

Reducción del consumo de dióxido de carbono en una
máquina carbonatadora de bebidas

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Industrial

Reducción del consumo de dióxido de carbono en una
máquina carbonatadora de bebidas

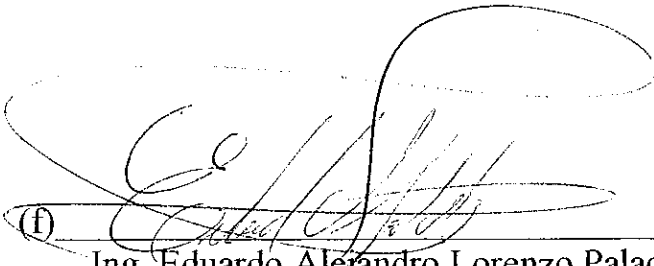
David Alejandro Mazariegos Conde

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

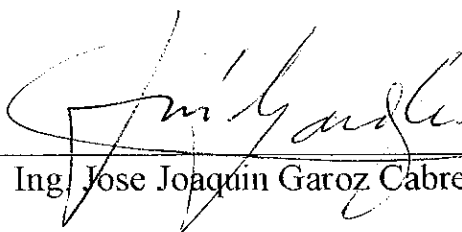
Trabajo de graduación presentado para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería Industrial

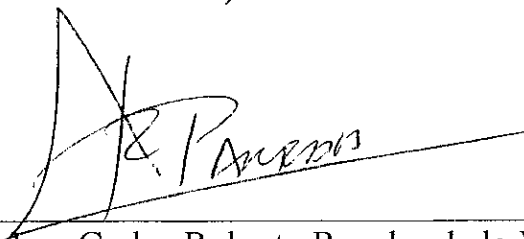
Guatemala, 2003

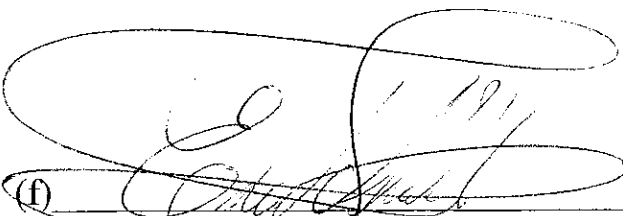
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Eduardo Alejandro Lorenzo Palacios
Asesor

Tribunal:

(f) 
Ing. Jose Joaquín Garoz Cabrera

(f) 
Ing. Carlos Roberto Paredes de la Vega

(f) 
Ing. Eduardo Alejandro Lorenzo Palacios

Fecha de aprobación: 22 de septiembre del 2003

PREFACIO

Día a día la industria requiere de soluciones viables en sus procesos de producción, tal es el caso que se muestra aquí. Dada la experiencia adquirida y la buena cantidad de documentación para integrar el tema, se encontró ideal desarrollar una obra que reflejara cómo se llevó a cabo.

La planta en estudio se propuso a diferentes empresas asesoras de procesos industriales. Después de una buena presentación de la solución al problema, se dio la oportunidad de desarrollar la solución y posteriormente recabar resultados.

Por lo que agradezco, a Bebidas Tropicales la oportunidad de permitir exponer su caso.

A Reset, S.A. la empresa asesora, por brindar mucho del conocimiento, experiencia y la oportunidad de desarrollar el tema.

Sobre todo, agradezco a Dios que hizo todas las cosas posibles y motiva mi vida.

A mis padres por su apoyo incondicional. Te lo dedico en especial a ti padre, para tu orgullo.

A mi esposa e hijas por su aliento en todo tiempo.

RESUMEN

En este documento, se encontrará una solución aplicada a un problema real, como se puede suscitar en cualquier industria. Específicamente, se logra la reducción del dióxido de carbono en una máquina carbonatadora de bebidas. Se logra el mejoramiento en la calidad. Se muestra cómo un sistema automático es necesario para lograr un cambio contundente. La solución es propuesta en un marco viable, tanto técnica como financieramente; ambos factores muy importantes. Incluye información valiosa resumida muy útil para el desarrollo de proyectos similares.

CONTENIDO

PREFACIO.....	v
RESUMEN.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE GRÁFICAS.....	ix
Capitulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. EL PROCESO DE CARBONATACIÓN INICIAL.....	4
A. REQUERIMIENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO	4
B. CONSUMO TEÓRICO E INICIAL	5
C. CALIDAD REQUERIDA E INICIAL	5
D. EL PROCESO DE CARBONATACIÓN Y LA MÁQUINA CARBONATADORA INICIALMENTE	6
III. PROPUESTA DE CAMBIOS AL PROCESO DE CARBONATACIÓN.....	15
A. CAMBIOS TÉCNICOS.....	15
B. COSTO DEL CAMBIO	18
C. EVALUACIÓN FINANCIERA	18
IV. RESULTADOS DEL PROCESO MODIFICADO.....	21
A. RESULTADOS DEL CONSUMO.....	21
B. RESULTADOS DE LA CALIDAD	22
C. RESULTADOS FINANCIEROS	23
V. CONCLUSIONES.....	24
VI. BIBLIOGRAFÍA	26
VII. APÉNDICES.....	28

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. REQUERIMIENTO DE CO2 POR LITRO DE BEBIDA.	4
TABLA 2. PRODUCCIÓN MENSUAL PROMEDIO, REQUERIMIENTO Y COSTO DEL GAS CO2.	5
TABLA 3. RESUMEN DE CALIDAD SOBRE LA BASE DE VOLÚMENES DE GAS.	6
TABLA 4. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS.	18
TABLA 5. PLAN DE AMORTIZACIONES PARA FINANCIAMIENTO.	20
TABLA 6. PRODUCCIÓN PROMEDIO MENSUAL PROYECTADA. REQUERIMIENTO Y COSTO DEL GAS CO2 DESPUÉS DEL CAMBIO.	21
TABLA 7. RESUMEN DE CALIDAD SOBRE LA BASE DE VOLÚMENES DE GAS CON EL CAMBIO.	22

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICA 1. MÁQUINA DE CARBONATACIÓN INICIAL.	9
GRÁFICA 2. MÁQUINA CARBONATADORA MODIFICADA.	17

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los negocios que se ha mantenido en el mercado y dado oportunidad a nuevas inversiones, ha sido la industria embotelladora. Toda industria requiere de una correcta asesoría para lograr ser eficiente y eficaz en sus objetivos que redundan en competitividad. Tal es el caso de Bebidas Tropicales (la planta en estudio), una nueva empresa guatemalteca que produce bebidas carbonatadas y las distribuye por medio de botellas.

Como toda empresa, ésta contempla el control y reducción de costos y el control de calidad. Debido a estos factores, se determinó que existía un excesivo costo en el consumo de dióxido de carbono; que se utiliza para carbonatar las bebidas.

Así mismo, el control de calidad indicaba que mucho del producto no estaba llegando siquiera al margen permisible. Por esto la empresa se avocó a diferentes asesores que pudieran estudiar, analizar el problema y llegar a una solución aplicable y viable.

Este documento pretende:

- aclarar cómo es utilizado el dióxido de carbono en una máquina carbonatadora.
- mostrar la causa del consumo excesivo de dióxido de carbono.
- mostrar la solución para el problema de exceso de consumo de dióxido de carbono.
- mostrar la evaluación técnica y financiera de la solución.

- mostrar la mejora a la calidad desde el punto de vista del gas introducido a la bebida.
- contribuir con un esquema para solucionar problemas en una industria embotelladora.

Este documento presenta todo lo que se requirió por parte de la empresa asesora para analizar y proponer una solución viable a cargo del autor.

El documento está delimitado a responder de manera aplicada e inmediata a la situación real. La base teórica que se utiliza para analizar el problema, tiene variedad de conceptos de diferentes disciplinas como: Física, Química, Ingeniería de Métodos, Procesos Industriales y Administración Financiera. Así mismo, se hace uso de la experiencia adquirida en diferentes trabajos, entrevistas y visitas por parte del autor a plantas embotelladoras en Guatemala, El Salvador y Honduras por al menos tres años. También se hace uso de documentación por parte de fabricantes de máquinas carbonatadoras y asesores de industrias. Todo este conjunto de conocimientos y experiencias, hace interesante este trabajo; porque integra la base teórica aprendida, la experiencia y su aplicación en la industria actual. El presente documento, no pretende ahondar en los temas indicados; pues ya están desarrollados y expuestos en otros libros o documentos.

El análisis fue desarrollado, en primer lugar, obteniendo información de cómo y qué se debe controlar en la carbonatación; en segundo lugar, se obtuvo toda la información necesaria de cómo se utilizaba el dióxido de carbono en la máquina carbonatadora y los datos técnicos necesarios para evaluar el estado del consumo y calidad y en tercer lugar, se hicieron

comparaciones con los procesos propuestos o instalados para determinar los cambios necesarios.

Determinados y presentados los cambios necesarios en la máquina carbonatadora, se esperó la aceptación y ejecución de dichos cambios. Luego que fueron logrados los cambios, se procedió a evaluar los resultados.

Como podría esperarse, la solución fue aceptada por parte de la planta en estudio. Esto, en muy buena parte, porque se dio una asesoría adecuada. Como resultado, se obtuvo la reducción deseada en el consumo de dióxido de carbono muy cerca de lo proyectado y además se logró mejorar la calidad a un 100% de bebidas aceptadas.

II. EL PROCESO DE CARBONATACIÓN INICIAL

A. Requerimiento de dióxido de carbono

Para poder evaluar el uso del dióxido de carbono, es necesario conocer los requerimientos en las bebidas. Este requerimiento se define en el ámbito industrial como un múltiplo en volúmenes por litro. Es decir si una bebida tiene 3 volúmenes de CO₂, significa que tiene disueltos 3 litros de CO₂ por cada litro de bebida. La densidad que se utiliza de forma tácita, es de CO₂ a 0° C, por lo que en el ejemplo anterior, existe una equivalencia a 6 gramos de CO₂ por litro. De esta manera, podemos calcular la masa requerida de gas por unidad de botella o por litro de producción.

La tabla 1 indica el requerimiento de gas para las diferentes bebidas producidas en la planta en estudio.

Tabla 1. Requerimiento de CO₂ por litro de bebida.

Sabor	Volumen de CO ₂ requerido	Masa de CO ₂ requerido por litro de producto
Frutas (naranja, uva, etc.)	2.7 Vol./litro	5.33 g/litro
Cola	4.2 Vol./litro	8.3 g/litro

Dos factores que favorecen la introducción de gas en las bebidas carbonatadas son: la presión alta y la temperatura baja. Al manejar estas variables se puede lograr fácilmente el objetivo. Generalmente, se utilizan condiciones entre 20 psi y 40 psi y entre 3° C y 1 ° C. Posteriormente, se verán las condiciones de proceso utilizadas en este caso específico.

B. Consumo teórico e inicial

Según los datos de producción, el consumo junto con su costo inicial y teórico se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Producción mensual promedio, requerimiento y costo del gas CO2.

Sabor	Producción en litros	Consumo teórico de gas en Kg	Consumo inicial de gas en Kg	Costo del teórico (\$1.60/Kg)	Costo del inicial (\$1.60/Kg.)
Frutas	7008	37.4	--	59.84	--
Cola	12096	100.4	--	160.64	--
Total		137.8	561	220.48	897.60

Es fácil establecer que se está consumiendo un poco más de cuatro veces el gas requerido, y que, se está teniendo un costo excesivo de aproximadamente \$ 677.12 al mes.

C. Calidad requerida e inicial

Dos de las variables más importantes en la producción de bebidas carbonatadas son, la concentración de azúcar y de gas. Dado el enfoque de este trabajo y que la variable de concentración de azúcar es un variable bien controlada, la siguiente información va inclinada hacia la calidad desde el punto de vista de la variable concentración de gas.

Para las dos categorías de sabores, se tiene un margen de calidad objetivo de mas menos 0.1 volúmenes de gas; y de aceptación de mas menos 0.2

volúmenes de gas. Es decir, para sabor Fruta, el rango objetivo es de 2.6 a 2.8 volúmenes de gas; y para, el sabor de Cola, el rango objetivo es de 4.1 a 4.3 volúmenes de gas. Con rangos de aceptación, de 2.5 a 2.9; y de, 4.0 a 4.4 volúmenes de gas, respectivamente.

La tabla 3 muestra cómo se comporta la calidad sobre la base de esta variable.

Tabla 3. Resumen de calidad sobre la base de volúmenes de gas.

Sabor	Logrado en el objetivo	Logrado en lo aceptable	Fuera de lo aceptable
Frutas	93%	5%	2%
Cola	82%	11%	7%

D. El proceso de carbonatación y la máquina carbonatadora inicialmente

1. Pasos de la carbonatación

El gas es almacenado inicialmente a 400 psi y a una temperatura de -35° C, para mantenerlo líquido y seguro.

La bebida precocida, pasteurizada y de concentración final es almacenada en un tanque de enfriamiento, el cual logra la temperatura de 1° C.

Paso 1: El gas es llevado, por medio de tubería, a una reductor de presión, la cual prepara el gas a 90 psi, para que pueda ser manejado por la maquinaria.

Paso 2: Un tanque de residencia, para mantener el ambiente gaseoso requerido, es presurizado a 40 psi, si es sabor Cola o 35 psi, si es sabor Fruta. Otro regulador de presión mantiene estos valores con su respectivo ajuste.

Paso 3: Una bomba lleva la bebida a la máquina carbonatadora.

Paso 4: La bebida tiene su primer contacto con el gas por medio de un inyector tipo membrana con graduación. Dicha graduación es modificada dependiendo del sabor a trabajar.

Paso 5: El líquido es introducido al tanque a través de un aspersor con graduación, el cual, siempre tiene una graduación fija.

Paso 6: El bombeo se detiene hasta que el tanque de residencia llega a un 95% del nivel y un sistema de guarda nivel vuelve a encender la bomba junto con el inyector al descender a un 90% del nivel.

Este nivel baja conforme la bebida es utilizada en la llenadora de bebidas.

Paso 7: Una vez la bebida se ha terminado, el bombeo se detiene y el tanque de residencia se vacía por el uso de la llenadora.

2. Descripción de la máquina carbonatadora

La máquina carbonatadora, se puede dividir en las siguientes partes:

- Bomba: Ésta permite la introducción de la bebida al tanque de residencia.

- Inyector de gas: Este es un accesorio especial tipo membrana, que permite la mezcla del gas y la bebida. Tiene forma de Y, en el cual se unen dos tuberías, una de gas y otra de bebida. La graduación del mismo se tiene preestablecida para lograr los niveles de carbonatación requeridos.

- Este inyector se activa, por medio de una válvula tipo abrir-cerrar, en conjunto con la bomba.

- Aspersor: Este está colocado en la parte superior del tanque de residencia y permite la introducción del líquido en partículas pequeñas que permiten la mezcla con el gas.

Así mismo, este tiene una graduación que se utiliza fija, para lograr el ajuste final de la carbonatación.

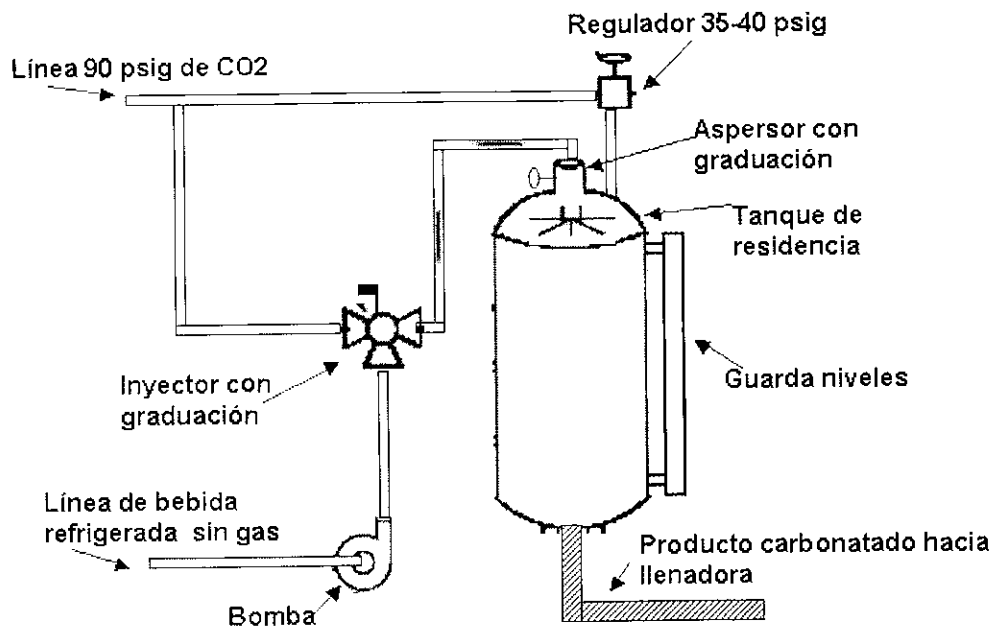
- Tanque de residencia: Tiene como objeto mantener las condiciones de carbonatación, mediante la presión del dióxido de carbono y servir como pulmón para la llenadora.

- Guarda niveles: Este sistema permite la introducción continua de la bebida al tanque de carbonatación y mantiene el nivel requerido como tanque pulmón.

- Regulador del tanque de residencia: Éste permite mantener una presión preestablecida en el tanque de residencia. Su modo de operación permite el escape del gas a la atmósfera, para evitar exceso de presión en el tanque de residencia.

La gráfica 1 muestra las partes de la máquina carbonatadora, como se encontró inicialmente.

Gráfica 1. Máquina de carbonatación inicial.



3. Diferencias clave con las aplicaciones actuales

La documentación de los procesos de carbonatación y la visita a 13 plantas embotelladoras en Guatemala, El Salvador y Honduras, permitió determinar que la mayoría de máquinas carbonatadoras son de origen europeo o brasileño y tienen básicamente el mismo proceso de carbonatación. Incluso, comparando las propuestas actuales (año 2003) de proveedores de máquinas nuevas, muestran diferencias contundentes con el proceso en estudio. A continuación se muestran esas diferencias:

a. La mezcla de la bebida.

Como se puede ver en este proceso, la bebida con sabor ya se introduce al carbonatador con la concentración final de sabor, requiriendo como elemento final, la introducción del gas.

En los procesos instalados en otras plantas, el sabor de la bebida se prepara en forma concentrada, y al lado de la máquina carbonatadora se hace la mezcla con agua, para lograr el producto a concentración final.

Esto es importante desde el punto de vista de producción. La preparación de la bebida concentrada y su dilución, justo antes al momento de embotellado, es clave.

Es clave cuando la producción es de gran volumen, pues si se prepara toda la bebida antes de embotellarla, los tanques de almacenamiento

tendrían que tener 5 a 10 veces su volumen y por lo tanto, instalaciones que alberguen dichos tanques.

Desde el punto de vista calidad, esta metodología es más complicada, puesto que se tiene que tener un control de mezcla muy preciso que logre mantener las condiciones deseadas a la vez que se embotella.

Para el caso que se presenta, esto no es un problema, pues la mezcla se hace previa al embotellado. Por tanto la concentración de sabor está muy bien controlada y, dados los niveles de producción, esta metodología es válida.

Además, mientras se está embotellando se prepara otro concentrado de sabor, por lo que el tiempo es bien aprovechado. El único momento que se pierde es la dilución, en ese momento se debe esperar que el tanque de almacenamiento principal se llene hasta llegar a la concentración final. Sin embargo, el tiempo de dilución es corto.

b. Regulador de presión como control del ambiente carbonatado.

Se encontró que, la forma de mantener las condiciones de presión dentro del tanque de residencia no es adecuada, pues continuamente la presión varía más o menos 5 psi por el bombeo y hasta 20 psi hacia arriba en paradas de la llenadora.

Al momento que la presión sube del punto de ajuste, el regulador deja escapar gas al ambiente y por la banda muerta del regulador, al disminuir la presión, cae debajo del punto de ajuste.

En todas las líneas observadas en las diferentes plantas, este ambiente se mantiene a través de un control automático que permite un ajuste de presión sumamente preciso, de más menos 0.5 psi o a veces mucho mejor.

Además, introducen una variable adicional, que es la temperatura del líquido en residencia. Recordemos que la densidad del gas depende de la presión y de la temperatura. Por lo tanto, aunque tengamos la misma presión, si la temperatura varía, la carbonatación varía.

Por esta razón, algunos controles agregan el uso de tablas internas que toman en cuenta la temperatura y agregan un cambio al punto de ajuste de la presión. Esto es necesario, si se tienen cambios contundentes en la temperatura de 2° C o más y no pueden ser controlados con el enfriador.

Muchas veces, lo que se hace es mejorar el enfriamiento aumentando la capacidad o utilizando recirculación, previa carbonatación. Si se aplica una de dichas soluciones, la temperatura solo se registra para garantizar las condiciones y tener un registro de control de calidad.

Se puede ver que este es el punto clave del gran consumo de gas; puesto que el escape de gas es muy continuo. Según se tomaron datos, hubo aperturas de 10 a 20 veces por hora de producción. Dado que no hay

medidores de flujo en dicho punto, ni en ningún otro, no es posible determinar la cantidad de escape, pero es evidente.

c. Los guarda niveles.

A diferencia de todos los equipos observados y documentos consultados, todos los carbonatadores, se manejan entre un 10% y 20% del nivel del tanque de residencia. En el caso puntual se maneja alrededor del 90% del nivel.

Esto produce un efecto muy contraproducente, como sabemos cualquier líquido es menos compresible que el gas.

Cuando el líquido ocupa la mayor parte del espacio encerrado, un pequeño cambio en la cantidad de líquido provoca un mayor cambio en la variable de presión; no así el gas que puede ser comprimido mucho más y como resultado la variación en la presión del tanque es pequeña. Al tener entonces un nivel alto, el espacio donde el gas puede ser comprimido es muy reducido.

Otro factor importante es que un espacio reducido de gas se reduce la mezcla de gas en la bebida, y por ende aumenta en un espacio amplio. El tiempo y la cantidad que las partículas de bebida están en contacto con el gas son mayores en un espacio amplio, lo que garantiza una mejor carbonatación.

d. Placas para el tanque de residencia.

En muchos tanques de residencia se suelen usar placas especiales que permiten la retención de la bebida en pequeños volúmenes a diferentes alturas. Esto permite un rebalse a la siguiente placa, para contribuir a una mayor área y tiempo de contacto con el gas. Esto es ideal para volúmenes altos de producción, donde se producen tres o más veces lo mostrado en éste proceso.

El hecho de no tener placas no afecta en este proceso, pues con un pequeño ajuste en el inyector, se logran los niveles de carbonatación deseados.

Las diferencias clave en cuanto al consumo de CO₂ son, básicamente, la omisión de un control automático en el control de presión y la utilización de puntos muy altos en los guarda niveles.

III. PROPUESTA DE CAMBIOS AL PROCESO DE CARBONATACIÓN

A. Cambios Técnicos

Los cambios técnicos se basan en dos puntos clave encontrados:

1. Introducción de un sistema de control automático para el control de la presión. Como se pudo observar, la causa del desperdicio de CO₂ es la utilización inadecuada de equipo para el control de presión. Por lo tanto se propone:

- Sustituir la válvula reguladora de presión por una válvula de control proporcional del mismo tamaño que la tubería actual (0.5”), que soporte presiones de al menos 100 psi, gas CO₂ y temperaturas bajas.

Las condiciones de flujo no se conocen para la selección de la válvula, pero dado que es un gas, el cual no dará problemas de erosión, y que la tubería actual provee el flujo suficiente, lo más lógico es utilizar una válvula para dicho tamaño de tubería. Sin embargo, para evitar problemas, se le indicará al fabricante que utilice de 0.7 Kg a 1.1 Kg por hora, conforme a los niveles de producción, para que respalde la válvula que se debe utilizar.

Las válvulas de control para actuar utilizan aire, el cual existe en la planta. Este aire debe ser seco y libre de partículas; y el equipo existente en

la planta tiene su filtro y secador de aire, por lo que no es necesario adquirir otro.

- Se recomienda un controlador con gráfica incorporada, que tenga así mismo la capacidad de registrar temperaturas y, posteriormente, si se requiere, se deberá ingresar una tabla que relacione la temperatura con la presión de ajuste.

- Utilizar un medidor de presión, que cubra el rango de 0 a 100 psi, que soporte ambiente húmedo.

- Utilizar un medidor de temperatura, que cubra el rango de -30°C a 50°C y soporte ambiente húmedo.

- Agregar un panel contra agua para el equipo de control.

- Todos los equipos a utilizar, deben de resistir humedad y tener grado sanitario.

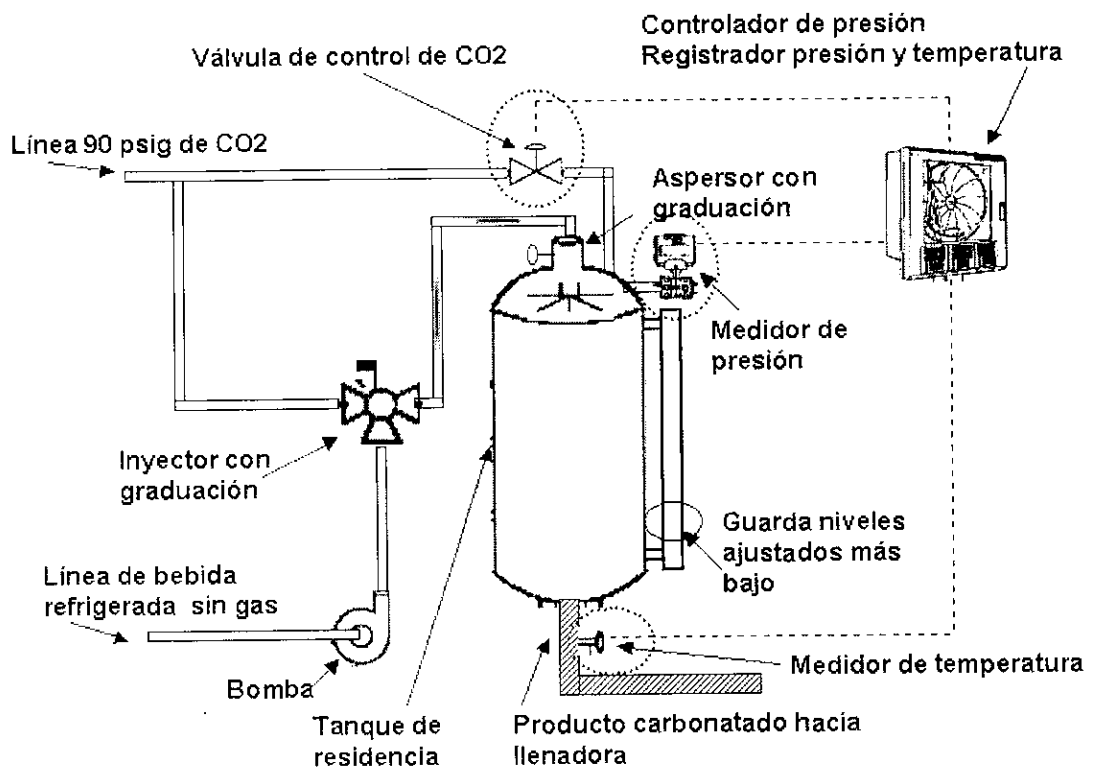
- El proveedor debe brindar la instalación mecánica y eléctrica del equipo. Así como el ajuste necesario para el control deseado.

- El proveedor del equipo debe proveer mantenimiento y repuestos del equipo.

2. Cambiar los puntos de paro y arranque de los guarda niveles. Como se vio, el utilizar un nivel muy alto no permite una buena carbonatación, ni un buen colchón para el manejo de la presión. Por eso, se debe operar al 15 % del nivel. Éste cambio, simplemente requiere la extensión de los electrodos que censan el nivel, los cuales son de acero inoxidable.

La gráfica 2 muestra los cambios necesarios.

Gráfica 2. Máquina carbonatadora modificada.



B. Costo del cambio

El costo de hacer los cambios técnicos que cumplan con lo requerido, se muestra a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Costo de cambios (costos obtenidos en el año 2003).

Descripción	Valor
Equipo de control. Controlador, medidor de presión, medidor de temperatura, válvula de control, panel, materiales de instalación, material para electrodos y accesorios adicionales. Servicio de instalación eléctrica, mecánica, configuración y puesta en marcha del equipo. Tiempo de instalación 1 día. Configuración y puesta en marcha 2 días.	Q 69,182. --
Gráficas y plumillas para un año.	Q 520. --
Mantenimiento anual (No incluye repuestos) Calibración y ajuste de equipos de control.	Q 2,400. --
Total	Q. 72,102. --

C. Evaluación financiera

Para verificar que la inversión sea financieramente viable, es necesario evaluar la recuperación de la inversión. A continuación se describe:

Conocemos que el costo de efectuar los cambios a la máquina carbonatadora es de Q. 72,102. – (valores monetarios en el año 2003).

El ahorro que se pretende obtener es de \$ 672.12 al mes, según la sección 2.2. Esto en quetzales es aproximadamente Q 5,323. —al mes a una tasa de Q.7.92/\$1 (valores monetarios en el año 2003).

Dividiendo el costo de la inversión dentro del ahorro que se obtiene:
 $72,102 \text{ Q} / 5,323 \text{ Q/m} = 13.54 \text{ meses}$ (valores monetarios en el año 2003).

Entonces la inversión total, es recuperable en un año y dos meses.

Suponiendo que no se tengan los recursos suficientes, se puede recurrir a un financiamiento. Utilizando como mensualidad el ahorro previsto y la tasa más alta actualmente que es de 21% anual equivalente a 1.75% mensual, se puede determinar, el tiempo de recuperación de la inversión, mediante tablas de factores para valor presente para anualidades (valores de interés en el año 2003).

Se estima cerca del 2% mensual y se utilizan los 13.5 meses obtenidos y nos indica que el valor más aproximado de amortizaciones es de 16 meses, bajo mejores condiciones la recuperación puede ser un poco más rápida(valores de interés en el año 2003).

Bajo estas condiciones, se presenta en la tabla 5 el plan de amortización mensual con un pago total de Q 83,024.18(valores monetarios en el año 2003).

Tabla 5. Plan de amortizaciones para financiamiento (año 2003).

Capital	Cuota	Pago	Interés (21%)	Abono
72,102.00	5,323.00	1	1,261.79	4,061.22
68,040.79	5,323.00	2	1,190.71	4,132.29
63,908.50	5,323.00	3	1,118.40	4,204.60
59,703.90	5,323.00	4	1,044.82	4,278.18
55,425.72	5,323.00	5	969.95	4,353.05
51,072.67	5,323.00	6	893.77	4,429.23
46,643.44	5,323.00	7	816.26	4,506.74
42,136.70	5,323.00	8	737.39	4,585.61
37,551.09	5,323.00	9	657.14	4,665.86
32,885.23	5,323.00	10	575.49	4,747.51
28,137.73	5,323.00	11	492.41	4,830.59
23,307.14	5,323.00	12	407.87	4,915.13
18,392.01	5,323.00	13	321.86	5,001.14
13,390.87	5,323.00	14	234.34	5,088.66
8,302.21	5,323.00	15	145.29	5,177.71
3,124.50	3,179.18	16	54.68	3,124.50
Pago Total	83,024.18			

El proyecto es viable. El dinero se recupera en poco más de un año y si se utiliza un financiamiento, el mismo ahorro permitirá el pago del proyecto en un tiempo casi igual. En el mercado se pueden encontrar financiamientos más bajos de 21% anual. Nótese que no se tomó en cuenta la aportación de mejorar la calidad del producto no aceptable (valores de interés en el año 2003).

IV. RESULTADOS DEL PROCESO MODIFICADO

A. Resultados del consumo

Después de hechos los cambios, se hizo una proyección del mes después de una semana de producción y se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Producción promedio mensual proyectada. Requerimiento y costo del Gas CO₂ después del cambio.

Sabor	Producción en litros	Consumo teórico de gas en Kg	Consumo actual de gas en Kg	Costo del teórico (\$1.60/Kg)	Costo del actual (\$1.60/Kg)
Frutas	7,030	37.5	--	60.00	--
Cola	12,120	100.60	--	160.96	--
Total		138.10	147.0	220.96	235.20

Como se puede ver, en la información proyectada se prevé un ahorro sustancial de \$677.12, que se desperdiciaban inicialmente según la sección 2.2. Ahora sólo se desperdician \$14.24, un ahorro real de \$ 622.88. Se desperdicia ahora un 6% de lo que teóricamente se debe utilizar, en comparación de un 300% anteriormente.

Hay algunos factores para que aún haya desperdicio. Para cada lote de bebidas se debe presurizar el tanque, puesto que el mismo se vacía y se limpia al terminar cada lote. Durante el día pueden haber varios lotes. Luego, se deja escapar el gas al terminar el proceso esto ocurre al menos una vez al día pues se tienen jornadas de 8 horas diarias y no de 24 como en otras plantas.

Otros factores de desperdicio, que no se habían contemplado, son las botellas que no se logran llenar, que no están bien selladas o que son utilizadas en pruebas de laboratorio. La reducción de consumo, por estos factores, son temas que pueden ser sujetos a estudio.

Los valores de desperdicio que se manejan ahora están dentro de los márgenes aceptables.

También puede verse según los datos proyectados, puede haber un incremento en la producción. Esto se debe a que ahora hay ahorro de tiempo al no tener necesidad de parar por exceso de presión en el tanque de residencia.

B. Resultados de la calidad

A continuación se muestra el resumen de los resultados de laboratorio después de una semana de operación, la tabla 7 los indica.

Tabla 7. Resumen de calidad sobre la base de volúmenes de gas con el cambio.

Sabor	Logrado en el objetivo	Logrado en lo aceptable	Fuera de lo aceptable
Frutas	97%	3%	0%
Cola	95%	5%	0%

Como se puede ver, el control automático ha tenido un total efecto en la calidad del producto. Este permite ahora que todo el producto sea aceptable

y que el porcentaje de producto, dentro de los valores objetivo, se haya incrementado.

También, luego de analizar el registro de las gráficas, se observaron dos variables importantes. La primera ahora el control no oscila mas allá de 1 psi del punto de ajuste. La segunda que la temperatura del producto se mantiene alrededor de 1° C, sin oscilar más halla de un 0.2° C. Los cambios mínimos en la temperatura significa que el control no necesita ninguna compensación por temperatura, por lo menos a este nivel de producción.

C. Resultados financieros

La planta embotelladora decidió financiar el cambio, según indicaron los empresarios. Ellos utilizaron un plan de amortización del mismo tiempo propuesto, con cuotas niveladas de Q. 5,102.00 al 18% de interés (valores monetarios en el año 2003).

Según el ahorro actual real, de \$ 622.88, que son aproximadamente Q4,950.00; se tiene un gasto temporal adicional de Q 152.00, esto es despreciable (valores monetarios en el año 2003).

V. CONCLUSIONES

A. Conclusiones

Se logró la reducción del consumo de dióxido de carbono de un 300% a un 6% de exceso. Y se logró mediante la introducción de un sistema de control automático de presión, basado en experiencias personales y de la industria de Centroamérica en la actualidad.

Se logró, el control dentro de los parámetros de calidad, en un 100% ya que todo el producto es aceptable.

Se eliminaron las paradas de proceso, por exceso de presión en el tanque de residencia.

El cambio a la máquina carbonatadora fue viable mediante el financiamiento bancario, utilizando un poco más del 100% del ahorro mensual.

Este cambio colocó a la empresa en una posición competitiva, pues sus costos han sido reducidos y su calidad garantizada.

El cambio en la máquina carbonatadora, introdujo equipos que son auditables; lo cual es una base que facilita programas de aseguramiento de la calidad, que se contempla en las normas ISO 9000.

Se elaboró un trabajo profesional en un caso real y aceptado por la planta en estudio.

Este documento presenta una solución integral, con información resumida de conocimiento y experiencia industrial de embotelladoras.

La existencia de este problema evidencia situaciones de falta de asesoría en los procesos y plantas industriales. Esta falta de asesoría deriva en gastos innecesarios que bien pudieron ser aprovechados en inversión inicial o posterior.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Choc, Carlos. 2001. *Reporte Técnico mantenimiento a equipos de carbonatación líneas 1, 2 y 3 en Embotelladora la Reyna*. Honduras. 12 Págs.
- Hernández, Selvin. 2000. *Reporte Técnico mantenimiento a equipos de carbonatación línea 4 en Embotelladora Central*. 5 Págs..
- Choc, Carlos. 2001. *Reporte Técnico mantenimiento a equipos de carbonatación líneas 2 y 3 en Embotelladora Central*. 10 Págs.
- Choc, Carlos. 2003. **Reporte Técnico mantenimiento a equipos de carbonatación líneas 1,2, 3, 4 y 5 en Embotelladora Central**. 32 Págs.
- Choc, Carlos. 2001. *Reporte Técnico mantenimiento a equipos de carbonatación línea 3 en Embotelladora La Mariposa*. 5 Págs.
- Betancourt, Jesús. 2001. *Proyecto de inversión para instalar una planta embotelladora de refrescos en Torreón, Coahuila*. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México. 111 Págs.
- Gitman, Lawrence J. 1996. *Fundamentos de Administración Financiera*. 3ª. Ed. México D.F., Harla. 782 Págs.
- Niebel, Benjamín W. 1994. *Ingeniería Industrial Métodos, Tiempos y Movimientos*. 3ª. Ed. México D.F., Alfa Omega. 814 Págs.
- Blank, Leland T. 1988. *Ingeniería económica*. México D.F., McGraw Hill. 558 Págs.
- Creus, Antonio. 1997. *Instrumentación Industrial*. México, D.F. Alfa Omega. 750 Págs.
- Frate, Steve. 1998. *ABB Instrumentation in the food and Dairy Industry*. ABB Instrumentation. Cambridgeshire. 246 Págs.
- Berchi Group. (2003). *Aquamix brochure*. www.berchigroup.com

Krones. (2003). *Beverage Mixing System catalog*. www.krones.com

British Soft Drinks Association. (2003). *Carbon Dioxide*.
www.britishsoftdrinks.com

VII. APÉNDICES

APÉNDICE A
DIÓXIDO DE CARBONO
ARTICULO DE LA BRITISH SOFT DRINK ASSOCIATION

Additives and Ingredients

[Go to categories of additives & ingredients]

Carbon Dioxide (CO₂)

What is the purpose / function of carbon dioxide in drinks?

CO₂ is the only gas suitable for providing the effervescence in soft drinks. It is non-toxic, inert, virtually tasteless and allows for convenient bulk transportation and storage.

When dissolved in water, carbon dioxide is sparingly soluble providing the characteristic mouth-feel and taste to the product. This means some of it remains as the gaseous form, while a proportion dissolves in the water. In addition, CO₂ has a preserving property in some conditions, inhibiting the development of harmful aerobic micro-organisms. (This is not a substitute for other methods used to ensure microbiological safety). Carbon dioxide also serves to provide internal pressure in canning to prevent distortion in the container.

Does the amount of carbon dioxide vary between soft drinks?

The degree of carbonation varies for each soft drink formulation, from 4g/l in fruit drinks to 9g/l in mixer drinks and 12g/l in soda water. The CO₂ gas content is one of the most important constituents determining the characteristics of the product.

How is carbon dioxide obtained?

Formerly, carbon dioxide was obtained by means of lime kilns (heating of calcium carbonate) but this has now been replaced throughout the soft drinks industry by the use of bulk liquefied gas delivered by a CO₂ supplier.

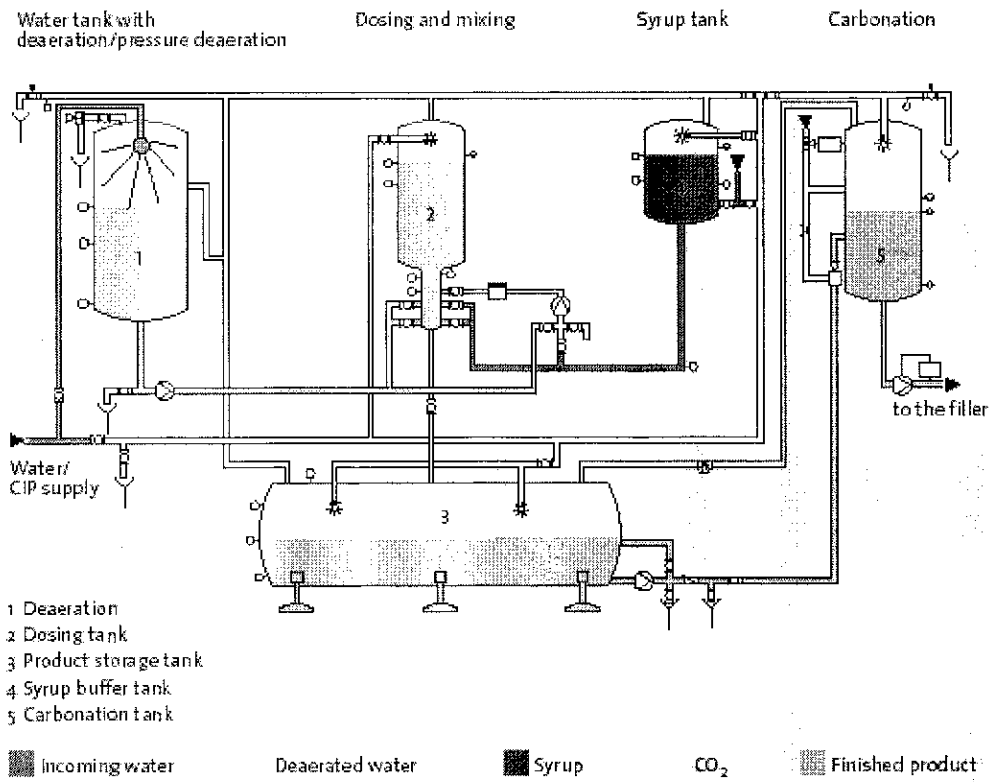
Carbon dioxide is a by-product of the petroleum, fertilizer and gas industries and of alcoholic fermentation. In countries where bulk supplies are not available, carbon dioxide can be generated on site by the combustion of oil. After purification by washing and passing through columns of alumina or activated carbon, the CO₂ can be liquefied by cooling to -56 C and pressurized to 5 atmospheres. It is usually delivered in a bulk tanker.

What is the unit of measurement for carbon dioxide?

Carbonation is measured in either volumes or more recently in grams per liter. If a drink is said to contain 3 volumes of CO₂ this means that 3 liters of CO₂ are dissolved in each liter of drink. This is equivalent to about 6 grams per liter.

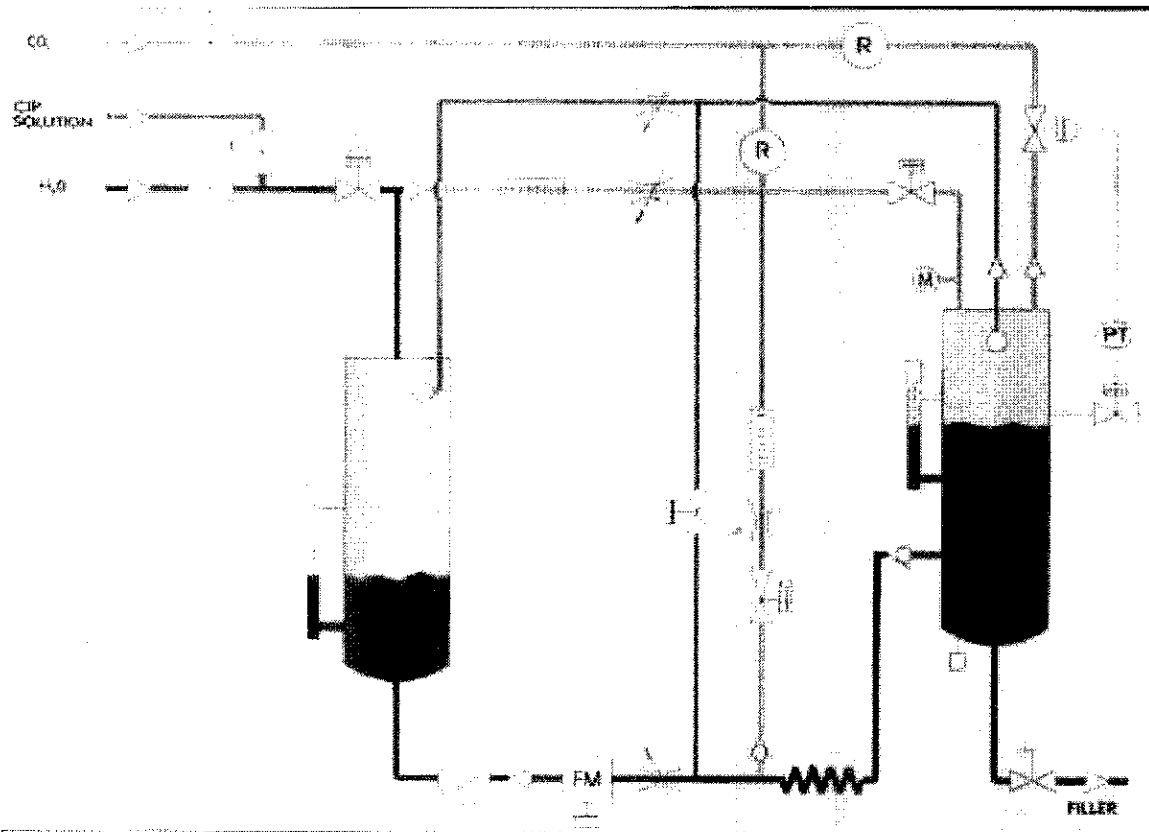
APENDICE B

SISTEMA DE CARBONATACION PRESENTADO POR KRONES



DK 4 361704-01/15

APÉNDICE C
SISTEMA DE CARBONATACIÓN PRESENTADO POR BERCHI
GROUP



APÉNDICE D

EL CONTROL DE CARBONATACIÓN POR ABB INSTRUMENTATION

CARBONATION CONTROL

The level of CO₂ in carbonated drink varies between manufacturers. Each manufacturer will require different CO₂ levels depending on the final product. In normal operations, it is required for quality purposes to control and record the CO₂ gas pressure and records the temperature of the chilled water. The CO₂ pressure set point varies due to the type of product and also the temperature of the chilled water changes. Therefore the CO₂ pressure set point is a function of the water temperature i.e.

$$P = 2.0 (\text{bias}) + 0.1t (\text{ratio})$$

Where: P = final CO₂ pressure set point
t = chilled water temperature

In the above equation, with water temperature equaling 10 deg C, the design CO₂ pressure is 3.0bar. If water temperature changes by 1 deg C, the CO₂ pressure required would increase to 3.1bar. By varying the bias and ratio values, different CO₂ levels can be produced for the complete range of carbonated drinks.

Using a C1912R, CO₂ pressure is recorded and controlled on channel one. Channel two records chilled water temperature and provide the remote set point for channel 1 (utilizing the C1900's soft wire capability). The C200, C310 or C300 can be used where recording is not required. A 600T pressure transmitter measures the CO₂ pressure in the vessel. The 600T sends its reading via a 4-20 mA signal into the C1900's first channel. An RTD is hooked into channel two. The 4-20 mA output from the C1900 manipulates the control valve through a TIP I/P converter based on the readings received from the transmitter and RTD.

