	7,5102	101,50	9,2913
9,50	0,4342	28,00	2,2145	46,50	3,9956	65,00	5,7767	83,50	7,5587	102,00	9,3399
10,00	0,4810	28,50	2,2622	47,00	4,0442	65,50	5,8253	84,00	7,6064	102,50	9,3884
10,50	0,5296	29,00	2,3107	47,50	4,0918	66,00	5,8730	84,50	7,6549	103,00	9,4361
11,00	0,5772	29,50	2,3584	48,00	4,1404	66,50	5,9215	85,00	7,7026	103,50	9,4846
11,50	0,6258	30,00	2,4069	48,50	4,1880	67,00	5,9700	85,50	7,7511	104,00	9,5323
12,00	0,6735	30,50	2,4554	49,00	4,2366	67,50	6,0177	86,00	7,7988	104,50	9,5808
12,50	0,7220	31,00	2,5031	49,50	4,2842	68,00	6,0662	86,50	7,8474	105,00	9,6285
13,00	0,7697	31,50	2,5516	50,00	4,3328	68,50	6,1139	87,00	7,8959	105,50	9,6770
13,50	0,8182	32,00	2,5993	50,50	4,3805	69,00	6,1624	87,50	7,9436	106,50	9,7247
14,00	0,8659	32,50	2,6479	51,00	4,4290	69,50	6,2101	88,00	7,9921	107,00	9,7732
14,50	0,9144	33,00	2,6955	51,50	4,4775	70,00	6,2586	88,50	8,0398	107,50	9,8209
15,00	0,9621	33,50	2,7441	52,00	4,5252	70,50	6,3063	89,00	8,0883	108,00	9,8694
15,50	1,0106	34,00	2,7917	52,50	4,5737	71,00	6,3548	89,50	8,1360	108,50	9,9180
16,00	1,0591	34,50	2,8403	53,00	4,6214	71,50	6,4034	90,00	8,1845	109,00	9,9656
16,50	1,1068	35,00	2,8879	53,50	4,6699	72,00	6,4511	90,50	8,2322	109,50	10,0142
17,00	1,1553	35,50	2,9365	54,00	4,7176	72,50	6,4996	91,00	8,2807	110,00	10,0618
17,50	1,2030	36,00	2,9850	54,50	4,7661	73,00	6,5473	91,50	8,3284	110,50	10,1104
18,00	1,2516	36,50	3,0327	55,00	4,8138	73,50	6,5958	92,00	8,3769	111,00	10,1581
18,50	1,2992	37,00	3,0812	55,50	4,8623	74,00	6,6435	92,50	8,4255	111,50	10,2066
19,00	1,3478	37,50	3,1289	56,00	4,9100	74,50	6,6920	93,00	8,4731	112,00	10,2543

Volumen del tanque carbonatador: 1979,2 L

## II) Área de Llenado

En este caso, aunque las dimensiones de los equipos y las condiciones de operación son similares para ambas líneas, se prefirió analizar el comportamiento de cada una por separado. Para esto, la base de tiempo para la medición fue de 24 horas y por ende el instrumento de medición asociado (en este caso manómetro) podía apreciar algún cambio significativo en el consumo.

La razón de cualquier discrepancia entre los resultados se debe al hecho de que para línea 3 las condiciones de presión de operación de la llenadora aunque supera solo en 0,05 bar a la de la otra llenadora, se traduce en un mayor consumo de gas carbónico. Los resultados del consumo generado fueron los siguientes:

**Tabla 5.17. Consumo de dióxido de carbono para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 3**

Fecha (dd/mm/aa)	Masa inicial en el tanque (kg)	Masa final en el tanque (kg)	Masa total consumida (kg)
22/11/2005	20.454,3	17.272,6	3181,71
25/11/2005	9318,3	5909,3	3408,98
28/11/2005	26.590,4	23.181,5	3408,98
29/11/2005	23.181,5	20.227,0	2954,45
02/12/2005	15.454,4	12.272,7	3181,71
05/12/2005	5682,0	2727,6	2954,45
08/12/2005	24.090,5	20.908,8	3181,71
09/12/2005	20.908,8	17.499,8	3408,98
12/12/2005	5909,3	2954,9	2954,45
13/12/2005	3182,1	28.863,1	3475,46
15/12/2005	24.999,6	22.045,1	2954,45
16/12/2005	22.045,1	18.636,2	3408,98
20/12/2005	7045,6	3863,9	3181,71
22/12/2005	27.499,5	24.090,5	3408,98
23/12/2005	24.090,5	20.908,8	3181,71

**Tabla 5.18. Consumo de dióxido de carbono para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 4**

Fecha (dd/mm/aa)	Masa inicial en el tanque (kg)	Masa final en el tanque (kg)	Masa total consumida (kg)
02/01/2006	4545,7	1591,3	2954,45
03/01/2006	1591,3	24.545,0	2731,24
06/01/2006	15.681,7	12.954,5	2727,18
09/01/2006	7272,9	4318,5	2954,45
10/01/2006	4318,5	1136,7	3181,71
13/01/2006	24.999,6	21.817,9	3181,71
16/01/2006	18.408,9	15.454,4	2954,45
19/01/2006	10.227,3	7727,4	2499,92
20/01/2006	7727,4	4773,0	2954,45
23/01/2006	26.135,9	22.954,2	3181,71
24/01/2006	22.954,2	20.000,0	2954,45
26/01/2006	16.363,5	13.636,3	2727,18
27/01/2006	13.636,3	10.681,9	2954,45
30/01/2006	23.408,7	20.227,0	3181,71
31/01/2006	20.227,0	17.272,6	2954,45

Al analizar los resultados obtenidos para cada línea se puede observar que existe una diferencia entre los consumos promedios de ambas (3216,44 kg y 2939,56 kg para las líneas 3 y 4 respectivamente), lo cual se debe a las condiciones de operación ya señaladas.

### III) Pérdidas durante el procedimiento de sanitizado y arranque de línea

El sanitizado y arranque de una línea son procedimientos que se encuentran vinculados, es decir, no puede existir saneamiento sin que esto conlleve a un arranque ya sea para realizar mantenimiento, exista alguna parada de tiempo considerable o la correspondiente limpieza ya programada para la línea. Al determinar el consumo generado durante el saneamiento y arranque de línea,

los resultados obtenidos fueron registrados en las tablas que se indican a continuación:

**Tabla 5.19. Consumo de dióxido de carbono para la presurización del tanque carbonatador en la línea 4 durante el procedimiento de sanitizado y arranque**

Fecha (dd/mm/aa)	Masa inicial en el tanque (kg)	Masa final en el tanque (kg)	Masa total consumida (kg)
09/06/2005	19.317,9	19.090,7	227,26
13/06/2005	22.954,2	22.726,9	227,26
16/06/2005	20.454,3	20.227,0	227,26
20/06/2005	16.818,0	16.590,8	227,27
22/06/2005	13.636,3	13.409,1	227,27
27/06/2005	10.681,9	10.454,6	227,27
05/07/2005	5454,8	5227,5	227,27

**Tabla 5.20. Consumo de dióxido de carbono para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 4 durante el procedimiento de sanitizado y arranque**

Fecha (dd/mm/aa)	Masa inicial en el tanque (kg)	Masa final en el tanque (kg)	Masa total consumida (kg)
09/06/2005	10.227,3	10.000,1	227,26
13/06/2005	18.636,2	18.408,9	227,26
16/06/2005	14.545,4	14.318,1	227,26
20/06/2005	7272,9	7045,6	227,27
22/06/2005	27.726,8	27.499,5	227,26
27/06/2005	15.227,2	14.999,9	227,26
05/07/2005	3182,1	2954,9	227,27

En este caso la línea en estudio fue la 4, puesto que las llenadoras de ambas líneas presentan las mismas dimensiones, las condiciones de operación son similares y el producto elaborado en éstas también es el mismo, por ende no deben existir diferencias significativas a la hora de determinar el volumen

ocupado por el CO<sub>2</sub> en dichos equipos. Adicionalmente el tiempo de medición solo fue de 7200 s y por la poca apreciación del manómetro ubicado en el tanque de almacenamiento de CO<sub>2</sub> no se hizo posible la cuantificación de la diferencia entre los valores para ambas líneas, de allí que la toma de datos se restringiera a una sola línea.

El consumo resultó ser aproximadamente constante e igual para ambos sistemas, esto se debe principalmente al hecho de que las condiciones de operación entre estos solo varían de 5,24 bar a 4,55 bar por lo que el instrumento de medición no es tan sensible ante cambios tan pequeños. Adicionalmente, debido a que no se observaron diferencias apreciables entre los consumos, a pesar de que el sistema fuera dirigido por operadores diferentes, los datos son reproducibles; de allí que solo se hayan recogido siete, aunado a esto el hecho de la restricción de tiempo para la toma de datos y los acuerdos para el consumo de gas carbónico por parte de la empresa y el proveedor seleccionado para el desarrollo de la investigación.

Con los resultados obtenidos para las pérdidas determinadas en cada etapa del proceso, se tiene que la mayor parte de éstas se debe al consumo de la llenadora, lo cual se debe principalmente a las características de operación de equipo, cuyo movimiento giratorio origina agitación en la bebida provocando mayor cantidad de purgas en el sistema de control de equipo.

Ahora, con respecto a las pérdidas originadas por tiempos de paradas que impliquen el drenaje de la bebida contenida en taza de la máquina llenadora, el tratamiento de los datos fue similar al aplicado al tanque carbonatador. Una vez determinado el volumen de la taza se elaboró una tabla similar a la ya presentada, para este caso se expresaron las masas obtenidas correspondientes a distintos niveles de líquido en la taza de la llenadora; dicha tabla se presenta a continuación:

**Tabla 5.21. Masa de CO<sub>2</sub> contenida en la llenadora mismo en función de la altura del visor en el tanque de la misma**

Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)	Altura del visor (cm)	Masa de CO <sub>2</sub> (kg)
1,00	0,0026	17,50	0,6428	34,00	1,7019	50,50	2,7619	67,00	3,8211
1,50	0,0051	18,00	0,6743	34,50	1,7343	51,00	2,7934	67,50	3,8534
2,00	0,0085	18,50	0,7067	35,00	1,7667	51,50	2,8258	68,00	3,8858
2,50	0,0136	19,00	0,7390	35,50	1,7982	52,00	2,8581	68,50	3,9173
3,00	0,0196	19,50	0,7705	36,00	1,8305	52,50	2,8905	69,00	3,9496
3,50	0,0264	20,00	0,8029	36,50	1,8629	53,00	2,9220	69,50	3,9820
4,00	0,0341	20,50	0,8352	37,00	1,8944	53,50	2,9544	70,00	4,0144
4,50	0,0434	21,00	0,8676	37,50	1,9267	54,00	2,9867	70,50	4,0459
5,00	0,0536	21,50	0,8991	38,00	1,9591	54,50	3,0182	71,00	4,0782
5,50	0,0647	22,00	0,9314	38,50	1,9914	55,00	3,0506	71,50	4,1106
6,00	0,0775	22,50	0,9638	39,00	2,0229	55,50	3,0829	72,00	4,1421
6,50	0,0902	23,00	0,9953	39,50	2,0553	56,00	3,1153	72,50	4,1744
7,00	0,1047	23,50	1,0276	40,00	2,0876	56,50	3,1468	73,00	4,2068
7,50	0,1200	24,00	1,0600	40,50	2,1191	57,00	3,1791	73,50	4,2391
8,00	0,1371	24,50	1,0923	41,00	2,1515	57,50	3,2115	74,00	4,2706
8,50	0,1550	25,00	1,1238	41,50	2,1838	58,00	3,2430	74,50	4,3030
9,00	0,1737	25,50	1,1562	42,00	2,2162	58,50	3,2753	75,00	4,3353
9,50	0,1933	26,00	1,1886	42,50	2,2477	59,00	3,3077	75,50	4,3677
10,00	0,2137	26,50	1,2201	43,00	2,2800	59,50	3,3400	76,00	4,3992
10,50	0,2358	27,00	1,2524	43,50	2,3124	60,00	3,3715	76,50	4,4315
11,00	0,2588	27,50	1,2848	44,00	2,3439	60,50	3,4039	77,00	4,4639
11,50	0,2835	28,00	1,3171	44,50	2,3763	61,00	3,4363	77,50	4,4954
12,00	0,3082	28,50	1,3486	45,00	2,4086	61,50	3,4678	78,00	4,5277
12,50	0,3346	29,00	1,3810	45,50	2,4410	62,00	3,5001	78,50	4,5601
13,00	0,3618	29,50	1,4133	46,00	2,4725	62,50	3,5325	79,00	4,5925
13,50	0,3899	30,00	1,4448	46,50	2,5048	63,00	3,5648	79,50	4,6240
14,00	0,4197	30,50	1,4772	47,00	2,5372	63,50	3,5963	80,00	3,8211
14,50	0,4504	31,00	1,5095	47,50	2,5687	64,00	3,6287	80,50	4,6887
15,00	0,4819	31,50	1,5419	48,00	2,6010	64,50	3,6610	81,00	4,7202
15,50	0,5142	32,00	1,5734	48,50	2,6334	65,00	3,6925	81,50	4,7525
16,00	0,5457	32,50	1,6057	49,00	2,6657	65,50	3,7249	82,00	4,7849
16,50	0,5781	33,00	1,6381	49,50	2,6972	66,00	3,7572	82,50	4,8172
17,00	0,6105	33,50	1,6696	50,00	2,7296	66,50	3,7896	83,00	4,8487

Volumen de la llenadora: 754,3 L

(\*) En caso de ser drenado el tanque carbonatador seguido del drenaje de la taza de la llenadora o viceversa, sumarle 0,7 kg al valor reportado por la tabla. Dicho valor corresponde a la masa perdida por producto contenido en las tuberías

Al ser tomadas en cuenta las mermas de gas carbónico, el rendimiento se incrementaría pues la relación se establecería solo entre las porciones de gas que cumplen con el fin para el cual fue diseñado el proceso. Por ello, se tiene:

- **Para la línea 3**

$$\%R = \frac{V_S \cdot L_B \cdot \rho_B \cdot N^{\circ}_{Cajas} \cdot N^{\circ}_{Bot}}{10 \left\{ mCO_{2(a\lim)} - \left[ (0,274 + 1,01\sqrt{t_{p_1} + t_{p_2} + t_{p_3}})^2 + \sum_{j=1}^r md_{C_j} + \sum_{j=1}^s md_{L_j} + n \cdot 227,27 \right] \right\}}$$

(XVIII) (Propia, 2006)

Donde:

$t_{p_i}$  : tiempo de paradas totales por turno, (min)

$md_{C_j}$  : masa de CO<sub>2</sub> perdida por cada “j” drenaje del tanque carbonatador, (kg)

$md_{L_j}$  : masa de CO<sub>2</sub> perdida por cada “j” drenaje en la llenadora, (kg)

n: número de saneamientos de la línea al día, (adim)

- **Para la línea 4**

$$\%R = \frac{V_S \cdot L_B \cdot \rho_B \cdot N^{\circ}_{Cajas} \cdot N^{\circ}_{Bot}}{10 \left\{ mCO_{2(a\lim)} - \left[ 20,4 + 1,27(t_{p_1} + t_{p_2} + t_{p_3}) + \sum_{j=1}^r md_{C_j} + \sum_{j=1}^s md_{L_j} + n \cdot 227,27 \right] \right\}}$$

(XIX) (Propia, 2006)

La utilización de dichas expresiones se realizará de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Se tomará de los formatos para el control del área de llenado el tiempo de paradas por turno de producción
- En caso de realizarse limpieza de línea se incluirán los 227,27 kg correspondientes al consumo generado por parte del tanque carbonatador.

El consumo correspondiente a la taza de la llenadora no se tomó en cuenta debido al alcance del proyecto, la razón primordial se explicará en objetivos posteriores

- En los formatos de control del proceso de llenado se deberán incluir los registros del nivel el tanque carbonatador y taza de la llenadora, antes de que ocurriera el drenaje de bebida, con los cuales se entrará a las Tablas 5.16. y 5.21., para cada equipo por separado con la finalidad de obtener la masa de CO<sub>2</sub> correspondiente a la cantidad de bebida que fue desalojada. En el caso de no ocurrir este hecho durante el transcurso de un día de producción se eliminará el término de la ecuación
- La masa alimentada se calcula según la ecuación (II)

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y ESTUDIO ECONÓMICO

*En esta sección se generan las alternativas de solución más acordes con la problemática propuesta en la presente investigación, lo cual se sustenta mediante el análisis económico de la alternativa de mayor impacto económico dentro de los costos operacionales de la empresa*

#### **6.1. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA EL RENDIMIENTO DE CO<sub>2</sub>**

En lo que respecta a las pérdidas de gas carbónico, debido al empleo de este agente en los procesos de sanitizado y arranque de las líneas de producción, se propuso la utilización de un gas alternativo que cumpla con las mismas funciones del CO<sub>2</sub> en estas actividades sin que éste cause interferencias en la elaboración de las bebidas gaseosas, manteniendo la calidad del producto final, a la vez que sea factible para la empresa.

El planteamiento de la alternativa anterior también fue de interés para la solución del problema acarreado por el uso de gas carbónico en la presurización de la taza presente en la máquina llenadora. Ahora bien, aunque éste no representa un problema prioritario de acuerdo al análisis realizado, si constituye una razón de interés de los bajos rendimientos de CO<sub>2</sub>, motivo por el cual **AJEVEN, C.A.** necesitó la consideración técnica de dicha implementación.

Así es como, se recopiló la información relacionada con nitrógeno y aire con la finalidad de comparar, mediante una **Matriz de Selección**, las características de interés para esta investigación. Dicha selección preliminar fue posible mediante la consulta con personal y bibliografía relacionada con el tema, de modo que se tomaron los dos posibles gases acordes especialmente con el proceso de sanitizado en sistemas empleados en la elaboración de productos destinados al consumo humano.

Considerados los criterios relacionados estrechamente con la implementación de los mencionados gases alternativos, se procedió al desarrollo de la técnica seleccionada, tal que se empleó una escala de 0-10 para la determinación de los valores generales de cada opción (ver Tabla 6.1.).

De esto, se obtuvo que el gas más apropiado para sustituir al CO<sub>2</sub> en los procesos de sanitizado y arranque de las líneas, así como presurizador de la taza de la llenadora es el nitrógeno. Es del conocimiento de **AJEVEN, C.A.** las pérdidas considerables de gas carbónico durante la realización de los mencionados procedimientos, los cuales son estrictamente necesarios para la elaboración de productos de calidad por parte de la planta.

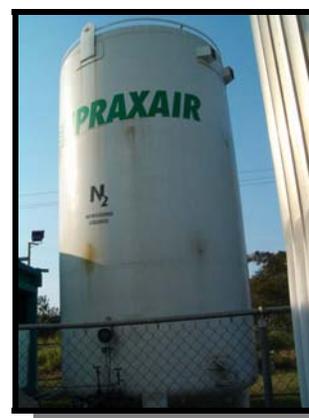
**Tabla 6.1. Matriz de selección del gas alternativo del CO<sub>2</sub>**

Criterios a evaluar	Ponderación	Nitrógeno		Aire	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor

Costos de adquisición	3,0	4,0	12,0	6,0	18,0
Consumo de materia prima	1,5	6,0	9,0	4,0	6,0
Interferencia en el proceso	1,0	9,0	9,0	3,0	3,0
Costos de instalación	4,0	6,0	24,0	4,0	16,0
Costos de mantenimiento	0,5	7,0	3,5	3,0	1,5
<b>Valor General</b>		-----	57,5	-----	44,5

Ahora bien, la selección del aire y del nitrógeno como gases alternativos se debió básicamente a los aspectos técnicos y económicos relacionados con la posible implementación de éstos, los cuales fueron analizados mediante la consulta de otros procesos similares a los existentes en la empresa donde se plantea la posibilidad de utilización de los mencionados gases.

Con respecto a los costos de instalación, la empresa ya contaba con una planta de almacenamiento de nitrógeno, la cual contempla un tanque de 7100 galones, tal como se muestra en la Figura 6.1., dos sistemas de intercambiadores ambientales y una red de tuberías que abarca hasta la línea para la producción de Agua Cielo. Es así como se requeriría solo de una inversión para la instalación de las tuberías necesarias de alimentación a las líneas.



**Figura 6.1. Tanque almacenador de N<sub>2</sub> (Fuente: Propia)**

Por otro lado, la empresa dispone también de compresores para la alimentación de aire al sistema, aunque es importante destacar que sería necesario añadir a los gastos de instalación de las conexiones requeridas, los costos generados por la adquisición e instalación de los filtros necesarios para la purificación de dicha materia prima; motivo por el cual se asignó al nitrógeno la mayor calificación en este aspecto considerando las ventajas que la implementación de éste ofrecía en tal sentido.

Otro aspecto importante de los considerados durante la evaluación de las alternativas señaladas fue, el costo de adquisición de cada una de las materias primas. Así es como, de acuerdo al proveedor consultado, la empresa debe gastar 384,33 Bs. por cada kilogramo de nitrógeno comprado, mientras que el costo acarreado por kilogramo de aire bajo estas mismas condiciones sería aproximadamente de 273,60 Bs., siendo este último valor atribuido básicamente a los consumos energéticos de los compresores y estimado mediante la tarifa de electricidad actual, la capacidad de los compresores presentes en la empresa (98 m<sup>3</sup>/h) y la potencia eléctrica de los mismos (75 kW). De lo anterior, que se le haya asignado al aire una calificación superior a la del nitrógeno al momento de considerar el criterio anteriormente señalado.

Sin embargo, al analizar la posible interferencia de estos gases en las características finales del producto, se ve que el nitrógeno cuenta entre sus propiedades que es prácticamente insoluble en el agua, por lo cual al entrar en contacto con el jarabe ya carbonatado no se corre riesgo que éste vaya a desplazar el CO<sub>2</sub> ya absorbido. No obstante, en el caso del aire, ocurre todo lo contrario, de modo que el mismo pudiera solubilizarse un poco en el jarabe al momento del llenado, por lo que a este último gas se le asignó baja calificación en el mencionado aspecto. Esto se evidencia a través de los valores de la constante de proporcionalidad para la expresión de la ley de Henry:

**Tabla 6.2. Valores de la constante de Henry en función de la temperatura para el aire**

Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30
$10^{-4} \cdot H^*$	4,32	4,88	5,49	6,07	6,64	7,20	7,71

(\*) Constante de Henry (atm/mol)

Fuente: Perry, 2001

**Tabla 6.3. Valores de la constante de Henry en función de la temperatura para el nitrógeno**

Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30
$10^{-4} \cdot H^*$	5,29	5,97	6,68	7,38	8,04	8,65	9,24

(\*) Constante de Henry (atm/mol)

Fuente: Perry, 2001

El proceso de solubilización del CO<sub>2</sub> en el jarabe se lleva a cabo a una temperatura de 5 °C, por lo que de acuerdo a la ley mencionada (la fracción molar de líquido disuelto es inversamente proporcional a la presión parcial de soluto en la fase gaseosa) se puede observar que la constante H para el nitrógeno supera al mismo valor reportado para el aire, lo cual permite afirmar que existe mayor posibilidad que en el jarabe carbonatado pudiera disolverse el aire al emplear éste como agente presurizador en los procedimientos de interés. Lo anterior permite considerar al nitrógeno como el gas de menor interferencia en el proceso analizado respecto a las características finales del producto.

Por otro lado, el nitrógeno también presenta cierta ventaja sobre el aire en lo relacionado con los consumos de materia prima durante el sanitizado y arranque de las líneas y presurización de la máquina llenadora, puesto que el primero es menos denso que el aire, por lo que es de suponer que se requeriría de menor cantidad de éste para ocupar el mismo volumen necesario para generar las presiones requeridas en los procedimientos objetos de sustituciones.

Adicionalmente, al analizar los costos relacionados con mantenimiento, la necesidad de emplear filtros purificadores de aire, hace que dichos costos se eleven para la mencionada materia prima, con lo cual el nitrógeno sale favorecido al momento de asignar la calificación ante tal criterio. Es importante destacar en este sentido, que los gastos generados por mantenimiento de las tuberías, así como de cualquier fuga generada en los procedimientos de suministro y consumo serían más o menos similares debido a las características de los gases como tales.

En lo referente a los criterios evaluados, la utilización de nitrógeno implica un ahorro de 92,67 Bs. por cada kilogramo de materia prima adquirido con respecto al costo del CO<sub>2</sub>, aspecto importante si se consideran las cantidades perdidas de esta materia prima durante los mencionados procedimientos.

Por otro lado, de acuerdo a los factores peso-volumen de los gases, se sabe que 0,454 kg de nitrógeno líquido o gaseoso equivalen a 0,391 m<sup>3</sup> en forma de gas a 70°F y 14,7 psia, mientras que para el CO<sub>2</sub> dicho factor se traduce a 0,248 m<sup>3</sup> en estado gaseoso. Esto implica que a un volumen fijo, la masa de nitrógeno gaseoso necesaria es menor si se compara con el dióxido de carbono bajo las mismas condiciones, lo cual es relevante desde el punto de vista de consumo de esta materia prima como sustituto del CO<sub>2</sub>.

En relación a las fugas físicas presentes en los tanques de suministro y líneas de llenado, se planteó la necesidad de desarrollar un programa de corrección siguiendo los lineamientos del **Mantenimiento Productivo Total (TPM)**, puesto que el mismo implica la prevención del mantenimiento, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento relacionado con mejoras en las áreas de aplicación. Estos fundamentos son empleados por la empresa habitualmente en el mejoramiento de otros aspectos del proceso.

Al momento de plantearse esta alternativa, se supo que la empresa en ningún momento había realizado un estudio que permitiera la detección de puntos críticos en cuanto a fugas y mucho menos había establecido los parámetros necesarios para el seguimiento de posibles correcciones. Esto implicó establecer las actividades relacionadas con el desarrollo del Plan de Corrección de Fugas de CO<sub>2</sub> en las áreas de suministro y consumo de este gas, así como el monitoreo de las mismas con la finalidad de disminuirlas lo más posible.

Es así como para el desarrollo de dicho programa se plantean las siguientes actividades:

- Revisar las fugas físicas de CO<sub>2</sub> en la tubería correspondiente a T<sub>1</sub> (**BOC GASES, C.A.**) en el área de suministro de gas carbónico
- Revisar las fugas físicas de CO<sub>2</sub> en la tubería correspondiente a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> (**PRAXAIR, C.A.**) en el área de suministro de gas carbónico
- Realizar un reporte\* de las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas en las tuberías de los tanques de suministro de gas carbónico
- Reparar las fugas detectadas en las tuberías pertenecientes a los tanques de suministro
- Inspeccionar fugas físicas de CO<sub>2</sub> en las tuberías desde el área de suministro hasta el área de llenado, para cada línea de producción
- Reportar las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas para cada línea\*
- Revisar el área de llenado para cada una de las líneas (de la 1 a la 5) para detectar fugas de CO<sub>2</sub>
- Reportar las fugas descubiertas para cada llenadora\*
- Reparar las fugas de CO<sub>2</sub> encontradas en las tuberías inspeccionadas para cada línea de producción
- Reparar las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas en las llenadoras

(\*) Cada reporte de fugas deberá contener:

- a) Identificación de la fuga

- b) Ubicación de los puntos en los cuales se haya detectado la presencia de gas
- c) Materiales para la reparación de la fuga

En contraste de ideas, es importante destacar que las fugas son y serán un problema latente que influye directamente en el rendimiento de CO<sub>2</sub> dentro de la planta, es por esto que es importante mantener un cronograma de corrección cada cierto tiempo, puesto que las fugas que hoy son reparadas, mañana podrían existir nuevamente así como también podrían suscitarse nuevas que pudieran generar disminuciones en el indicador, incluso más significativas que las reparadas. De allí que se proponga un calendario de monitoreo de fugas, para el cual se considera un lapso de aproximadamente 10 semanas entre la ejecución de un programa y otro. Por otro lado, cada monitoreo debe ir acompañado del cronograma mostrado en la Figura 6.2.



## CRONOGRAMA DE CORRECCIÓN DE FUGAS DE CO<sub>2</sub>

<b>Actividades</b>	Semana: _____							Semana: _____							Semana: _____							Semana: _____						
	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
	1. Revisar área de llenado de la línea 1 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																											
2. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 1																												
3. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 1																												
4. Revisar área de llenado de la línea 2																												
5. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 2																												
6. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 2																												
7. Revisar área de llenado de la línea 3 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
8. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 3																												
9. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 3																												
10. Revisar área de llenado de la línea 4 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
11. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 4																												
12. Reparar fugas detectadas en la líneas 4																												
13. Revisar área de llenado de la línea 5 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
14. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 5																												
15. Reparar fugas detectadas en la línea 5																												
16. Revisar fugas físicas en la tubería de T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> y T <sub>3</sub> (PRAXAIR, C.A.)																												
17. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> en el área de suministro																												

**Figura 6.2. Cronograma de monitoreo de fugas físicas en la red de tuberías de suministro y consumo de CO<sub>2</sub>**

Tal como se puede ver en dicha figura, las actividades para la corrección de las fugas de gas carbónico deben ser desarrolladas progresivamente por cada una de las líneas constituyentes del sistema de suministro y consumo de dicha materia prima, por lo que es conveniente seguir el cronograma mostrado anteriormente, considerando que los días domingos no se desarrollan actividades de producción en la planta, tal que se puede tomar dicho día de cada semana del programa para desarrollar las reparaciones detectadas previamente.

Por otro lado, el mejoramiento del desempeño de los operarios durante sus actividades se dejó en manos de la empresa, puesto que esto requeriría de un período más o menos extendido de charlas y cursos con la finalidad de generar en ellos la actitud hacia el trabajo necesaria para mejorar lo más posible el desarrollo del proceso. Finalmente, la resolución de problemas menores como la calibración de los instrumentos y la ausencia de medidores de flujo depende de la disponibilidad de la empresa por subsanar dicha situación.

## **6.2. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA SELECCIONADA DE MAYOR INFLUENCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO**

Una vez planteadas las alternativas de mejora, debido al costo asociado a cada una, la adaptación de la taza de las llenadoras de las líneas para su presurización con nitrógeno resultó ser la de mayor impacto desde el punto de vista económico. Por esta razón se hizo necesario realizar un estudio económico, puesto que para la empresa era importante evaluar si la decisión a tomar favorecía de algún modo las necesidades económicas y productivas actuales de la misma.

Así, la adecuación de las líneas de llenado con nitrógeno es una alternativa que implica reducción de costos, puesto que la implementación de ésta produce el

mismo efecto desde el punto de técnico con respecto al sistema utilizado actualmente y, por ende, genera los mismos ingresos brutos desde el punto de vista económico.

Por tal motivo, si los ingresos brutos en ambos casos son los mismos, lo relevante para la selección es entonces el flujo extra generado entre las alternativas. Comparando así únicamente sus costos, por lo que para la selección, el objetivo de maximización de beneficios se obtuvo a través de la minimización de los costos.

Tal análisis contempló una base de tiempo de 5 años. La base de tiempo se fijó tomando en cuenta un tiempo representativo en el cual se apreciaran las ganancias por año asociados a la alternativa seleccionada.

Asimismo, para la determinación de los costos operacionales, para ambas alternativas, éstos se consideraron uniformes durante el período en estudio, debido a que se asume que las condiciones del proceso no cambiarán en el tiempo puesto que actualmente el sistema se encuentra trabajando de tal manera que los equipos operan a su mayor capacidad, de acuerdo con los niveles de tolerancia estipulados para cada uno y con los requerimientos de la empresa.

Con respecto al valor residual procedente de la venta de los activos fijos tangibles su valor se asumió aproximadamente cero; es decir, los materiales adquiridos inicialmente tendrán un valor monetario tan pequeño que se hace prácticamente despreciable al llegar al final del período en estudio planteado. Esta suposición equivale a la condición más desfavorable que se pudiera presentar en un futuro y por ende se hizo necesario contemplarla en el análisis económico realizado.

La Tabla 6.4. muestra una aproximación del consumo de nitrógeno que se podría efectuar en un día si las líneas 3 y 4 estuvieran adecuadas para trabajar con dicho gas; este comportamiento se logra tomando en cuenta el consumo de la línea de prueba, en este caso la línea 5.

Las diferencias que se pudieran presentar entre el volumen de la taza y las condiciones de operación de las llenadoras 3, 4 y 5 no tienen la magnitud suficiente como para generar cambios determinantes y de gran impacto en el consumo de dicho gas para la presurización de las mismas. Por lo tanto, dicho valor se consideró como un buen indicador para ser considerado como punto de referencia para el estudio económico planteado.

**Tabla 6.4. Consumo de nitrógeno diario en las líneas de producción antes y después de la adecuación a realizar en las líneas 3 y 4**

<b>Línea de Producción</b>	<b>Cantidad consumida de N<sub>2</sub> (kg/día)</b>
Líneas de refresco	1388
Línea de agua	1156
Todas las líneas	2544
<b>Incremento (%)</b>	<b>120</b>

La Tabla 6.5. muestra detalladamente los consumos determinados en la línea involucrada para el análisis. Así, la limpieza de la línea genera un consumo adicional el cual al ser cuantificado no registró cambios apreciables con respecto a los consumos diarios sin procedimientos de sanitizado y posterior arranque de línea. La razón de esto se le atribuye al hecho de que el instrumento de medición colocado en el tanque almacenador de nitrógeno líquido presenta una escala muy amplia por lo tanto la apreciación del mismo no es lo suficientemente pequeña como para registrar cambios en el mismo.

**Tabla 6.5. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 5 de elaboración de bebidas gaseosas**

<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
05/06/2005	17068,3	16374,6	693,7
07/06/2005	15680,9	14987,1	693,8
08/06/2005	14987,1	14293,4	693,7
09/06/2005	14293,4	13599,7	693,7
10/06/2005	13599,7	12906,0	693,7
14/06/2005	10824,8	10131,1	693,7
16/06/2005	9437,3	8743,6	693,7
17/06/2005	8743,6	8049,9	693,7
18/06/2005	8049,9	7356,1	693,8
21/06/2005	6662,4	5968,6	693,8
22/06/2005	5968,6	5274,9	693,7
25/06/2005	3887,5	3193,8	693,7
28/06/2005	19149,5	18455,8	693,7
29/06/2005	18455,8	17762,0	693,8
01/07/2005	17068,3	16374,6	693,7

Para registrar un movimiento en la escala de dicho manómetro se necesita consumir aproximadamente 694 kg, lo cual se produce solamente durante un día completo de producción.

El consumo de nitrógeno para dichos procedimientos es prácticamente despreciable y por lo tanto el consumo no se ve afectado, generando valores iguales a los de consumo diario presentados en la tabla anterior.

Para el caso de la línea de elaboración de agua mineral, la limpieza se realiza cada 12 horas, por lo que el consumo forma parte del gasto diario y no es necesario cuantificarlo a la hora de determinar los costos.

**Tabla 6.6. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 5 de elaboración de bebidas gaseosas los días de ejecución de los procedimientos de sanitizado y arranque de línea**

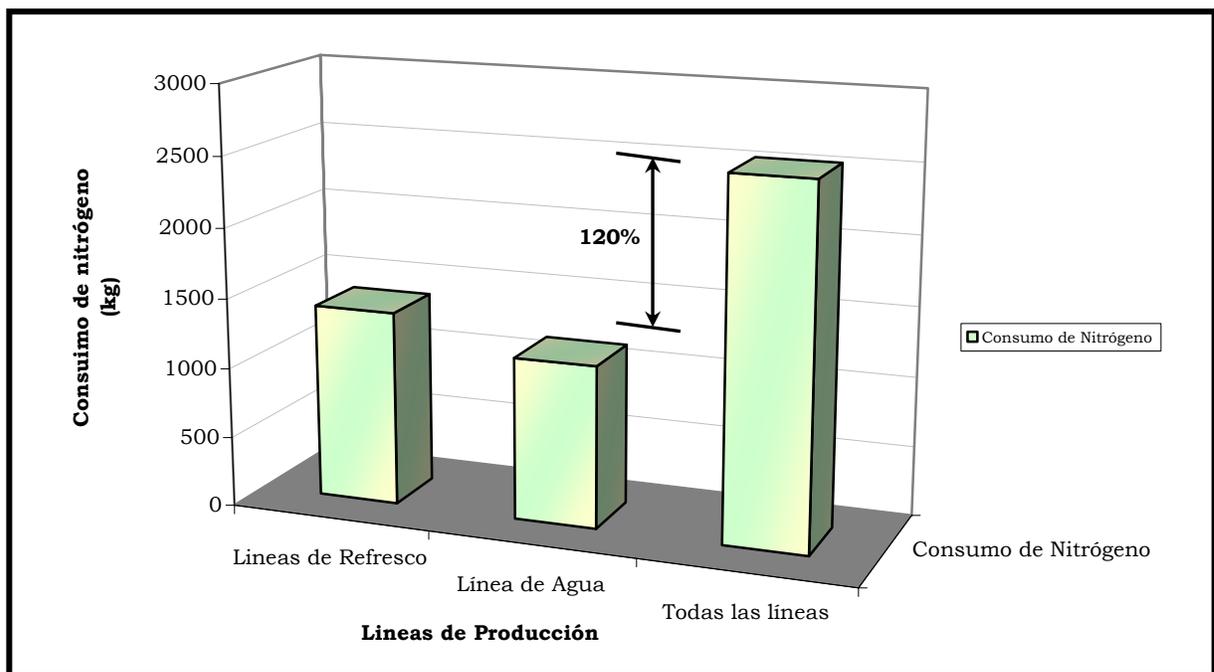
<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
06/06/2005	16374,6	15680,9	693,7
13/06/2005	11518,5	10824,8	693,7
15/06/2005	10131,1	9437,3	693,8
20/06/2005	7356,1	6662,4	693,7
23/06/2005	5274,9	4581,2	693,7
27/06/2005	2500,1	1806,4	693,7
30/06/2005	17762,0	17068,3	693,7

**Tabla 6.7. Consumo de nitrógeno en la línea de elaboración de agua mineral para la presurización de la taza de la llenadora**

<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
10/05/2005	4581,2	3193,8	1387,4
11/05/2005	3193,8	1806,4	1387,4
12/05/2005	1806,4	557,1	1387,4
16/05/2005	8743,6	7356,1	1387,5
17/05/2005	7356,1	6662,4	693,7
18/05/2005	6662,4	5968,6	693,8
19/05/2005	5968,6	4581,2	1387,4
20/05/2005	4581,2	3887,5	693,7
21/05/2005	3887,5	3193,8	693,7
22/05/2005	3193,8	2500,1	693,7
23/05/2005	2500,1	1133,6	1387,5
25/05/2005	8049,9	6662,4	1387,5
26/05/2005	6662,4	5274,9	1387,5
27/05/2005	5274,9	3887,5	1387,4
28/05/2005	3887,5	2500,1	1387,4

Tomando para el consumo de agua el promedio de los valores obtenidos se tiene un incremento del 120% con respecto al consumo que se venía teniendo en la planta. Aunque el incremento es de un poco más del doble del consumo que se venía presentando, éste corresponde a dos líneas y en comparación con la capacidad del tanque, justifica un tiempo de utilización acorde al suministro de dicho gas según los requerimientos de la planta.

El incremento en el consumo de nitrógeno explicado anteriormente se puede observar en la Figura 6.3.



**Figura 6.3. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de las llenadoras ubicadas en las líneas de producción de agua y bebidas gaseosas**

A partir del análisis realizado a los valores tomados, finalmente los costos operacionales para cada alternativa se muestran en las Tablas 6.8. y 6.9., donde es evidente que los costos anuales para la alternativa B son mucho más bajos con respecto a la otra alternativa, esto debido a que el consumo de gas para la presurización es mucho más bajo para dicha alternativa.

**Tabla 6.8. Costos operacionales haciendo uso de nitrógeno para la presurización de la taza de las máquinas llenadoras en las líneas 3 y 4 durante un período de un año de producción**

Mes	Días de programados de producción mensual	Consumo mensual de N <sub>2</sub> en la llenadora 3 (kg/mes)	Consumo mensual de N <sub>2</sub> en la llenadora 4 (kg/mes)	Costos mensuales (Bs./mes)	Costos anuales (Bs./año)
Enero	28	693,7	693,7	14.930.144,4	175.962.416
Febrero	26	693,7	693,7	13.863.705,5	
Marzo	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Abril	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Mayo	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Junio	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Julio	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Agosto	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Septiembre	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Octubre	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Noviembre	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Diciembre	28	693,7	693,7	14.930.144,4	

**Tabla 6.9. Costos operacionales haciendo uso de dióxido de carbono para el saneamiento en las líneas 3 y 4 durante un período de un año de producción**

Mes	Días de producción mensual	Días de limpieza mensual	Consumo CO <sub>2</sub> en la llenadora 3 (kg/mes)	Consumo CO <sub>2</sub> en la llenadora 4 (kg/mes)	Consumo limpieza por línea (kg/mes)	Costos mensuales (Bs./mes)	Costos anuales (Bs./año)
Enero	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	886.505.564
Febrero	23	8	3216,4	2939,6	227,27	69.272.092,1	
Marzo	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Abril	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Mayo	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Junio	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Julio	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Agosto	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Septiembre	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Octubre	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Noviembre	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Diciembre	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	

Además, los días para ambas alternativas difieren entre sí; esto se debe principalmente al hecho de que para la alternativa A se tomó en cuenta el

saneamiento por día durante un turno de producción, es decir, cada tres turnos conformaron un día de producción planificado adicional a los tomados en cuenta para la estimación de costos. Para la alternativa B dichos días ya se encontraban contabilizados, por lo que la planificación mensual solo se vio restringida únicamente por los tiempos muertos originados por las paradas de línea.

Los resultados se ven justificados por las condiciones propias del gas; puesto que por referencia el nitrógeno a condiciones estándar de 70 °F y 1 atm presenta una densidad de 0,0725 lb/pie<sup>3</sup>, la cual es menor que el valor correspondiente al dióxido de carbono (0,1146 lb/pie<sup>3</sup>), lo cual implica que para un volumen constante se tiene menos masa del primero en dicho volumen y por ende en lo que se refiere al volumen que ocuparía en la taza de las llenadoras, se necesitaría menos masa de éste para generar la presión necesaria para el movimiento de fluido deseado en las máquinas, justificándose de esta manera su uso, puesto que adicionalmente como materia prima es 92,67 Bs. más económico, generando así beneficios monetarios para la planta.

Finalmente el estudio de rentabilidad del flujo extra originado entre éstas, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 6.10. Indicadores de rentabilidad para el flujo extra generado entre las alternativas planteadas para la reducción de costos**

Año	Costos Operacionales (Bs./año)		Flujo extra B-A (Bs./año)	Valor actual (Bs./año)	Equivalente anual (Bs./año)	Tasa interna de retorno (%)
	Alternativa A	Alternativa B				
0	0	-1.400.139	-1.400.139	2.497.722.221	109.252.931	117,86
1	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
2	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
3	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
4	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
5	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			

Valor Actual (i = 0%)= 3.551.315.600 Bs.

Equivalente anual (i = 0%)= 141.828.602 Bs.

Valor Actual (i = 100%)= 686.938.535 Bs.

Equivalente anual (i = 100%)= 21.476.898 Bs.

Al analizar los valores obtenidos para los tres indicadores planteados, al ser el valor actual y el equivalente anual mayor que cero y al ser la tasa interna de retorno mucho mayor que la tasa mínima de rendimiento fijada para la ejecución del proyecto; la puesta en marcha de este último, desde el punto de vista económico, es viable lográndose el objetivo de maximizar los beneficios monetarios para la empresa.

Al analizar los resultados, con respecto al valor actual, el valor obtenido expresa que los ingresos del proyecto son superiores a los costos, incluida la tasa mínima del 13%, en una cantidad cercana a 2.500.000.000 Bs., es decir, los ingresos netos del proyecto recuperan totalmente la inversión, cubren la tasa mínima de rendimiento y producen un excedente en el punto de inicio de la escala mencionada. Para el equivalente anual, dicho resultado expresa que los ingresos del proyecto superan a los costos incluida la tasa mínima de rendimiento en una cantidad aproximada de 110.000.000 Bs./año durante el tiempo estipulado de cinco años y por ende el proyecto es rentable.

Adicionalmente, la tasa interna de retorno confirma la rentabilidad del proyecto al presentar ésta un valor mucho mayor a la tasa mínima de rendimiento fijada; es decir, las ganancias del proyecto expresadas en forma de una tasa de interés son mucho mayores a las ganancias mínimas exigidas. Es importante analizar el alto valor de los resultados obtenidos, lo cual se debe al bajo costo de la inversión inicial comparado con los altos beneficios económicos recibidos, por ende era de esperarse la rentabilidad del proyecto expresada en el elevado nivel de sus indicadores.

En virtud de los resultados obtenidos la mejor alternativa es la B, es decir, la adecuación de la taza de las máquinas llenadoras con nitrógeno a pesar de que representa una inversión adicional produce ahorros futuros cercanos a 710.000.000 Bs., durante los cinco años de análisis, lo suficientemente grandes para recuperar la inversión adicional a la tasa mínima exigida.

**PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y ESTUDIO ECONÓMICO**

*En esta sección se generan las alternativas de solución más acordes con la problemática propuesta en la presente investigación, lo cual se sustenta mediante el análisis económico de la alternativa de mayor impacto económico dentro de los costos operacionales de la empresa*

**6.1. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA EL RENDIMIENTO DE CO<sub>2</sub>**

En lo que respecta a las pérdidas de gas carbónico, debido al empleo de este agente en los procesos de sanitizado y arranque de las líneas de producción, se propuso la utilización de un gas alternativo que cumpla con las mismas funciones del CO<sub>2</sub> en estas actividades sin que éste cause interferencias en la elaboración de las bebidas gaseosas, manteniendo la calidad del producto final, a la vez que sea factible para la empresa.

El planteamiento de la alternativa anterior también fue de interés para la solución del problema acarreado por el uso de gas carbónico en la presurización de la taza presente en la máquina llenadora. Ahora bien, aunque éste no representa un problema prioritario de acuerdo al análisis realizado, si constituye una razón de interés de los bajos rendimientos de CO<sub>2</sub>, motivo por el cual **AJEVEN, C.A.** necesitó la consideración técnica de dicha implementación.

Así es como, se recopiló la información relacionada con nitrógeno y aire con la finalidad de comparar, mediante una **Matriz de Selección**, las características de interés para esta investigación. Dicha selección preliminar fue posible mediante la consulta con personal y bibliografía relacionada con el tema, de modo que se tomaron los dos posibles gases acordes especialmente con el

proceso de sanitizado en sistemas empleados en la elaboración de productos destinados al consumo humano.

Considerados los criterios relacionados estrechamente con la implementación de los mencionados gases alternativos, se procedió al desarrollo de la técnica seleccionada, tal que se empleó una escala de 0-10 para la determinación de los valores generales de cada opción (ver Tabla 6.1.).

De esto, se obtuvo que el gas más apropiado para sustituir al CO<sub>2</sub> en los procesos de sanitizado y arranque de las líneas, así como presurizador de la taza de la llenadora es el nitrógeno. Es del conocimiento de **AJEVEN, C.A.** las pérdidas considerables de gas carbónico durante la realización de los mencionados procedimientos, los cuales son estrictamente necesarios para la elaboración de productos de calidad por parte de la planta.

**Tabla 6.1. Matriz de selección del gas alternativo del CO<sub>2</sub>**

Criterios a evaluar	Ponderación	Nitrógeno		Aire	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor
Costos de adquisición	3,0	4,0	12,0	6,0	18,0
Consumo de materia prima	1,5	6,0	9,0	4,0	6,0
Interferencia en el proceso	1,0	9,0	9,0	3,0	3,0
Costos de instalación	4,0	6,0	24,0	4,0	16,0
Costos de mantenimiento	0,5	7,0	3,5	3,0	1,5
<b>Valor General</b>		-----	57,5	-----	44,5

Ahora bien, la selección del aire y del nitrógeno como gases alternativos se debió básicamente a los aspectos técnicos y económicos relacionados con la posible implementación de éstos, los cuales fueron analizados mediante la consulta de otros procesos similares a los existentes en la empresa donde se plantea la posibilidad de utilización de los mencionados gases.

Con respecto a los costos de instalación, la empresa ya contaba con una planta de almacenamiento de nitrógeno, la cual contempla un tanque de 7100 galones, tal como se muestra en la Figura 6.1., dos sistemas de intercambiadores ambientales y una red de tuberías que abarca hasta la línea para la producción de Agua Cielo. Es así como se requeriría solo de una inversión para la instalación de las tuberías necesarias de alimentación a las líneas.



**Figura 6.1. Tanque almacenador de N<sub>2</sub> (Fuente: Propia)**

Por otro lado, la empresa dispone también de compresores para la alimentación de aire al sistema, aunque es importante destacar que sería necesario añadir a los gastos de instalación de las conexiones requeridas, los costos generados por la adquisición e instalación de los filtros necesarios para la purificación de dicha materia prima; motivo por el cual se asignó al nitrógeno la mayor calificación en este aspecto considerando las ventajas que la implementación de éste ofrecía en tal sentido.

Otro aspecto importante de los considerados durante la evaluación de las alternativas señaladas fue, el costo de adquisición de cada una de las materias primas. Así es como, de acuerdo al proveedor consultado, la empresa debe gastar 384,33 Bs. por cada kilogramo de nitrógeno comprado, mientras que el costo acarreado por kilogramo de aire bajo estas mismas condiciones sería

aproximadamente de 273,60 Bs., siendo este último valor atribuido básicamente a los consumos energéticos de los compresores y estimado mediante la tarifa de electricidad actual, la capacidad de los compresores presentes en la empresa (98 m<sup>3</sup>/h) y la potencia eléctrica de los mismos (75 kW). De lo anterior, que se le haya asignado al aire una calificación superior a la del nitrógeno al momento de considerar el criterio anteriormente señalado.

Sin embargo, al analizar la posible interferencia de estos gases en las características finales del producto, se ve que el nitrógeno cuenta entre sus propiedades que es prácticamente insoluble en el agua, por lo cual al entrar en contacto con el jarabe ya carbonatado no se corre riesgo que éste vaya a desplazar el CO<sub>2</sub> ya absorbido. No obstante, en el caso del aire, ocurre todo lo contrario, de modo que el mismo pudiera solubilizarse un poco en el jarabe al momento del llenado, por lo que a este último gas se le asignó baja calificación en el mencionado aspecto. Esto se evidencia a través de los valores de la constante de proporcionalidad para la expresión de la ley de Henry:

**Tabla 6.2. Valores de la constante de Henry en función de la temperatura para el aire**

Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30
10 <sup>-4</sup> .H*	4,32	4,88	5,49	6,07	6,64	7,20	7,71

(\*) Constante de Henry (atm/mol)

Fuente: Perry, 2001

**Tabla 6.3. Valores de la constante de Henry en función de la temperatura para el nitrógeno**

Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30
10 <sup>-4</sup> .H*	5,29	5,97	6,68	7,38	8,04	8,65	9,24

(\*) Constante de Henry (atm/mol)

Fuente: Perry, 2001

El proceso de solubilización del  $\text{CO}_2$  en el jarabe se lleva a cabo a una temperatura de  $5\text{ }^\circ\text{C}$ , por lo que de acuerdo a la ley mencionada (la fracción molar de líquido disuelto es inversamente proporcional a la presión parcial de soluto en la fase gaseosa) se puede observar que la constante  $H$  para el nitrógeno supera al mismo valor reportado para el aire, lo cual permite afirmar que existe mayor posibilidad que en el jarabe carbonatado pudiera disolverse el aire al emplear éste como agente presurizador en los procedimientos de interés. Lo anterior permite considerar al nitrógeno como el gas de menor interferencia en el proceso analizado respecto a las características finales del producto.

Por otro lado, el nitrógeno también presenta cierta ventaja sobre el aire en lo relacionado con los consumos de materia prima durante el sanitizado y arranque de las líneas y presurización de la máquina llenadora, puesto que el primero es menos denso que el aire, por lo que es de suponer que se requeriría de menor cantidad de éste para ocupar el mismo volumen necesario para generar las presiones requeridas en los procedimientos objetos de sustituciones.

Adicionalmente, al analizar los costos relacionados con mantenimiento, la necesidad de emplear filtros purificadores de aire, hace que dichos costos se eleven para la mencionada materia prima, con lo cual el nitrógeno sale favorecido al momento de asignar la calificación ante tal criterio. Es importante destacar en este sentido, que los gastos generados por mantenimiento de las tuberías, así como de cualquier fuga generada en los procedimientos de suministro y consumo serían más o menos similares debido a las características de los gases como tales.

En lo referente a los criterios evaluados, la utilización de nitrógeno implica un ahorro de 92,67 Bs. por cada kilogramo de materia prima adquirido con respecto al costo del  $\text{CO}_2$ , aspecto importante si se consideran las cantidades perdidas de esta materia prima durante los mencionados procedimientos.

Por otro lado, de acuerdo a los factores peso-volumen de los gases, se sabe que 0,454 kg de nitrógeno líquido o gaseoso equivalen a 0,391 m<sup>3</sup> en forma de gas a 70°F y 14,7 psia, mientras que para el CO<sub>2</sub> dicho factor se traduce a 0,248 m<sup>3</sup> en estado gaseoso. Esto implica que a un volumen fijo, la masa de nitrógeno gaseoso necesaria es menor si se compara con el dióxido de carbono bajo las mismas condiciones, lo cual es relevante desde el punto de vista de consumo de esta materia prima como sustituto del CO<sub>2</sub>.

En relación a las fugas físicas presentes en los tanques de suministro y líneas de llenado, se planteó la necesidad de desarrollar un programa de corrección siguiendo los lineamientos del **Mantenimiento Productivo Total (TPM)**, puesto que el mismo implica la prevención del mantenimiento, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento relacionado con mejoras en las áreas de aplicación. Estos fundamentos son empleados por la empresa habitualmente en el mejoramiento de otros aspectos del proceso.

Al momento de plantearse esta alternativa, se supo que la empresa en ningún momento había realizado un estudio que permitiera la detección de puntos críticos en cuanto a fugas y mucho menos había establecido los parámetros necesarios para el seguimiento de posibles correcciones. Esto implicó establecer las actividades relacionadas con el desarrollo del Plan de Corrección de Fugas de CO<sub>2</sub> en las áreas de suministro y consumo de este gas, así como el monitoreo de las mismas con la finalidad de disminuirlas lo más posible.

Es así como para el desarrollo de dicho programa se plantean las siguientes actividades:

- Revisar las fugas físicas de CO<sub>2</sub> en la tubería correspondiente a T<sub>1</sub> (**BOC GASES, C.A.**) en el área de suministro de gas carbónico
- Revisar las fugas físicas de CO<sub>2</sub> en la tubería correspondiente a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> (**PRAXAIR, C.A.**) en el área de suministro de gas carbónico

- Realizar un reporte\* de las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas en las tuberías de los tanques de suministro de gas carbónico
- Reparar las fugas detectadas en las tuberías pertenecientes a los tanques de suministro
- Inspeccionar fugas físicas de CO<sub>2</sub> en las tuberías desde el área de suministro hasta el área de llenado, para cada línea de producción
- Reportar las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas para cada línea\*
- Revisar el área de llenado para cada una de las líneas (de la 1 a la 5) para detectar fugas de CO<sub>2</sub>
- Reportar las fugas descubiertas para cada llenadora\*
- Reparar las fugas de CO<sub>2</sub> encontradas en las tuberías inspeccionadas para cada línea de producción
- Reparar las fugas de CO<sub>2</sub> detectadas en las llenadoras

(\*) Cada reporte de fugas deberá contener:

- a) Identificación de la fuga
- b) Ubicación de los puntos en los cuales se haya detectado la presencia de gas
- c) Materiales para la reparación de la fuga

En contraste de ideas, es importante destacar que las fugas son y serán un problema latente que influye directamente en el rendimiento de CO<sub>2</sub> dentro de la planta, es por esto que es importante mantener un cronograma de corrección cada cierto tiempo, puesto que las fugas que hoy son reparadas, mañana podrían existir nuevamente así como también podrían suscitarse nuevas que pudieran generar disminuciones en el indicador, incluso más significativas que las reparadas. De allí que se proponga un calendario de monitoreo de fugas, para el cual se considera un lapso de aproximadamente 10 semanas entre la ejecución de un programa y otro. Por otro lado, cada monitoreo debe ir acompañado del cronograma mostrado en la Figura 6.2.



## CRONOGRAMA DE CORRECCIÓN DE FUGAS DE CO<sub>2</sub>

<b>Actividades</b>	Semana: _____							Semana: _____							Semana: _____							Semana: _____						
	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
	1. Revisar área de llenado de la línea 1 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																											
2. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 1																												
3. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 1																												
4. Revisar área de llenado de la línea 2																												
5. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 2																												
6. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 2																												
7. Revisar área de llenado de la línea 3 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
8. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 3																												
9. Reparar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en tuberías y llenadora para la línea 3																												
10. Revisar área de llenado de la línea 4 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
11. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 4																												
12. Reparar fugas detectadas en la líneas 4																												
13. Revisar área de llenado de la línea 5 para detectar fugas de CO <sub>2</sub>																												
14. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> detectadas en la línea 5																												
15. Reparar fugas detectadas en la línea 5																												
16. Revisar fugas físicas en la tubería de T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> y T <sub>3</sub> (PRAXAIR, C.A.)																												
17. Reportar fugas de CO <sub>2</sub> en el área de suministro																												

**Figura 6.2. Cronograma de monitoreo de fugas físicas en la red de tuberías de suministro y consumo de CO<sub>2</sub>**

Tal como se puede ver en dicha figura, las actividades para la corrección de las fugas de gas carbónico deben ser desarrolladas progresivamente por cada una de las líneas constituyentes del sistema de suministro y consumo de dicha materia prima, por lo que es conveniente seguir el cronograma mostrado anteriormente, considerando que los días domingos no se desarrollan actividades de producción en la planta, tal que se puede tomar dicho día de cada semana del programa para desarrollar las reparaciones detectadas previamente.

Por otro lado, el mejoramiento del desempeño de los operarios durante sus actividades se dejó en manos de la empresa, puesto que esto requeriría de un período más o menos extendido de charlas y cursos con la finalidad de generar en ellos la actitud hacia el trabajo necesaria para mejorar lo más posible el desarrollo del proceso. Finalmente, la resolución de problemas menores como la calibración de los instrumentos y la ausencia de medidores de flujo depende de la disponibilidad de la empresa por subsanar dicha situación.

## **6.2. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA SELECCIONADA DE MAYOR INFLUENCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO**

Una vez planteadas las alternativas de mejora, debido al costo asociado a cada una, la adaptación de la taza de las llenadoras de las líneas para su presurización con nitrógeno resultó ser la de mayor impacto desde el punto de vista económico. Por esta razón se hizo necesario realizar un estudio económico, puesto que para la empresa era importante evaluar si la decisión a tomar favorecía de algún modo las necesidades económicas y productivas actuales de la misma.

Así, la adecuación de las líneas de llenado con nitrógeno es una alternativa que implica reducción de costos, puesto que la implementación de ésta produce el

mismo efecto desde el punto de técnico con respecto al sistema utilizado actualmente y, por ende, genera los mismos ingresos brutos desde el punto de vista económico.

Por tal motivo, si los ingresos brutos en ambos casos son los mismos, lo relevante para la selección es entonces el flujo extra generado entre las alternativas. Comparando así únicamente sus costos, por lo que para la selección, el objetivo de maximización de beneficios se obtuvo a través de la minimización de los costos.

Tal análisis contempló una base de tiempo de 5 años. La base de tiempo se fijó tomando en cuenta un tiempo representativo en el cual se apreciaran las ganancias por año asociados a la alternativa seleccionada.

Asimismo, para la determinación de los costos operacionales, para ambas alternativas, éstos se consideraron uniformes durante el período en estudio, debido a que se asume que las condiciones del proceso no cambiarán en el tiempo puesto que actualmente el sistema se encuentra trabajando de tal manera que los equipos operan a su mayor capacidad, de acuerdo con los niveles de tolerancia estipulados para cada uno y con los requerimientos de la empresa.

Con respecto al valor residual procedente de la venta de los activos fijos tangibles su valor se asumió aproximadamente cero; es decir, los materiales adquiridos inicialmente tendrán un valor monetario tan pequeño que se hace prácticamente despreciable al llegar al final del período en estudio planteado. Esta suposición equivale a la condición más desfavorable que se pudiera presentar en un futuro y por ende se hizo necesario contemplarla en el análisis económico realizado.

La Tabla 6.4. muestra una aproximación del consumo de nitrógeno que se podría efectuar en un día si las líneas 3 y 4 estuvieran adecuadas para trabajar con dicho gas; este comportamiento se logra tomando en cuenta el consumo de la línea de prueba, en este caso la línea 5.

Las diferencias que se pudieran presentar entre el volumen de la taza y las condiciones de operación de las llenadoras 3, 4 y 5 no tienen la magnitud suficiente como para generar cambios determinantes y de gran impacto en el consumo de dicho gas para la presurización de las mismas. Por lo tanto, dicho valor se consideró como un buen indicador para ser considerado como punto de referencia para el estudio económico planteado.

**Tabla 6.4. Consumo de nitrógeno diario en las líneas de producción antes y después de la adecuación a realizar en las líneas 3 y 4**

<b>Línea de Producción</b>	<b>Cantidad consumida de N<sub>2</sub> (kg/día)</b>
Líneas de refresco	1388
Línea de agua	1156
Todas las líneas	2544
<b>Incremento (%)</b>	<b>120</b>

La Tabla 6.5. muestra detalladamente los consumos determinados en la línea involucrada para el análisis. Así, la limpieza de la línea genera un consumo adicional el cual al ser cuantificado no registró cambios apreciables con respecto a los consumos diarios sin procedimientos de sanitizado y posterior arranque de línea. La razón de esto se le atribuye al hecho de que el instrumento de medición colocado en el tanque almacenador de nitrógeno líquido presenta una escala muy amplia por lo tanto la apreciación del mismo no es lo suficientemente pequeña como para registrar cambios en el mismo.

**Tabla 6.5. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 5 de elaboración de bebidas gaseosas**

<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
05/06/2005	17068,3	16374,6	693,7
07/06/2005	15680,9	14987,1	693,8
08/06/2005	14987,1	14293,4	693,7
09/06/2005	14293,4	13599,7	693,7
10/06/2005	13599,7	12906,0	693,7
14/06/2005	10824,8	10131,1	693,7
16/06/2005	9437,3	8743,6	693,7
17/06/2005	8743,6	8049,9	693,7
18/06/2005	8049,9	7356,1	693,8
21/06/2005	6662,4	5968,6	693,8
22/06/2005	5968,6	5274,9	693,7
25/06/2005	3887,5	3193,8	693,7
28/06/2005	19149,5	18455,8	693,7
29/06/2005	18455,8	17762,0	693,8
01/07/2005	17068,3	16374,6	693,7

Para registrar un movimiento en la escala de dicho manómetro se necesita consumir aproximadamente 694 kg, lo cual se produce solamente durante un día completo de producción.

El consumo de nitrógeno para dichos procedimientos es prácticamente despreciable y por lo tanto el consumo no se ve afectado, generando valores iguales a los de consumo diario presentados en la tabla anterior.

Para el caso de la línea de elaboración de agua mineral, la limpieza se realiza cada 12 horas, por lo que el consumo forma parte del gasto diario y no es necesario cuantificarlo a la hora de determinar los costos.

**Tabla 6.6. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de la llenadora en la línea 5 de elaboración de bebidas gaseosas los días de ejecución de los procedimientos de sanitizado y arranque de línea**

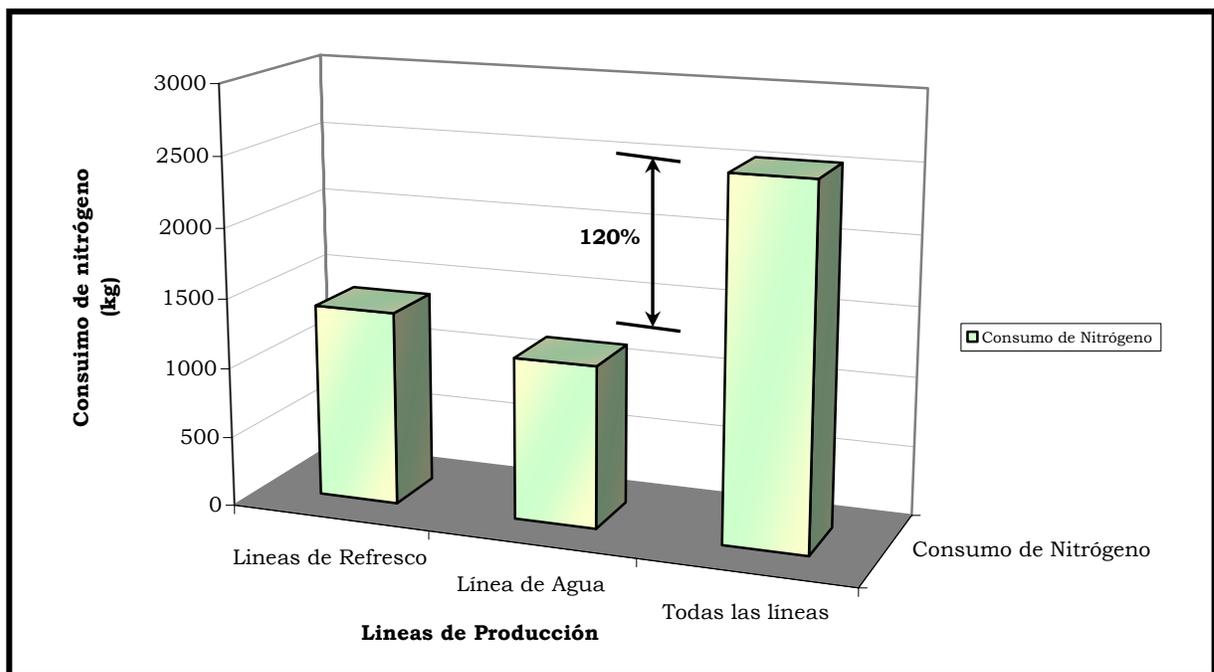
<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
06/06/2005	16374,6	15680,9	693,7
13/06/2005	11518,5	10824,8	693,7
15/06/2005	10131,1	9437,3	693,8
20/06/2005	7356,1	6662,4	693,7
23/06/2005	5274,9	4581,2	693,7
27/06/2005	2500,1	1806,4	693,7
30/06/2005	17762,0	17068,3	693,7

**Tabla 6.7. Consumo de nitrógeno en la línea de elaboración de agua mineral para la presurización de la taza de la llenadora**

<b>Fecha (dd/mm/aa)</b>	<b>Masa inicial en el tanque (kg)</b>	<b>Masa final en el tanque (kg)</b>	<b>Masa total consumida (kg)</b>
10/05/2005	4581,2	3193,8	1387,4
11/05/2005	3193,8	1806,4	1387,4
12/05/2005	1806,4	557,1	1387,4
16/05/2005	8743,6	7356,1	1387,5
17/05/2005	7356,1	6662,4	693,7
18/05/2005	6662,4	5968,6	693,8
19/05/2005	5968,6	4581,2	1387,4
20/05/2005	4581,2	3887,5	693,7
21/05/2005	3887,5	3193,8	693,7
22/05/2005	3193,8	2500,1	693,7
23/05/2005	2500,1	1133,6	1387,5
25/05/2005	8049,9	6662,4	1387,5
26/05/2005	6662,4	5274,9	1387,5
27/05/2005	5274,9	3887,5	1387,4
28/05/2005	3887,5	2500,1	1387,4

Tomando para el consumo de agua el promedio de los valores obtenidos se tiene un incremento del 120% con respecto al consumo que se venía teniendo en la planta. Aunque el incremento es de un poco más del doble del consumo que se venía presentando, éste corresponde a dos líneas y en comparación con la capacidad del tanque, justifica un tiempo de utilización acorde al suministro de dicho gas según los requerimientos de la planta.

El incremento en el consumo de nitrógeno explicado anteriormente se puede observar en la Figura 6.3.



**Figura 6.3. Consumo de nitrógeno para la presurización de la taza de las llenadoras ubicadas en las líneas de producción de agua y bebidas gaseosas**

A partir del análisis realizado a los valores tomados, finalmente los costos operacionales para cada alternativa se muestran en las Tablas 6.8. y 6.9., donde es evidente que los costos anuales para la alternativa B son mucho más bajos con respecto a la otra alternativa, esto debido a que el consumo de gas para la presurización es mucho más bajo para dicha alternativa.

**Tabla 6.8. Costos operacionales haciendo uso de nitrógeno para la presurización de la taza de las máquinas llenadoras en las líneas 3 y 4 durante un período de un año de producción**

Mes	Días de programados de producción mensual	Consumo mensual de N <sub>2</sub> en la llenadora 3 (kg/mes)	Consumo mensual de N <sub>2</sub> en la llenadora 4 (kg/mes)	Costos mensuales (Bs./mes)	Costos anuales (Bs./año)
Enero	28	693,7	693,7	14.930.144,4	175.962.416
Febrero	26	693,7	693,7	13.863.705,5	
Marzo	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Abril	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Mayo	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Junio	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Julio	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Agosto	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Septiembre	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Octubre	28	693,7	693,7	14.930.144,4	
Noviembre	27	693,7	693,7	14.396.924,9	
Diciembre	28	693,7	693,7	14.930.144,4	

**Tabla 6.9. Costos operacionales haciendo uso de dióxido de carbono para el saneamiento en las líneas 3 y 4 durante un período de un año de producción**

Mes	Días de producción mensual	Días de limpieza mensual	Consumo CO <sub>2</sub> en la llenadora 3 (kg/mes)	Consumo CO <sub>2</sub> en la llenadora 4 (kg/mes)	Consumo limpieza por línea (kg/mes)	Costos mensuales (Bs./mes)	Costos anuales (Bs./año)
Enero	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	886.505.564
Febrero	23	8	3216,4	2939,6	227,27	69.272.092,1	
Marzo	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Abril	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Mayo	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Junio	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Julio	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Agosto	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Septiembre	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Octubre	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	
Noviembre	24	9	3216,4	2939,6	227,27	72.425.323,6	
Diciembre	25	9	3216,4	2939,6	227,27	75.361.739,6	

Además, los días para ambas alternativas difieren entre sí; esto se debe principalmente al hecho de que para la alternativa A se tomó en cuenta el

saneamiento por día durante un turno de producción, es decir, cada tres turnos conformaron un día de producción planificado adicional a los tomados en cuenta para la estimación de costos. Para la alternativa B dichos días ya se encontraban contabilizados, por lo que la planificación mensual solo se vio restringida únicamente por los tiempos muertos originados por las paradas de línea.

Los resultados se ven justificados por las condiciones propias del gas; puesto que por referencia el nitrógeno a condiciones estándar de 70 °F y 1 atm presenta una densidad de 0,0725 lb/pie<sup>3</sup>, la cual es menor que el valor correspondiente al dióxido de carbono (0,1146 lb/pie<sup>3</sup>), lo cual implica que para un volumen constante se tiene menos masa del primero en dicho volumen y por ende en lo que se refiere al volumen que ocuparía en la taza de las llenadoras, se necesitaría menos masa de éste para generar la presión necesaria para el movimiento de fluido deseado en las máquinas, justificándose de esta manera su uso, puesto que adicionalmente como materia prima es 92,67 Bs. más económico, generando así beneficios monetarios para la planta.

Finalmente el estudio de rentabilidad del flujo extra originado entre éstas, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 6.10. Indicadores de rentabilidad para el flujo extra generado entre las alternativas planteadas para la reducción de costos**

Año	Costos Operacionales (Bs./año)		Flujo extra B-A (Bs./año)	Valor actual (Bs./año)	Equivalente anual (Bs./año)	Tasa interna de retorno (%)
	Alternativa A	Alternativa B				
0	0	-1.400.139	-1.400.139	2.497.722.221	109.252.931	117,86
1	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
2	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
3	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
4	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			
5	-886.505.564	-175.962.416	710.543.148			

Valor Actual (i = 0%)= 3.551.315.600 Bs.

Equivalente anual (i = 0%)= 141.828.602 Bs.

Valor Actual (i = 100%)= 686.938.535 Bs.

Equivalente anual (i = 100%)= 21.476.898 Bs.

Al analizar los valores obtenidos para los tres indicadores planteados, al ser el valor actual y el equivalente anual mayor que cero y al ser la tasa interna de retorno mucho mayor que la tasa mínima de rendimiento fijada para la ejecución del proyecto; la puesta en marcha de este último, desde el punto de vista económico, es viable lográndose el objetivo de maximizar los beneficios monetarios para la empresa.

Al analizar los resultados, con respecto al valor actual, el valor obtenido expresa que los ingresos del proyecto son superiores a los costos, incluida la tasa mínima del 13%, en una cantidad cercana a 2.500.000.000 Bs., es decir, los ingresos netos del proyecto recuperan totalmente la inversión, cubren la tasa mínima de rendimiento y producen un excedente en el punto de inicio de la escala mencionada. Para el equivalente anual, dicho resultado expresa que los ingresos del proyecto superan a los costos incluida la tasa mínima de rendimiento en una cantidad aproximada de 110.000.000 Bs./año durante el tiempo estipulado de cinco años y por ende el proyecto es rentable.

Adicionalmente, la tasa interna de retorno confirma la rentabilidad del proyecto al presentar ésta un valor mucho mayor a la tasa mínima de rendimiento fijada; es decir, las ganancias del proyecto expresadas en forma de una tasa de interés son mucho mayores a las ganancias mínimas exigidas. Es importante analizar el alto valor de los resultados obtenidos, lo cual se debe al bajo costo de la inversión inicial comparado con los altos beneficios económicos recibidos, por ende era de esperarse la rentabilidad del proyecto expresada en el elevado nivel de sus indicadores.

En virtud de los resultados obtenidos la mejor alternativa es la B, es decir, la adecuación de la taza de las máquinas llenadoras con nitrógeno a pesar de que representa una inversión adicional produce ahorros futuros cercanos a 710.000.000 Bs., durante los cinco años de análisis, lo suficientemente grandes para recuperar la inversión adicional a la tasa mínima exigida.

## IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

*En este capítulo se presentan los resultados obtenidos una vez implementadas las soluciones propuestas en esta investigación con la finalidad de mejorar los rendimientos en las líneas de producción de elaboración de bebidas gaseosas en estudio.*

### 7.1. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORAS

#### 7.1.1. Selección de la(s) alternativa(s) de mejora a ser evaluada(s)

Considerando las prioridades y la disponibilidad económica de la empresa, fue necesaria, durante el tiempo de realización de esta investigación, la realización de evaluaciones para algunas de las alternativas de solución planteadas, a fin de lograr dar resultados apropiados en aquellos objetivos donde se requería de los mismos. Así, éstas no fueron implementadas una vez finalizado el trabajo, sino que se presentó la necesidad de tomar acciones en vista del valor crítico del rendimiento de CO<sub>2</sub>. Así, la corrección de fugas y la adecuación para la presurización de la taza de la llenadora con nitrógeno, fueron seleccionadas para su implementación atendiendo a las necesidades ya mencionadas.

#### 7.1.2. Implementación de las alternativas de mejoras seleccionadas para el incremento del indicador de rendimiento de CO<sub>2</sub>

Para la adecuación de la taza de la llenadora para su presurización con nitrógeno, la empresa al tener una conexión en la línea 5, la cual anteriormente envasaba agua mineral, permitió evaluar el rendimiento de dicha línea utilizando este gas y adicionalmente utilizando gas carbónico. Por lo tanto, el

trabajo generado se remitió solamente al cambio de conexión de una tubería a otra, de acuerdo a las necesidades de trabajo.

Por otro lado, para el desarrollo del Plan de Corrección de Fugas se tomaron los lineamientos del **Mantenimiento Productivo Total (TPM)**, empleado habitualmente en la empresa para el mejoramiento de diferentes etapas del proceso. Para lograr planificar el programa planteado se hizo necesaria la realización de las siguientes actividades:

- Comprensión de los lineamientos establecidos en el Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Selección del método apropiado para la detección de fugas
- Elaboración del plan de detección y corrección de fugas adecuado para llevar a cabo dentro de la planta
- Diseño de un cronograma de actividades a corto plazo para la ejecución del plan diseñado

### **7.1.3. Evaluación de la(s) alternativa(s) seleccionada(s) para ser implementadas**

La evaluación de las alternativas de mejora mencionadas anteriormente se basó en el cálculo del rendimiento de gas carbónico, para lo cual se determinó el mismo antes y después de las mejoras realizadas. De igual forma, éstas se realizaron en lapsos de tiempo totalmente diferentes de tal manera que se pudiera evaluar cada alternativa por separado.

En primer lugar, se inició con el desarrollo del Programa de Corrección de Fugas de CO<sub>2</sub>, en todas las líneas de elaboración de bebidas gaseosas. Luego de terminado éste, al poco tiempo se procedió a realizar las evaluaciones en la línea 5. Para el caso del rendimiento haciendo uso de gas carbónico en la taza

de la llenadora, se llevó a cabo el Procedimiento D.1., mientras que para el nitrógeno se siguió el Procedimiento D.8.

Las corridas para la toma de los datos en cada caso se hicieron siguiendo un orden aleatorio sin fijar ningún sesgo que favoreciera alguna tendencia particular en los datos y tomando en cuenta a su vez los requerimientos para el consumo de gas carbónico por parte de la empresa y para el suministro del proveedor, en este caso **BOC GASES, C.A.**

Además, se realizó un análisis del impacto producido en el rendimiento estudiado al eliminar el consumo de CO<sub>2</sub> en la taza de la llenadora; por lo que se tomaron los consumos determinados en las líneas 3 y 4, extrapolándose dicho comportamiento a las tres líneas restantes. Adicionalmente, se recopiló información referente a los rendimientos determinados durante el mes de junio ya que los mismos habían sido utilizados para cálculos anteriores. Así, se realizó una comparación entre los días en los cuales se llevó a cabo dicho procedimiento, haciendo un cálculo de rendimiento de gas carbónico con y sin tomar en consideración la cuantificación realizada. La ecuación que define el cálculo del rendimiento los días de limpieza de línea es la siguiente:

$$\%R = \frac{mCO_{2(\text{con})}}{mCO_{2(\text{a lim})} - mCO_{2(\text{sanit})}} \quad (\text{XX}) \quad (\text{AJEVEN, C.A., 2005})$$

Donde:

$mCO_{2(\text{sanit})}$ : masa de gas carbónico consumida durante el sanitizado, (kg/día)

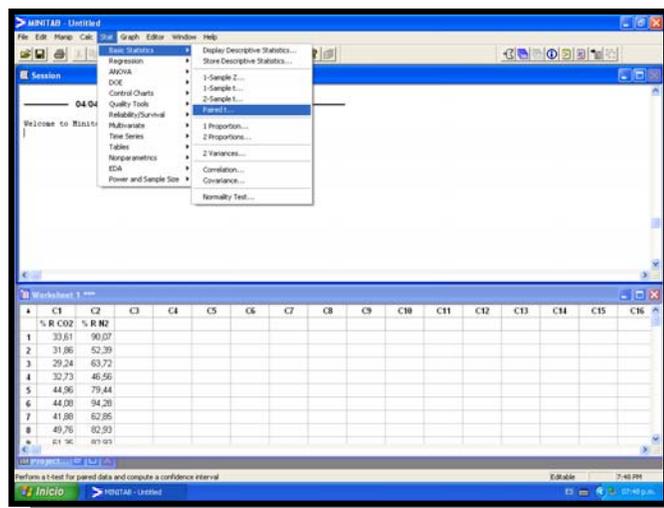
#### **7.1.4. Comparación del indicador de rendimiento antes y después de las mejoras realizadas**

Una vez calculado el rendimiento de dióxido de carbono para cada alternativa de mejora antes y después de la implementación de la misma, se procedió a

comparar dichos resultados. Para ello, en el caso de la utilización de nitrógeno, el tratamiento de los datos se fundamentó en la aplicación de una Prueba de Hipótesis de Igualdad de Medias asumiendo varianzas desiguales, puesto que para la empresa era importante demostrar la eficacia desde el punto de vista operativo de la alternativa planteada en contraste con los beneficios económicos obtenidos como resultado del análisis económico desarrollado.

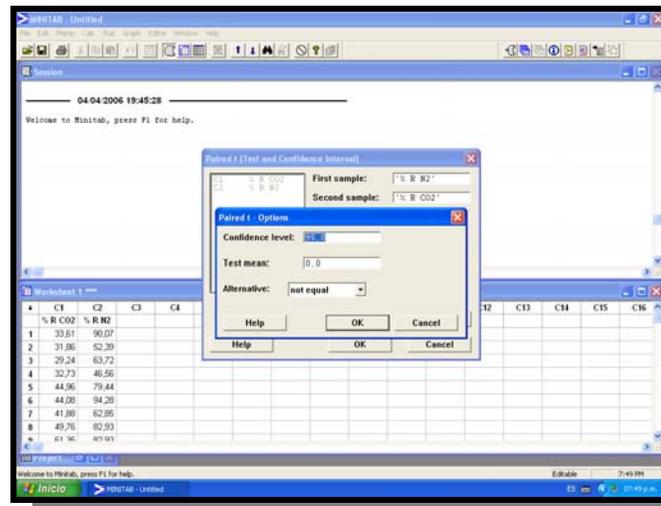
- Se comprobó que los datos recopilados siguieran una distribución normal, para lo cual se hizo uso del programa **MINITAB 13.20** (ver Capítulo IV). Una vez introducidos el rango de datos para cada caso en forma de columna, la secuencia fue la siguiente:

Stat>Basis Statistics>Paired T (Test and Confidence Interval)



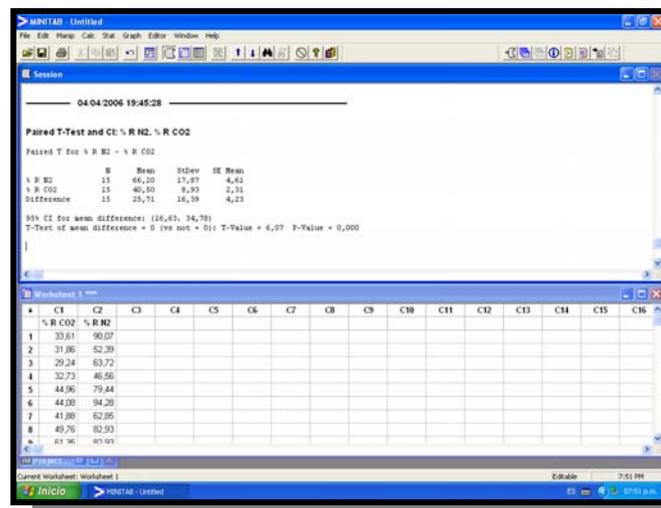
**Figura 7.1. Secuencia de pasos para la aplicación de la Prueba de Hipótesis**

- Luego se seleccionó el rango de datos que ocupa cada muestra para la variable 1 (%Rendimiento utilizando  $N_2$ ) y la variable 2 (%Rendimiento utilizando  $CO_2$ ), se declaró la diferencia a probar, el nivel de confianza asociado y la opción correspondiente a la hipótesis alternativa, para la cual se seleccionó “mayor que” (ver Figura 7.2.)



**Figura 7.2. Declaración de variables asociadas a la aplicación de la Prueba T**

- Finalmente se aceptaron los valores introducidos, apareciendo inmediatamente los resultados de la prueba (ver Figura 7.3.)



**Figura 7.3. Resultados de la aplicación de la Prueba de Hipótesis**

Por otro lado, para comparar el rendimiento para el caso del saneamiento y arranque de línea, se elaboraron gráficos de comportamiento para dicha variable en ambos casos (con y sin saneamiento). Estos gráficos se establecieron en un marco de tiempo de medición de 24 horas. La diferencia entre el rendimiento promedio los días de producción utilizando gas carbónico

para ambos procedimientos y el rendimiento promedio eliminando el consumo de CO<sub>2</sub> en la taza de las llenadoras los días en los cuales ocurre el saneamiento y arranque representa el incremento en el rendimiento ante la mejora realizada.

Para el caso del Programa de Corrección de Fugas desarrollado, la elaboración de gráficos de comportamiento bajo los mismos lineamientos planteados en el párrafo anterior y durante los meses de realización del mismo, permitieron la comparación del rendimiento con la finalidad de detectar los cambios originados ante la mejora realizada.

#### **7.1.5. Análisis del impacto producido en la calidad del producto final ante la implementación de la(s) alternativa(s) de mejora seleccionada(s) que pudiera(n) afectar la misma**

Al implementar dos de las alternativas de mejora planteadas, se analizó si alguna de éstas pudiera repercutir en los parámetros de calidad del producto final. La adecuación de las líneas con nitrógeno fue la alternativa que mediante observaciones durante la puesta en marcha de la misma, pudiera en todo caso impactar dicha calidad. El análisis respectivo se llevó a cabo siguiendo las consideraciones que se desarrollan a continuación:

##### **7.1.5.1. Determinación de los parámetros de calidad que pudieran ser afectados**

Tomando en cuenta las especificaciones y parámetros de calidad fijados por la empresa para sus bebidas, información bibliográfica recopilada y mediante observaciones realizadas en el área de llenado para contemplar la posibilidad de existencia del algún otro adicional, el volumen estándar de carbonatación resultó ser el único parámetro que en todo caso pudiera ser afectado al implementar nitrógeno en las líneas.

### 7.1.5.2. Recolección de los datos necesarios de volumen de CO<sub>2</sub> presente en el producto final

Los datos se recopilaban durante los mismos días en los cuales se realizó el análisis de los rendimientos planteado anteriormente. Para esto, se tomaron los registros de volumen de carbonatación llevados por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad y a su vez los registros tomados por el mismo departamento correspondientes a las no conformidades referidas a problemas en la carbonatación del producto final, en la línea 5 y para las fechas ya mencionadas. Estos se encuentran reportados en una tabla similar a la siguiente:

**Tabla 7.1. Datos involucrados para el control de calidad del producto final en el área de llenado haciendo uso de \_\_\_\_\_ en la taza de las máquinas llenadoras**

Fecha (dd/mm/aa)	Volumen V <sub>c</sub> (v/v)	No conformidad	
		Tipo	N° Cajas

#### 7.1.5.2.2. Tratamiento matemático de los datos recopilados

Una vez recopilados los datos para cada caso, se procedió a determinar las medidas estadísticas necesarias para describir estos. La Prueba de Normalidad realizada por el programa **MINITAB 13.20** arroja un resumen de dichos valores. Adicionalmente, con los datos recopilados referentes a las no conformidades se determinó la cantidad de cajas totales para cada caso durante el tiempo de evaluación, lográndose distinguir las variaciones en el proceso generadas por causas comunes y especiales, antes y después de implementar la adecuación de la línea con nitrógeno, así como también se logró determinar si éste era motivo de variación en el proceso y por ende en la calidad del producto final.

### **7.1.5.3. Análisis de los valores representados gráficamente**

Para analizar los resultados obtenidos se tomó en cuenta el comportamiento de los datos y la presencia de alguna situación especial que haya afectado de alguna manera la distribución y variación de éstos; analizando en cualquiera de los casos si ésta tenía relación directa o indirecta con el cambio realizado.

## **7.2. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Durante el desarrollo del cuarto objetivo se plantearon tres alternativas de mejora, las cuales fueron:

- Aplicación de un programa de corrección de fugas físicas de gas carbónico en las áreas de suministro y consumo del mismo
- Capacitación de los operarios por medio de cursos basados en el manejo de maquinaria y disminución de mermas generadas en el proceso productivo
- Empleo de nitrógeno en las líneas de elaboración de bebidas gaseosas en los procedimientos de sanitizado y arranque y para la presurización de la taza de las máquinas llenadoras

Este capítulo se hizo necesario introducirlo en el desarrollo del trabajo de investigación debido a la importancia y el valor con el que éste cuenta. En éste se pretende demostrar, por medio de valores completamente tangibles, los logros resultantes de la aplicación de la mayor parte de las alternativas de mejoras planteadas, así como también resaltar la importancia del trabajo realizado y de los beneficios generados a partir de su desarrollo.

Para la adecuación de las líneas con nitrógeno se utilizó la línea 5 de elaboración de bebidas gaseosas, la cual a pesar de no ser una de las líneas en la cuales se basó la investigación, debido a la similitud en el proceso de elaboración y a la finalidad del nitrógeno de solo presurizar la taza de la

llenadora, implicó que el comportamiento obtenido para el rendimiento de gas carbónico es aplicable en las líneas de producción analizadas e inclusive en las restantes. En la Tabla 7.2. se muestran las condiciones de operación de las líneas 3, 4 y 5 ligadas con la implementación realizada.

**Tabla 7.2. Condiciones de operación de las líneas de producción**

<b>Condiciones de operación</b>	<b>Línea 3</b>	<b>Línea 4</b>	<b>Línea 5</b>
Presión de la taza (bar)	4,55	4,50	4,76
Presión en el inyector (bar)	7,00	5,50	5,00
Presión tanque carbonatador (bar)	5,17	5,38	5,17
Formato (L)	3,1	3,1	0,5
Producto Elaborado	Cola negra	Cola negra	Cola negra

A pesar que el formato de trabajo en las líneas sea diferente, este factor no es determinante en las condiciones del proceso, pues la variación entre éstas no es tan significativa. Las variaciones se deben principalmente a los requerimientos del sistema, los cuales difieren entre una línea y otra debido a las diferencias entre los equipos presentes en cada una. En todo caso, el efecto producido en la línea en la cual se realizó la implementación, será el mismo en las líneas restantes pero en proporciones diferentes.

Al igual que en objetivos anteriores, la muestra se restringió a 15 datos para cada caso, debido al trabajo que implica colocar la línea única y exclusivamente con un solo proveedor, lo cual provoca una disminución en el consumo y por ende retraso en el suministro, de acuerdo a lo convenido entre las partes. Tomando en cuenta esta restricción, para que la comparación fuera justa, las corridas se hicieron de manera aleatoria, de manera que a cada evaluación le correspondieran condiciones equivalentes y así nulificar el efecto de todas las fuentes de variabilidad que actúan durante el transcurso de las mismas, repartiendo su efecto equitativamente para cada caso.

**Tabla 7.3. Porcentajes de rendimiento de gas carbónico obtenidos antes y después de la implementación de la mejora planteada en la taza de las máquinas llenadoras**

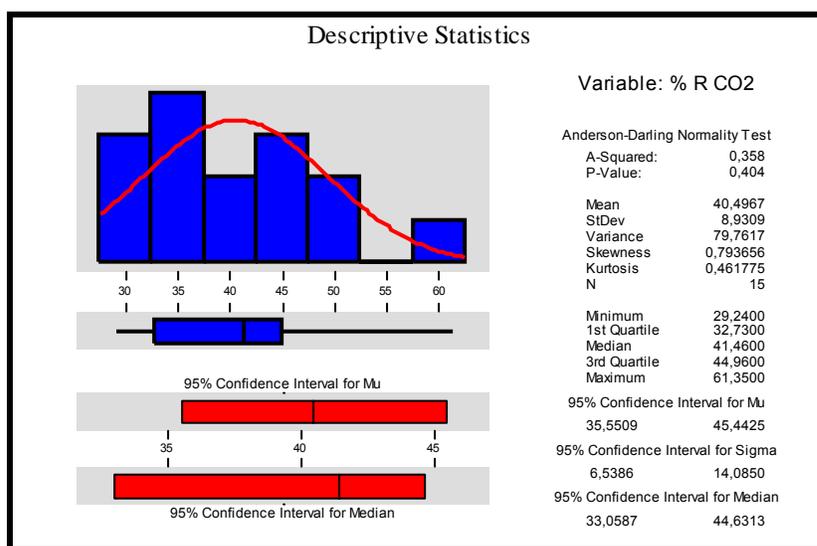
Porcentaje de rendimiento utilizando nitrógeno			Porcentaje de rendimiento utilizando dióxido de carbono		
Masa de CO <sub>2</sub> alimentada (kg/día)	Masa de CO <sub>2</sub> consumida (kg/día)	Rendimiento usando N <sub>2</sub> (%)	Masa de CO <sub>2</sub> alimentada (kg/día)	Masa de CO <sub>2</sub> consumida (kg/día)	Rendimiento usando CO <sub>2</sub> (%)
907,43	817,35	90,1	1817,91	611,03	34,2
1136,33	595,30	52,2	1818,18	579,29	32,3
909,06	579,29	64,1	1818,12	531,68	29,4
681,80	317,42	47,2	1818,12	595,16	33,4
909,06	722,13	79,2	1818,12	817,35	45,5
909,06	857,03	94,3	1818,12	801,48	44,6
909,06	571,35	63,1	1818,12	761,38	42,1
909,06	753,87	83,2	1818,12	904,64	50,4
909,06	753,87	83,2	1590,86	976,06	61,2
909,06	579,29	64,2	1818,12	801,48	44,1
909,06	365,03	40,3	1818,12	753,87	41,1
1136,33	658,64	58,3	1818,12	912,58	50,1
681,80	563,42	83,4	2045,39	745,93	36,2
909,06	428,51	47,4	1818,12	643,62	35,2
909,06	420,58	46,1	2272,73	690,39	30,3

Tal y como se puede observar en la Tabla 7.3., de manera individual existe una diferencia entre los valores de rendimiento antes y después del cambio realizado en la línea. Esto último corresponde a una hipótesis generada una vez analizados los datos de la muestra seleccionada, pero no basta fundamentar la afirmación en lo que “se ha percibido” en el proceso, sino que es necesario mostrar los datos adecuados que corroboren lo que se afirmó.

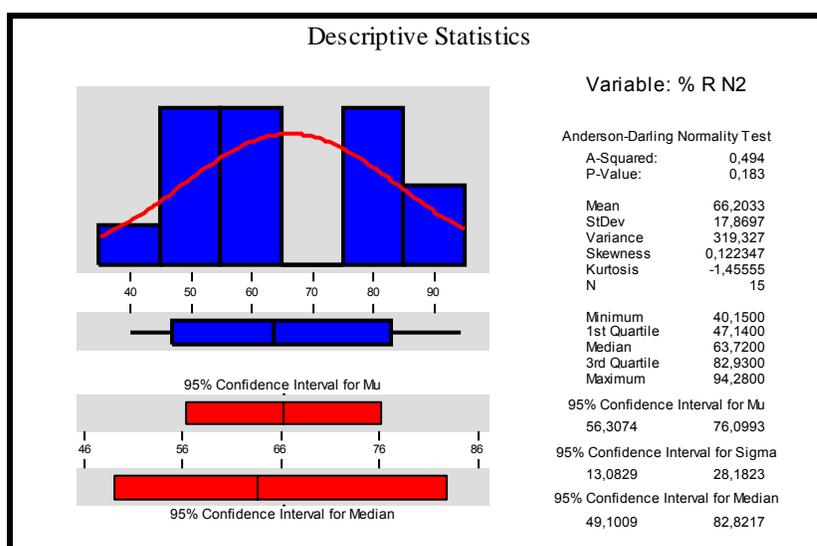
La realización de una Prueba de Hipótesis para la Igualdad de Medias aplica generalmente cuando se desea comparar la media de dos procesos, poblaciones o tratamientos; en este caso particular se refiere a la comparación de dos métodos de trabajo diferentes por lo que ésta corresponde apropiadamente al análisis requerido. Además, al no conocer las varianzas del proceso, solo las muestrales, se prefirió asumir que éstas son diferentes; de igual forma, según

la bibliografía consultada, este método arroja buenos valores en el caso que la suposición estuviera errada y las varianzas fueran iguales. Dicha prueba es aplicable si y solo si los datos siguen una distribución normal.

La Prueba de Normalidad aplicada a los rendimientos obtenidos para cada método arrojó los siguientes resultados:



**Figura 7.4. Prueba de Normalidad para el porcentaje de rendimiento haciendo uso de CO<sub>2</sub> en la taza de las máquinas llenadoras**



**Figura 7.5. Prueba de Normalidad para el porcentaje de rendimiento haciendo uso de N<sub>2</sub> en la taza de las máquinas llenadoras**

Tal y como se muestra en los resultados expuestos en las figuras, haciendo uso de la prueba planteada, se acepta la hipótesis nula correspondiente a la normalidad de los datos puesto que el valor de la significancia calculada P-value para ambos casos es mayor que 0,05.

Adicional a la curva envolvente del histograma de frecuencias y a los valores de la media, desviación estándar y varianza, el programa muestra otras medidas para complementar la descripción del comportamiento de los rendimientos de gas carbónico para ambos casos. Los más representativos son los cuartiles y el diagrama de caja. Este último, al comparar ambos diagramas, se puede decir que para el caso del porcentaje de rendimiento haciendo uso de CO<sub>2</sub> existe mayor variabilidad que para el caso del N<sub>2</sub>, puesto a que el diagrama para el primero es más largo comparado con el otro. Además, la tendencia central de los datos en ambos casos difiere totalmente por lo que esto contribuye a la suposición de que los rendimientos obtenidos al operar las máquinas de formas distintas, difieren entre sí.

Otra observación importante con respecto a la distribución de los datos, se deriva del hecho de que para el caso del uso de gas carbónico el histograma se encuentra un tanto sesgado hacia la derecha puesto que el brazo del diagrama de caja en ese caso es mucho más largo en esa dirección. Este sesgo se debe principalmente al desempeño especial del proceso originado por procedimientos viciados en los operadores, este tipo de sesgo es común y corresponde a uno del tipo “entre más grande mejor”. Para el caso del nitrógeno, una vez estabilizado el proceso, al estandarizarse el uso del mismo en las máquinas llenadoras es de esperarse que la distribución de los rendimientos se asemeje a la del dióxido de carbono.

Una vez corroborada la distribución normal de los datos, para la comparación entre rendimientos se formularon dos hipótesis: la nula y la alternativa. La primera consideró que las medias del rendimiento de gas carbónico eran

estadísticamente iguales, lo cual equivale a lo que se pretende investigar con el proyecto y demostrar que sucede lo contrario; por ende ésta es la hipótesis nula.

La hipótesis alternativa correspondió al hecho de que si no son iguales son diferentes; en este caso se necesitó demostrar que la media al trabajar con nitrógeno es mayor a la calculada al trabajar con CO<sub>2</sub>, a ésta se le llama hipótesis alternativa de un solo lado (unilateral). Partiendo de la suposición de que la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) es verdadera, al ser ésta rechazada, la hipótesis alternativa (H<sub>A</sub>) se acepta como cierta y se demuestra la afirmación que se quería probar. Las hipótesis se plantearon como se muestra a continuación:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 > \mu_2$$

Así, se aplicó una distribución T de Student, puesto ésta es conveniente cuando se requiere fundamentar inferencias acerca de una media de una población o proceso. Adicionalmente se utilizó un valor de  $\alpha = 0,05$ ; el cual es lo suficientemente pequeño como para asegurar el rechazo de la hipótesis nula y evitar incurrir en algún error al tomar la decisión equivocada. Los resultados obtenidos al utilizar el programa **MINITAB 13.20** se muestran en la Tabla 7.4.

**Tabla 7.4. Estadísticos resultantes de la Prueba de Hipótesis para dos medias suponiendo varianzas desiguales**

Estadísticos	Variable 1	Variable 2
Media	66,20	40,50
Desviación estándar	17,87	8,93
Observaciones	15	15
Diferencia hipotética de las medias	0,00	----
Estadístico T <sub>0</sub>	6,07	----
P-value una cola	0,00	----

Al analizar los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, es decir, la media estadística de rendimiento de gas carbónico para el proceso de llenado utilizando nitrógeno en la taza de la llenadora es mayor que el mismo proceso utilizando CO<sub>2</sub> para el mismo fin ya mencionado.

Para rechazar la hipótesis nula, uno de los criterios expresa que al ser la hipótesis alternativa unilateral, el valor de la significancia calculada denominada P-value para una cola, debe ser menor a la significancia predefinida ( $\alpha$ ) para cumplir con el criterio de rechazo. Obviamente, el valor calculado es tan pequeño que implica que el nivel de confianza es aproximadamente igual a 100% y por lo tanto se logró demostrar que el comportamiento evidenciado durante el muestreo no proviene netamente del azar y se logra un incremento del 22% con respecto al rendimiento actual en la línea en estudio.

A pesar de que los resultados obtenidos correspondieran a la línea 5, en las otras líneas se espera un comportamiento similar, puesto que el uso de este gas implica una disminución evidente en las pérdidas de CO<sub>2</sub> que generan valores bajos de rendimiento; y a su vez en esencia, el proceso para todos los casos se basa fundamentalmente en el mismo principio. Con respecto al sanitizado y arranque, al adecuar las líneas con nitrógeno, también disminuyen las pérdidas de gas relacionadas con la taza de la llenadora. Para este caso, el análisis se hizo tomando en cuenta el impacto producido por éste en el rendimiento de CO<sub>2</sub>, por lo tanto dichos valores fueron calculados suministrando gas carbónico tanto en el sistema de carbonatación como en el área de llenado.

Además, se tomaron todas las líneas pues el impacto es mucho más evidente, especialmente los días en los cuales se hiciera la limpieza de varias de ellas. Para la empresa es mucho más conveniente la realización de dicho análisis de manera global, puesto que en trabajos posteriores, se analizará la puesta en

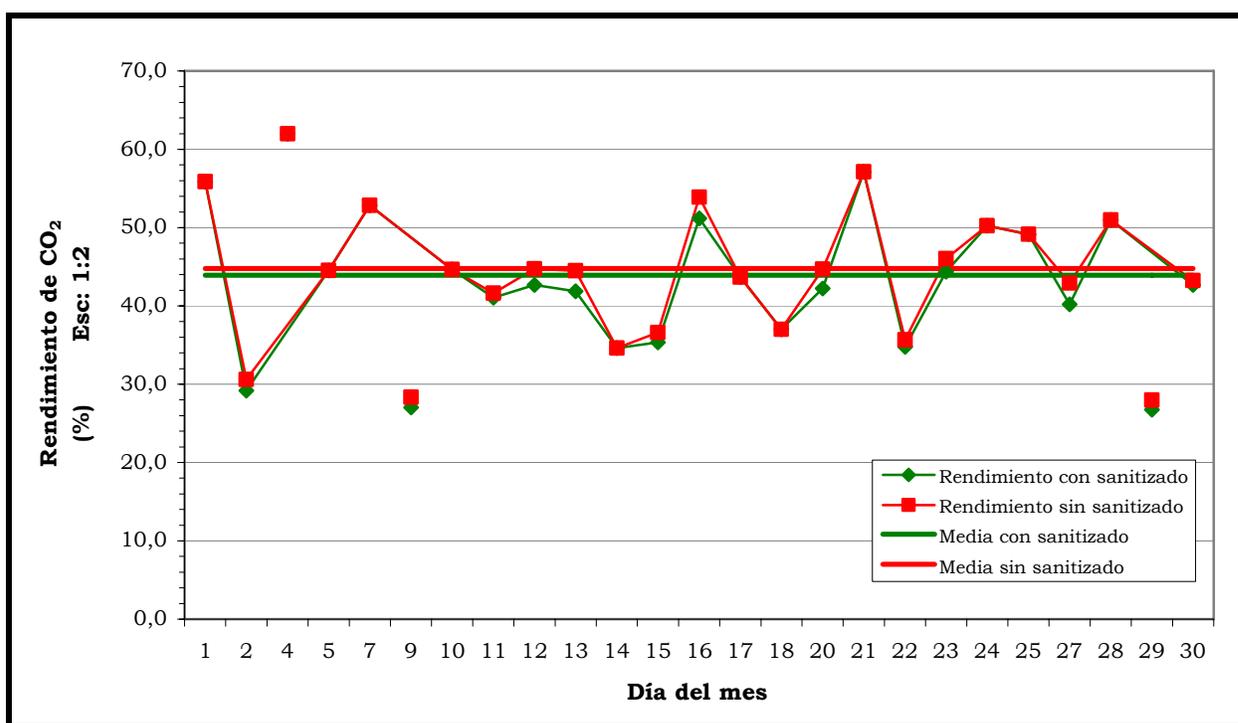
marcha de este proyecto en las líneas restantes de elaboración de bebidas gaseosas.

El consumo tomado fue de aproximadamente 227,5 kg, dicho valor fue determinado durante el desarrollo del quinto objetivo para la línea 4. El consumo determinado se asumió aproximadamente igual para todas las líneas, puesto que la escala de lectura del manómetro no es muy sensible ante cambios tan pequeños, de manera que a pesar de que las llenadoras presenten un volumen diferente, éste no es tan significativo como para generar un consumo apreciable de gas carbónico que pudiera ser apreciado con mayor claridad entre una y otra.

Las mediciones realizadas tomando en cuenta solamente las referidas a la presurización de la taza, muestran que aproximadamente se reparten equitativamente la cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado para generar las presiones correspondientes tanto al carbonatador como en la taza de la llenadora. Finalmente, tomando en cuenta los resultados obtenidos, se considera que el consumo para las demás líneas (1, 4 y 5) es aproximadamente el mismo (la línea 2 no se tomó en cuenta pues actualmente se encuentra presurizada con aire); resultando que durante el saneamiento de todas éstas se gasta aproximadamente 910 kg de CO<sub>2</sub>, los cuales serían minimizados a la hora de poner en marcha el proyecto de investigación en todas las líneas.

Para las líneas 3 y 4 se ahorrarían 455 kg aproximadamente cuando éstas fueran saneadas el mismo día. Así, los resultados reflejan que se pierde una cantidad considerable de CO<sub>2</sub> durante la realización de estos procedimientos. Dicha pérdida puede ser controlable en el caso de la cantidad de gas carbónico utilizada en la presurización de la taza de las llenadoras; caso contrario sucede con la utilizada para generar presión en el carbonatador.

De cualquier manera, el impacto se muestra en el siguiente gráfico de comportamiento, en el cual se nota la diferencia entre las medias en ambos casos; así como el desplazamiento hacia arriba de la curva que no toma en cuenta el consumo por limpieza, dependiendo del número de líneas involucradas en la aplicación de tal procedimiento. La misma indica el comportamiento del rendimiento al minimizar las pérdidas de CO<sub>2</sub> controlables; verificando así un incremento notable en los rendimientos estudiados donde no se consideraron aquellos valores atípicos del comportamiento observado, tal y como se muestra para el mes de junio:



**Figura 7.6. Comparación del comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub> tomando en cuenta el saneamiento de y arranque de las líneas**

El análisis realizado refleja un incremento en la media del rendimiento de CO<sub>2</sub>, tal y como se esperaba. Dicho análisis se realizó para un mes completo, con el fin de contemplar todas las posibles variaciones en un lapso de tiempo considerable, tomando en cuenta la información recolectada durante este mes con respecto a los saneamientos y arranques de líneas, verificándose un

incremento de apenas un 1% en la media del proceso al reducir las pérdidas ocurridas durante los procedimientos mencionados. Esto se debe a que las masas involucradas en el gasto de CO<sub>2</sub> durante el saneamiento es muy pequeña comparada con los gastos mensuales, por ende el incremento se observa en una proporción pequeña pero al analizarlo por día dicho incremento se refleja notoriamente, ver Tabla 7.5.

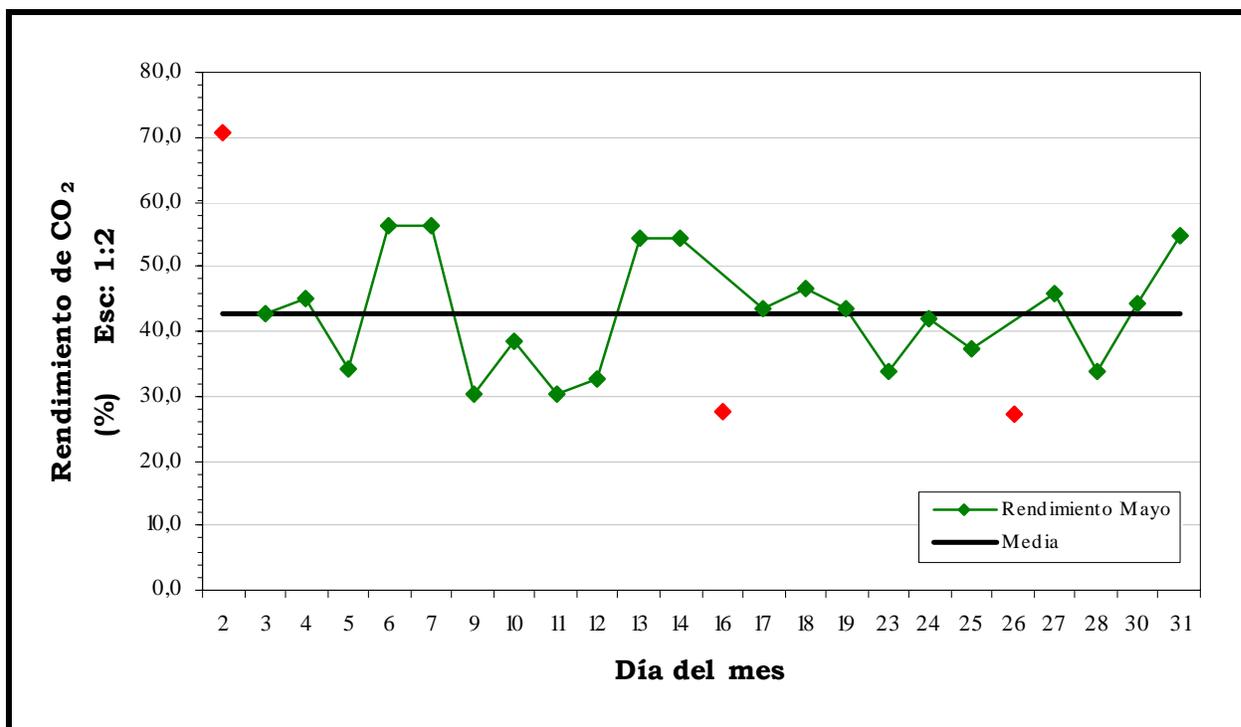
**Tabla 7.5. Comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub> al minimizar las pérdidas durante el saneamiento y arranque en las líneas de producción**

Consumo en sanitizado por línea (kg)	Número de líneas saneadas	Ahorro en CO <sub>2</sub> (kg)	Rendimiento promedio considerando consumo por sanitizado (%)	Rendimiento promedio sin considerar consumo por sanitizado (%)
227,5	1	227,5	44	45
	2	455,0		
	3	682,5		
	4	910,0		

### 7.2.1. Cronograma de corrección de fugas

El programa comenzó a llevarse a cabo a partir de 04/06/2005 y culminó el 10/07/2005. Éste debió desarrollarse en tres semanas; sin embargo, el retraso del mismo se debió a que la ejecución fue realizada por los técnicos representantes de **PRAXAIR, C.A.** y por ende su desarrollo se vio limitado a la disponibilidad de los mismos de asistir a la planta, así como también de las paradas de las líneas de manera que no se viera afectada la producción. El mismo, se llevó a cabo en todas las líneas de producción debido a la ausencia de este tipo de actividades dentro de la empresa. Por la importancia de la corrección de fugas en las líneas, una vez determinadas las causas de los bajos rendimientos de CO<sub>2</sub>, se procedió prioritariamente a la resolución del problema mencionado inicialmente, por lo cual se utilizó el mes de mayo como referencia a fin de comparar la incidencia de las mejoras realizadas.

Para el mencionado análisis, se utilizaron las llamadas gráficas de comportamiento. Los puntos de datos fueron registrados en el orden en el cual ocurrieron, obteniendo de esta forma, información visual de los cambios ocurridos en el proceso.

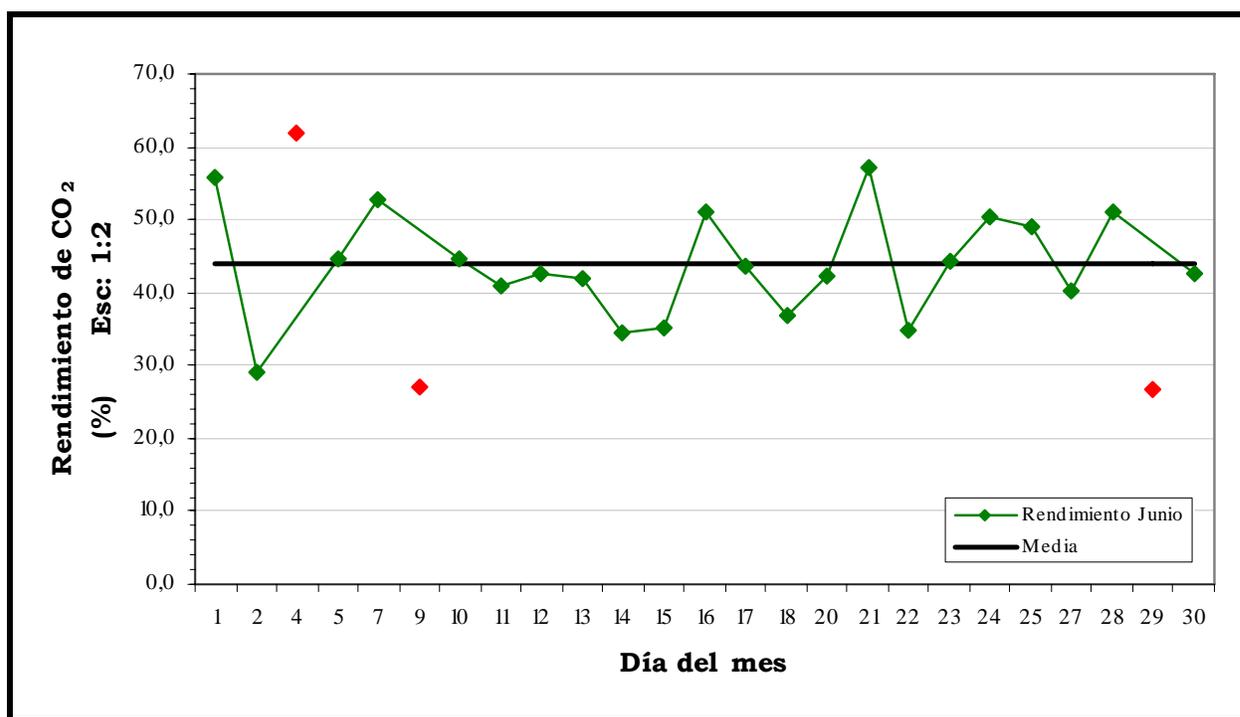


**Figura 7.7. Comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub> durante el mes de mayo**

La Figura 7.7. muestra el desempeño histórico del rendimiento de CO<sub>2</sub>, durante el mes de mayo, durante el cual no se realizaron mejoras en cuanto a las fugas físicas. El valor correspondiente a la media calculada y las razones del comportamiento observado para dicho mes se explicaron en su momento durante el desarrollo del Capítulo V. De esta manera, aquellos datos que no siguieron la tendencia general en el mes estudiado para el rendimiento de CO<sub>2</sub> no fueron considerados para la determinación de la media, ya que dicho comportamiento se debió a algunas situaciones bien específicas durante la producción; no obstante los mismos aparecen indicados en los gráficos según corresponde.

**Tabla 7.6. Variación del rendimiento de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción de bebidas gaseosas durante el mes de junio**

Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)	Fecha	Día	Rendimiento (%)
01/06/2005	1	55,9	17/06/2005	14	43,7
02/06/2005	2	29,2	18/06/2005	15	37,0
04/06/2005	3	62,0	20/06/2005	16	42,2
05/06/2005	4	44,5	21/06/2005	17	57,1
07/06/2005	5	52,8	22/06/2005	18	34,8
09/06/2005	6	27,0	23/06/2005	19	44,4
10/06/2005	7	44,7	24/06/2005	20	50,2
11/06/2005	8	41,1	25/06/2005	21	49,2
12/06/2005	9	42,7	27/06/2005	22	40,2
13/06/2005	10	41,9	28/06/2005	23	51,0
14/06/2005	11	34,6	29/06/2005	24	26,8
15/06/2005	12	35,3	30/06/2005	25	42,7
16/06/2005	13	51,2			



**Figura 7.8. Comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub> durante el mes de junio**

Con los valores mostrados en la Tabla 7.6., se elaboró el gráfico de la Figura 7.8. donde se observa que la media ( $44 \pm 7$ )% no cambió significativamente a pesar que los valores tienen a dispersarse entre sí un poco menos en relación con el mes de mayo. Hasta este mes no se habían atacado las líneas de producción 3 y 4.

No obstante, una vez finalizadas las acciones planificadas, para el mes de julio se obtuvieron los siguientes valores para los rendimientos de CO<sub>2</sub>, los cuales se indican en la Tabla 7.7.:

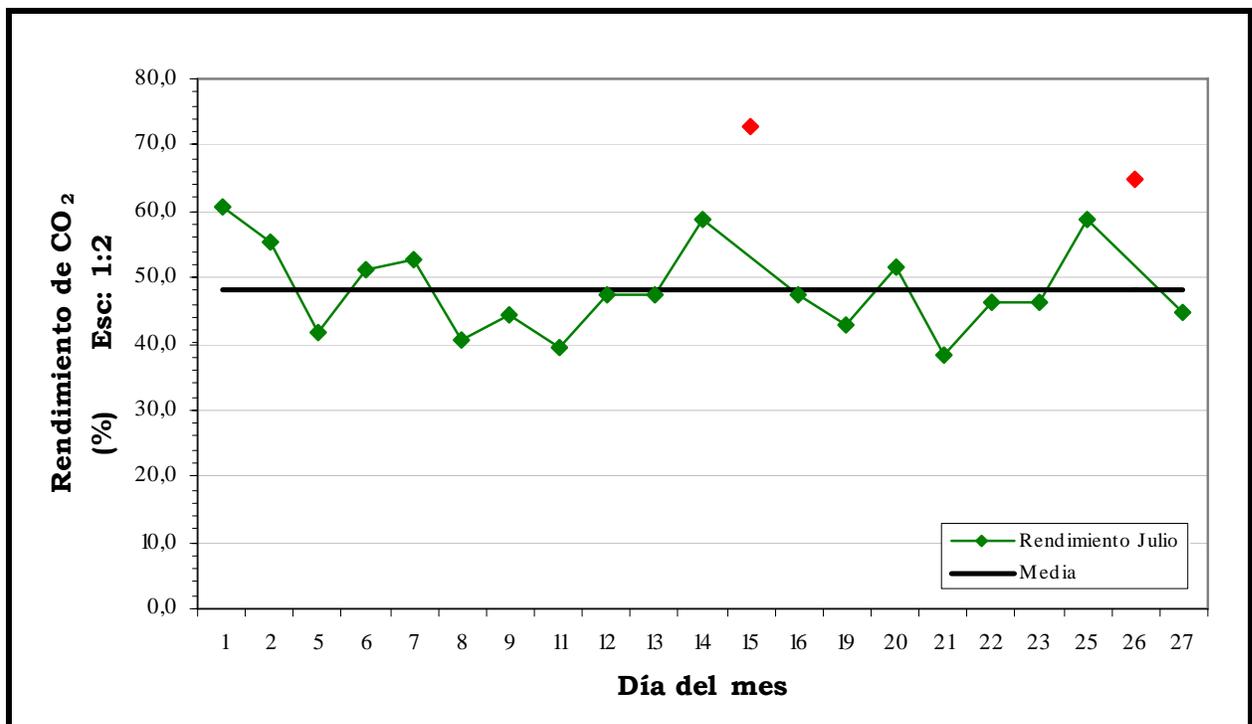
**Tabla 7.7. Variación del rendimiento de CO<sub>2</sub> en las líneas de producción de bebidas gaseosas durante el mes de julio**

Fecha (dd/mm/aa)	Día	Rendimiento (%)	Fecha	Día	Rendimiento (%)
01/07/2005	1	60,8	15/07/2005	12	72,7
02/07/2005	2	55,2	16/07/2005	13	47,3
05/07/2005	3	41,7	19/07/2005	14	42,7
06/07/2005	4	51,3	20/07/2005	15	51,7
07/07/2005	5	52,6	21/07/2005	16	38,5
08/07/2005	6	40,5	22/07/2005	17	46,1
09/07/2005	7	44,5	23/07/2005	18	46,1
11/07/2005	8	39,3	25/07/2005	19	58,8
12/07/2005	9	47,3	26/07/2005	20	64,7
13/07/2005	10	47,3	27/07/2005	21	44,6
14/07/2005	11	58,8			

De esta manera, para el rendimiento del mes de julio se obtuvo una media de ( $48 \pm 7$ )%, observándose un incremento con respecto al mismo valor para el mes anterior. Ahora bien, en este caso se quiere ignorar el comportamiento aceptable y normal del proceso y enfocar únicamente los cambios que alteraron el proceso significativamente, por lo tanto las variaciones encontradas entre los mencionados valores se le atribuyen a la corrección de fugas realizadas en las

líneas de producción, siendo éstas las más relevantes que pudieron afectar de una forma u otra el proceso productivo.

Por otro lado, el comportamiento del rendimiento del dióxido de carbono se puede apreciar gráficamente mediante la Figura 7.9. mostrada. Hasta el mes de mayo, era de conocimiento que los rendimientos promedios mensuales se encontraban cercanos al 40% sin lograr llegar ni siquiera acercarse al 50%, lo cual si se obtuvo para el mes de julio.



**Figura 7.9. Comportamiento del rendimiento de CO<sub>2</sub> durante el mes de julio**

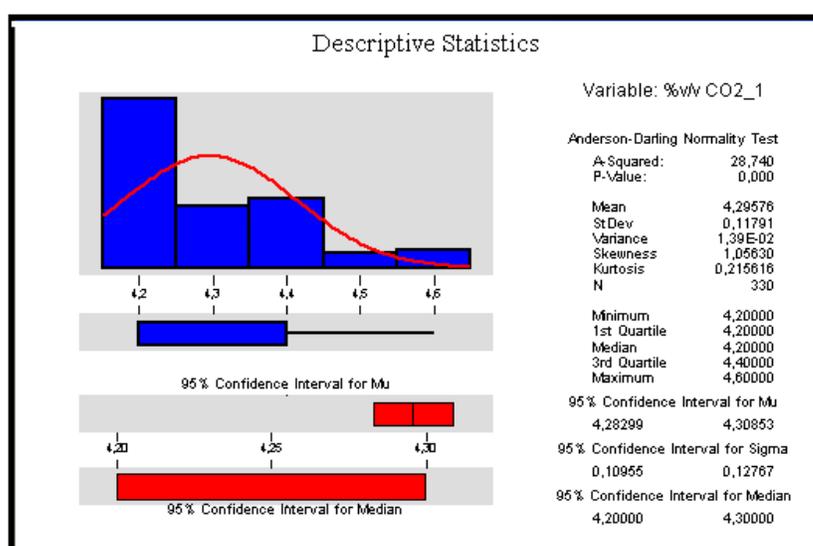
Tal y como se observa en los gráficos mostrados, los puntos de datos no revelaron una tendencia o patrón en el proceso, puesto que como se sabe, este tipo de procesos se encuentra afectado por una diversidad de factores que lo convierten en un proceso muy variante. Es por esto, que el análisis se basó principalmente en el estudio de la media del proceso, esta última se encuentra calculada y exhibida como una línea horizontal sólida en la gráfica; alrededor de la cual los puntos de datos variaron hacia abajo y arriba de la misma.

## 7.2.2. Análisis en la calidad del producto final

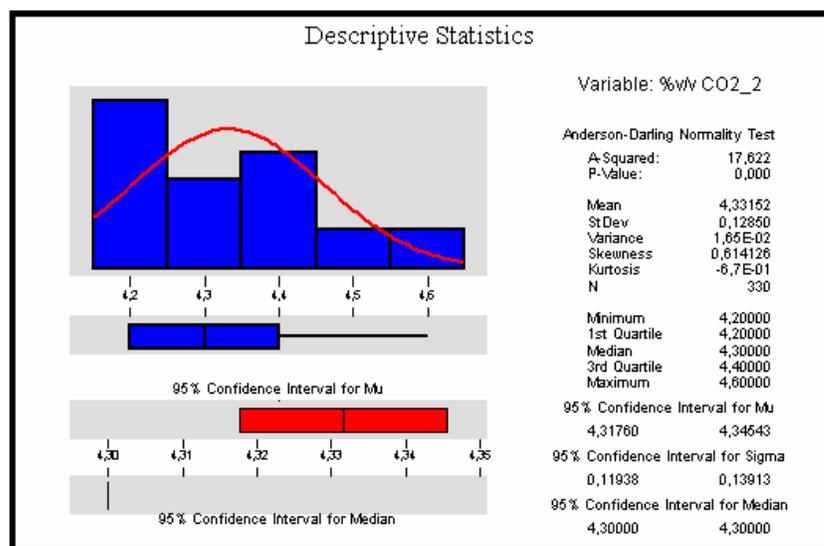
En **AJEVEN, C.A.**, la calidad del producto final se mide por medio de cuatro variables de respuesta, éstas son: grados Brix, volumen estándar de dióxido de carbono en la bebida, torque y peso del producto terminado. Si las mediciones realizadas se encuentran dentro de las especificaciones fijadas por la empresa, se puede decir que el proceso opera de manera adecuada.

Así, al realizar cualquier cambio, éste debe efectuarse sin que se modifiquen las especificaciones mencionadas. Como el nitrógeno no es soluble en la bebida a las condiciones de operación, podría originarse solo una disminución en la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelta puesto que al no estar éste en contacto con la bebida saturada, el gradiente de concentraciones es mucho mayor y podría originar una desorción del gas. Las otras variables no se ven afectadas ya que se relacionan con la operación de los equipos y con la materia prima utilizada.

El programa **MINITAB 13.20** arrojó los siguientes resultados los datos recopilados, como se muestran en las siguientes figuras:



**Figura 7.10. Estadística descriptiva para el volumen de carbonatación haciendo uso de CO<sub>2</sub> para la presurización de la taza de la máquina llenadora**



**Figura 7.11. Estadística descriptiva para el volumen de carbonatación haciendo uso de N<sub>2</sub> para la presurización de la taza de la máquina llenadora**

Los resultados que arroja la Prueba de Normalidad son muy útiles a pesar de que no se esté estudiando la distribución de los datos. Para ambos casos, dicho análisis permite conocer la tendencia central de los datos; éste es el primer aspecto a investigar si se desea conocer si el proceso cumple o no con las especificaciones, puesto que su valor permite saber si la tendencia central de la variable de salida es igual o está muy próxima al valor nominal especificado (4,4 v/v para cola negra).

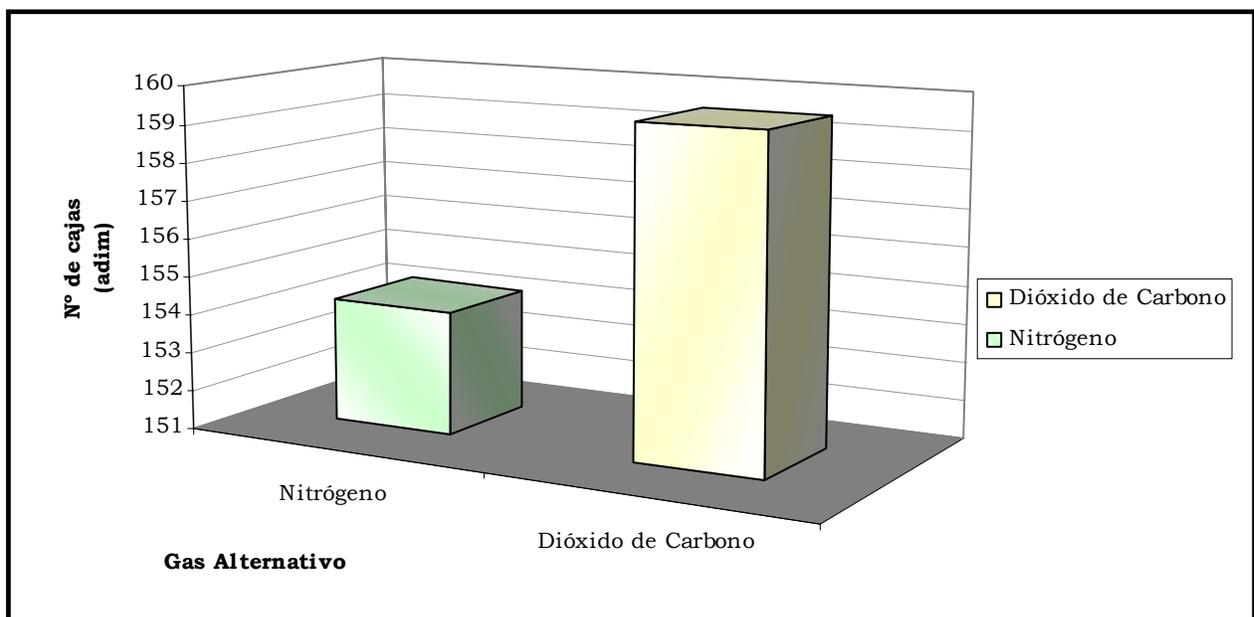
La media indica que el proceso se encuentra moderadamente descentrado a la izquierda, aunque para el caso del uso de nitrógeno se encuentra más cerca al valor nominal fijado. Por otro lado, la mediana para el nitrógeno resultó acercarse otra vez al valor de la especificación; esta medida indica para este caso que el 50% de los datos son menores o iguales a 4,3 v/v y que el otro 50% son mayores o iguales a dicho valor.

Adicionalmente, se muestran las medidas de dispersión para cada caso, lo cual permite complementar la información suministrada por las de tendencia central. Los valores obtenidos reflejan una mayor variación de los datos con

respecto a la media para el caso del uso de nitrógeno en la taza de las máquinas llenadoras. Esto se muestra claramente en el histograma de frecuencias, puesto para el caso mencionado existe mayor cantidad de valores cercanos al límite de especificación superior que para el caso en el cual se trabaja con dióxido de carbono la máquina.

Para explicar el hecho de lo sucedido, se tomó como base el sesgo que presenta la distribución de la variable de salida hacia la derecha. Para ambos casos, esto se atribuye a un desplazamiento paulatino del proceso debido al uso de procedimientos viciados en la forma de obtener las mediciones, lo cual trae como consecuencia un desempeño especial del proceso en el sentido que sus resultados tienden a ser más frecuentes de un solo lado.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta se refiere a la aparición de no conformidades, es evidente que la existencia de éstas por motivos de carbonatación de bebida, se debe a un desempeño especial del proceso. La siguiente figura muestra los valores obtenidos:



**Figura 7.12. Comparación entre el número de cajas resultantes de no conformidades al trabajar la llenadora con dos tipos de gases alternativos**

Como se aprecia en la Figura 7.12., la diferencia es de aproximadamente 5 cajas, lo cual no es significativo como para decir que el uso de nitrógeno originó el aumento o descenso en las no conformidades. Al contrario, el sistema parece no verse afectado por tal fenómeno, puesto que al determinar la causa principal que lo originó, de nuevo el incremento en la temperatura aparece debido al descontrol del sistema de enfriamiento. La consecuencia principal de este hecho es la generación de no conformidades del tipo volumen de carbonatación bajo, el cual es precisamente el resultado obtenido luego del análisis realizado.

En líneas generales, el desempeño de los procesos es similar puesto que las variaciones entre uno y otro se deben principalmente a la frecuencia de aplicación de procedimientos viciados, puesto que el factor determinante se debe al constante descontrol del sistema de enfriamiento de la bebida ya que actualmente la empresa no cuenta con el mismo, lo que trae como consecuencia un incremento en la manipulación de los equipos por parte de los operadores con la finalidad de mantener el producto dentro de especificaciones, evitar la obtención de producto no conforme y evitar cualquier tiempo muerto que pudiera afectar el desempeño de la producción y del proceso.

Finalmente, se demostró que la utilización de nitrógeno en las máquinas llenadoras no afecta el desempeño del proceso ni la calidad del producto elaborado. Es importante dirigir el estudio al control estadístico de procesos, por lo que se deja a los autores de próximos Trabajos de Grados a ser desarrollados en la empresa, la elaboración de este tipo de análisis con la finalidad de mejorar la capacidad del proceso y el control del mismo, logrando así continuar con el desarrollo del sistema de mejora continua seguido por la misma.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*El presente capítulo muestra las conclusiones obtenidas una vez desarrollados los objetivos propuestos en la presente investigación, así como algunas recomendaciones para el mejoramiento de la situación propuesta en este estudio.*

### 8.1. CONCLUSIONES

#### **En cuanto al diagnóstico:**

- Los bajos rendimientos de CO<sub>2</sub> se concentran en mano de obra, maquinaria y método operacional.
- El uso de CO<sub>2</sub> en el sanitizado y arranque de las líneas, la capacitación de los operarios y las fugas físicas de CO<sub>2</sub> en tuberías y uniones son las causas fundamentales de los bajos rendimientos de gas carbónico.

#### **En relación a la evaluación del sistema de tuberías:**

- Las pérdidas por fricción en el sistema de tuberías de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> son pequeñas.
- El sistema de suministro y consumo de CO<sub>2</sub> no presenta ninguna limitación de trabajo bajo las condiciones actuales del mismo.

#### **En relación a las pérdidas de gas carbónico:**

- Al incrementarse el tiempo de paradas en las líneas, aumentan las pérdidas de gas carbónico en el sistema de carbonatación.
- Las pérdidas de CO<sub>2</sub> son originadas en mayor proporción en las máquinas llenadoras.

#### **En relación a la generación de alternativas:**

- El nitrógeno es una buena alternativa para sustituir al CO<sub>2</sub> para la limpieza y arranque de las líneas y en las máquinas llenadoras.
- La aplicación de un Plan de Corrección de Fugas es una solución para la disminución de las pérdidas físicas de CO<sub>2</sub> en tuberías y uniones.
- El mejoramiento del desempeño de los operarios se puede resolver mediante cursos y charlas de capacitación.

**En cuanto al estudio económico:**

- El valor actual, equivalente anual y la tasa interna de retorno para la alternativa de mayor impacto económico fueron 2.500.000.000 Bs., 110.000.000 Bs. y 118 % respectivamente.

**En cuanto a la implementación de alternativas:**

- Al operar las máquinas llenadoras con nitrógeno se produce un incremento en el porcentaje de rendimiento de gas carbónico.
- La corrección de fugas de CO<sub>2</sub> generó un incremento en el rendimiento de del mismo en un 5% aproximadamente.

**8.2. RECOMENDACIONES**

- Seguir un calendario de monitoreo de fugas de CO<sub>2</sub> de manera de control el indicador de rendimiento del mismo.
- Capacitar a los operadores en el manejo de las máquinas llenadoras, puesto que algunos la manipulan de la manera menos adecuada ocasionando paradas y perdidas durante el proceso.
- Asignar los recursos económicos necesarios para la adquisición de equipos medidores de flujo para la cuantificación y control del CO<sub>2</sub> utilizado en el proceso.
- Adicionar en el formato para el control del proceso de llenado, las tablas necesarias para la recolección de los datos planteados para la determinación del indicador de rendimiento de gas carbónico, mediante las expresiones establecidas.
- Disminuir los valores de presión utilizados durante el saneamiento de las líneas para continuar minimizando las pérdidas de CO<sub>2</sub> durante el proceso.
- Establecer sistemas de control para mantener la temperatura de la bebida en los valores establecidos de manera de contribuir a que el proceso se mantenga bajo las condiciones de control estadístico.

- Realizar estudios similares en las líneas de llenado restantes, de manera que se pueda conocer la proporción de las mermas de gas carbónico generales, durante todo el proceso productivo.
- Analizar periódicamente los parámetros de calidad mediante los estudios estadísticos pertinentes, para así realizar determinaciones de acuerdo con las condiciones actuales del proceso.
- Realizar un estudio de solubilidad tanto del gas carbónico como del nitrógeno en el jarabe con el objeto de analizar el comportamiento de dichos gases.
- Realizar un estudio del comportamiento del flujo de dióxido de carbono a lo largo del sistema de su distribución, basado en patrones preestablecidos.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Burbano, L. (2005). **Estadísticas, estimadores y estimadores puntuales**. [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.monografias.com>

Chourio, J. (1987). **Estadística I**. Caracas. Editorial Biosfera

Chourio, J. (1987). **Estadística II**. Caracas. Editorial Biosfera

Colón, K. (2003). **Evaluación y mejoramiento en la línea de producción de concentrado de naranja de Corporación INLACA, C.A.** Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Bárbula

Comisión Venezolana de Normas Industriales. **Bebidas Gaseosas, COVENIN 2182:1995**. Caracas

Corona, R. y Lau, C. (2004). **Rediseño de la línea de tratamiento químico de los perfiles de aluminio de la empresa I.V.I.V. Group, C.A.** Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Bárbula

Fernández, P. (2002). **Evaluación de riesgos y puntos críticos de control (HACCP) en una línea de producción de harina precocida de maíz y arroz de una empresa de cereales.** Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Bárbula

Giugnini, L. y otras. (1989). **Evaluación de Proyectos de Inversión.** Trabajo de Ascenso, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Valencia

Hernández, R. y otros. (2003). **Metodología de la Investigación.** (3era. Ed.). México. Editorial McGraw Hill

Himmelblau, D. (1997). **Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química.** México. Editorial Continental S.A.

Kume, H. (1997). **Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad.** Bogotá. Grupo Editorial Norma

**Manual ALSIM.** (1980). España.

**Manual CROWN.** (1981). España

Martínez A. y Ríos, M. (2001). **Evaluación y mejoramiento de la línea de producción de colados en la Industria de Alimentos Heinz, C.A.** Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Bárbula

Millar, W. y Hale, J. (1975). **Diccionario de Química.** México. Editorial: McGraw Hill

Minnesota Valley Engineering, Inc. (1995). **Data Book for Industrial Gases Cryogenic Equipment Conversion Factors.**

“Notas e Informaciones”. <http://www.yelconet.com/>

Orduz, E. (2002). **Mejoramiento del proceso de llenado en la Cervecería Polar del Centro, C.A.** Trabajo Especial de Grado, Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería, Bárbula

Perry, R. y otros (2001). **Manual del Ingeniero Químico. Tomo I.** (4ta. Ed.). México. Editorial McGraw Hill

Potter, N. (1990). **La Ciencia de los Alimentos.** México. Editorial Edutex, S.A.

Shirose K. (2000). **TPM para mandos intermedios de fábricas.** (2da. Ed.). Estados Unidos. Productivity Press Portland

Silva, J. (2001). **Transporte de Momento para Ingenieros de Procesos.** Trabajo de Ascenso, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Valencia

Spiegel, M. y Stephens L. (2001). **Estadística.** (3era. Ed.). México. Editorial McGraw Hill

“Tabla Periódica”. <http://www.lenntech.com/espanol/>

Walter, S. (2005). **Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa.** [Documento en Línea]. Disponible: <http://www.monografias.com>