

61  
Reg.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**" CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD EN LA  
PRESENTACION DE UNA BEBIDA GASEOSA "**



EXAMEN DE CALIFICACIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**S U S T E N T A N T E:**

**RUBEN GRANADOS ROSAS**



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Jurado asignado :**

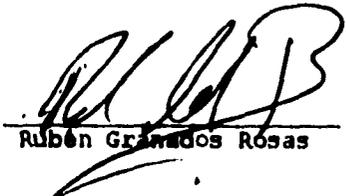
<b>Presidente</b>	<b>Prof:</b>	<b>Gerardo Bazan Navarrete</b>
<b>Vocal</b>	"	<b>Federico Galdeano Bienzobas</b>
<b>Secretario</b>	"	<b>Guillermo Molina Gómez</b>
<b>1er. Suplente</b>	"	<b>Domingo Alarcón Ortiz</b>
<b>2do. Suplente</b>	"	<b>Alma Rosa Griselda Zetina Velez</b>

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

**Industria Embotelladora de México S.A. de C.V.**

  
Asesor del tema : **Mto.en C Guillermo Molina Gómez**

**Sustentante:**

  
**Rubén Granados Rosas**

**MI AGRADECIMIENTO PARA :**

**Industria Embotelladora de México Sociedad Anónima**

**I . E . M . S . A**

*CoCa Cola*

**POR EL APOYO RECIBIDO PARA LA REALIZACION  
DEL PRESENTE TRABAJO.**

**A MIS PADRES:**

**Rubén Granados Gardido**

**María Caridad Rosas de Granados**

**A MIS HERMANOS:**

**Elizabeth Granados Rosas**

**Sergio Granados Rosas**

**Sandra Granados Rosas**

**A MIS AMIGOS:**

**Fraternalmente**

**A MI ESPOSA:**

**Carmen Meléndez García**

**A MI HIJA:**

**Angélica Granados Meléndez**

INDICE

PAGINA

Introducción ..... I

CAPITULO I      CONTROL DE LA CALIDAD EN  
LA INDUSTRIA DE BEBIDAS  
CARBONATADAS

Calidad en la industria  
embotelladora ..... 1

Calidad ..... 1

Control de  
Calidad ..... 1

Fases y fundamentos  
de la Calidad en la  
Industria Embotelladora ..... 2

Factores importantes que  
determinan la calidad en la  
Industria Embotelladora ..... 3

CAPITULO II      EQUIPO INVOLUCRADO EN LA  
ELABORACION DE BEBIDAS GASEOSAS

Descripción del proceso  
de preparación de una bebida  
carbonatada ..... 6

Presiones y temperaturas de  
operación ..... 9

Principio fundamental del equipo de mezclado (Proporcionador) .....	9
Denominación de partes .....	11
Descripción del funcionamiento del proporcionador.....	12
Jarabe .....	13
Propiedades y función del Bióxido de Carbono.....	14
Fabricación y manejo del Bióxido de Carbono .....	14
Llenadoras de Botellas Meyer .....	17

CAPITULO III                    CONTROL ESTADISTICO DE LA  
CALIDAD EN LA INDUSTRIA DE  
BEBIDAS GASEOSAS

La variación en los procesos .....	21
Causas de variación .....	22
Bases estadísticas para el control de calidad en la Industria Embotelladora de Bebidas Carbonatadas .....	23
Cartas control .....	24
Interpretación de comportamientos en una gráfica control .....	25
Elección de gráficas tipo $\bar{X}$ y S .....	27

Análisis de la capacidad o aptitud del proceso .....	29
Control de la calidad de los Grados Brix en una bebida carbonatada ....	31
Control de calidad del Volúmen de carbonatación .....	40

**CAPITULO IV                    DISEÑO DE EXPERIMENTOS  
PARA LA OPTIMIZACION DE LA  
ALTURA DE LLENADO DE UNA BEBIDA  
GASEOSA**

Diseño de investigaciones experimentales .....	48
Diseños factoriales .....	49
Modelo de efectos fijos .....	50
Control de Calidad en la Industria embotelladora Tlalpan S.A de C.V para determinar las mejores condiciones de operación sobre la altura de llenado de envase de 760 ml en el turno nocturno .....	53
Modelos factoriales propuestos para mejorar la altura de llenado en la línea de producción .....	54

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Conclusiones ..... 69

A N E X O

Determinación del volumen  
de Bióxido de Carbono en una  
Bebida Carbonatada ..... 70

Técnica para medir los Grados Brix ..... 71

Técnica para medir Altura de Llenado ..... 75

BILIOGRAFIA ..... 78

## **I N T R O D U C C I O N**

La industria embotelladora de bebidas carbonatadas tiene una participación importante en el mercado de nuestro país, por lo que la calidad es un factor clave para el éxito de cualquier producto; ya que los consumidores se inclinan a adquirir productos de ciertas compañías que ofrecen una calidad mayor que otras.

Hasta hace algunos años las empresas llevaban a cabo el control de calidad mediante una inspección directa del producto con el objeto de detectar y retirar aquellos productos que presentarían algún defecto de manufactura; hoy en día esta filosofía a cambiado hacia un control total de calidad, que se basa en el mejoramiento constante del proceso a fin de evitar la elaboración de productos defectuosos.

En el campo de la industria embotelladora la aplicación oportuna de técnicas estadísticas, predicen con cierto grado de confiabilidad lo que sucedería en el comportamiento de un proceso cualquiera, lo que permite actuar sobre el mismo, antes de que llegue a presentarse algún problema.

El trabajo señala medidas efectivas que aseguran la calidad en la industria embotelladora, basándose en un análisis estadístico y un diseño experimental que permiten controlar el proceso de manufactura de un producto, detectando problemas tales como: volúmen innadecuado en el llenado del envase, variaciones en el volúmen de carbonatación y en los grados brix afectando directamente la presentación del producto. Y como consecuencia afectando la preferencia del consumidor.

**CAPITULO I**

**CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS CARBONATADAS**

## **CALIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA**

En este capítulo se trata la calidad dentro de la industria embotelladora de bebidas gaseosas por ello, es necesario definir aquellos conceptos que serán tratados posteriormente.

### **Calidad**

Es aquella aptitud donde los productos obtenidos (por cualquier industria) satisfacen o cumplen ampliamente los requisitos de los usuarios o consumidores.

La calidad presenta características que pueden ser de diferentes tipos como:

- 1.-Físicas: Longitud, peso, voltaje, viscosidad.
- 2.-Sensoriales: Sabor, presentación, color.
- 3.-Dependientes del tiempo: Confiabilidad, conservación, reparabilidad.

Dadas estas características existen dos aspectos relacionados con la calidad:

- Calidad de Diseño: Es aquella que tiene que ver con: diseño del equipo, materiales empleados, tolerancias de producción, confiabilidad del producto, etc.,

- Calidad de Conformidad : Indica las condiciones de manufactura de un producto, es decir, si éste cumple con ciertas especificaciones y tolerancias de su diseño. En éste aspecto influyen factores tales como:

La selección del proceso de manufactura, el adiestramiento y la supervisión de los trabajadores, el tipo del sistema de aseguramiento de la calidad utilizado (controles del proceso, pruebas, actividades de inspección, diseño de experimentos en donde se aplican métodos estadísticos etc.,).

### **Control de Calidad**

Es la actividad técnica y administrativa mediante la cual se miden las características (Características reales) de un producto, comparándolas con ciertas características o requisitos (características estándar) empleando acciones correctivas apropiadas cuando existe alguna discrepancia entre ambas.

El Control de calidad ha surgido como una nueva estrategia administrativa importante. Debido a varias razones, de las cuales se incluyen:

- 1.- Aumento en el interés en la calidad por parte del consumidor, y una fuerte orientación de éste hacia el concepto calidad-rendimiento.
- 2.- Responsabilidad por el producto.
- 3.- Aumento de los costos de mano de obra, energía y materia prima.
- 4.- Mayor competencia.
- 5.- Notables mejoras en la productividad gracias a programas tecnológicos de calidad eficaces.

Parte de esta estrategia administrativa permite, la planeación, análisis y control de la calidad para asegurar que ésta contribuya positivamente al flujo de efectivo, a los créditos de la inversión y la rentabilidad administrativa en general.

#### **Fases y Fundamentos de la calidad dentro de la industria embotelladora**

Para lograr la calidad, en la división de refrescos se ha adoptado una estrategia que consiste de tres fases:

Ser convincente

Cumplir un compromiso

Optimizar

Que se basan en los siguientes fundamentos:

- 1.-La calidad, es hacer bien lo que necesita nuestro cliente, desde el principio.
- 2.-Prevenir es mejor que corregir.
- 3.-Debemos hacer de la mejora un hábito.
- 4.-El costo de no cumplir con calidad debe evitarse.

En la división de Refrescos se procuran tomar en cuenta las siguientes pautas o hábitos los cuales se encuentran descritos brevemente en el siguiente cuadro: (Cuadro 1)

**Cuadro 1. Pautas o hábitos que se siguen en la división de refrescos para trabajar con calidad.**

<b>1) Ver el negocio:</b>	<b>Participando en todas sus actividades, considerando el trabajo como un patrimonio</b>	<b>*Estando cerca del mercado y de los clientes.</b>
<b>2) Educado con el ejemplo :</b>	<b>Creyendo y practicando lo que se dice.</b>	<b>* Practicando lealtad y honestidad.</b>
<b>3) Siendo Creativos:</b>	<b>Aportando ideas y soluciones</b>	
<b>4) Siendo incenfermos</b>	<b>Fijarse una meta superior a la ya alcanzada.</b>	
<b>5) Trabajando en equipo:</b>	<b>Optimizando productividad. de incumplimiento</b>	<b>* Evitando reprocesos y costos</b>
<b>6) Comunicación a todos los niveles</b>		

**Factores importantes que determinan la calidad en la industria embotelladora.**

La calidad del producto terminado se atribuye a ciertos aspectos que pueden ser medidos, los cuales los más importantes en el proceso de elaboración de una bebida gaseosa son:

- 1.-Carbonatación
- 2.-Grados Brix
- 3.-Apariencia
- 4.-Sabor
- 5.-Levaduras

Analizando separadamente cada atributo, se pueden mencionar algunos aspectos que afectan la calidad del producto terminado.

## I.- CARBONATACION

La cantidad de bióxido de carbono que se absorbe en el agua a una temperatura de 15.6°C y a una presión de 1 atm. (760 mmHg), corresponde a un volumen de carbonatación. Para una bebida gaseosa, se considera el volumen de CO<sub>2</sub>, absorbido de 1.86 g. Sin embargo dicha absorción se ve afectada por dos factores importantes que son: La temperatura y la presión principalmente, aunque también se mencionarán algunos otros. Ver cuadro 1.2

Cuadro 1.2: Factores que afectan la carbonatación en una bebida.

TEMPERATURA	PRESION	OTROS ASPECTOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Falla de amoniacos del sistema de refrigeración</li> <li>-Desajuste de la válvula de presión.</li> <li>-Cheretas del enfriador desalineadas.</li> <li>-Diámetro del orificio de jarabe sobredimensionado (retención prolongada del producto en el enfriador)</li> <li>-Capacidad de refrigeración insuficiente.</li> <li>-Espumas originadas por Botellas sucias, defectores de producto dañados, desajuste en la leva del "snif" de purga, alta temperatura de la botella.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Control inadecuado de la válvula reguladora de presión debido al desgaste o suciedad de las pinzas.</li> <li>-Presencia de aire en el carbonatador.</li> <li>-Funcionamiento inadecuado de los equipos de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mal cerrado, provocado por desgaste en leva de pistones</li> <li>-desgaste en las pinzas del cuerpo del coronador (roscas, martillo, receptor de cerona)</li> <li>-Estroños y guías desgastadas</li> <li>-problemas en el tratamiento de aguas: mala coagulación del sistema, alta dureza en el agua tratada, desgaste en los sellos en la bomba de transferencia.</li> <li>-Impurezas del gas carbónico: presencia de aceite, SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S</li> </ul>

## II.- Grados brix:

Al hablar de grados Brix nos referiremos al porcentaje de sólidos totales disueltos que se encuentran en una solución, donde este porcentaje puede ser afectado por las siguientes causas:

- 1.- Orificio de jarabe mal dimensionado
- 2.- Mal sello de la válvula de buzo, al estar sin operar el sistema (paros continuos de la línea).
- 3.- Mal ajuste de la válvula reguladora de presión del amoniaco. (3.2 Kg/cm<sup>2</sup> corresponde a -1.2° C, si la P < 3.2 Kg/cm<sup>2</sup> provoca congelamiento de las cortinas de transferencia ).

#### II.1 Otros aspectos

- A) Mala calibración de los equipos de medición (hidrómetros, densímetros, etc.,)
- B) Mal funcionamiento de los agitadores de jarabes.

#### III.- Apariencia

La apariencia del producto se ve alterada por las siguientes causas:

- 1.- Inadecuada filtración de jarabe simple  
Provoca la formación de sedimento y/o anillo en el producto.
  - a) Sello de la bomba en mal estado (formación inadecuada de la pre-capa, provocando paso de ayuda-filtro).
  - 2.- Mal funcionamiento de lavadora.
    - a) Diferencias de temperaturas mayores de 25°C (existe posibilidad de choque térmico). Por lo tanto, posibles explosiones en la llenadora, provocando contaminación por vidrio.
    - b) Botellas sucias
  - 3.- Mal funcionamiento de tratamiento de agua
    - a) Agitación inadecuada en el tanque reactor (Provocando: floc, sedimento, etc.,)
    - b) Bombas dosificadoras en mal estado.
    - c) Presiones inadecuadas de operación en los filtros y purificadores.

#### IV.- Sabor

El sabor puede verse afectado por lo siguiente:

- 1.- Botellas con residuo cáustico
- 2.- Mal funcionamiento del tratamiento de agua
  - 2.1 Agua con alta alcalinidad
  - 2.2 Exceso de coagulante

2.3 Agua con cloro ( Válvula de BY-PASS entre filtro de arena y carbón en mal estado).

#### V.- Levaduras

Algunas causas frecuentes que originan contaminación por levaduras:

- 1.- Falta de dosificación de cloro
- 2.- Paros no programados del equipo (excesivo reposo de jarabe, con posibilidad de contaminación).
- 3.- Mal nivel de llenado (relleno manual y posible contaminación)
- 4.- Fallas en coronadores (Problema de contaminación por pérdida de gas carbónico).

En resumen, podemos decir que la calidad es un factor importante dentro de la manufactura o elaboración de una bebida gaseosa, dado que de ésto depende la buena presentación del producto y por tanto su éxito y aceptación en el mercado. Sin embargo, los factores que pueden influir en la calidad principalmente son aquellos como la carbonatación, los grados brix, la apariencia, el sabor y la presencia de levaduras los cuales se encuentran estrechamente ligados a todo lo referente con los equipos que intervienen en el proceso de manufactura. Por lo que en el siguiente capitulo nos enfocaremos más ampliamente a todo lo relacionado con el funcionamiento de éstos equipos.

## **CAPITULO II**

### **EQUIPO INVOLUCRADO EN LA ELABORACION DE BEBIDAS GASEOSAS**

## **Descripción del proceso de preparación de una bebida carbonatada**

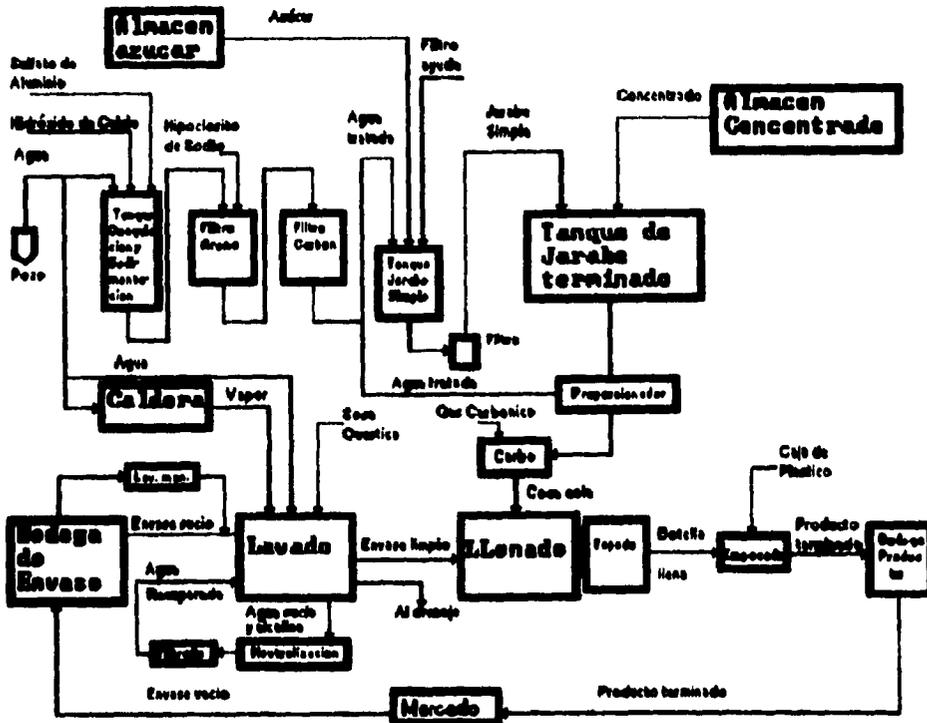
El proceso que se tratará en este capítulo corresponde al de una bebida gaseosa de 756 ml, elaborada en el tercer turno de la planta embotelladora de Calzada de Tlalpan. Da comienzo el proceso cuando del mercado es recolectado el envase de vidrio y llevado a la bodega de la planta, donde se lleva a cabo una meticolosa revisión del mismo, separando el envase muy sucio el cual es llevado a la zona de lavado manual y el resto es trasladado directamente a la lavadora, donde se conjugan diversas condiciones de operación para poder obtener un envase limpio, el envase limpio es transportado por medio de una cadena de transmisión a la llenadora, donde esperará su turno para ser llenado.

La elaboración de la bebida se inicia con la extracción del agua del pozo, esta agua es enviada a una cisterna de almacenamiento donde por medio de un dosificador es clorada, y una vez clorada se transfiere al tanque floculador por medio de bombas, en esta parte del proceso el agua es tratada para darle la calidad requerida para posteriormente ser llevada a la zona de baterías donde se encuentran filtros de arena que retienen las partículas extrañas, a continuación el agua se pasa a través de un purificador de carbón que se encarga de eliminar olor, color y sabor.

El agua obtenida se envía a un tanque de jarabe simple donde se mezclan el agua con azúcar en las proporciones requeridas, llevándose a cabo el filtrado del jarabe y enviado al tanque de jarabe terminado donde es vaciado el sabor de la bebida y transferido al proporcionador donde se mezcla con el agua del tratamiento a fin de obtener la mezcla deseada por el tipo de bebida; la mezcla es transferida al carbo cold donde es enfriada y carbonatada a fin de enviarla a las llenadoras donde aguarda el envase limpio para ser llenado y tapado.

Al final de la llenadora el producto es trasladado por un transportador a la empacadora que se encarga de colocar los envases llenos a la caja y conducirlos a la zona de entarimado; en esta zona, el personal que ahí se encuentra se encarga de retirar las cajas del transportador y colocarlas en tarimas que son llenadas y retiradas por los montacarguistas. Por último el producto terminado es transferido a la bodega, hasta el momento de ser puesto nuevamente en el mercado.

Para visualizar mejor todo lo anterior, a continuación se incluye un esquema del proceso de elaboración de una bebida gaseosa (ver esquema: 2.1 )



Esquema 2.1: Proceso de elaboración de una bebida carbonatada

### **Presiones y temperaturas de operación.**

En la fabricación de una bebida gaseosa, el agua carbonatada se mezcla con jarabe que no contiene bióxido de carbono. Por lo tanto el agua debe tener la suficiente cantidad de gas para carbonatar adecuadamente la mezcla.

Para producir esta carbonatación en el refresco final, el agua que sale del carbonatador debe tener aproximadamente 4.5 volúmenes. Si hay una pérdida grande de gas en la llenadora o entre la llenadora y el coronador, el agua carbonatada necesitará tener más de 4.5 volúmenes.

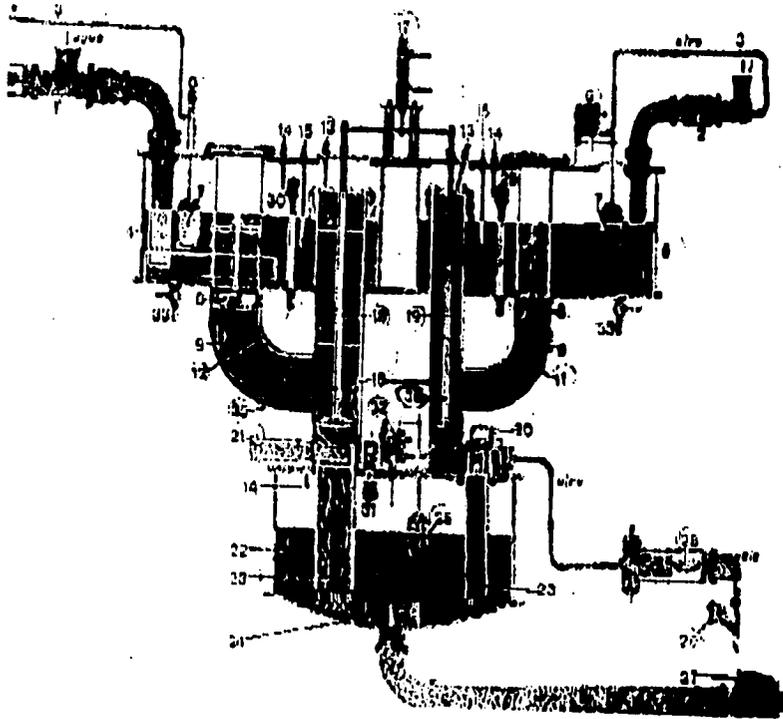
Varias combinaciones de presión de gas y temperatura de agua en el carbonatador producirán agua carbonatada que contenga 4.5 volúmenes de gas. En la práctica se varía la presión de bióxido de carbono para ajustarla a la temperatura del agua. Si se usa un sistema de enfriamiento de agua, debe seleccionarse una temperatura del agua que de los mejores resultados en la llenadora. Si no hay sistema de enfriamiento de agua, la temperatura de el agua es la que tiene al salir de las tuberías. En cualquier caso, la presión del bióxido de carbono se ajusta para dar la combinación adecuada de presión y temperatura que producirá la carbonatación deseada, la presión del bióxido de carbono estará generalmente entre 3.5 a 4.2 Kg/cm<sup>2</sup> (50 y 60 lb/plg<sup>2</sup>).

### **Principio fundamental del equipo de mezclado (Proporcionador)**

Sobre una placa con orificio calibrado reposa una columna de líquido, el caudal que pasa por dicho orificio será constante mientras no se modifique la altura de la columna, la temperatura, viscosidad y densidad del líquido. En el sistema proporcionador existen dos recipientes uno con jarabe y otro con agua, y en cada uno de ellos existe una columna líquida de altura constante y una placa con un orificio determinado originando una relación de proporción agua-jarabe que serán fijas, siempre y cuando no se modifiquen las condiciones arriba mencionadas.

Antes de hablar del funcionamiento del proporcionador es necesario describir las partes que lo conforman para esto se incluye el esquema 2.2 donde se visualizará todo el equipo.

Esquema 2.2 :Partes que conforman el equipo de mezclado  
( proporcionador )



### Denominación de partes

- |   |  |
|---|--|
| 1.- Válvula neumática de entrada de agua                              | 2.- Válvula neumática de entrada de jarabe                               |
| 3.- Línea de aire   | 4.- Recipiente de agua   |
| 5.- Recipiente de jarabe  | 6.- Microválvula de aire, comando flotante, recipiente de agua y jarabe  |
| 7.- Flotantes de control de nivel                                     | 9.- Tubos de flujo   |
| 11.- Mariposa de regulación de flujo de jarabe                        | 12.- Mariposa de regulación de flujo de agua                             |
| 13.- Electrodo que controle la altura constante de la columna líquida | 14.- Electrodo de nivel máximo   |
| 15.- Electrodo de nivel mínimo  | 16.- Columna de alimentación   |
| 17.- Cilindro neumático de apertura o cierre                          | 18.- Vástago de cierre de agua   |
| 19.- Vástago de cierre de jarabe                                      | 20.- Calibre de jarabe   |
| 21.- Tornillo micrométrico  | 22.- Recipiente de mezcla  |
| 23.- Tubos de extensión   | 24.- Deflector de mezcla   |
| 25.- Flotante de control de nivel de mezcla                           | 26.- Válvula de conexión circuito de lavado                              |
| 27.- Bomba de mezcla  | 28.- Válvula neumática que opera según el nivel del recipiente de mezcla |
| 29.- Pico de lavado del recipiente de jarabe                          | 30.- Pico de lavado del recipiente de agua                               |
| 31.- Pico de lavado del recipiente de mezcla                          | 32.- Micro válvula de aire, comando flotante de mezcla                   |
| 33.- Válvula de drenaje de los recipientes de agua y jarabe           | 34.- Válvula de retención con llave de purga                             |
| 35.- Vedante del vástago de cierre de agua                            | 36.- Vedante del vástago de cierre de jarabe                             |

### **Descripción del funcionamiento del Proporcionador**

Los recipientes (4) y (5) reciben agua y jarabe respectivamente a través de las válvulas con control neumático (1) y (2). Los flotantes (7) transmiten señales de apertura y cierre a dichas válvulas accionando las microválvulas (6), que con su sistema de modulación mantiene un determinado nivel en los recipientes. El accionamiento manual de las válvulas (1) y (2) se realiza con las válvulas de aire de tres vías colocados en el tablero. Esto permite en sus tres posiciones, el cierre, la abertura manual, y el comando automático de dichas válvulas.

Los electrodos (13) controlan la altura de derrame necesario para mantener constante la columna del líquido sobre el orificio.

Las válvulas de mariposa (11) y (12) regulan el flujo de circulación del líquido en las columnas. Su accionamiento permite lograr un suave derrame durante la operación del equipo.

El agua y el jarabe pasan a través de las placas de orificio al recipiente de mezcla. El producto obtenido es transferido al carbocooler por la bomba (27).

El nivel en el recipiente de mezcla es controlado por el flotante (25) que acciona la válvula (28) a través de la microválvula (32).

Las válvulas de cierre instantáneo (35) y (36) impiden el paso del jarabe y el agua al recipiente de mezcla.

El flujo del líquido que pasa por los orificios ingresa al recipiente de mezcla a través de los tubos de extensión (23).

El orificio de jarabe es de diámetro fijo. La sección del orificio del agua puede ser variada a través de un tornillo micrométrico. El giro de este tornillo permite ajustar el caudal exacto de agua para la proporción deseada. Cuando el proporcionador no opera los tubos (23) deben permanecer llenos de líquido. Si alguno de los tubos se vaciara debemos detectar un ingreso de aire. Si los tubos no permanecen llenos deben ser revisados los anillos de cierre (O'Ring) del tubo de extensión.

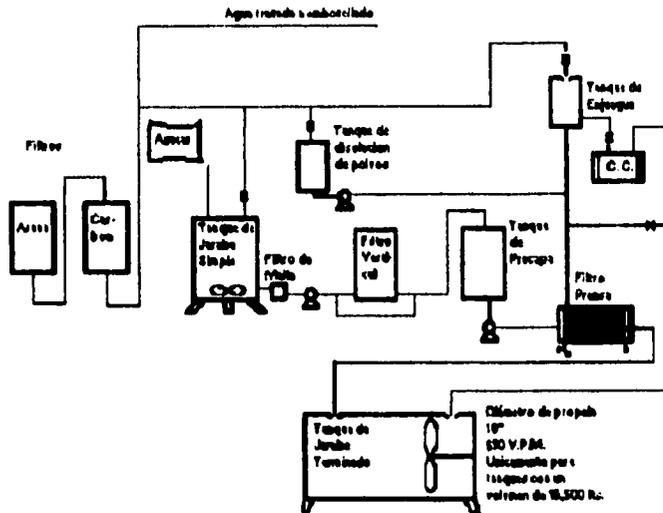
El ingreso de aire provoca una fuerte turbulencia en el proceso de dosificación. Los vástagos de cierre son gobernados por el cilindro neumático que recibe aire comprimido por medio de una válvula selenoide que se energiza manualmente, accionando la llave de cierre; y automáticamente, a través de un circuito de electrodos de control.

## Jarabe

En la industria embotelladora, la elaboración de jarabes ocupa un papel preponderante. Dicho proceso, consta de varias etapas, que a continuación se enumeran: (Ver esquema 2.3)

- 1.- Dentro de un tanque se prepara una mezcla de agua con azúcar a esta etapa se le denomina preparado de un jarabe simple.
- 2.- El jarabe simple obtenido se hace pasar por una serie de filtros que le daran la turbidez deseada.
- 3.- Al obtener el jarabe con la turbidez deseada este es bombeado hasta un tanque de jarabe, donde se llevará a cabo la mezcla con el sabor correspondiente, aforándola a la capacidad establecida, para obtener los grados brix requeridos; posteriormente, esta mezcla es agitada constantemente por un lapso de 2 horas para homogenizar y liberar el aire que pudiera encontrarse atrapado para evitar así el espumeo, al momento de embotellar el producto, el cual se envía por último, al proporcionador, donde se lleva a cabo la mezcla final.

Esquema 2.3: Descripción del proceso de elaboración de un jarabe



Esquema 2.3: Proceso de elaboración de Jarabes

## **Propiedades y funciones del Bióxido de Carbono**

El bióxido de carbono presenta las siguientes propiedades que son utilizadas en las industrias embotelladoras de bebidas:

- 1.- Es un gas pesado.
  - 2.- Incoloro.
  - 3.- Casi inodoro.
  - 4.- Relativamente inactivo.
  - 5.- No es corrosivo a los metales ni a materiales orgánicos.
  - 6.- Cuando se disuelve en agua, forma trazas de ácido carbónico el cual no daña los materiales comunes.
- Refiriéndonos a la producción de bebidas embotelladas a continuación se enumeran las siguientes funciones del bióxido de carbono:

\* Contribuye al sabor. Al formarse una pequeña cantidad de ácido carbónico cuando se disuelve en el agua, origina que el acidulante de la bebida presente un sabor picante, que se convierte en parte esencial del sabor. Además las burbujas del bióxido de carbono tienen un efecto estimulante en el paladar.

\* Actúa como conservador: Inhibe el desarrollo de bacterias, hongos y levaduras. Contribuyendo a las propiedades de conservación de una bebida embotellada bajo condiciones sanitarias.

\* Hace la bebida más atractiva a la vista. El consumidor asocia las burbujas de bióxido de carbono en la superficie de la bebida, con la idea de un sabor agradable y refrescante.

## **Fabricación y manejo del Bióxido de Carbono.**

En la actualidad el bióxido de carbono es fabricado de manera económica y altamente puro por las grandes compañías productoras, quienes utilizan las siguientes fuentes para su obtención:

- 1.- Pozos de bióxido de carbono naturales.
- 2.- Gases de combustión.
- 3.- Gases de fermentación.
- 4.- Piedra caliza.

Existen varias opciones para el manejo y transportación del bióxido de carbono a los consumidores:

a) El bióxido de carbono se transporta en forma líquida en tambores o cilindros de acero, los cuales soportan presiones de hasta 155 Kg/cm<sup>2</sup> (2200 lb/plg<sup>2</sup>) lo que origina que sean muy pesados y costosos.

b) Otra forma de transporte es en estado sólido (hielo seco), pero resulta ser caro, por que el líquido tiene que ser reducido a una temperatura muy baja y después comprimido en forma de bloques. Una desventaja es que al ser transportado el bloque pierde bióxido de carbono por lo que no puede transportarse a grandes distancias.

c) Un método relativamente nuevo para manejar y vender bióxido de carbono, es en forma líquida a granel a una temperatura aproximadamente de  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ).

A esta temperatura la presión está abajo de  $21\text{kg/cm}^2$  ( $300\text{lb/plg}^2$ ), y los recipientes no necesitan ser tan fuertes como los cilindros usados para el bióxido de carbono líquido a granel, por lo que el cliente debe contar con un recipiente especial en la planta, para almacenar una provisión adecuada del bióxido de carbono y equipo que proporcione el flujo adecuado de gas al carbonatador. La instalación necesaria para llevar acabo esto, se determina según la forma en que se compre el bióxido de carbono.

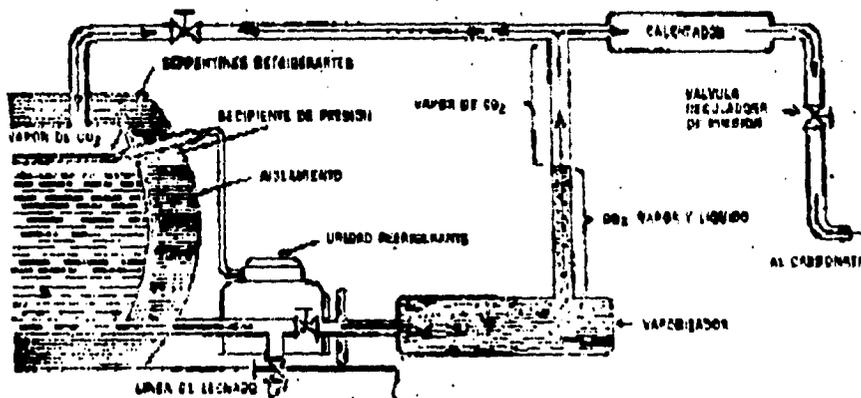
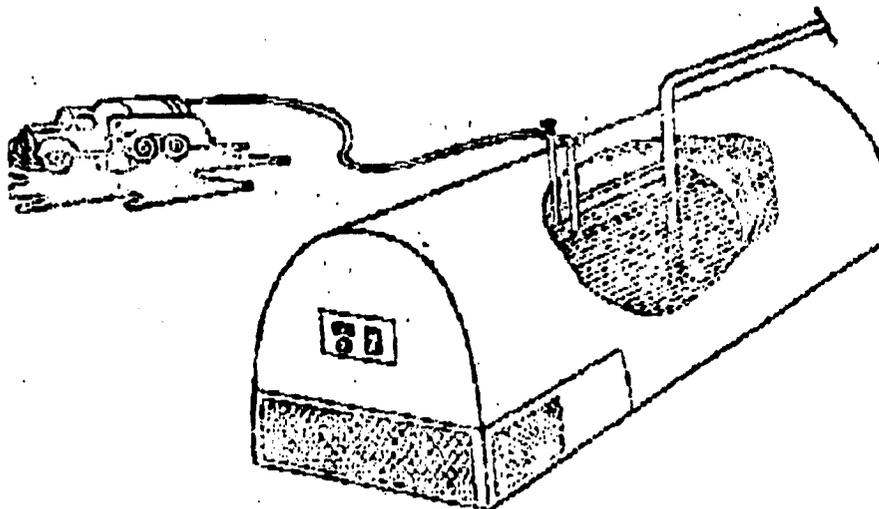
1.-Sistemas de alta presión, usando el gas en cilindros.

2.-Sistemas de alta presión, usando hielo seco. Estos pueden ser adaptados para usar líquido a granel si se desea.

3.-Sistemas de baja presión usando hielo seco o líquido a granel. El bióxido de carbono se conserva refrigerado todo el tiempo.

En este trabajo sólo se hablara del último punto antes mencionado, por que resulta ser la forma más usual en la industria embotelladora para el suministro de bióxido de carbono. (Esquema 2.4)

Esquema 2.4: Descripción del sistema de suministro y almacenamiento de bióxido de Carbono para un sistema de baja presión.



SISTEMA PRODUCTOR DE CO<sub>2</sub> A BAJA PRESIÓN. TUBERÍAS Y ACCESORIOS

### **Sistemas de baja presión**

El sistema de baja presión de bióxido de carbono es el que almacena el gas a una presión baja y una temperatura controlada. En los sistemas de baja presión, son utilizados dos tipos de recipientes que son:

- a) convertidores-receptores. Que pueden llenarse con hielo seco o bióxido de carbono líquido a granel.
- b) receptores. Que no tienen entradas lo suficientemente grandes para el hielo seco y por lo tanto son adecuados únicamente para líquido a granel.

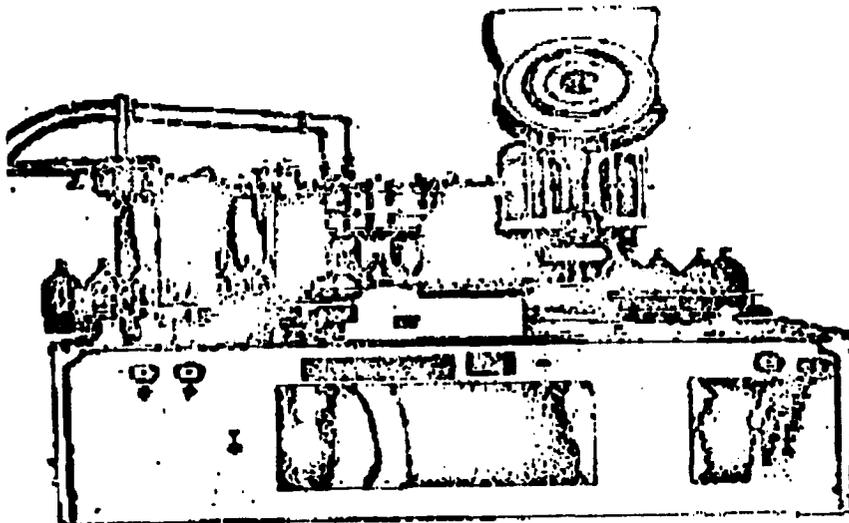
Para mantener el CO<sub>2</sub> a una presión de 23 Kgs./cm<sup>2</sup> (325 lb/plg<sup>2</sup>). O menor, la temperatura debe mantenerse a -18°C (0°F) o más baja. Esto se lleva a cabo aislando el tanque y por medio de refrigeración mecánica. Durante la operación normal el líquido que se evapora para usarse en el carbonatador, mantendrá el recipiente y su contenido a baja temperatura. Puede requerirse calentadores para mantener el flujo necesario. Cuando es tiempo de calor y cuando el bióxido de carbono no se está usando, es necesario el sistema de refrigeración.

Tanto el sistema de calentador como el de refrigeración son controlados por medio de termostatos y la operación es completamente automática. El sistema se provee de una válvula de escape para dejar salir el bióxido de carbono en caso de que el sistema de refrigeración falle.

El sistema de baja presión tiene el mayor costo inicial de todos los recipientes proveedores de bióxido de carbono. La instalación completa comprende un recipiente aislado, un sistema de refrigeración, un sistema de calentamiento y controles automáticos que son muy costosos.

### **Llenadoras de Botellas Meyer**

La llenadora Meyer (Esquema 2.5) es una llenadora y tapadora de alta velocidad y producción, construida de acuerdo a las normas de las llenadoras Meyer de alta calidad.



El transportador de alimentación, el tornillo sincronizador y la estrella de alimentación son impulsados mediante un conjunto de cadana y rueda dentada conectada al mecanismo impulsor principal de la llenadora. El tornillo sincronizador espacia las botellas que van entrando en el transportador de alimentación y las coloca en bolsas sucesivas en la estrella de alimentación giratoria. La estrella cambia de dirección en la que se mueven las botellas un ángulo de  $180^\circ$  y las dirige hacia los estribos de la llenadora. Una compuerta de seguridad en posición opuesta al tornillo sincronizador cierra a la llenadora cuando ocurre cualquier atascamiento. El conjunto giratorio de la llenadora consiste en la taza y las válvulas, los estribos y el suspensor, los sistemas de distribución del aire y del líquido, el sistema de lubricación y los cojinetes de la columna central, etc.

El conjunto giratorio de la llenadora consiste en la taza y las válvulas, los estribos y el suspensor, los sistemas de distribución del aire y del líquido, el sistema de lubricación y los cojinetes de la columna central, etc. La taza de la llenadora constituye el elemento giratorio principal y es la que contiene el producto. Las posiciones

de las válvulas llenadoras van indicadas en membretes impresos que están sujetos alrededor de la taza. La estrella de alimentación dirige la botella a un estribo y el sujetador del estribo centra la botella. La palanca de la válvula de aire deslizante del cilindro elevador de aire se pone en contacto con la leva, los elevadores de presión del aire y sella la botella contra la copa centradora de la válvula llenadora. El funcionamiento de la válvula llenadora es regulado mecánicamente; a medida que la taza gira, la botella se pone en contacto y mueve el brazo de funcionamiento del pestillo mecánico. Mediante conexiones el pestillo abre las palancas, las cuales abren la válvula cargadora, esta permite que el aire bajo presión de la taza entre a la botella. La válvula del líquido permanece cerrada hasta que la presión en la botella sea igual a la presión de la taza. Antes de que comience la operación de llenar, la leva neutral mueve las palancas a la posición neutral esto, permite que se cierre la válvula cargadora en caso de que ocurra un escape o explosión de la botella; este dispositivo de seguridad impedirá la pérdida de la presión del aire en las tazas cuando una botella rajada o rota se encuentra en la posición para llenar, así mismo impide la pérdida del producto al permitir que la válvula del líquido se cierre si se pierde la contra presión de la botella. La válvula del líquido se abre y el líquido fluye en la parte externa de la varilla de la válvula llenadora por medio de la rejilla del asiento de la válvula, la forma del flujo produce corriente abundante para que la operación de llenar se realice a baja velocidad sin agitación, el flujo en la botella continúa hasta que el nivel del líquido quede por encima de los agujeros en el tubo de la ventilación. El líquido cierra el paso del gas de la botella al espacio del cabezal de la taza de la llenadora y el flujo del líquido se suspende. A medida que la taza de la llenadora continúa girando, la palanca de la válvula externa se mueve a la posición de cierre mediante un cerrador de dos secciones de la válvula. La palanca hace girar un eje y la palanca interna de la válvula del líquido, un momento después una barra que acciona la válvula de desventeo fija a la segunda sección del cerrador de válvulas, oprime el botón de desventeo de la válvula llenadora y abre la válvula de desventeo para suspender la presión del gas en la botella a la atmósfera. Después de la operación de desventeo, la palanca de la válvula deslizante de aire se pone en contacto con la leva para abrir la válvula deslizante de aire y la presión de aire se pierde del cilindro elevador de aire la botella desciende y sale de la llenadora giratoria por la estrella

de descarga. Las botellas son forzadas a pasar de los sujetadores a la estrella de descarga de la llenadora para ser acarreadas a la estrella de la tapadora alrededor de la estrella de descarga de dicha tapadora y al transportador de descarga.

Habiendo descrito el proceso de elaboración de una bebida gaseosa y retomando el aspecto de la calidad podemos en un momento dado saber si se está satisfaciendo dicha calidad, al optimizar el funcionamiento de los aparatos, conociendo sus ventajas y desventajas de la maquinaria y enfocarla hacia la implementación de un buen control de calidad.

En el siguiente capítulo serán presentadas algunas técnicas de control estadístico para la identificación de productos que se encuentran fuera de la norma de calidad en la línea de producción de una bebida gaseosa. Por lo cual se mencionarán algunos puntos en los que se basa dicho control, empleo e interpretación así como la evaluación del proceso en base a estas técnicas.

de descarga. Las botellas son forzadas a pasar de los sujetadores a la estrella de descarga de la llenadora para ser acarreadas a la estrella de la tapadora alrededor de la estrella de descarga de dicha tapadora y al transportador de descarga.

Habiendo descrito el proceso de elaboración de una bebida gaseosa y retomando el aspecto de la calidad podemos en un momento dado saber si se está satisfaciendo dicha calidad, al optimizar el funcionamiento de los aparatos, conociendo sus ventajas y desventajas de la maquinaria y enfocarlas hacia la implementación de un buen control de calidad.

En el siguiente capítulo serán presentadas algunas técnicas de control estadístico para la identificación de productos que se encuentran fuera de la norma de calidad en la línea de producción de una bebida gaseosa. Por lo cual se mencionarán algunos puntos en los que se basa dicho control, empleo e interpretación así como la evaluación del proceso en base a estas técnicas.

### **CAPITULO III**

## **CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD EN LA INDUSTRIA DE BEBIDAS GASEOSAS**

## **Control estadístico de la calidad en la industria de bebidas gaseosas.**

En la actualidad dadas las necesidades de competencia y permanencia en el mercado, de cualquier producto, el control de calidad implica que se haga en forma total (Control total de la calidad) para mejorar el proceso de manufactura, convirtiéndose en parte fundamental el control del proceso; para lograr el control del proceso se utilizan las gráficas de control de calidad porque ofrecen la ventaja de contribuir a la economía de la empresa y del consumidor, eliminando las inspecciones al 100 % del producto terminado.

En el control de calidad existen características que no se pueden representar en forma numérica, en tal caso, cada artículo o producto inspeccionado suele clasificarse como conforme o disconforme con las especificaciones, la característica de calidad usada para este tipo de inspección se le llama por atributo. Por otra parte aquellos en los que se puede expresar en términos de una medida numérica se llama por variable.

Las gráficas de control se basan en técnicas de la estadística, que permiten predecir con cierto grado de confiabilidad lo que ocurre en el comportamiento de un proceso.

Los diagramas de control para variables se usan ampliamente; suelen permitir el uso de procedimientos de control más eficientes, y proporcionan más información respecto al rendimiento del proceso que los diagramas de control por atributos.

Se presenta el control de dos de las cinco características más importantes, que debe reunir la botella de 760 ml de una bebida gaseosa, que son control de grados brix y volumen de carbonatación, que se consideran como los de mayor repercusión en el gusto del consumidor.

### **LA VARIACION EN LOS PROCESOS**

La variación es el concepto más importante para el control estadístico de proceso, esta variación existe porque todos los elementos que participan en el proceso no son exactamente iguales es decir, en un proceso intervienen los factores:

**Personales:** Que no todos los días se realizan las cosas exactamente iguales.

**Materiales:** No son iguales todas las veces, máxime cuando un mismo material proviene de varios proveedores distintos.

**Medio Ambiente:** En algunos procesos las variaciones del medio ambiente afectan su comportamiento.

**Maquinaria:** La máquina sufre desgaste, descalibraciones, etc que hacen que su desempeño no sea siempre igual.

**Procedimientos:** La manera en que se llevan a cabo las actividades dentro del proceso tampoco son iguales todas las veces.

Si todos los elementos que participan en el proceso tienen variaciones, el resultado final es que el producto también va a tener variaciones.

#### **CAUSAS DE VARIACION**

La variación existe por una gran cantidad de causas, y al conocerlas, podemos mejorar el proceso ya que dichas causas pueden ser eliminadas. Dividiéndose en dos categorías:

**Causas Comunes:** Son aquellas que están siempre presentes en el proceso, y por lo tanto están generando constantemente variación en todo lo producido.

**Causas Especiales:** Son aquellas que no están presentes siempre en el proceso, sino que aparecen de repente y generan un descontrol, y por lo tanto no afectan la totalidad de lo producido, sino solamente la parte que se produjo mientras estuvo presente la causa especial.

Cuando un proceso se encuentra sujeto solamente a causas comunes de variación podemos decir que el comportamiento del mismo es estable estadísticamente, o en otras palabras es un proceso bajo control.

Las causas especiales de variación como se ha mencionado aparecen ocasionalmente y generan un cierto descontrol, como puede ser un desajuste, una descalibración, una pieza rota, etc., se dice que un proceso en el que aparecen causas especiales de variación, es un proceso fuera de control, este tipo de causas casi siempre pueden ser corregidas por el operario de la máquina sin embargo, al corregirlo cuando se presenta no es suficiente, debe tratarse de identificar aquellas causas especiales que se presentan frecuentemente para prevenir su ocurrencia o al menos hacer que su efecto sea mínimo.

Aun cuando las gráficas de control nos ayudan a saber en que momento es necesario aplicar una determinada acción correctiva o ajuste en el proceso, su máximo valor en realidad, está en indicar cuando debemos dejar al proceso que opere sólo. Si únicamente están actuando causas comunes de variación y el nivel de variación generado por éstas causas es aceptable en términos de las especificaciones de calidad, no debe haber alguna razón para llevar a cabo ajustes en el proceso. Dichos ajustes solamente traerán más problemas, dado que inducen una variación adicional en el proceso y, ésta se refleja en las características del producto.

#### **BASES ESTADÍSTICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS.**

En las plantas industriales es una práctica muy común el tomar datos de la operación y llevar gráficas de distintos tipos, donde se acostumbra medir las principales características de calidad del producto que se fabrique, como por ejemplo: peso, contenido, tamaño, defectos, etc., esto es algo muy positivo ya que no solo les permite conocer el comportamiento de su producción sino también el identificar áreas de oportunidad para mejorar sus procesos. Un proceso puede estar sujeto a muchas situaciones que pueden generar un comportamiento inestable pudiéndose observar algunas de las siguientes posibilidades:

- a) Cambio en el promedio
- b) Cambio en su nivel de variación
- c) Cambio en su promedio y en su nivel de variación.

Todas estas situaciones pueden ocurrir en la operación de un proceso, si no nos percatamos de ello y hacemos algo por mantenerlo en control, su comportamiento tenderá hacia una situación de caos, es decir, variaciones erráticas que crean un descontrol.

Si en un proceso, se obtiene una muestra periódicamente, mantiene un estado de control estadístico, significa que su variación se esta controlando durante el tiempo de proceso, esto sucede cuando todos los datos caen en una franja delimitada por el promedio más tres veces la desviación estándar de medias y el promedio menos tres veces la desviación estándar.

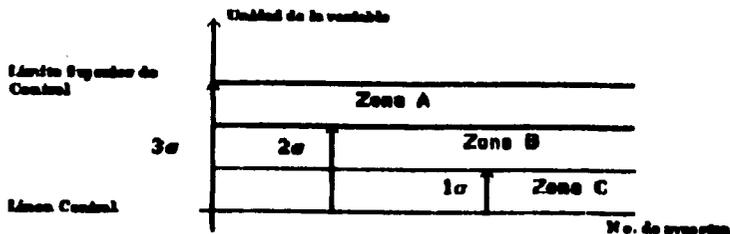
Cuando un proceso está operando de esta manera, es muy poco probable que genere un dato fuera de esta franja, a menos de que se haya presentado en el proceso alguna causa especial que altere su comportamiento.

### CARTAS CONTROL

El diagrama de control es una representación gráfica de una característica de calidad, medida o calculada a partir de una muestra, en función del número de la muestra o del tiempo. La gráfica tiene una línea central que representa el valor medio de la característica de calidad, correspondiente al estado bajo control, existen otras dos líneas horizontales, llamadas límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC), las líneas están colocadas arriba y abajo del promedio, con aproximadamente 3 veces la desviación estándar, estas nos sirven para conocer el rango total de variación que mantiene el proceso.

Estos puntos se escogen de manera que si el proceso está bajo control, casi la totalidad de los puntos muestrales se hallan entre ellos.

(El Diagrama 3.0 sólo muestra la parte correspondiente a la zona superior, esta es igual en la zona inferior de la gráfica).



Zonas presentes en una distribución de frecuencias que sigue un patrón normal.

Fig. 3.0

Desafortunadamente, el hecho de que todos los puntos se encuentren dentro de los límites de control no significa que no estén presentándose causas especiales. Generalmente las situaciones que desencadenan un caos en el comportamiento del proceso se manifiestan de dos posibles maneras:

a) Corrimientos del promedio

b) Corrimientos o cambios en la variación del proceso.

La idea de las gráficas de control es prevenir que estas situaciones se presenten, monitoreando al proceso, es decir tomando datos periódicamente y registrándolos en una gráfica de control para analizar su comportamiento estadístico y en su caso tomar las medidas correctivas que se consideren pertinentes.

#### **INTERPRETACION DE COMPORTAMIENTOS EN UNA GRAFICA DE CONTROL**

Es muy frecuente que nos encontremos con la situación de que al llevar una gráfica de control, se ponga solamente atención sobre puntos localizados fuera de los límites; sin embargo, el modelo desarrollado por el Dr. Shewhart para las gráficas de control nos indican que existen algunas otras condiciones que deben cumplirse, y en caso de que no se cumplan, implica que se están presentando causas especiales que alteran el comportamiento del proceso. Dado que la distribución de los datos es normal, cualquier desviación en el comportamiento de los datos hacia la curva normal nos indica que hay causas que están alterando el proceso, aún cuando los puntos estén dentro de los límites de control. Muchos puntos cerca de los límites de control, o muchos puntos de la línea central pueden señalar problemas en el proceso o bien en el método de muestreo o toma de datos.

Para la interpretación de las cartas es importante mencionar los siguientes criterios, que son utilizados en una representación gráfica de control como la de la fig.3.0 que ayudan a detectar comportamientos anormales en un proceso.

Es posible aplicar varios criterios utilizados en la práctica al diagrama de control para determinar si el proceso está fuera de control o no.

1. Un solo punto cae fuera de los límites de control.

2. Dos de tres puntos consecutivos caen en la zona "A" o fuera de los límites, solo dos puntos cuentan, uno de los tres pudo caer en cualquier parte.

3. Cuatro de cinco puntos consecutivos caen en la zona "B" o más, sólo cuentan cuatro puntos por lo que uno de los cinco pudo haber caído en cualquier parte.

4. Ocho puntos sucesivos por arriba de la línea central en cualquier zona, o bien por abajo de la línea central.

5. Para concluir que existe tendencia a límite central, cuando ocurran 15 ó más puntos consecutivos que todos caen en la zona "C", sin importar si es arriba y/o abajo de la línea central.

6. Para concluir que existe tendencia a límite, cuando 8 puntos consecutivos caen fuera de la zona "C".

7. Cuando los puntos se mueven hacia arriba y hacia abajo en las zonas mostradas en la gráfica de control, no hay número de puntos definidos para concluir que es anormal.

A continuación se presenta el cuadro 3.1 con una serie de patrones de comportamiento en las gráficas de control, así como las posibles causas que pueden llegar a producir dichos comportamientos.

COMPORTAMIENTO	POSIBLES CAUSAS
Ciclos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temperatura, humedad o algún otro elemento del medio ambiente, con cambios periódicos.</li> <li>-Fatiga personal</li> <li>-Diferencia en instrumentos de medición usados en secuencia.</li> <li>-Rotación de máquinas o personal.</li> <li>-Ciclos en los materiales de entrada</li> <li>-Degradación de sustancias químicas o desgaste de piezas.</li> <li>-Deteriore o desajuste gradual del equipo</li> <li>-Fatiga del personal</li> </ul>
Tendencias	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cambio gradual en la calidad de los insumos o insumos defectuosos</li> <li>-Deteriore de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.,)</li> <li>-Velocidad de la línea</li> <li>-Mejoramiento o deteriore de la habilidad del operador.</li> <li>-Operador nuevo</li> <li>-Máquina nueva</li> </ul>

Brincos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modificación del método de producción</li> <li>-Mezcla de insumos de diferentes proveedores</li> <li>-Cambio en el método de muestreo</li> <li>-Cambio en el instrumento de medición</li> <li>-Sobre control manual através de ajustes</li> </ul>
Tendencia a límites	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grandes diferencias en la calidad de los insumos (por mezclar varios lotes o varios proveedores).</li> <li>-Desajustes del equipo</li> <li>-Utilización de la misma gráfica para dos o más procesos</li> <li>-Diferentes personas llevan la gráficas.</li> </ul>
Tendencia a límite central	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cálculo incorrecto en los límites de control</li> <li>-Método incorrecto de muestreo</li> <li>-Datos falsos</li> <li>-Mejoramiento notable de la variación se requieren nuevos límites.</li> </ul>

Cuadro 3.1 : Patrones de comportamiento en las gráficas de control y sus posibles causas.

#### ELECCION DE GRAFICAS TIPO $\bar{X}$ S.

En cualquier proceso en línea los diagramas de control son una herramienta muy útil para vigilar el proceso. Cuando se trata con una característica de calidad que es una variable, es una práctica estándar controlar el valor medio de la característica de calidad y su variabilidad.

Los diagramas de control pueden clasificarse en dos tipos generales por variables y por atributos. Existen varios tipos de gráficas de control, en la industria embotelladora las gráficas más comunes son las gráficas tipo  $\bar{X}$  S o  $\bar{X}$  R por variables, por que suelen permitir el uso de procedimientos de control más eficientes, y proporcionan más información respecto al rendimiento del proceso que las gráficas de control por atributos.

En el caso de valores moderadamente de  $n \geq 10$ , la amplitud pierde rápidamente su eficiencia pues no toma en cuenta toda la información en la muestra, entre  $X_{\max}$  y  $X_{\min}$ .

El control de la media del proceso, o de nivel de calidad promedio, suele ejercerse con el diagrama de control de medias o diagrama de  $\bar{X}$ . Es posible controlar la variabilidad o dispersión del proceso mediante un diagrama de control de la desviación estándar, llamado diagrama de S o con un diagrama de control de la amplitud, llamado diagrama de control de R.

Los diagramas de  $\bar{X}$  R (o S) se hallan entre las más importantes y útiles técnicas de control estadístico de proceso en líneas.

Cuando el tamaño muestral es moderadamente grande,  $n > 10$  o 12 el método de la amplitud para estimar  $\sigma$  pierde eficiencia estadística. En estos casos es mejor remplazar las gráficas de  $\bar{X}$  y R por las de  $\bar{X}$  S<sup>2</sup>, donde se estima directamente la desviación estándar en vez de hacerlo en forma indirecta mediante el uso de R. Por lo tanto, con fines de control, hay que calcular la media muestral  $\bar{X}$  y la desviación estándar muestral S para cada subgrupo.

Tradicionalmente se prefiere el diagrama de R en vez del de S, debido a la sencillez del cálculo de R para cada muestra. La disponibilidad creciente de computadoras para la implementación en línea de gráficas de control directamente en el sitio de trabajo, han eliminado cualquier dificultad computacional. Además, para el estudio de la curva característica de operación (CO), se sabe que el diagrama de R es relativamente insensible a cambios pequeños y moderados, para tamaños muestrales pequeños. Así, en muchos casos de la práctica en los que se necesita un control estricto de la variabilidad del proceso, se requieren tamaños muestrales relativamente grande, y debe utilizarse el diagrama de S.

Si  $\sigma^2$  es la varianza desconocida de una distribución de probabilidad, un estimador no sesgado de  $\sigma^2$  será la varianza muestral.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

No obstante, la desviación estándar muestral S no es un estimador insesgado de  $\sigma$ . Si la distribución subyacente es normal, entonces S realmente estima  $C_4\sigma$ , donde  $C_4$  es una constante que depende del tamaño muestral n.

$$C_4 = (2 / (n-1))^{1/2} \Gamma(n/2) / \Gamma((n-1)/2)$$

Además la desviación estándar de S es  $\sigma \sqrt{1-C_4}$ . Es posible utilizar esta información con objeto de establecer las gráficas de control  $\bar{X}$  y S.

Cuando no se dispone de un valor estándar para  $\sigma$ , hay que estimarlo mediante el análisis de datos anteriores. Si se tiene m muestras preliminares, cada una de tamaño n, y sea  $S_i$  la desviación estándar de la i-ésima muestra. El promedio de las m desviaciones estándares es :

$$S = 1/m \sum S_i$$

La estadística  $s/C_4$  es un estimador no sesgado de  $\sigma$ . Por lo tanto, los parámetros del diagrama de S serán:

$$LSC = S + 3s/C_4 \sqrt{1-C_4}$$

línea central = s

$$LIC = S - 3s/C_4 \sqrt{1-C_4}$$

Cuando  $s/C_4$  se aplica para estimar  $\sigma$ , es posible definir los límites de control el diagrama  $\bar{X}$  correspondiente como:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + 3s/C_4 \sqrt{n}$$

línea central =  $\bar{\bar{X}}$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - 3s/C_4 \sqrt{n}$$

### **Análisis de la capacidad o aptitud de un proceso**

Las técnicas estadísticas son útiles en todo el ciclo de un producto, incluyendo las actividades de desarrollo previo a la fabricación, para cuantificar la variabilidad del proceso, se analiza esta variabilidad en relación con los requisitos o especificaciones del producto, el cual se lleva a cabo por medio del análisis de la capacidad (o aptitud) del proceso.

El índice de capacidad potencial ( $C_p$ ) nos dice si el rango de variación con que opera un proceso es mayor o menor al rango de variación permitido por especificaciones. Y es medido a través del cociente de la variación específica (aquellos valores establecidos que puede tener un producto sin que este pierda sus características particulares), entre la variación del proceso (valores que se obtienen en la fabricación del producto).

$$C_p = \frac{\text{Variación específica}}{\text{Variación del proceso}}$$

Cuando el  $C_p > 1$ , se dice que el proceso es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones los límites de especificación quedan fuera de los límites superior e inferior de tolerancia natural (LSTN =  $u + 3$  sigmas, LITN =  $u - 3$  sigmas) por lo que no se producirán virtualmente unidades disconformes (aún cuando no lo este haciendo actualmente), y cuando el  $C_p < 1$  significa que las tolerancias naturales caen fuera de las especificaciones, por lo que el proceso es muy sensible a la variación y se generará un gran número de artículos disconformes.

En un proceso capaz es necesario eliminar causas comunes de variación (reducir variabilidad) lo cual implica modificar el proceso en algún aspecto. El  $C_p = 1$  indica que los límites de especificación coinciden con los límites de tolerancia natural. Un hecho en el que se debe hacer incapié es que no existe relación entre los límites de control de los diagramas de  $\bar{X}$  y S y los límites de especificación del proceso. Los primeros son motivados por la variabilidad del proceso (medida por la desviación estándar del proceso,  $\sigma$ ); esto es, por los límites de tolerancia natural del proceso. Por otro lado, los límites de especificación son determinados externamente. Pueden ser impuestos por la administración, los ingenieros de manufactura, el cliente o los desarrolladores/diseñadores del producto. Es necesario conocer la variabilidad inherente del proceso al fijar las especificaciones, pero recuérdese que no existe relación matemática o estadística entre los límites de control y los límites de especificación.

En la práctica el valor recomendable como mínimo para el  $C_p$  debe ser 1.33, es decir no basta un  $C_p$  igual a 1 por lo descrito anteriormente. (Este valor es para las plantas embotelladoras de Coca Cola S.A de C.V dato determinado por un estudio de mercado información confidencial).

Un estudio de capacidad de un proceso mide normalmente parámetros funcionales del producto y no del proceso mismo. Los usos más importantes de los datos de un análisis de proceso son:

- Predecir cuán bien se cumple el proceso las tolerancias.
- Ayudar a seleccionar o modificar un proceso.
- Ayudar a establecer un intervalo entre muestreo y controles de proceso.
- Especificar los requisitos para el funcionamiento de nuevos equipos.

- Planear la sucesión de los procesos de producción cuando existe un efecto interactivo de los procesos sobre las tolerancias.
- Reducir la variabilidad en un proceso de manufactura.

A continuación se presenta el análisis de los datos obtenidos en el control de calidad efectuado a una planta embotelladora de bebidas gaseosas aplicado a los equipos proporcionador y de carbonatación, para determinar las variaciones existentes en relación con los valores estándares.

#### **Control de Calidad de los Grados Brix de una bebida carbonatada**

Dentro de todo el control de calidad que se lleva a cabo en una planta embotelladora de bebidas gaseosas; y debido a la importancia que tienen los grados brix y el volumen de carbonatación dentro de este control. A continuación se describirá brevemente como se lleva a cabo el control de calidad en la planta embotelladora Tlalpan de bebidas gaseosas.

Comenzando con decir que en la planta mencionada se embotellan bebidas gaseosas en dos presentaciones una de 760 ml y la otra de 355 ml; los datos que en este trabajo aparecen corresponden al muestreo que se hizo en la línea de producción de la presentación de 760 ml por una sola persona en el turno nocturno que comprende de las 21:30 pm a las 5:30 am.

Dicha línea consta de dos llenadoras una de 65 válvulas y la otra de 50, así mismo, se encuentra abastecida de agua en forma calendarizada por 2 pozos (pozo 1 y pozo 2), por lo cual el tiempo que se realizó dicho muestreo dependió de esta calendarización.

Cabe mencionar que cada uno de los elementos que conformaron la muestra fueron tomados de la línea de producción cada 30 minutos en el tramo que comprende de la cadena transportadora a la empacadora ya que es en este punto donde se confirma una selección al azar.

Posteriormente a cada elemento se les realizó la prueba destructiva correspondiente para el estudio de los grados brix y del volumen de carbonatación por lo que estos elementos no se contabilizan en la producción final (ver anexo).

Por otra parte resta decir que el trabajo se encontraría enriquecido con mayor información si se hubieran tomado elementos muestra durante los otros dos turnos de producción, sin embargo esto no fue permitido.

Este capítulo nos permite analizar el control estadístico en un proceso de línea continuo para los grados brix y el volumen de carbonatación:

- Obtención de la distribución de las muestras de acuerdo a la calendarización de los pozos.
- Análisis de las gráficas  $\bar{X}, S$  para el equipo de proporcionador y el de carbonatación.
- Evaluación del proceso por medio de las gráficas de índice de capacidad.

En el anexo se incluyen las observaciones obtenidas del comportamiento de los grados brix así como la metodología que se utilizó para la obtención de dichos datos. Solo se incluyen en esta parte los promedios obtenidos para la elaboración de las gráficas correspondientes.

Para el análisis de control aplicado a los grados brix los datos obtenidos son reportados en formatos de control como el que a continuación se describe:

#### **FORMATO DE CONTROL PARA LOS GRADOS BRUX**

Planta: Tlalpan  
Departamento: Aseguramiento de la calidad  
Operación: Control de grados brix  
Máquina: Línea 760 ml  
Frecuencia: 1 botella c/30 min  
Especificaciones de ingeniería  
Especificaciones: De 10.22 a 10.52 Grados Brix  
Características: Control de grados brix en la presentación de 760 ml en el turno nocturno.  
Tamaño de la muestra en el turno: 16 botellas

Apartir de las observaciones se presentan los promedios y sus desviaciones estándar de los 16 elementos que forman cada muestra con las cuales se llevará a cabo el análisis de control.

POZO 1		
No.Muestra	$\bar{X}$	S
1	10.35	0.03
2	10.37	0.04
3	10.37	0.02
4	10.36	0.03
5	10.38	0.04
6	10.36	0.04
7	10.35	0.02
8	10.36	0.03

POZO 2		
No.Muestra	$\bar{X}$	S
1	10.36	0.01
2	10.36	0.02
3	10.37	0.02
4	10.35	0.03
5	10.35	0.04
6	10.35	0.02
7	10.37	0.02
8	10.35	0.02

**Distribución obtenida de las observaciones**

En la gráfica se presenta la distribución de las observaciones para los grados Brix del pozo 1 y del pozo 2.

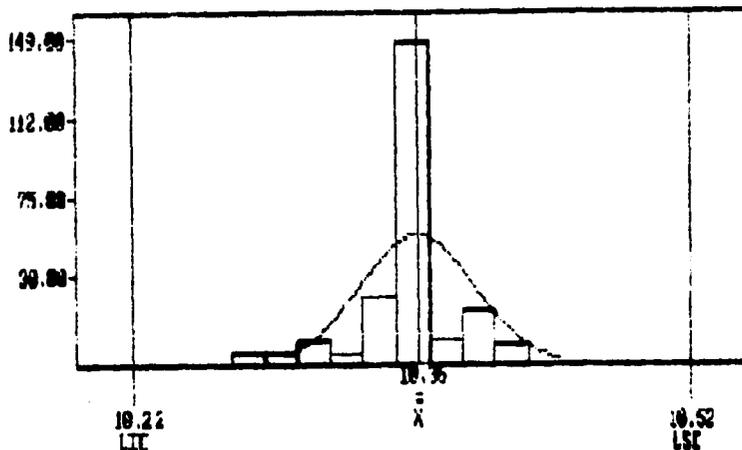


Fig.3.1 Distribución normal de las observaciones de los grados brix para ambos pozos.

La gráfica 3.1 Muestra que las observaciones tienen un comportamiento normal, su media corresponde a un valor de 10.36 grado brix diferente al establecido por el estándar (10.37 grado brix) , además los valores que se obtienen se mueven a valores altos de grados brix debido a fluctuaciones en el nivel del vaso de jarabe ocasionando que salga producto fuera de norma por este lado de la gráfica, sin embargo existe un margen mayor sobre producto bajo en grados brix se recomienda ajustar la media al valor establecido por el estándar y cerrar el cuerpo de la gráfica de lado de los valores altos de brix para mejorar la calidad de los grados brix.

Se presentan las gráficas  $\bar{X}$  para el control de la media de los grados Brix para cada uno de los pozos.

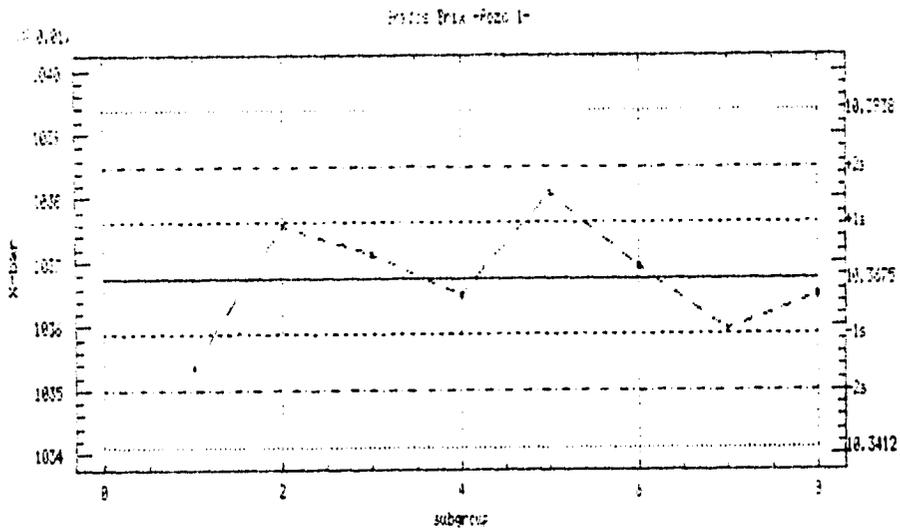
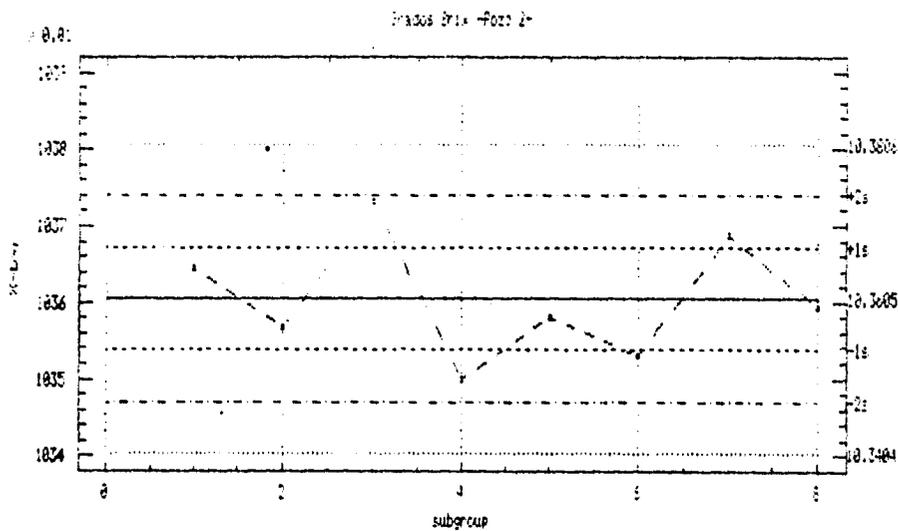


Fig.3.2 Gráfica de control de  $\bar{X}$  para los valores de los grados brix para el pozo 1.

En la figura 3.2 se observa un diagrama de control de  $\bar{X}$ , para los grados brix promedio del pozo 1. Notando que todos los puntos se hallan entre los límites de control (10.39 Grado Brix límite Superior de control (LSC) y 10.34 Grado Brix Límite inferior de control (LIC)) y por lo tanto, la gráfica indica que el proceso está bajo control estadístico.



**Fig.3.3 Gráfica de Control de  $\bar{X}$  para los valores de los grados brix para el pozo 2.**

En la figura 3.3 se observa un diagrama de control de  $\bar{X}$  para los grados brix promedio del pozo 2. Haciendo notar que todos los puntos se hallan entre los límites de control (10.38 Grado Brix límite Superior de control (LSC) y 10.34 Grado Brix Límite inferior de control (LIC)), sin embargo existe un corrimiento de la media a un valor más bajo 10.36 grado brix este valor puede ser atribuido a un desajuste gradual del equipo proporcionador, sin embargo aún con este corrimiento de la media el proceso se encuentra bajo control estadístico, se recomienda ajustar el valor de la media.

A continuación se presenta los diagramas de S para controlar la variabilidad o dispersión del proceso de los Grados Brix para cada uno de los pozos.

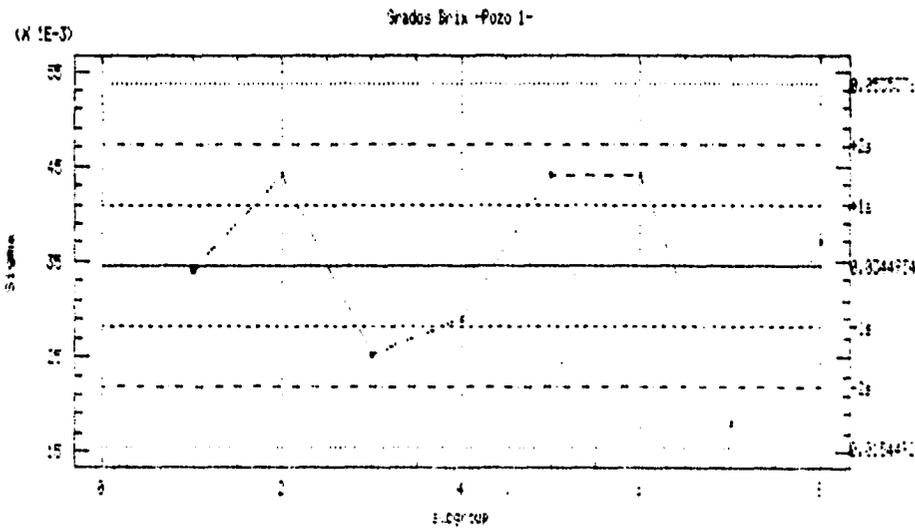
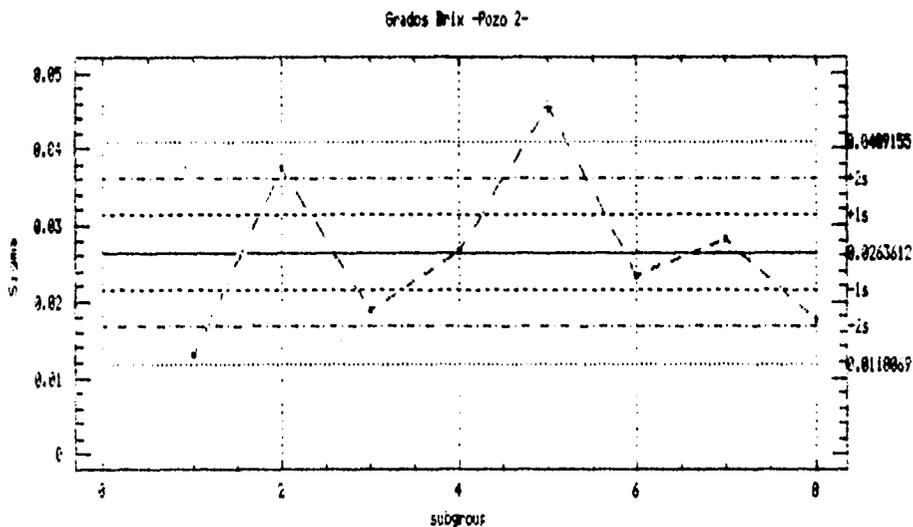


Fig.3.4 Diagrama de S que se obtuvo de los valores de los grados brix para el pozo 1.

El Diagrama de S indicado en la figura 3.4 muestra que no hay indicios de una condición fuera de control estadístico, pues todos los puntos caen dentro de los límites de control. (0.05 Límite Superior de Control y 0.02 Límite Inferior de Control).



**Fig.3.5 Diagrama de tipo S que se obtuvo de los valores de los grados brix para el pozo 2.**

El Diagrama de S para el pozo 2 que corresponde a la figura 3.5, muestra que existen algunos puntos fuera de los límites de control (0.04 Límite Superior de Control y 0.01 Límite Inferior de Control) producto de un mal funcionamiento de la microválvula del vaso de jarabe, se recomienda ajustar o cambiar esta microválvula para eliminar esta fuerte variación.

Finalmente se presenta la gráfica de la capacidad del proceso para ambos pozos.

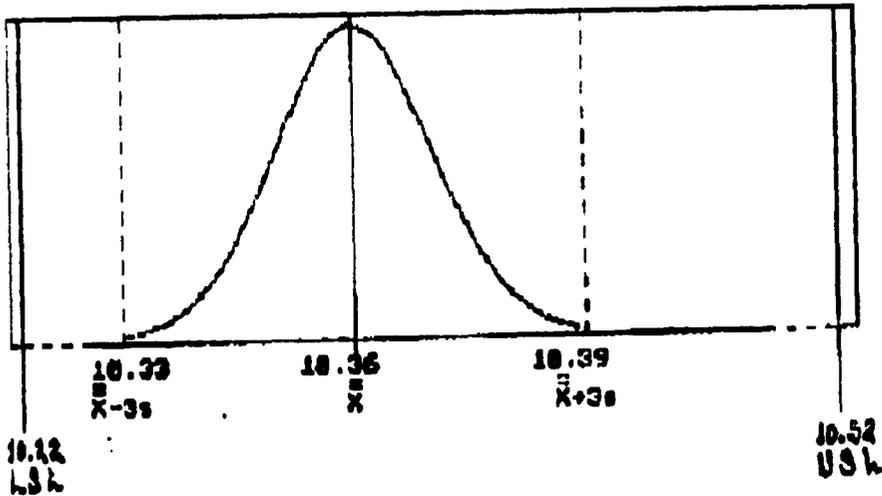


Fig.3.6 Gráfica de la capacidad del proceso para los grados Brix del pozo 1 y pozo 2.

En la figura 3.6 se presenta la gráfica de la capacidad del proceso donde se indican los límites de especificación (10.52 Grado Brix Límite de especificación Superior y 10.22 Grado Brix Límite Inferior de especificación ) junto con los límites de tolerancia Natural (10.46 Límite Superior de Tolerancia Natural y 10.27 Límite Inferior de Tolerancia Natural ) observando que los límites de tolerancia natural se encuentran dentro de los límites de especificación por lo que el proceso cumple con los requerimientos de calidad indicado también por el Cp obtenido  $Cp = 1.56$ .

### Control de calidad del volúmen de carbonatación de una bebida carbonatada.

A continuación se presenta el control de calidad efectuado en la planta embotelladora, al equipo de carbonatación. En el anexo se incluyen las observaciones originales del comportamiento de los volúmenes de carbonatación, así como la metodología que se utilizó para la obtención de dichos datos. Solo se incluyen en esta parte los promedios obtenidos para la elaboración de las gráficas correspondientes.

Para el análisis de control aplicado a los volúmenes de carbonatación los datos obtenidos son reportados en formatos de control como el que a continuación se describe:

#### FORMATO DE CONTROL PARA EL VOLUMEN DE CARBONATACION

Planta: Tlalpan  
Departamento: Aseguramiento de la calidad  
Operación: Control de carbonatación  
Máquina: Línea 760 ml  
Frecuencia: 1 botella c/30 min  
Tamaño de la muestra en el turno: 16 botellas

#### Especificaciones de ingeniería

Especificaciones: De 3.50 a 4.00 vol.

Características: Control de carbonatación en la presentación de 760 ml en el turno nocturno.

Apartir de las observaciones se presentan los promedios y sus desviaciones estándar de los 16 elementos que forman cada muestras con las cuales se llevará a cabo el análisis de control.

POZO 1		
No.Muestra	$\bar{X}$	S
1	3.87	0.09
2	3.84	0.10
3	3.81	0.04
4	3.83	0.04
5	3.82	0.04
6	3.83	0.05
7	3.81	0.04
8	3.82	0.04

POZO 2		
No.Muestra	$\bar{X}$	S
1	3.84	0.04
2	3.83	0.05
3	3.83	0.05
4	3.83	0.06
5	3.83	0.06
6	3.75	0.09
7	3.81	0.14
8	3.81	0.04

### Distribución obtenida de las observaciones

En la gráfica se presenta la distribución de las observaciones del volúmen de carbonatación para el pozo 1 y pozo 2.

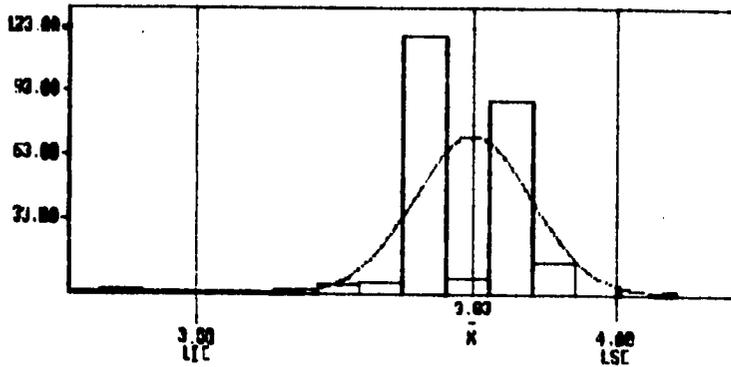


Fig.3.7 Distribución normal de las observaciones promedio obtenidas del volúmen de carbonatación.

La gráfica 3.7, indica que las observaciones para el volumen de carbonatación, cumple con el patrón de normalidad. Para este caso el valor de la media de las observaciones en la curva se encuentra movido hacia la derecha por lo que no corresponde su valor al de la media de especificación (3.75 volumen de carbonatación). Por otro lado se puede ver que hay una variación importante en el equipo de carbonatación hacia valores altos y bajos de volumen de carbonatación y como consecuencia se tiene producto fuera de norma. Se recomienda mover la media al valor estándar y cerrar el cuerpo de la gráfica.

Se presentan las gráficas  $\bar{X}$  para el control de la media del volumen de carbonatación para cada uno de los pozos.

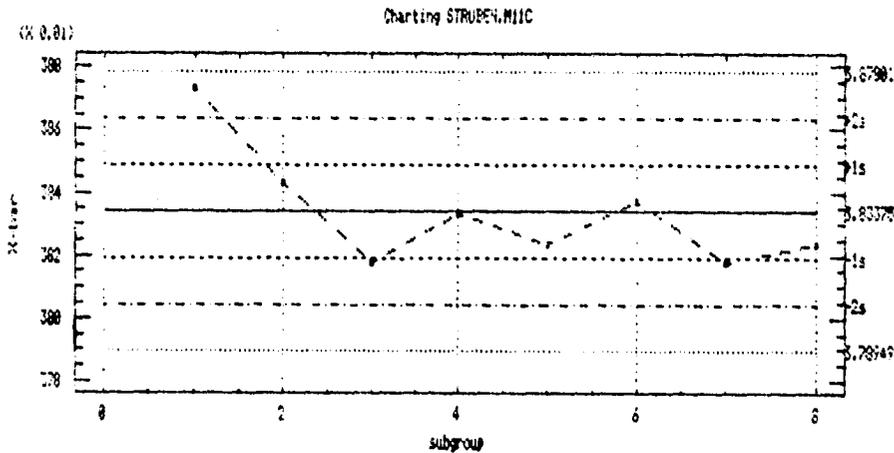


Fig.3.8 Gráfica de Control de  $\bar{X}$  que se obtuvo de los valores del volumen de carbonatación para el pozo 1.

La figura 3.8 corresponde al diagrama de control  $\bar{X}$  para el volumen de carbonatación para el pozo 1. Observando que todos los puntos se hallan entre los límites de control (3.88 vol Límite Superior de Control y 3.79 vol Límite Inferior de Control), su media corresponde a un valor mayor que el establecido por la especificación (3.75 Vol), existe un punto cercano al límite de control Superior ocasionado por el mal funcionamiento del equipo de carbonatación.

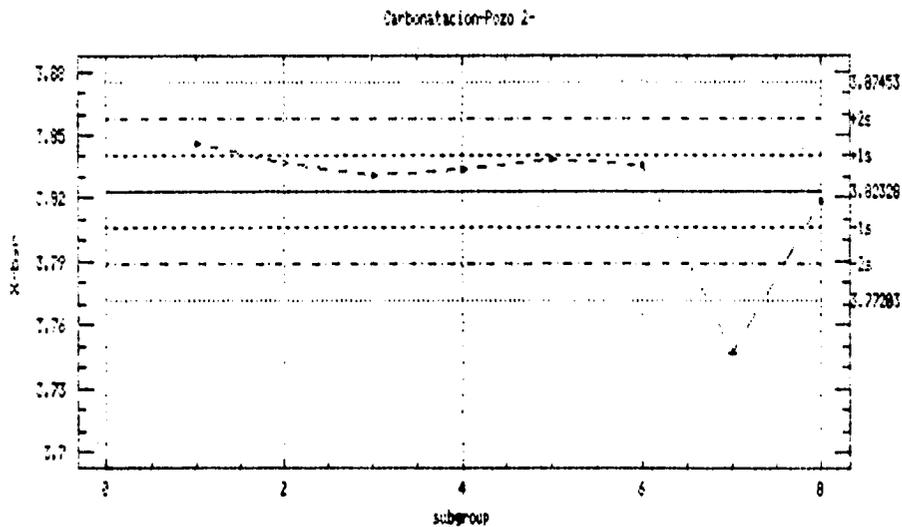


Fig.3.9 Gráfica de Control de  $\bar{X}$  que se obtuvo de los valores del volumen de carbonatación para el pozo 2.

La figura 3.9 corresponde al diagrama de control de  $\bar{X}$  para el volumen de carbonatación del pozo 2. Obsérvese que no todos los puntos están dentro de los límites de control (3.87 vol Límite Superior de Control y 3.77 vol Límite Inferior de Control) y su media corresponde a un valor mayor del estándar (3.75 vol). Sin embargo en la gráfica se observa que los valores se mueven a valores bajos de carbonatación ocasionados por el mal funcionamiento del equipo de carbonatación.

A continuación se presenta los diagramas de S para controlar la variabilidad o dispersión del proceso de carbonatación para cada uno de los pozos.

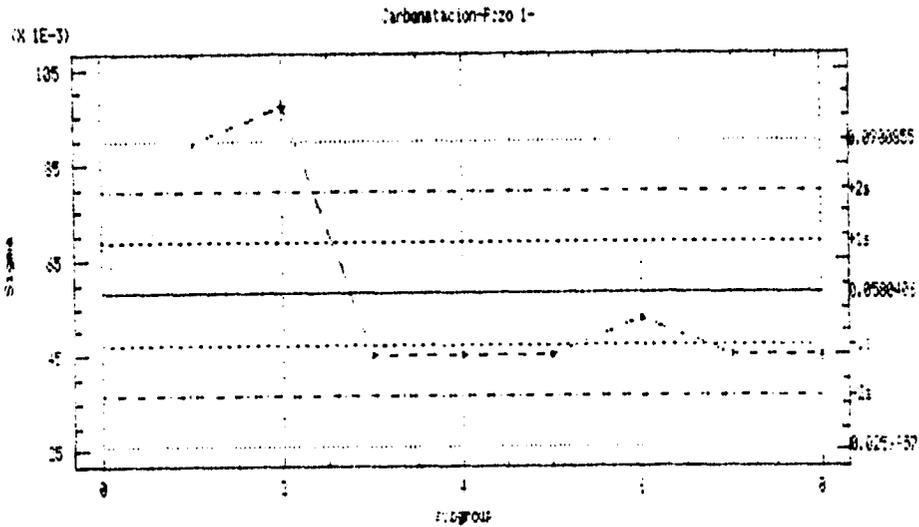
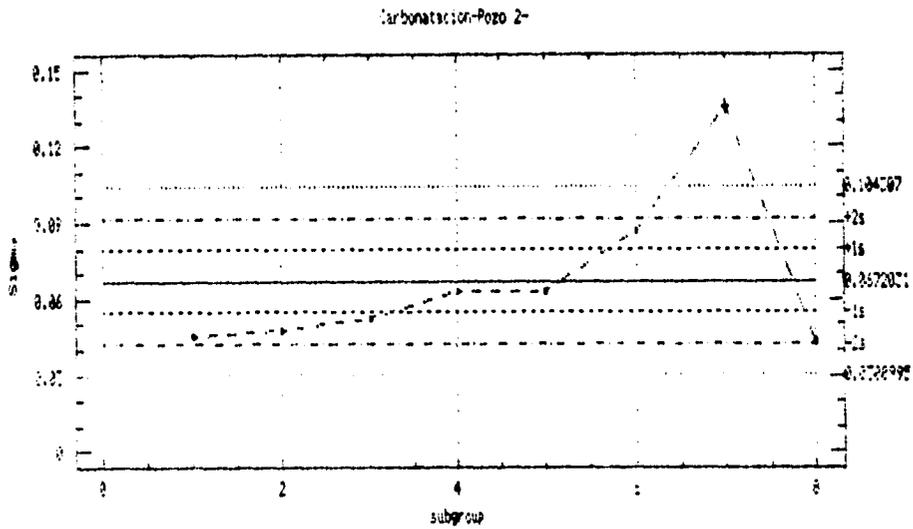


Fig.3.10 Diagrama de S que se obtuvo de los valores de carbonatación para el pozo 1.

En el diagrama 3.10 de S se observan variaciones fuera de control pues existen puntos fuera de los límites de control (0.09 Límite Superior de Control y 0.02 Límite Inferior de Control) ocasionados por el mal funcionamiento del equipo.



**Fig.3.11 Diagrama de S que se obtuvo de los valores de carbonatación para el pozo 2.**

El diagrama de S 3.11 se observan condiciones fuera de control (0.10 Límite Superior de Control y 0.03 Límite Inferior de Control) ocasionados por el mal funcionamiento del equipo.

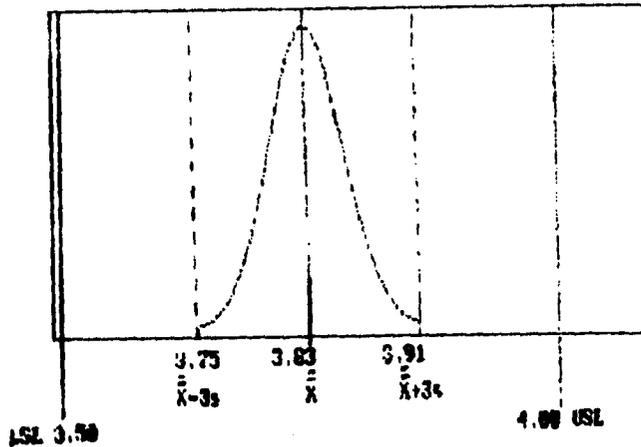


Fig.3.12 Gráfica de la capacidad del proceso para el pozo 1 y pozo 2.

En la figura 3.12 se presenta la gráfica de la Capacidad del proceso donde se indican los límites de especificación (4.00 vol Límite Superior de Especificación y 3.50 vol Límite inferior de Especificación) junto con los límites de Tolerancia Natural (4.04 vol Límite Superior de Tolerancia Natural y 3.62 vol Límite Inferior de Tolerancia Natural) observando que el límite de tolerancia natural superior se encuentra fuera del límite Superior de especificación y el límite inferior de tolerancia natural esta dentro del límite inferior de especificación. Aún cuando existe este problema se puede obtener producto con calidad indicado por el valor del  $C_p = 1.19$  obtenido para el proceso de carbonatación.

## **RESUMEN**

Las industrias manufactureras y de servicios modernos se enfrentan a retos considerables, pues los consumidores han aumentado en gran medida sus requerimientos de calidad y es probable que esa tendencia se intensifique en el futuro por las presiones competitivas.

Los métodos estadísticos presentados tienen un cometido esencial en el aseguramiento de la calidad, debido a que con este control se permite detectar rápidamente la ocurrencia de eventos que afectan nuestra producción. A fin de investigar las causas y tomar acciones correctivas antes de la manufactura de muchas piezas no conformes.

Así también se presentó la manera en como un diagrama permite evaluar los parámetros del proceso de producción, determinando la capacidad del proceso con la finalidad de eliminar la variabilidad del mismo o reducirla al mínimo.

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA ALTURA DE LLENADO DE UNA BEBIDA GASEOSA**

## **Diseño de experimentos para la optimización de la altura de llenado de una bebida gaseosa.**

Además de las técnicas estadísticas convencionales a las que se hizo mención en el capítulo anterior, los métodos de diseño experimental tienen un cometido importante en el desarrollo de procesos y en la depuración del proceso para mejorar el rendimiento.

Los experimentos diseñados son imprescindibles para descubrir las variables claves que influyen en la característica de calidad de interés en el proceso. El experimento es un procedimiento en el que se varían sistemáticamente los factores controlables de entrada y se estudia el efecto que tiene dicho factor en los parámetros de salida del producto esto tiene como función reducir la variabilidad en las características de la calidad y determina los niveles de las variables controlables que optimizan el rendimiento del proceso. Se puede utilizar el diseño de experimentos junto con los controles estadísticos de proceso para minimizar la variabilidad de éste lo que redundará en una producción virtualmente libre de defectos.

En este capítulo se utilizará el diseño de experimentos para detectar los factores importantes que desvían la calidad de llenado del rango de trabajo (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm) para minimizarlos a fin de mejorar la altura de llenado que debe tener el envase de 760 ml de una bebida gaseosa para ser un producto atractivo a la vista del consumidor.

## **Diseño de investigaciones Experimentales**

Una de las personas que ha contribuido al desarrollo de la estadística, así como crear un innovador uso de los métodos estadísticos en diseño y análisis experimental, fue Sir R.A Fisher quien impulsó a desarrollar y usar el análisis de varianza como método de análisis estadístico inicial en el diseño de experimentos.

Un diseño experimental en realidad es una investigación estadística la cual se lleva a cabo sistemáticamente a través de la:

- Planeación: Planteamiento de objetivos, hipótesis, y justificación de la investigación.
- Ejecución: Queda determinada por la planeación, da solución a los problemas imprevistos durante el diseño.
- Evaluación: Captura información para saber si se está obteniendo rendimiento de los recursos.

Es importante conocer los conceptos relacionados con la medición puesto que la finalidad al diseñar un experimento es medir cualitativa o cuantitativamente alguna característica de interés, clasificando las modalidades que se presentan y asignando números a objetos o eventos de acuerdo a un conjunto de reglas; la experimentación es la conducción práctica, de los pasos necesarios para reproducir una muestra de las poblaciones estudiadas.

Para llevar a cabo un experimento es necesario definir correctamente el factor (variable independiente cuyo efecto se quiere conocer). El número de valores que toma cada factor bajo estudio se le conoce como nivel del factor. Los niveles de los factores estudiados determinan una población y a cada uno de los niveles de los factores se le conoce como un tratamiento.

El diseño experimental es la configuración de puntos en el espacio de los factores y el orden en el cual ocurren en el tiempo y/o espacio para obtener las observaciones. A cada diseño le corresponde un modelo y este a su vez determina el análisis estadístico.

Características más importantes que debe poseer un buen experimento :

- Ausencia de errores sistemáticos
- Precisión :
  - a) La variabilidad intrínseca de la u.e
  - b) La exactitud
  - c) El diseño
  - d) El método de análisis
- Rango de validez de los resultados
- Simplicidad
- Información sobre la validez de las conclusiones

#### **Diseños Factoriales**

Muchos experimentos se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por dos o más factores. En el diseño factorial se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento. El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producida como un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia, éste se conoce como efecto principal porque se refiere a los factores de interés primordial del experimento.

Tenemos tres tipos de diseños factoriales que son:

- Diseño de Modelos de Efectos Fijos
- Diseño de Modelos de Efectos Aleatorios.
- Diseño de Modelos de Efectos Mixtos

Sin embargo hay que reiterar que en éste trabajo se efectuó un diseño experimental basado en un diseño de modelos de efectos fijos por considerar que los factores bajo estudio permanecen con una variación pequeña durante el proceso, salvo en causas especiales.

### Modelo de Efectos Fijos

En el modelo se asupuesto que las  $a$  poblaciones son distintas y normalmente distribuidas con medias  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_a$  todas tienen la misma varianza  $\sigma^2$ , y constituyen juntas una gran población con media  $\mu$  llamada gran media (media poblacional). Para ello se desea contrastar las hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_a = \mu$$

$H_a$ : No todas las medias son iguales, o al menos una es diferente.

Al suponer que tienen distribución normal y ser constantes los demás componentes de modelo, se percibe que las observaciones tendrán distribución normal, así que al generar formas cuadráticas que son sumas de cuadrados de estas observaciones, se tendrán distribuciones  $\chi^2$  para estas sumas de cuadrados.

Sea  $Y_{i..}$  el total de las observaciones bajo el  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $Y_{j..}$  el total de las observaciones bajo el  $j$ -ésimo nivel del factor B,  $Y_{ij.}$  el total de la observaciones de la  $ij$ -ésima celda, e  $Y_{..}$  el total general de todas las observaciones. Se define  $Y_{i.}, Y_{.j}, Y_{ij}$  y  $Y_{..}$  como los promedios de renglón, columna, celda y general, respectivamente.

$$Y_{i..} = \sum_k Y_{ijk} \quad Y_{i..} = \frac{Y_{i.}}{bn} \quad i=1, 2, \dots, a$$

$$Y_{.j.} = \sum_k Y_{ijk} \quad Y_{.j.} = \frac{Y_{.j.}}{an} \quad i=1, 2, \dots, b$$

$$Y_{ij.} = \sum_k Y_{ijk} \qquad Y_{ij.} = \frac{Y_{..}}{an} \qquad i=1,2,\dots,a$$

$$Y_{...} = \sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk} \qquad Y_{...} = \frac{Y_{..}}{abn} \qquad j=1,2,\dots,b$$

La suma total de cuadrados corregida se puede expresarse mediante:

$$\sum_i \sum_j \sum_k (Y_{ijk} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - Y_{...}^2 / abn$$

O puede expresarse de la siguiente manera:

$$SSt = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E$$

Los grados de libertad asociados a cada suma de cuadrados son de acuerdo al número de elementos que intervienen, a partir de las sumas de cuadrados es posible construir las medias de cuadrados o cuadrados medios, que son las sumas de cuadrados divididas entre los grados de libertad.

$$MSE = SSE / ab(n-1)$$

Es un estimador que engloba la variabilidad de todas las observaciones. Así que el MSE es un estimador de  $\sigma^2$  la varianza de los errores del modelo y que el  $MS_A$  es un estimador de la varianza del modelo más el promedio de los tratamientos al cuadrado.

La esperanza matemática del  $SS_E$  es el parámetro  $S^2$ , así como en la esperanza del  $SS_{AB}$  también adiciona el efecto de las interacciones.

Resulta una forma de contrastar las hipótesis estadísticamente es comparar la  $MS_E$  con  $MS_{AB}$  por medio de un cociente y puesto que estos tienen una distribución  $X^2$  cada uno, nuestro criterio de comparación tendrá una distribución F.

$$F_0 = MS_{AB} / MSE$$

El cual mostrará que si no existe efecto de los tratamientos estos serán iguales y por lo tanto no deberá rechazarse la hipótesis estadística. Si por el contrario existe un efecto

de tratamientos este cociente será mayor que uno, y para ver su significancia, se debe comparar con una distribución F teórica de  $(a-1)$  y  $ab(n-1)$  grados de libertad. Por lo anterior  $MS_{\epsilon}$  es un estimador insesgado de  $\sigma^2$ .

A continuación se presenta la tabla de análisis de varianza para verificar las hipótesis acerca de los factores.

Cuadro 4.1: Tabla de Análisis de varianza para el Modelo Trifactorial de efectos fijos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio de cuadrados	F <sub>0</sub>
A	SS <sub>A</sub>	a-1	MS <sub>A</sub>	$F_{0A} = \frac{MS_A}{MS_{\epsilon}}$
B	SS <sub>B</sub>	b-1	MS <sub>B</sub>	$F_{0B} = \frac{MS_B}{MS_{\epsilon}}$
C	SS <sub>C</sub>	c-1	MS <sub>C</sub>	$F_{0C} = \frac{MS_C}{MS_{\epsilon}}$
AB	SS <sub>AB</sub>	(a-1)(b-1)	MS <sub>AB</sub>	$F_{0AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_{\epsilon}}$
AC	SS <sub>AC</sub>	(a-1)(c-1)	MS <sub>AC</sub>	$F_{0AC} = \frac{MS_{AC}}{MS_{\epsilon}}$
BC	SS <sub>BC</sub>	(b-1)(c-1)	MS <sub>BC</sub>	$F_{0BC} = \frac{MS_{BC}}{MS_{\epsilon}}$
ABC	SS <sub>ABC</sub>	(a-1)(b-1)(c-1)	MS <sub>ABC</sub>	$F_{0ABC} = \frac{MS_{ABC}}{MS_{\epsilon}}$
Error	SS <sub>ε</sub>	abc(n-1)	MS <sub>ε</sub>	
Total	SS <sub>T</sub>	abcn-1		

**Control de Calidad efectuado en la Industria Embotelladora Tlalpan S.A de C.V. para determinar las mejores condiciones de operación sobre la altura de llenado de envases de 760 ml en el turno nocturno.**

El control de calidad efectuado al envase de 760 ml tiene como objetivo principal ayudar a mejorar la altura de llenado por ser está la que más repercute en la presentación final del producto a la vista del consumidor y la que más impacta al rendimiento de concentrado.

Los datos que en éste trabajo se utilizarón corresponden al muestreo que se realizó a la línea de producción de 760 ml por una sola persona en el turno nocturno, como se dijo en el capítulo anterior esta línea consta de dos llenadoras (llenadora #1 65 válvulas y llenadora #2 50 válvulas).

Los elementos que componen la muestra fuerón tomados en la línea de producción a la salida de cada llenadora en intervalos de tiempo fijados por la necesidades del proceso. Posteriormente a cada elemento se les practico la prueba destructiva correspondiente (ver anexo) para determinar las condiciones de llenado del envase.

En el anexo se incluyen los resultados de las observaciones obtenidas para el estudio de la altura de llenado, así como la metodología que se utilizó para la obtención de dichos datos. Solo se incluyen en está parte los resultados que forman los modelos a estudiar.

Las condiciones de operación que se encontraron que afectan la altura de llenado estándar (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm) fueron (Sólo se mencionan las más relevantes):

- Presión de carbonatación
  - Tipo de llenadora 1 y 2 (La llenadora como función de la velocidad de llenado).
  - Temperatura del producto a la salidad de la llenadora
  - Volumen de carbonatación a la salida de la llenadora
- La variación de la altura de llenado se estudió a partir de dos modelos de efectos fijos que se describen a continuación.

**Modelo Factorial propuestos para mejorar la altura de llenado en la línea de producción.**

Resultados obtenidos del Modelo Factorial de efectos fijos (con factores  $3 \times 3 \times 2$  con 4 datos), que se propone para analizar la variación de la altura de llenado respecto al estándar establecido (22.91cm, 22.60 cm, 22.28cm).

**(Factores que se estudiarán Presión, Temperatura y Llenadoras)**

Los datos son altura de llenado en cm

Temp (°C)	6.1	6.6°	7.1°	7.6°	7.7°	8.5°
Llenadora	1	2	1	2	1	2
Presión (Kg/cm²)	22.28	22.8	22.8	21.88	22.28	21.88
	22.8	22.28	22.8	22.28	21.84	21.88
25 - 26	22.8	21.88	21.88	22.28	22.28	21.88
	22.8	22.28	22.81	21.88	21.84	21.88
27 - 28	22.28	22.28	21.84	22.28	22.8	22.28
	21.84	22.28	22.8	22.28	22.81	22.28
	22.28	22.8	22.81	22.8	21.88	22.28
	22.8	22.8	22.8	22.28	21.84	22.28
29 - 30	22.8	22.8	22.28	22.28	22.28	22.28
	22.8	22.8	22.8	22.28	22.8	22.28
	22.8	22.28	22.8	22.28	21.88	22.28
	22.8	22.28	22.8	22.28	22.81	23.23

Análisis para el modelo (3\*3\*2 con 4 datos)

Factores involucrados:

- Presión de carbonatación
- Llenadoras
- Temperatura del producto

Hipótesis propuestas para probar el modelo:

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

H<sub>a</sub>: Hipótesis alterna

H<sub>0 p</sub>: Todos los niveles de la presión de carbonatación son iguales.

H<sub>a p</sub>: Al menos un nivel de la presión de carbonatación es diferente.

- H<sub>0 11</sub>**: Todos los niveles considerados para la llenadora son iguales.  
**H<sub>a 11</sub>**: Al menos un nivel considerado de la llenadora es diferente.  
**H<sub>0 t</sub>**: Todos los niveles considerados para la temperatura del producto son iguales.  
**H<sub>a t</sub>**: Al menos un nivel considerado para la temperatura del producto es diferente.  
**H<sub>0 p,11</sub>**: Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación y llenadoras son iguales.  
**H<sub>a p,11</sub>**: Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación llenadora es diferente.  
**H<sub>0 p,t</sub>**: Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación y temperatura del producto son iguales.  
**H<sub>a p,t</sub>**: Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación y temperatura del producto es diferente.  
**H<sub>0 11,t</sub>**: Todos los niveles considerados en la interacción llenadora, temperatura del producto son iguales.  
**H<sub>a 11,t</sub>**: Al menos un nivel de la interacción llenadora, temperatura del producto es diferente.  
**H<sub>0 p,11,t</sub>**: Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación, llenadora y temperatura del producto son iguales.  
**H<sub>a p,11,t</sub>**: Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación, llenadora y temperatura del producto es diferente.

**Análisis de Varianza:**

<b>Factor</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Medio de cuadrados</b>	<b>F<sub>0</sub></b>
<b>Presión (P)</b>	2	0.61503	0.30751	3.14
<b>Llenadora (L)</b>	1	0.11281	0.11281	1.15
<b>Temperatura (T)</b>	2	0.35718	0.17859	1.82
<b>P, L</b>	2	0.21488	0.10734	1.09

P, T	4	0.61248	0.15312	1.56
LI, T	2	0.23681	0.11840	1.21
P, LI, T	4	0.13484	0.03374	0.34
Error	64	5.28038	0.08108	
Total	71	7.58030		

Fo.05,2,54 = 3.15      Fo.05,1,54 = 4.00      Fo.05,4,54 = 2.53

Fo.01,2,54 = 4.98      Fo.01,1,54 = 7.08      Fo.01,4,54 = 3.65

De acuerdo al análisis de varianza de los factores se concluye que:

- Las interacciones entre los tres factores no son de importancia para el proceso .

- Las combinaciones de los factores de dos en dos no son relevantes.

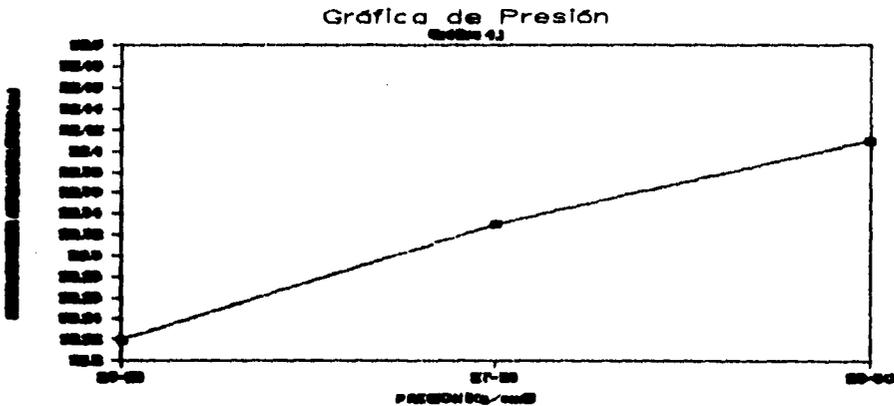
- Los efectos individuales no muestran una interacción importante, sin embargo se muestra una contribución pequeña en la presión de carbonatación, en el proceso de llenado.

- Este modelo se probó a niveles de significación de  $\alpha=0.05$  y  $\alpha = 0.01$  .

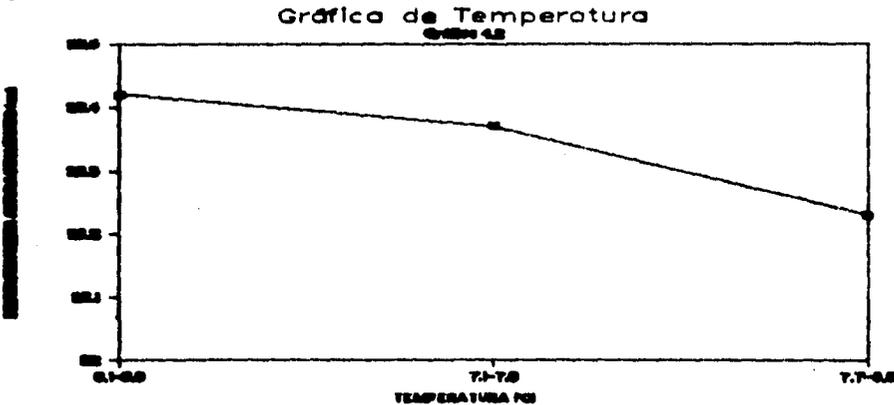
- Revisando la validéz del modelo, se constató con una gráfica de valores de altura de llenado contra valores estandarizados que se puede considerar una distribución normal para las observaciones.

En las páginas siguientes se presentan las gráficas de efectos principales e interacciones las cuales nos apoyarán para determinar las mejores condiciones de operación según el modelo propuesto para optimizar la altura de llenado que debe tener una bebida gaseosa en la presentación de 760 ml.

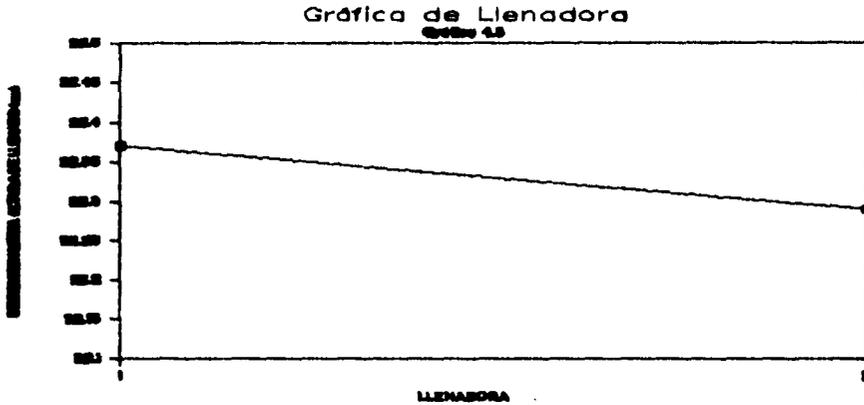
## Gráfica de Efectos Principales



En la gráfica 4.1 se observa que a presiones bajas de carbonatación la desviación media de la altura de llenado varia mucho con respecto al rango establecido (22.91cm,22.60cm,22.28cm) así como al ir aumentando la presión mejora la altura de llenado.

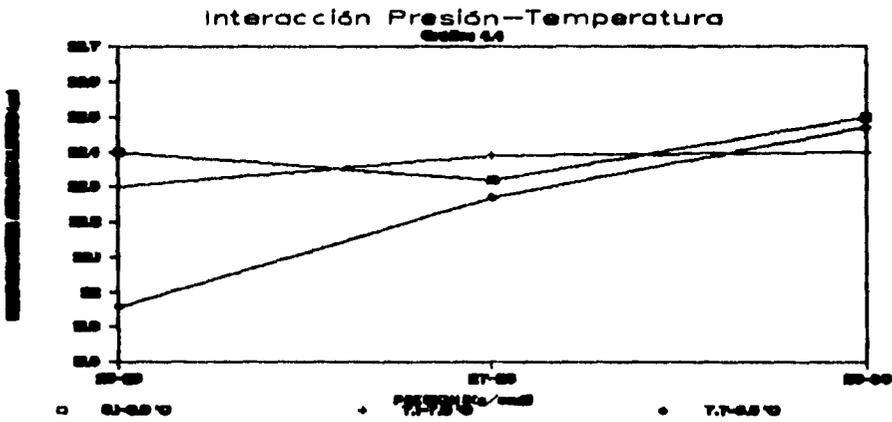


En la gráfica 4.2 se observa que la temperatura influye mucho en la desviación media de la altura de llenado saliéndose del rango permitido (22.91cm,22.60cm,22.28cm).



En la gráfica 4.3 Se observa que la desviación media de la altura de llenado es mejor en la llenadora 1 que la llenadora 2, sin embargo ambas cumplen con el rango permitido.

**Gráficas de Efectos Principales e Interacciones**

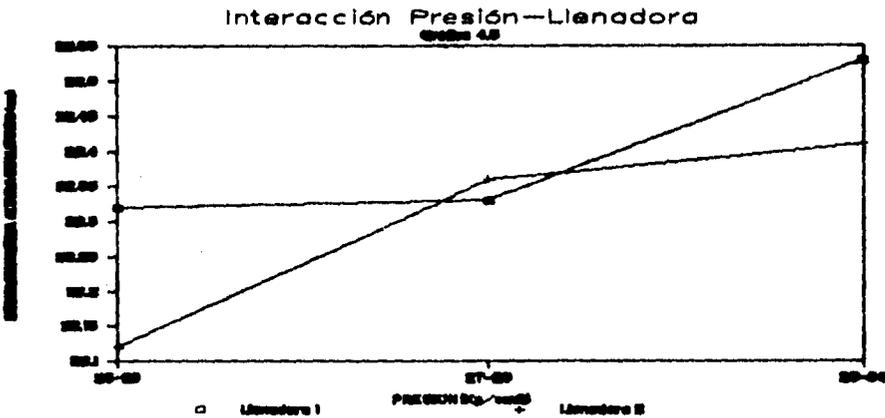


En la gráfica 4.4 se muestran las curvas correspondientes a las interacciones presión-temperatura.

En la curva señalada con ( □ ) se observa que se trabaja dentro del rango permitido para la altura de llenado.

En la curva señalada con ( ° ) se observa que existe una fuerte variación de la altura de llenado saliéndose del rango permitido y mejorando al aumentar la temperatura.

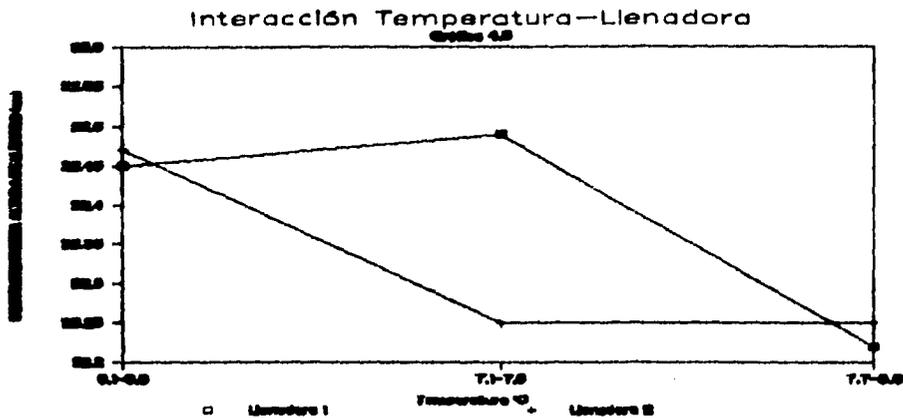
En la curva señalada con ( + ) se observa que se trabaja dentro del rango permitido (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm).



La gráfica 4.5 muestran las curvas correspondientes a la interacción Presión-llenadora.

En la curva señalada con ( □ ) se observa que la interacción presión llenadora 2 la variación es muy fuerte por lo que sale del rango de trabajo.

En la curva señalada con ( + ) se observa que la interacción presión llenadora 1 trabaja en el rango permitido (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm).



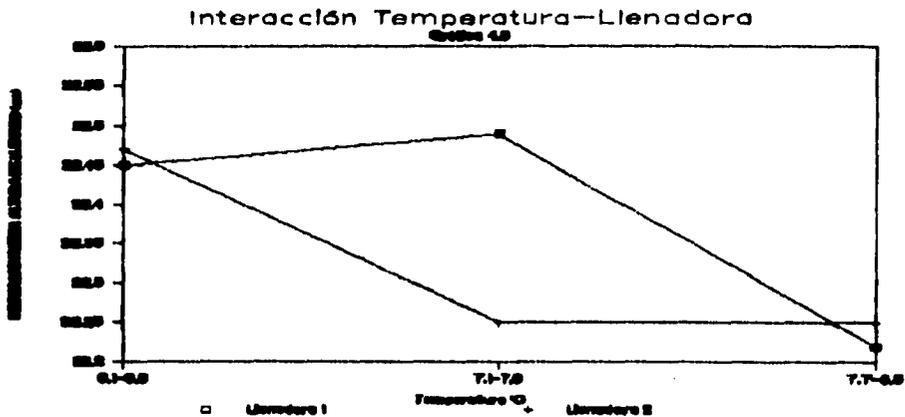
La gráfica 4.6 muestra las curvas correspondientes a las interacciones temperatura-llenadora.

En la curva señalada con ( □ ) se observa que a temperaturas altas la variación es muy fuerte saliéndose del rango de trabajo mejorando al bajar la temperatura.

En la curva señalada con ( + ) se observa que también existe una fuerte variación pero sin salirse del rango de trabajo (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm).

En las gráficas anteriores se muestra que los efectos individuales como sus interacciones mantienen a la característica de calidad altura de llenado en niveles bajos del rango de trabajo (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm) ocasionando que salga producto fuera del nivel permitido por la especificación.

Segundo diseño propuesto para analizar la altura de llenado de una botella de 760 ml.



La gráfica 4.6 muestra las curvas correspondientes a las interacciones temperatura-llenadora.

En la curva señalada con ( □ ) se observa que a temperaturas altas la variación es muy fuerte saliéndose del rango de trabajo mejorando al bajar la temperatura.

En la curva señalada con ( + ) se observa que también existe una fuerte variación pero sin salirse del rango de trabajo (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm).

En las gráficas anteriores se muestra que los efectos individuales como sus interacciones mantienen a la característica de calidad altura de llenado en niveles bajos del rango de trabajo (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm) ocasionando que salga producto fuera del nivel permitido por la especificación.

Segundo diseño propuesto para analizar la altura de llenado de una botella de 760 ml.

**(Factores que se estudiarón Presión, Volúmen de CO2 y Llenadoras)**

Los datos son altura de llenado en cm

Vol CO2 Llenadora	3.61 1	3.7 2	3.71 1	3.8 2	3.81 1	3.8 2
Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )						
	22.8	22.8	22.28	22.28	22.28	21.00
	22.28	22.28	22.28	22.28	22.855	22.28
25 - 26	22.28	21.00	21.00	21.00	22.8	22.405
	22.8	22.28	22.01	21.00	22.28	22.28
	22.8	21.04	22.8	22.28	22.8	22.8
	22.28	21.04	22.28	22.28	22.8	22.8
28 - 29	22.28	22.8	22.8	22.28	22.23	22.8
	22.23	22.28	21.06	22.28	22.01	22.8
	22.01	21.04	21.04	22.04	22.8	22.28
	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.28
30 - 32	22.01	22.8	22.28	22.8	22.01	22.8
	22.28	22.04	22.8	22.8	22.8	22.23

Análisis para el modelo (3\*3\*2 con 4 datos)

- Factores involucrados:
- Presión de carbonatación
- Llenadoras
- Volúmen de carbonatación

Hipótesis propuestas para probar el modelo:

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

H<sub>a</sub>: Hipótesis alterna

- H<sub>0 p</sub>:** Todos los niveles de la presión de carbonatación son iguales.  
**H<sub>a p</sub>:** Al menos un nivel de la presión de carbonatación es diferente.
- H<sub>0 ll</sub>:** Todos los niveles considerados para la llenadora son iguales.  
**H<sub>a ll</sub>:** Al menos un nivel considerado de la llenadora es diferente.
- H<sub>0 v</sub>:** Todos los niveles considerados para el volumen de carbonatación son iguales.  
**H<sub>a t</sub>:** Al menos un nivel considerado para el volumen de carbonatación es diferente.
- H<sub>0 p,ll</sub>:** Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación y llenadoras son iguales.  
**H<sub>a p,ll</sub>:** Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación llenadora es diferente.
- H<sub>0 p,v</sub>:** Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación y volumen de carbonatación son iguales.  
**H<sub>a p,v</sub>:** Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación y volumen de carbonatación es diferente.
- H<sub>0 ll,v</sub>:** Todos los niveles considerados en la interacción llenadora, volumen de carbonatación son iguales.  
**H<sub>a ll,v</sub>:** Al menos un nivel de la interacción llenadora, volumen de carbonatación es diferente.
- H<sub>0 p,ll,v</sub>:** Todos los niveles considerados en la interacción presión de carbonatación, llenadora y volumen de carbonatación son iguales.  
**H<sub>a p,ll,v</sub>:** Al menos un nivel de la interacción presión de carbonatación, llenadora y volumen de carbonatación es diferente.

Análisis de Varianza:

Factor	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medio de cuadrados	F0
Presión (P)	2	0.23137	0.11568	1.29
Llenadora (L)	1	0.53217	0.53217	5.92
Volumen (V)	2	0.44472	0.22236	2.47
P, L	2	0.02195	0.01098	0.12
P, V	4	0.49698	0.12424	1.38
LL, V	2	0.09588	0.04794	0.53
P, L, V	4	0.23204	0.05801	0.65
Error	54	4.85530	0.08991	
Total	71	8.91038		

$F_{0.05, 2, 54} = 3.15$        $F_{0.05, 1, 54} = 4.00$        $F_{0.05, 4, 54} = 2.53$

$F_{0.01, 2, 54} = 4.98$        $F_{0.01, 1, 54} = 7.08$        $F_{0.01, 4, 54} = 3.65$

De acuerdo al análisis de varianza de los factores se concluye que:

- De acuerdo con el modelo propuesto las interacciones entre los tres factores no son importantes.

- No son relevantes las combinaciones de los factores de dos en dos.

- La pareja que aporta una pequeña influencia en la altura de llenado de la botella es: la presión de carbonatación y el volumen de carbonatación.

- El efecto individual que tiene una influencia en el proceso de llenado es la llenadora.

- Los efectos individuales que aportan una influencia en la altura de llenado es presión y volumen de carbonatación.

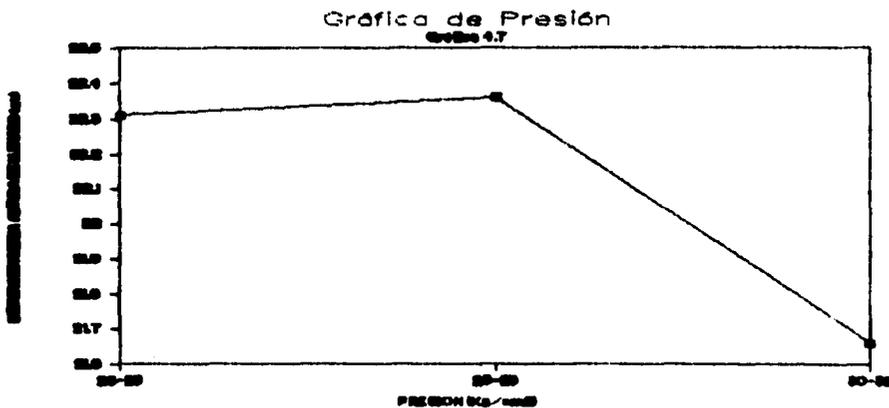
- Los valores a los cuales se tomaron las desiciones fuerón:

$$\alpha = 0.05 \text{ y } \alpha = 0.01.$$

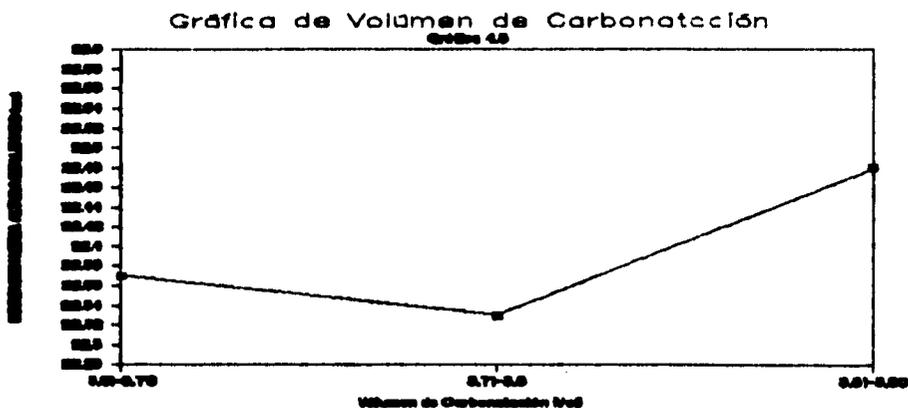
- Revisando la validéz del modelo, se constató con una gráfica de valores de altura de llenado contra valores estandarizados que se puede considerar una distribución normal para las observaciones.

En las páginas anteriores se presentan las gráficas de efectos principales e interacciones las cuales nos apoyaron para determinar las mejores condiciones de operación según el modelo propuesto para optimizar la altura de llenado que debe tener una bebida gaseosa en la presentación de 760 ml.

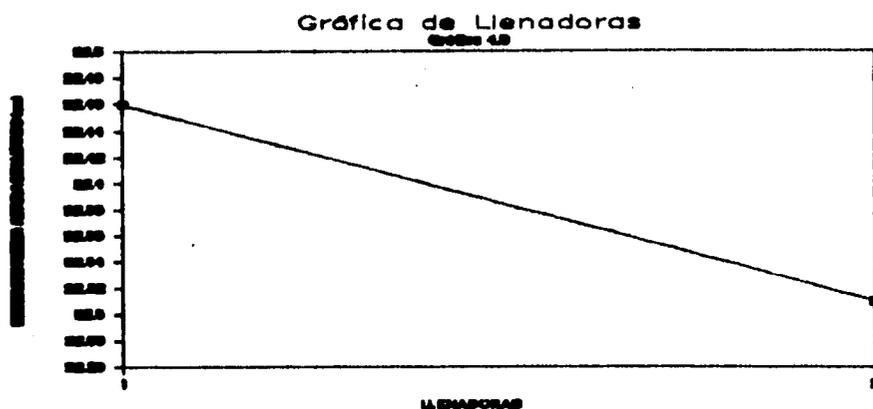
#### Gráficas de Efectos Principales



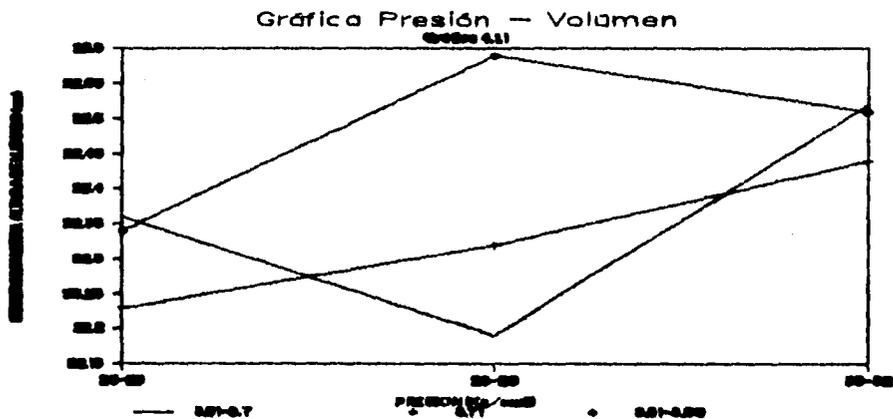
En la gráfica 4.7 se observa que la desviación media de la altura de llenado se incrementa conforme aumenta la presión, obteniéndose mejores resultados a alta presión no obstante se trabaja dentro del rango estándar.  
(22.91cm, 22.60cm, 22.28cm)



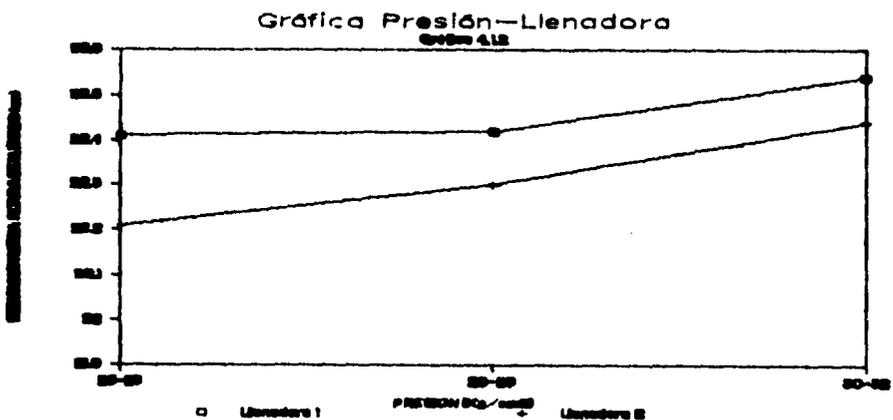
En la gráfica 4.8 se observa que la desviación media de la altura de llenado tiene una fuerte variación saliéndose del rango de trabajo, estas variaciones se incrementan conforme se baja el volumen de carbonatación y mejora al incrementarse.



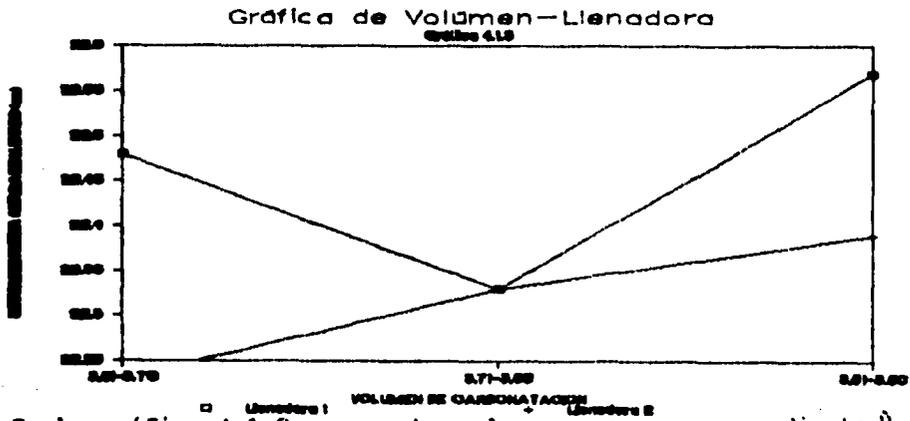
En la curva 4.9 se observa que en la llenadora 1 se obtienen malos resultados pues se salen los valores del rango de trabajo, sin embargo en la llenadora 2 se trabaja dentro del rango pero con una fuerte variación.



En la gráfica 4.1.1 se muestran las curvas correspondientes a la interacción Presión-Volumen de Carbonatación. Se observa que se cumple con el rango de trabajo en cada una de las curvas.



En la gráfica 4.1.2 se muestran las curvas correspondientes a la interacción Presión-Llenadoras. En la curva señalada con ( □ ) se obtienen mejores resultados. En la curva señalada con ( + ) se obtienen valores fuera del rango permitido.



En la gráfica 4.1.3 se muestran las curvas correspondientes a la interacción Volúmen de Carbonatación-Llenadoras. Se observa que en la curva señalada con ( □ ) se obtiene mejores resultados. En la curva señalada con ( + ) se obtienen valores fuera del rango de trabajo a volúmen de carbonatación bajo mejorando al irse incrementando.

**Análisis de las gráficas:**

En las gráficas se muestra que los efectos individuales como sus interacciones provocan un deficiente llenado del envase de 760 ml, saliendo producto con nivel bajo del permitido por el estándar (22.91cm, 22.60cm, 22.28cm); cabe señalar que en la gráfica de presión de carbonatación y volúmen de carbonatación nos señala que a valores moderadamente altos (28-29 Kg/cm² y 3.81-3.90 vol de carbonatación) se obtienen valores cercanos al valor medio de la altura de llenado estándar (22.60 cm), por lo que se recomienda trabajar a estos niveles de los factores.

## **RESUMEN**

En este capítulo se diseñó un experimento para minimizar la variación de la altura de llenado, dado que es ésta la que repercute en la presentación del envase de 760 ml y la que afecta el consumo de la producción total.

Para el modelo 1 con factores: presión de carbonatación, temperatura del producto y llenadoras se encontró que el efecto individual que minimiza esta variación es la temperatura, así como el efecto combinado presión de carbonatación y temperatura del producto. De acuerdo a las gráficas mostradas los valores bajos de estos factores son los que afectan muy poco la altura de llenado, por lo que es recomendable vigilar cualquier incremento o decremento de estos factores.

Para el modelo 2 con factores: presión de carbonatación, volumen de carbonatación y llenadoras se encontró que el efecto individual que minimiza esta variación es el volumen de carbonatación. Así como el efecto combinado que favorece la presentación es el volumen y la presión de carbonatación; cabe mencionar que son los valores altos de estos factores los que reducen dicha variación.

**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES GENERALES

-Para el desarrollo de nuevos productos o para el mejoramiento de los mismos, el diseño de experimentos se ha convertido en una herramienta clave para toda actividad técnica.

- Los controles estadísticos del proceso en línea son los medios básicos que se utilizan para la fabricación adecuada de cualquier producto desde el inicio del proceso.

- Es importante resaltar que dentro de cualquier proceso de manufactura debe haber un seguimiento de tipo estadístico (cartas control), con el fin de disminuir las causas de variación que puedan intervenir en el mismo, por otra parte para identificar las causas de esta variación, es necesario el empleo de un modelo experimental.

- Si se aumenta el número de factores y sus niveles en un diseño experimental, el análisis del mismo sería más completo.

- El empleo de Cartas Control permite distinguir entre el ruido de fondo del proceso y una variación anormal.

- Para el modelo experimental propuesto en este trabajo, fue necesario efectuar conversiones de unidades del sistema inglés al sistema métrico decimal por ser las unidades que se usan en las normas oficiales.

-Dentro de un control estadístico basado en una distribución normal, la forma de la curva debe ser cada vez más reducida, con tendencia a que los valores esten en el centro para optimizar cualquier proceso.

-Dentro del diseño de experimentos el nivel de significación propuesto ( $\alpha$ ) debe ser pequeño para poder exigirle más a un proceso.

-El diseño estadístico de experimentos nos permite proponer y planear un modelo que proporcione datos apropiados que puedan proporcionar desiciones, conclusiones y medidas correctivas adecuadas en situaciones imprevistas en la producción.

- El uso de un diseño experimental puede dar como resultado productos de mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, menores costos y menor tiempo de diseño y desarrollo del producto.

**CAPITULO VI**

**ANEXO**

## A N E X O

En el anexo se presentan brevemente las técnicas para la determinación de los Grados Brix, Volúmen de Carbonatación y Altura de Llenado.

Así como también los resultados obtenidos para el control de calidad de los Grados brix, volúmen de carbonatación y altura de llenado.

### **DETERMINACION DE VOLUMEN DE BIXIDO DE CARBONO EN UNA BEBIDA CARBONATADA**

Esta determinación se lleva a cabo para tener calidad y uniformidad en el producto por lo que es necesario realizar pruebas frecuentes y regulares de los volúmenes de carbonatación del refresco reportando los resultados obtenidos. La carbonatación estandar para la bebida en estudio es de 3.75 volúmenes con una tolerancia de + ó - 0.25 volúmenes.

Equipo necesario para la prueba de gas:

-Probador completo de volúmen.

El cual consta de:

- \* Termómetro
- \* Tabla de carbonatación
- \* Toalla o trapo
- \* Manómetro y perforador
- \* Sujetador

Método:

1.-Se coloca sobre el cuello de la botella el sujetador y se introduce el conjunto del manómetro y perforador a través del empaque del sujetador se aprieta la tuerca de cierre del mismo y se cierra la válvula de escape del conjunto manómetro-perforador.

2.-Se perfora la tapa de la corona se aprieta la tuerca de empaque y la tuerca de cierre para impedir la fuga de gas.

3.-Se abre la válvula de escape de purga y se cierra tan pronto como el manómetro indique una lectura igual a cero.

4.-Se agitan la botella y el aparato vigorosamente hasta que al agitar más la aguja del manómetro ya no suba la lectura de la presión y se apunta esta presión.

5.-Se desmonta el aparato probador de presión y la tapa de la botella; se introduce un termómetro en el líquido para medir la temperatura y se registra.

6.-Con los datos de presión y temperatura obtenidos calcular el volumen de gas del producto.

#### **Técnica para medir los grados brix**

Se toma un elemento muestra a la salida de la llenadora y se vierte en un vaso de aluminio, se coloca en la batidora para eliminar el CO<sub>2</sub> a continuación se vierte una porción de esta muestra en un vaso de precipitado y se calienta en la parrilla hasta que alcanza una temperatura de 20°C que es la temperatura a la cual se encuentra calibrado el densímetro.

- Se deja reposar la muestra aproximadamente 10 seg para eliminar turbulencia en la porción.

- Con una jeringa de 10 ml aproximadamente se efectúa la introducción de la muestra al densímetro y se espera a que el equipo alcance la estabilización.

- Se toma la lectura que reporta el aparato esta dada en g/ml.

- Por último se efectúa la conversión de las unidades de g/ml a Grados Brix.

Resultados que se obtuvieron de los Grados Brix y Volumen de carbonatación:

Datos tomados de la línea de 760 ml en el turno nocturno para realizar el control de calidad efectuado en el capítulo III.

**Grados Brix**

10.30	10.52	10.39	10.31	10.51	10.49	10.37
10.26	10.36	10.37	10.42	10.44	10.40	10.38
10.39	10.36	10.45	10.37	10.39	10.42	10.31
10.35	10.37	10.39	10.36	10.39	10.36	10.36
10.39	10.31	10.37	10.39	10.42	10.38	10.37
10.32	10.36	10.37	10.37	10.37	10.29	10.36
10.35	10.37	10.36	10.39	10.34	10.36	10.37
10.36	10.42	10.36	10.37	10.34	10.31	10.36
10.36	10.37	10.37	10.31	10.36	10.36	10.37
10.37	10.36	10.37	10.36	10.37	10.37	10.36
10.37	10.36	10.35	10.39	10.37	10.37	10.34
10.38	10.37	10.36	10.37	10.36	10.36	10.36
10.38	10.37	10.33	10.34	10.36	10.37	10.36
10.36	10.36	10.37	10.36	10.37	10.37	10.37
10.36	10.36	10.37	10.37	10.36	10.34	10.33
10.36	10.36	10.36	10.34	10.34	10.36	10.37

10.42	10.37	10.42	10.39	10.29	10.33	10.37
10.26	10.34	10.36	10.37	10.34	10.29	10.37
10.39	10.35	10.31	10.42	10.35	10.31	10.36
10.34	10.37	10.39	10.34	10.29	10.36	10.37
10.39	10.37	10.39	10.35	10.36	10.36	10.37
10.38	10.37	10.37	10.36	10.36	10.37	10.34
10.39	10.36	10.36	10.39	10.36	10.36	10.36
10.36	10.39	10.37	10.36	10.37	10.37	10.31
10.37	10.36	10.37	10.39	10.37	10.49	10.37
10.37	10.36	10.36	10.37	10.36	10.37	10.29
10.37	10.34	10.37	10.36	10.36	10.37	10.35
10.37	10.36	10.36	10.36	10.34	10.36	10.37
10.37	10.37	10.26	10.39	10.35	10.36	10.36
10.36	10.37	10.36	10.37	10.36	10.36	10.36
10.39	10.37	10.37	10.37	10.34	10.34	10.36
10.36	10.36	10.34	10.37	10.36	10.36	10.34

10.36	10.36
10.37	10.36
10.36	10.34
10.36	10.37
10.37	10.37
10.40	10.34
10.37	10.36
10.42	10.37
10.31	10.37
10.37	10.36
10.36	10.34
10.30	10.33
10.36	10.30
10.37	10.36
10.42	10.34
10.36	10.30

Datos tomados de la linea de 760 ml en el turno nocturno para realizar el control de calidad en el capitulo III

Carbonatación		(vol CO2)					
3.00	4.10	3.68	3.70	3.70	3.68	3.68	
3.00	3.68	3.70	3.68	3.70	3.70	3.68	
3.00	3.75	3.77	3.70	3.68	3.68	3.70	
3.03	3.72	3.68	3.68	3.70	3.68	3.68	
3.77	3.70	3.70	3.68	3.70	3.63	3.77	
3.77	3.68	3.70	3.70	3.68	3.68	3.63	
3.77	3.70	3.68	3.68	3.70	3.68	3.70	
3.72	3.68	3.63	3.70	3.70	3.70	3.70	
3.03	3.70	3.70	3.70	3.68	3.70	3.70	
3.63	3.70	3.77	3.65	3.70	3.68	3.77	
3.63	3.75	3.70	3.68	3.60	3.70	3.70	
3.63	3.70	3.68	3.70	3.70	3.68	3.70	
3.63	3.70	3.68	3.70	3.70	3.70	3.70	
3.03	3.03	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	
3.03	3.03	3.70	3.68	3.68	3.77	3.68	
3.03	3.03	3.70	3.68	3.68	3.70	3.68	

3.70	3.90	3.90	3.88	3.88	3.70	3.88
3.78	3.88	3.88	3.70	3.88	3.78	3.90
3.78	3.88	3.70	3.70	3.88	3.70	3.93
3.88	3.70	3.70	3.88	3.88	3.88	3.83
3.88	3.88	3.88	3.93	3.88	3.70	3.85
3.88	3.88	3.88	3.88	3.70	3.88	3.88
3.70	3.70	3.70	3.88	3.78	3.90	3.70
3.78	3.70	3.88	3.70	3.70	3.77	3.93
3.70	3.88	3.78	3.88	3.70	3.88	3.88
3.70	3.88	3.70	3.70	3.70	3.88	3.70
3.70	3.70	3.70	3.70	3.93	3.78	3.88
3.88	3.70	3.70	3.88	3.88	3.93	3.70
3.88	3.70	3.88	3.70	3.83	3.88	3.70
3.88	3.88	3.88	3.70	3.88	3.70	3.88
3.70	3.88	3.70	3.70	3.88	3.88	3.90
3.70	3.90	3.88	3.77	3.70	3.88	3.77

3.90	3.70
3.88	3.88
3.70	3.88
3.70	3.70
3.80	3.70
3.88	3.88
3.88	3.70
3.70	3.88
3.70	3.70
3.77	3.88
3.77	3.70
3.30	3.70
3.70	3.70
3.70	3.70
3.87	3.70
3.70	3.70

### Técnica para medir la altura de llenado

- Se toma un elemento muestra correspondiente a cada una de las válvulas de las llenadoras y se marca según corresponda a la válvula que llene cada botella.
- Con la muestra correspondiente se procede a comparar con la escala que se encuentra marcada en el escantillón el cual es colocado en la parte superior de la botella.
- Finalmente se procede a tomar lecturas, tomando en cuenta el menisco que se forma en la botella que debe coincidir entre el intervalo de la escala de 22.91 cm 22.60 cm 22.28 cm los cuales son los límites normales de llenado.

Datos obtenidas para realizar el diseño de experimento en el capítulo IV en la mejora de la altura de llenado.

Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura °C	altura de llenado cm	Llenadora
24	6.6	22.28	1
25	6.6	22.60	2
26	6.1	21.96	1
27	5.5	22.60	2
26	6.1	22.28	1
26	6.1	22.60	2
27	6.1	22.28	1
26	6.6	22.28	2
27	6.6	22.60	1
26	5.5	21.96	2
26	6.1	22.28	1
26	7.2	22.28	1
28	7.2	22.60	2
26	6.6	22.60	1
27	6.6	22.91	2
26	6.6	22.28	1
25	6.6	22.28	2
26	6.6	22.60	1
26	6.6	22.28	2
26	6.6	21.96	1
28	6.6	22.60	2
26	6.6	22.28	1

### Técnica para medir la altura de llenado

- Se toma un elemento muestra correspondiente a cada una de las válvulas de las llenadoras y se marca según corresponda a la válvula que lleno cada botella.
- Con la muestra correspondiente se procede a comparar con la escala que se encuentra marcada en el escantillón el cual es colocado en la parte superior de la botella.
- Finalmente se procede a tomar lecturas, tomando en cuenta el menisco que se forma en la botella que debe coincidir entre el intervalo de la escala de 22.91 cm 22.60 cm 22.28 cm los cuales son los límites normales de llenado.

Datos obtenidas para realizar el diseño de experimento en el capítulo IV en la mejora de la altura de llenado.

Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura °C	altura de llenado cm	Llenadora
24	6.6	22.28	1
25	6.6	22.60	2
26	6.1	21.96	1
27	5.5	22.60	2
26	6.1	22.28	1
26	6.1	22.60	2
27	6.1	22.28	1
26	6.6	22.28	2
27	6.6	22.60	1
26	5.5	21.96	2
26	6.1	22.28	1
26	7.2	22.28	1
28	7.2	22.60	2
26	6.6	22.60	1
27	6.6	22.91	2
26	6.6	22.28	1
25	6.6	22.28	2
26	6.6	22.60	1
26	6.6	22.28	2
26	6.6	21.96	1
28	6.6	22.60	2
26	6.6	22.28	1

25	6.6	22.60	1
25	6.1	22.28	2
26	7.2	21.96	1
26	6.6	22.60	2
26	6.1	22.28	1
26	6.6	21.96	2
26	6.1	21.96	1
26	6.1	21.96	2
26	6.1	21.96	1
		22.28	2
26	6.1	22.60	1
26	6.1	22.60	2
26	6.6	22.60	1
26	6.6	22.60	2
26	7.2	22.60	1
26	6.6	22.28	2
26	5.5	22.60	1
26	6.6	22.28	1
26	6.6	22.28	2
26	7.2	22.91	1
26	6.6	22.60	2
26	6.6	22.28	1
26	6.1	22.60	2
26	6.1	22.60	1
26	6.6	22.60	2
28	7.7		
26	6.6	22.60	1
26	7.2	22.60	2
26	6.6	21.96	1
26	6.6	22.60	2
26	6.6	22.60	1
26	6.6	22.60	2
27	6.6	23.23	1
26	6.6	22.28	2
		22.28	1

26	6.1	22.91	1
26	6.6	22.91	2
28	7.2	22.60	1
28	7.2	22.60	2
26	6.1	22.28	1
26	6.1	22.28	2
26	6.1	22.28	1
26	6.1	22.91	1
28	6.6	22.28	2
27	7.7	22.28	1
26	6.6	22.28	2
26	6.6	21.96	1
26	6.6	21.96	2
26	6.6	22.28	1
26	6.6	21.96	2
26	7.7	21.96	1
26	6.6	21.96	2
27	5.5	22.60	1
27	6.6	22.28	2
26	7.2	21.96	1
26	6.1	22.28	2
26	6.6	22.28	1
26	6.6	22.28	2
26	6.1	21.96	1
26	6.6	22.28	2
26	6.6	22.28	1
27	6.6	22.28	2
26	6.1	22.28	1
26	6.6	21.96	2
28	6.6	22.60	1
27	6.6	22.60	2
26	6.6	22.28	1
26	7.2	22.28	2
26	6.6	21.96	1



## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS

- 1) Bowker, Albert H.  
Estadística para Ingenieros  
Ed. Prentice - Hall  
México., 1981.
- 2) Box, George E.P  
Estadística para investigadores:  
Introducción al diseño de experimentos,  
análisis de datos y construcción de modelos  
Ed. Reverté  
México., 1988
- 3) Chao.L.Lincon.  
Introducción a la estadística  
Ed. CECSA  
México ., 1985
- 4) Daves Owen L/ID  
The design and analysis of  
industrial experiments  
London: Imperial Chemical  
industries by Oliver and Boyd
- 5) Diamond, William J.  
Practical experiment designs:  
For engieneers and scientists  
New York: Van Nostranol Reinhold  
1989.
- 6) Feigenbaum, Armand D Vallio  
Control total de la calidad  
Ed. CECSA  
México., 1989.
- 7) Grant, Eugene Lodewick  
Control estadístico de la calidad  
Ed. Continental  
México 1987.
- 8) Hines,W. William  
Probabilidad y Estadística  
para ingeniería y administración.  
Ed. CECSA  
México 1987.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- 9) Juran Joseph M.  
Manual de control de la calidad.  
Principios y prácticas de probada  
eficacia, para conseguir con éxito,  
en la fabricación la mejor calidad  
al menor costo.  
Ed. Reverté  
México., 1990.
- 10) Mandelhalll, William  
Estadística matemática con aplicaciones.  
Grupo Editorial Iberoamericana.  
México., 1986.
- 11) Montgomery, C. Douglas.  
Control Estadístico de la calidad  
Grupo Editorial Iberoamericana.  
México., 1985.
- 12) Montgomery, C. Douglas.  
Diseño y análisis de experimentos.  
Grupo Editorial Iberoamericana  
México ., 1991.
- 13) Ostle, Bernard.  
Estadística aplicada:  
Técnicas de la estadística moderna  
cuando y donde aplicarlas.  
Ed. limusa  
México., 1979.
- 14) Plossl, George W.  
Control de la producción y de inventarios  
Principios y técnicas.
- 15) Vaughn C. Richard.  
Control de Calidad  
Ed. Limusa
- 16) Yamane, Taro  
Estadística.  
Ed. Harla  
México., 1979.

- 17) Zuwayli F, Fadil H.  
Estadística General aplicada  
Arg-Mex : Sistemas  
Técnicos de Editorial  
Addson Wesley  
1987.

NOTAS

- 18) Camarillo Orozco Elida  
Control de calidad de la materia prima  
para la elaboración de un refresco.  
Fac. Ingeniería  
UNAM 1978.
- 19) Fuentes Hernández Raúl.  
Control de calidad en una planta  
embotelladora cervecera.  
Fac. Química  
UNAM 1980
- 20) Garibay Bermudez Juan Rafael  
Control de Calidad.  
Fac. Ingeniería  
UNAM 1985.
- 21) Molina Gomez, Guillermo A.  
Notas sobre Diseño de  
Investigaciones experimentales  
Parte I y II  
México., 1993.
- 22) Roman Aguilar Agustin  
Diseño de experimentos:  
Una introducción.  
Fac. Ciencias  
UNAM 1991.
- 23) Ruiz Muñiz Eduardo  
Diseño de experimentos aplicado  
a los proceso de manufactura y al  
cálculo de tolerancias.  
FES Cuautitlán  
UNAM 1988.

## MANUALES

- 24) Domínguez Almeyda Luis Alvaro.  
Control de calidad en una planta embotelladora  
de refrescos gaseosos en H. Matamoros Tamps.  
1976.
- 25) Grupo VISA  
Manual de capacitación  
Grupo Tlalnepantla  
México 1990.
- 26) Grupo VISA  
Manual de valores de rendimiento teóricos  
y especificaciones del control de calidad.  
México 1990.
- 27) Grupo VISA  
Manual del control estadístico de  
procesos  
México 1990
- 28) Grupo VISA  
Manual de operación y mantenimiento  
del Carbo-Cooler  
Mojonnier Bros. Co. 1990.
- 29) Grupo VISA  
Manual de Flo-Mix Proportioner  
and Carbo-Mix  
Mojonnier Bros. Co. 1990.
- 30) Grupo VISA  
Control Estadístico de procesos.  
Calidad Total.  
1990.
- 31) Ibarra González Gerardo  
Manual para la implantación de un  
sistema total de la calidad.  
Fac. Ingeniería  
UNAM 1989.