



141
ley
**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

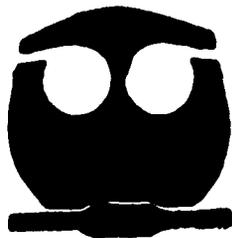
**APLICACION DEL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO
PARA MEJORAR EL MANEJO DE BRIX EN UNA
BEBIDA AZUCARADA**

**FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD**

**TRABAJO ESCRITO VIA EDUCACION
CONTINUA**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A:**

JAVIER TORRES VAZQUEZ



MEXICO, D. F.:

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 :

PRESIDENTE	Prof. José Luis González Machado.
VOCAL	Prof. Federico Galdeano Bienzobas.
SECRETARIO	Prof. Domingo Alarcón Ortiz.
1er. SUPLENTE	Prof. Manuel Jesús Aguilar Gómez.
2do. SUPLENTE	Prof. Alejandro Allier Montaña.

Asesorado por : I.Q. José Luis González Machado.

Sustentante : Javier Torres Vázquez.

A mis padres, por ser el cimiento de mi vida, por su comprensión y su amor, por haberme brindado la educación para ser.

INDICE

Capítulo 1 Objetivo	1
Introducción	1
Fundamentos del equipo de trabajo	2
Brix e inversión de azúcar	5
Capítulo 2 Método estadístico utilizado	7
Gráficas de Pareto	7
Diagramas causa efecto	8
Histograma	10
Distribución normal	11
Gráficas de control	11
Capacidad de proceso	13
Capítulo 3 Aplicación de la metodología de calidad	16
Formato anterior	17
Diseño experimental	18
Datos diarios previos al CEP	19
Formato propuesto	22
Datos de los 6 primeros días de aplicación del CEP	23
Datos iniciales en arranques de línea	29
Datos diarios posteriores al CEP	32
Capítulo 4 Resultados	35
Capítulo 5 Análisis de resultados	36
Capítulo 6 Conclusiones	37
Bibliografía	38

FALLA DE ORIGEN

I OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es mostrar las ventajas que representa la utilización del control estadístico del proceso para asegurar la confiabilidad de cumplir con los requisitos de grados Brix¹ en un refresco.

Existen en el refresco, además de los °Brix, otros atributos que contribuyen a que sea un producto o no de calidad y son : volúmenes de CO₂, purencia, sabor, cuenta de levaduras. El porqué se escogieron los °Brix como motivo de estudio se justifica porque dentro del índice de calidad de la planta el atributo con menor calificación son °Brix y se pretende mejorar este atributo (ver gráfica de Pareto p.p. 16).

INTRODUCCION :

En la fabricación de bienes existen muchos factores que afectan su elaboración entre ellos, las materias primas, capacidad de los operarios, el equipo, métodos de trabajo, medio ambiente. Estas variaciones nos impiden producir dos artículos idénticos, así pues, la calidad de los productos no debe expresarse de una manera puntual, es preferible expresarla mediante un rango obtenido por algún método estadístico.

Mientras más pequeña sea la desviación entre los valores, mayor aceptación tendrá el producto por el consumidor. Para dar un ejemplo supongamos que existen dos compañías que producen bombillas eléctricas, la primera ofrece que sus bombillas durarán entre 90 y 2090 horas de uso continuo, la segunda que el rango de variación podrá estar entre 900 y 1190 horas, los consumidores tenderán a preferir los productos de la segunda compañía que les ofrece productos con calidad más uniforme, constante y predecible.

El tener el control del proceso de una manera confiable tiene múltiples ventajas, nos da la opción de trabajar en el centro o en los límites de las especificaciones establecidas ya sea para asegurar los rendimientos de las materias primas, mejorar algún atributo de nuestro producto en beneficio del consumidor o adaptarnos a alguna variación en las exigencias en el mercado. Para el caso de nuestro interés, el control de grados Brix en una bebida, es de mucha importancia ya que este atributo afecta directamente al sabor y costo final del producto.

¹ Grado Brix porcentaje de sólidos solubles.

MADEIRA S.A. S. 010/11

FUNDAMENTOS DEL EQUIPO DE TRABAJO.

El producto es elaborado con un Flo-Mix (proporcionador agua jarabe) modelo Q de Mojonier, su principio de operación está basado en que, para una presión constante de fluido que pasa a través de un orificio, el flujo es constante. Los dos recipientes de agua y jarabe están sometidos a una misma presión ejercida por gas carbónico (CO_2). El jarabe fluye a través de un orificio fijo, consta de una placa con un barrenado circular, cuyo diámetro se selecciona de acuerdo al flujo requerido y el agua pasa por un orificio ajustable y de forma ranurada, con que es posible lograr las diferentes relaciones de agua jarabe deseadas. Agua y jarabe confluyen en un recipiente de mezcla que se conecta a la succión de una bomba centrífuga sanitaria.

El suministro de jarabe para el Flow-Mix viene desde la sala de jarabes de la planta por medio de una tubería sanitaria y una válvula reguladora en la entrada al recipiente de jarabe. El agua que se recibe en el recipiente de agua del Flow-Mix, proviene del tanque de aeración, desde el cual se bombea hasta el proporcionador. En este tanque de desoxygenación se recibe el agua de los filtros de tratamiento para llevar a cabo el proceso de desoxygenar el agua que posteriormente será utilizada en el proceso de mezclado en el Flow-Mix.

El Carbo-Cooler produce un producto carbonatado uniformemente por medio de un enfriamiento a 2°C , bajo una atmósfera de CO_2 cuidadosamente controlada. Durante la operación, la mezcla agua-jarabe entra al tanque de carbonatación aislado a través de la tubería, y es distribuido uniformemente sobre las placas enfriadoras de acero inoxidable mediante bandejas de distribución; para evitar tener una presión demasiado alta dentro del tanque Carbo-Cooler se acostumbra conectar una inyección de gas carbónico a la descarga de la bomba de mezcla para que el producto entre precarbonatado al tanque.

El proceso de enfriamiento y carbonatación se completa y el producto llega hasta el fondo del tanque de carbonatación y luego a la llenadora. El nivel del producto se controla automáticamente dentro del Carbo-Cooler mediante electrodos conectados dentro de la mirilla de nivel y mandan la señal de arranque y paro de la bomba de mezcla.

En las figuras 1.1 y 1.2 se presentan los equipos Carbo-Cooler y Flow-Mix

FUNDAMENTOS DEL EQUIPO DE TRABAJO.

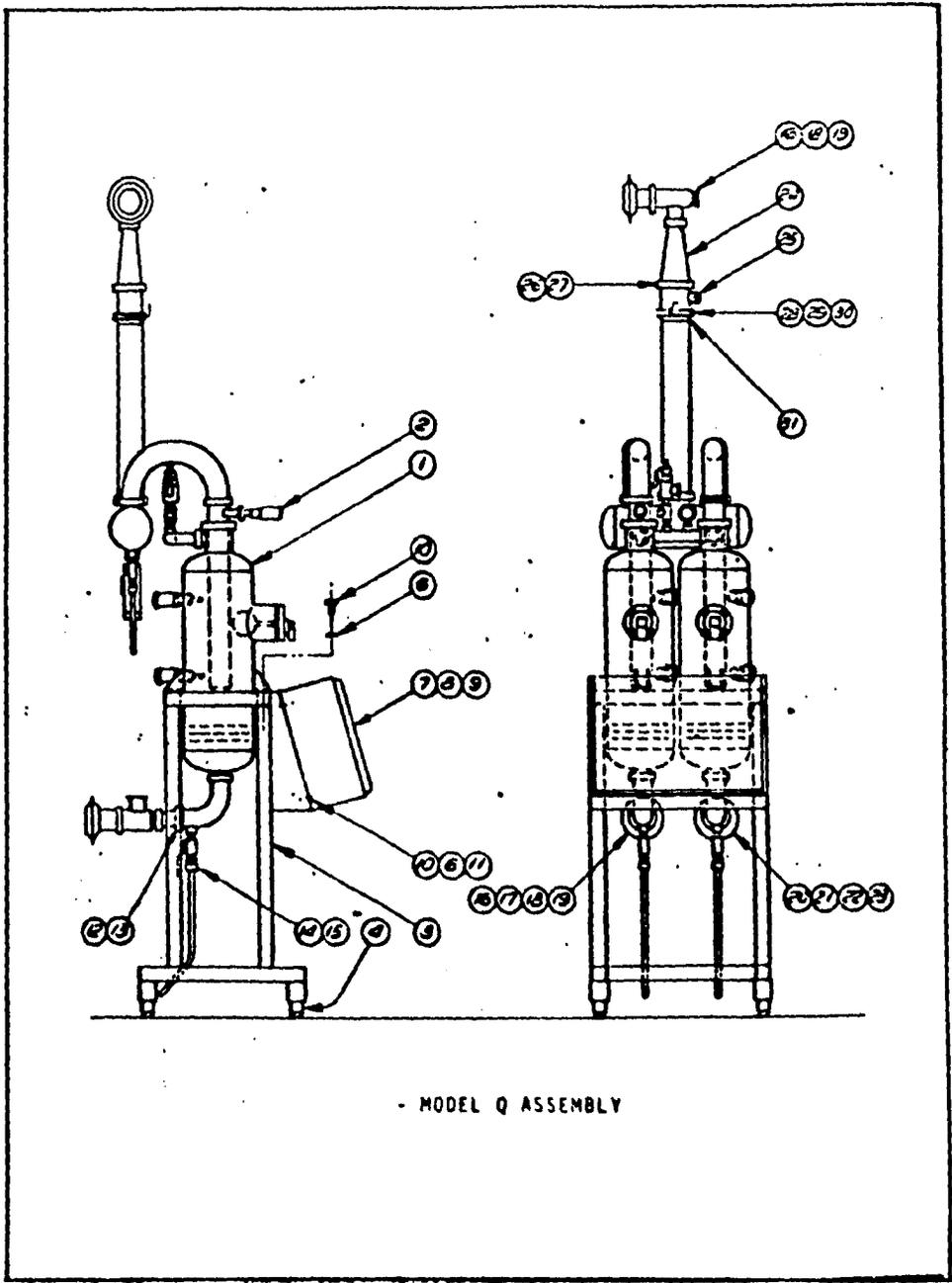
El producto es elaborado con un Flow-Mix (proporcionador agua jarabe) modelo Q de Mojonier, su principio de operación está basado en que, para una presión constante de fluido que pasa a través de un orificio, el flujo es constante. Los dos recipientes de agua y jarabe están sometidos a una misma presión ejercida por gas carbónico (CO₂). El jarabe fluye a través de un orificio fijo, consta de una placa con un barrenado circular, cuyo diámetro se selecciona de acuerdo al flujo requerido y el agua pasa por un orificio ajustable y de forma ranurada, con que es posible lograr las diferentes relaciones de agua jarabe deseadas. Agua y jarabe confluyen en un recipiente de mezcla que se conecta a la succión de una bomba centrífuga sanitaria.

El suministro de jarabe para el Flow-Mix viene desde la sala de jarabes de la planta por medio de una tubería sanitaria y una válvula reguladora en la entrada al recipiente de jarabe. El agua que se recibe en el recipiente de agua del Flow-Mix, proviene del tanque de aeración, desde el cual se bombea hasta el proporcionador. En este tanque de desaireación se recibe el agua de los filtros de tratamiento para llevar a cabo el proceso de desoxygenar el agua que posteriormente será utilizada en el proceso de mezclado en el Flow-Mix.

El Carbo-Cooler produce un producto carbonatado uniformemente por medio de un enfriamiento a 2°C, bajo una atmósfera de CO₂ cuidadosamente controlada. Durante la operación, la mezcla agua-jarabe entra al tanque de carbonatación aislado a través de la tubería, y es distribuido uniformemente sobre las placas enfriadoras de acero inoxidable mediante bandejas de distribución; para evitar tener una presión demasiado alta dentro del tanque Carbo-Cooler se acostumbra conectar una inyección de gas carbónico a la descarga de la bomba de mezcla para que el producto entre precarbonatado al tanque.

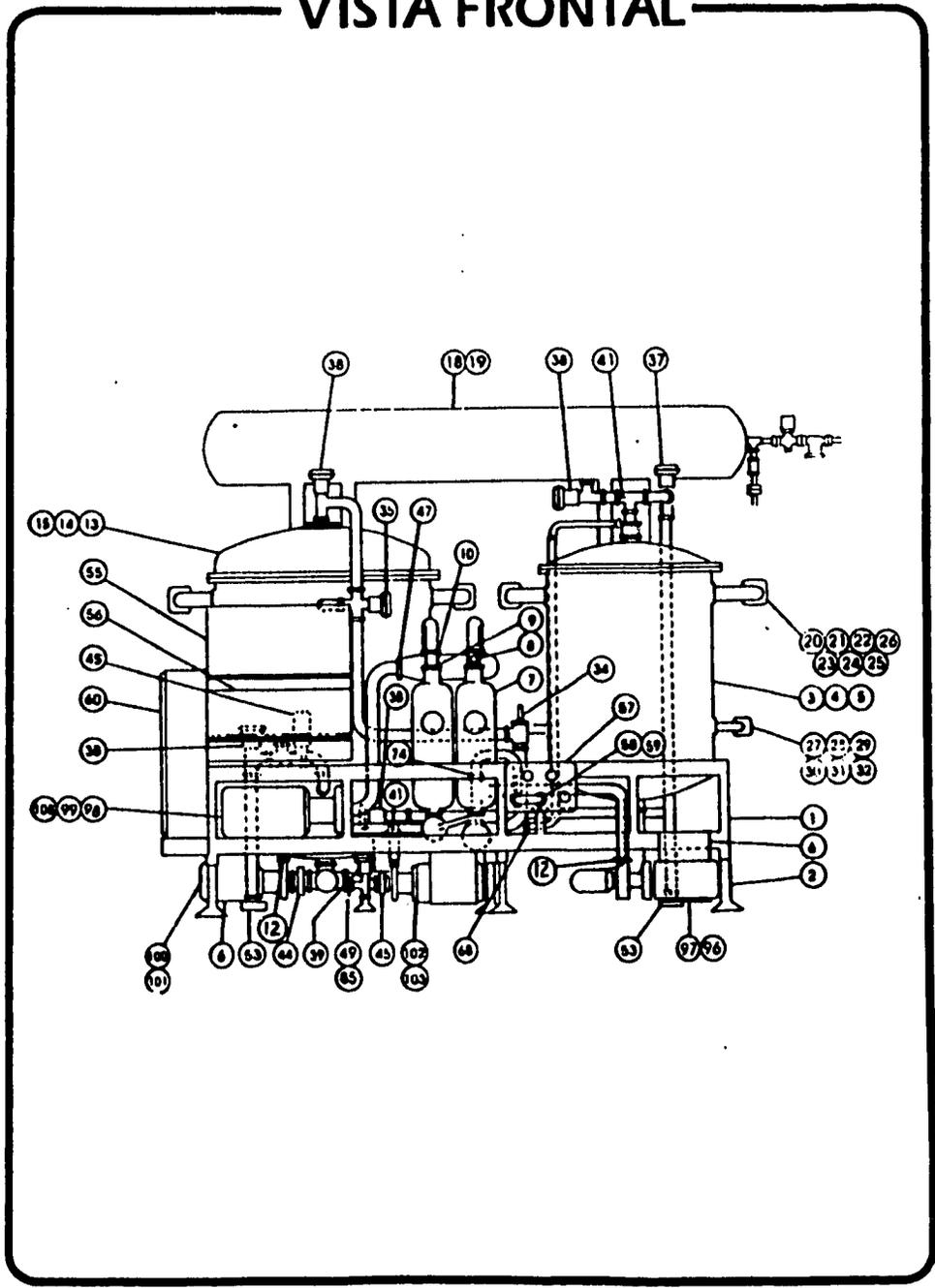
El proceso de enfriamiento y carbonatación se completa y el producto llega hasta el fondo del tanque de carbonatación y luego a la llenadora. El nivel del producto se controla automáticamente dentro del Carbo-Cooler mediante electrodos conectados dentro de la mirilla de nivel y mandan la señal de arranque y paro de la bomba de mezcla.

En las figuras 1.1 y 1.2 se presentan los equipos Carbo-Cooler y Flow-Mix



- MODEL Q ASSEMBLY

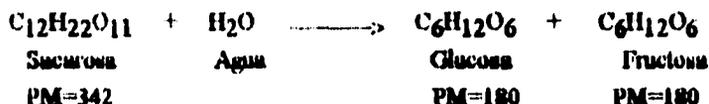
VISTA FRONTAL



BRIX E INVERSION DEL AZUCAR.

Los Brix se definen como el porcentaje de sólidos solubles, en nuestro caso este porcentaje corresponde a la cantidad de azúcar disuelta. Ya sea que el azúcar se obtenga de la remolacha o la caña de azúcar su composición química es la misma. El azúcar es sacarosa que está formada por una unidad de fructosa y una de glucosa, mediante un enlace glucosídico.

La propiedad que nos interesa de la sacarosa es su capacidad de hidrolizarse en un medio ácido. El jarabe de la bebida de estudio recién preparado tiene un Brix de 54.85, un pH ácido y se almacena en tanques de acero inoxidable a temperatura ambiente. Es un medio adecuado para la inversión de la sacarosa.



El nombre de azúcar invertido proviene de la inversión del signo de rotación específica que se observa al hidrolizar la sacarosa. Esta posee una rotación específica de $+66.5^\circ$ mientras que la mezcla de productos resultante de la hidrólisis (glucosa $\alpha = +52.7^\circ$ y fructosa $\alpha = -92.4^\circ$) tiene una rotación específica negativa.

La medición de los grados Brix se lleva a cabo en un densímetro digital, convierte la densidad de la solución a la concentración equivalente de azúcar. El problema de la inversión del azúcar es el cambio de la densidad según el grado de desdoblamiento de la sacarosa (por la diferencia de pesos moleculares de reactivo a productos).

Para comprobar que la cantidad de azúcar en el producto sea la adecuada se procede a desdoblarse completamente, por métodos de laboratorio, la sacarosa a sus componentes, medimos el Brix de la solución resultante y corregimos con el factor 1.0526 para poner el resultado en base a sacarosa pura. Para cada grado de desdoblamiento existe un "Brix patrón" o Brix al que se debe manejar el producto para mantener la relación agua-jarabe en base a sacarosa, no a glucosa y fructosa.

Para la bebida de estudio la relación agua jarabe es 5.4 a 1 respectivamente y así obtener un producto con un brix de 10.37 a partir de un jarabe recién preparado con 54.85, como el desdoblamiento provoca que el jarabe aumente de brix con el tiempo, el producto también lo ayudará al mantener constante la relación agua jarabe.

Se llama "Brix patrón" al brix resultante de la dilución 5.4 a 1 del jarabe y nos ayuda a mantener la adecuada concentración de azúcar, saborizantes y colorantes del producto. Si se tiene una muestra con 10.37 y el jarabe con el que se elaboró tenía un brix patrón de 10.38 cuando se realice la prueba de desdoblado a la muestra esta indicará que tiene un brix menor a 10.37 en una unidad.

Ejemplo:

Brix patrón	10.39	10.39	10.39
Brix leído en el densímetro	10.39	10.40	10.38
Brix referido a brix patrón de 10.37	10.37	10.38	10.36

(como si todos los tanques fueran frescos)

Por esta causa los valores utilizados para las gráficas de control en el trabajo se corregirán según el brix patrón del jarabe con el que se elaboraron.

La norma interna es [10.30 , 10.44]

La norma externa es [10.22 , 10.52]

2 METODO ESTADISTICO UTILIZADO.

Hemos mencionado que en todo trabajo existe dispersión y podemos afirmar que datos sin variación son falsos. El control del proceso no significa eliminar su variación, se ha visto que esto es imposible, significa disminuirla y tenerla bajo control, tenemos que considerar que si un proceso no tiene variaciones aparentes puede ser que el equipo de medición no es capaz de detectarlas.

Aprovechando técnicas estadísticas será posible predecir, con el grado de confiabilidad deseado, lo que va a suceder en el comportamiento de un proceso y en consecuencia vamos a ser capaces de prevenir y actuar sobre el mismo antes que llegue a presentarse algún problema. El llevar un control estadístico también ayuda a conocer mejor el proceso ya que existirán variaciones que no se acierten a definir o explicar y si bien, las gráficas no son capaces de descubrir las causas de las variaciones, nos indicarán el momento en que estas ocurrieron y en base a estos antecedentes descubrir los problemas que nos originan las desviaciones en el proceso.

La decisión de estudiar el proceso con un método estadístico obedece a que los atributos de la calidad dentro de la planta presentaban mucha dispersión (en especial los grados Brix) y se necesitaba una herramienta que nos permitiera controlar de una manera medible al proceso, se pensó en un control básico dado que no estábamos acostumbrados a utilizar bases estadísticas dentro de la operación diaria. Se implementó un sistema de control estadístico básico que incluye :

- Gráfica de Pareto.
- Histograma.
- Diagrama Causa - Efecto.
- Gráficas de control.

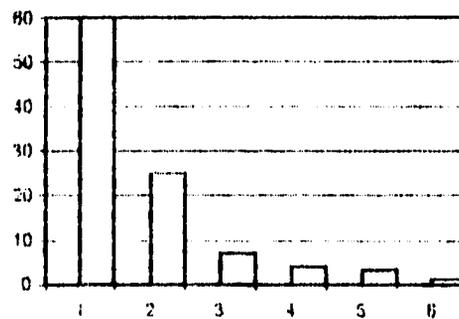
Para entender el sistema utilizado se dará una breve explicación de cada uno de los puntos que incluye el control estadístico.

Gráficas de Pareto .- Al buscar la solución a un problema nos damos cuenta que no depende únicamente de una sola causa, puede haber muchas y el conflicto será por cuál de ellas debemos comenzar. Las gráficas de Pareto nos facilitan esta decisión ya que

nos ayuda a distinguir los "Pocos importantes" de los "Muchos triviales". Ejemplifiquemos un problema :

Una compañía importadora de televisores últimamente ha tenido un elevado número de quejas por parte de sus clientes, ya que sus pedidos son atendidos de manera incorrecta, el Gerente de la compañía solicita al departamento de procesamiento de pedidos que investigue las causas del problema. Se encuentra la siguiente información:

% de errores



Donde:

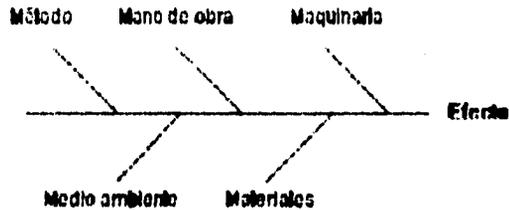
- 1 Información incompleta.
- 2 Sin firma
- 3 Reporte retardado
- 4 Error de cálculo
- 5 Sin comprobante
- 6 Otros

En una gráfica de Pareto se presentan las causas contra su frecuencia, preferentemente hay que ordenar las causas de mayor a menor. Visualmente nos ayuda a identificar las áreas en las que tenemos la mejor oportunidad de mejora. En nuestro ejemplo, se notará que el 80% de las quejas obedecen solo a 2 causas, información incompleta y pedidos sin firma. La labor del encargado del departamento de procesamiento de pedidos será buscar la manera de evitar que sus colaboradores no cometan este tipo de errores; si comenzara por evitar los errores de cálculo solo disminuirá en 4% el número de pedidos no atendidos.

Diagramas Causa - Efecto - Este diagrama no es propiamente una herramienta estadística, es un método ampliamente utilizado para identificar las causas más probables del porqué nuestros resultados son como los estamos obteniendo.

Causa >>>> Efecto
Entrada >>>> Salida

La figura que a continuación se presenta, es un diagrama típico de Ishikawa que tiene la apariencia de ser el esqueleto de un pescado en el cual representamos gráficamente la relación causa-efecto. Cada una de las espigas representa una categoría de posibles causas. Para facilitar esta tarea se han adoptado 5 categorías : mano de obra, métodos, maquinaria, materiales y medio ambiente.



Mediante una tormenta de ideas se enuncian las posibles causas del problema, se asignan a una categoría y en base a lo observado en el proceso decidir con cuál o cuáles factores iniciaremos el proceso de mejora (en el ejemplo de la importadora de televisores podría ser "información incorrecta"). Hay que tener especial cuidado de no incluir más factores que los necesarios, ni perder el tiempo con discusiones demasiado largas decidiendo las causas sobre las que se iniciará el trabajo de mejora. Para completar el ciclo habrá que aplicar en el proceso la propuesta aceptada, hacer la medición de los resultados, comparar y decidir la siguiente posible causa hasta lograr los resultados deseados.

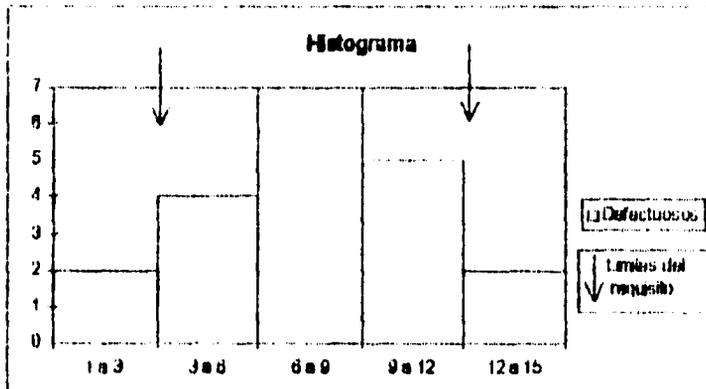
Las ventajas de este método son muchas ya que puede aplicarse a cualquier tipo de problema y tiene la ventaja que la única limitante es el punto hasta el cual queremos mejorar nuestro proceso. Podemos vivir pensando que la manera como hacemos las cosas es la mejor, pero si aplicamos esta metodología a nuestras actividades diarias, descubriremos que existen muchas oportunidades de facilitar y hacer más eficiente nuestras tareas.



Histogramas - Un histograma es una gráfica de barras especial, se emplea para conocer la distribución de frecuencias. Utiliza una barra para representar la frecuencia de cada uno de los rangos de la variable que definiremos; la altura de cada barra corresponde al número de datos que hay en cada uno de los rangos, también llamados intervalo de clase.

Un histograma nos ayuda a organizar, ordenar un grupo de datos y apreciar visualmente:

- La forma que adopta la distribución.
- Los valores más altos y bajos.
- El valor promedio.
- Rango de variación del proceso.
- Si colocamos los límites que nos marca la norma es fácil observar la porción de defectos que estamos generando.



El procedimiento utilizado para realizar un histograma en nuestro caso es:

- Tomar 50 muestras.

- Determinar los "Brix de cada muestra.
- Encontrar el valor más alto y más bajo del conjunto de datos.
- Determinar el número de barras mediante la tabla

Nº de datos	Nº de barras
50 o menos	5 a 7
50 a 100	6 a 10
100 a 250	7 a 12

- Determinar el rango de cada barra.

$$h = (\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}) / \text{número de barras}$$

Definir los límites de cada barra considerando que no interfieran unos con otros.

- Contar el número de datos que caen en cada una de las barras.
- Graficar.

Distribución Normal .- Los datos de cualquier proceso tienden a seguir un determinado comportamiento o distribución de frecuencias, que puede ajustarse a una distribución de probabilidades tal como una Normal, Binomial, Poisson, Exponencial, Geométrica, etc...

En nuestro caso la distribución de los datos obedece a una Normal que tiene las siguientes características:

- Su expresión es $f(x) = [1/(2\pi)^{(1/2)}] \cdot \exp \{-(x-\mu)^2 / 2\sigma^2\}$
- Su gráfica es de tipo campana y simétrica.
- El centro de la campana es el promedio de los datos.
- El promedio de los datos es el que se presenta con mayor frecuencia.
- La amplitud de la curva está dada por la desviación estándar.
- El área bajo la curva corresponde a la probabilidad de ocurrencia del evento.
- Los extremos de la campana nunca tocan al eje de las x.
- Podemos conocer el porcentaje de datos que caen en un intervalo, con el nivel de confianza que fijemos, si conocemos la media y desviación estándar.

Gráficas de control .- Tomando en cuenta que todo proceso tiene variaciones, estas se clasifican de 2 maneras diferentes, causas naturales y causas asignables de variación. Las primeras son variaciones aleatorias comunes a los componentes del proceso, siempre están presentes durante la jornada de trabajo. Las causas asignables

son variaciones no aleatorias que no son comunes a los componentes del proceso, no siempre están presentes y puede encontrarse la causa que la provoca y corregirse.

El propósito de las gráficas de control es utilizarlas para distinguir entre variaciones producidas por causas naturales y por causas asignables. Las gráficas nos ayudan a determinar en que momento será necesario llevar a cabo una acción correctiva en el proceso, pero su mejor aplicación radica en auxiliarnos a detectar el momento y las condiciones en las que debemos dejar que el proceso actúe por sí solo, viendo si únicamente están influyendo causas naturales y el nivel de variación generado es aceptable.

Hay diferentes tipos de gráficas de control según la característica que se quiera mejorar. Las características que se puedan medir o asignarles un valor se llaman variables, ejemplos de variables son temperatura, concentración y densidad. En los casos en que únicamente nos interese que cumplan o no con una condición determinada las llamaremos atributos, como ejemplos tenemos completo-incompleto, pasa-no pasa, con defecto-sin defecto.

Para cada tipo de característica se han desarrollado diferentes gráficas de control que nos ayudan a interpretar los datos. Cuando tenemos características del tipo variable utilizamos las cartas \bar{X} -R, \bar{X} -R, M-R, X-R, promedios móviles y rangos móviles. Para los atributos existen las cartas P, nP, C, U y cartas de deméritos. Cada tipo de gráfica tiene sus ventajas y son útiles según la característica a controlar. En el caso de la medición de grados Drix en la bebida de estudio tenemos un proceso continuo y son valores numéricos, la carga de trabajo para el instrumento de medición y las diferentes actividades del personal no permiten revisar muestras de tamaño mayor a 1 en un período de media hora como lo requiere el proceso, a menos que exista una causa especial.

Lo antes descrito nos conduce a utilizar una gráfica del tipo X-R o carta de individuos, esta tiene el inconveniente de no ser de mucha confianza ya que sabemos que una distribución de medias tiene un comportamiento normal, pero no podemos asegurar que la distribución de individuos lo sea; la carta de rangos utiliza la diferencia con el dato anterior para construirse.

Las gráficas de control requieren de conocer la distribución de frecuencia de los datos para poder definir los límites esperados para el proceso.

Para construir los límites de una gráfica tipo X :

- Se utilizarán 50 datos por lo menos, en condiciones de operación normal.
- Determinar el promedio de los datos.
- Calcular la desviación estándar de la muestra.
- Calcular los límites superior e inferior de control $LSC = \bar{x} + 3 \sigma$, $LIC = \bar{x} - 3 \sigma$

El valor de 3σ se deduce de la curva normal , es el valor para un nivel de confianza de 99.7 %, se definió este como el nivel deseado para nuestro proceso. En la carta de individuos utilizamos para el cálculo de los límites de control las siguientes fórmulas para simplificar los cálculos:

$$LSC_x = \bar{X} + A_{3T} \cdot \bar{R}$$

$$LIC_x = \bar{X} - A_{3T} \cdot \bar{R}$$

$$LSC_r = D_4 \cdot \bar{R}$$

$$LIC_r = D_3 \cdot \bar{R}$$

Las constantes A_{3T}, D_4, D_3 se obtienen de la tabla 3.1.

Para determinar si nuestro proceso es capaz de cumplir con los requisitos establecidos utilizamos un tipo de unidad de medida llamada Capacidad de proceso y la podemos analizar numéricamente de 2 maneras :

- Capacidad potencial del proceso : Sirve para comparar el rango de variación en operación del proceso contra el rango de operación permitido por norma.

$$C_p = \text{Variación especificada} / \text{Variación del proceso}$$

Si el $C_p > 1$ el proceso es potencialmente capaz de cumplir aunque actualmente no lo esté haciendo.

- Capacidad real del proceso .- Nos dice si el proceso está cumpliendo realmente.

$$C_{pk} = C_p \cdot (1 - k)$$

$$k = [2 \cdot (X - X_e)] / \text{Variación especificada}$$

X = Promedio del proceso.

X_e = Valor central de la especificación.

Para aceptar el proceso capaz de cumplir debe tener el $Cpk \geq 1.33$.

Las gráficas mostradas en la página siguiente ayudarán a visualizar mejor la capacidad del proceso.

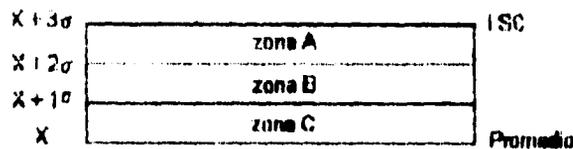
Para obtener la información para aplicar los índices de capacidad de proceso es necesario realizar un estudio de campo, para que este sea válido no deben de existir causas especiales de variación durante su realización.

Utilizando los datos que se emplearon para realizar los histogramas y límites de la gráfica de control se determina la capacidad del proceso.

Se ha mencionado que existen causas comunes y especiales de variación, normalmente las causas especiales pueden ser detectadas y controladas por los operarios del proceso, sin embargo en las causas comunes deben de ser los responsables de la administración los encargados de corregirlas, dado que los operarios del proceso trabajan dentro del sistema y la administración sobre el sistema.

Para que un operario esté en posibilidades de reconocer el momento en el que debe tomar una acción correctiva según la información de la gráfica de control, se debe capacitar en el manejo del control estadístico. Un comportamiento puede presentar diferentes posibilidades de inestabilidad que incluyen cambios de promedio, cambios en el nivel de variación o ambos.

Para facilitar la tarea de interpretación de la gráfica de control se puede dividir el espacio entre la línea del promedio y límites de control en 3 zonas. Cuando se presenta una de las siguientes reglas se dice que el proceso tiene un comportamiento anormal.



- a) Un solo punto que fuera de los límites de control.
- b) Tendencia central: Cuando ocurren 15 o más puntos consecutivos en zona "C".
- c) Carreras: Cuando hay 7 u 8 puntos consecutivos por debajo o encima de la media.
- d) Ciclos: Cuando los puntos se mueven hacia arriba y abajo constantemente.

e) **Tendencias** : Cuando varios puntos forman una línea diagonal hacia arriba o abajo, típicamente 7 u 8 puntos consecutivos.

Los criterios para identificar un buen control estadístico son :

- Ningún punto que fuera de los límites de control.
- Los puntos se distribuyen normalmente por arriba y abajo de la línea central.
- No hay evidencia de tendencias ni ciclos.
- Los puntos se distribuyen aleatoriamente.
- El 68 % de los puntos caen dentro del tercio medio $\pm 1\sigma$.

Estas son solo algunas de las muchas reglas para identificar la normalidad de un proceso, pero son las básicas para arrancar un programa de control estadístico.

**TABLA DE CONSTANTES
PARA EL CALCULO DE
LOS LIMITES DE CONTROL Y LA DESVIACION ESTANDAR
ESPERADA (δ)**

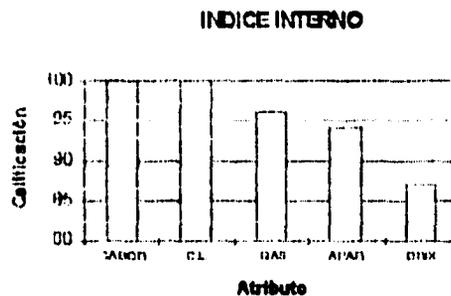
TAMAÑO DE MUESTRA	A _{XR}	D _{RS}	D _{RI}	A _{XS}	D _{SS}	D _{SI}	A _{MR}	A _{XR}	d _R	C _S
2	1.880	3.267		2.659	3.267		1.880	2.880	1.128	0.7878
3	1.023	2.574		1.954	2.568		1.187	1.772	1.693	0.8982
4	0.729	2.282		1.626	2.266		0.798	1.467	2.058	0.9219
5	0.577	2.114		1.427	2.089		0.691	1.290	2.328	0.9400
6	0.483	2.004		1.287	1.970	0.030	0.548	1.184	2.534	0.9518
7	0.419	1.924	0.078	1.182	1.882	0.118	0.508	1.108	2.704	0.9594
8	0.373	1.864	0.138	1.099	1.818	0.185	0.433	1.064	2.847	0.9650
9	0.337	1.818	0.184	1.032	1.781	0.238	0.412	1.010	2.970	0.9693
10	0.308	1.777	0.223	0.975	1.718	0.284	0.382	0.978	3.078	0.9727
11	0.285	1.744	0.258	0.927	1.679	0.321			3.173	0.9754
12	0.268	1.717	0.283	0.886	1.648	0.364			3.258	0.9778
13	0.249	1.693	0.307	0.850	1.618	0.382			3.338	0.9794
14	0.235	1.672	0.328	0.817	1.584	0.408			3.407	0.9810
15	0.223	1.653	0.347	0.789	1.572	0.428			3.472	0.9823
16	0.212	1.637	0.363	0.763	1.562	0.448			3.532	0.9835
17	0.203	1.622	0.378	0.739	1.554	0.468			3.588	0.9845
18	0.194	1.608	0.391	0.718	1.548	0.482			3.640	0.9854
19	0.187	1.597	0.403	0.698	1.543	0.497			3.689	0.9862
20	0.180	1.585	0.418	0.680	1.480	0.510			3.735	0.9869
21	0.173	1.575	0.425	0.663	1.477	0.523			3.778	0.9878
22	0.167	1.566	0.434	0.647	1.468	0.534			3.818	0.9882
23	0.162	1.557	0.443	0.633	1.465	0.545			3.858	0.9887
24	0.157	1.548	0.451	0.619	1.448	0.555			3.898	0.9892
28	0.153	1.541	0.459	0.608	1.435	0.565			3.931	0.9898

3) APLICACION DE LA METODOLOGIA DE CALIDAD.

La figura 3.1, que se observa en la página siguiente, muestra las características del anterior formato para el control de volumen de gas y grados Brix en el obrerbanos que cada muestra se tomaba con una frecuencia de 1/2 hora, tenía una columna para registrar cada característica como presión, temperatura, volumen de gas, grados Brix y sabor. En el extremo derecho existen 2 columnas para registrar el número de toque de jarabe terminado y Brix patrón del mismo. Centraremos la atención en la columna para el registro de °Brix que es el motivo de estudio.

Se cuenta con 4 líneas de producción en la planta, todas operan con el mismo tipo de proporcionador (ver figura 1.1). Los límites de control que deben cumplir los equipos estaban establecidos por la norma interna [10.30 , 10.44] de °Brix, si se obtenían valores dentro de este rango se consideraba el proceso dentro de control, procurábamos trabajar el equipo a manera que siempre mantuviera un valor de °Brix de igual al patrón. El estudio se enfocará únicamente al control de la línea # 3 ya que el objetivo es mostrar las ventajas de utilizar el control estadístico del proceso.

Para decidir el atributo a estudiar se colocaron las calificaciones del índice interno de calidad dentro de una gráfica de Pareto, son 5 atributos los que se califican : sabor, cuenta de levaduras, volumen de gas, apariencia y brix. Sus calificaciones se presentan a continuación para la línea de estudio.



El atributo a controlar serán los grados Brix.

DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
CONTROL DE BRIX Y CARBONATACION

LINEA No. _____ PRODUCTO _____ TAMAÑO _____

FECHA: _____

HORA	PRESION	TEMP. °C	VOLUMEN DE GAS	BRIX MUESTRA	PRUEBA SABOR	RA TANQUE	BRIX PATRON
TURNO MATUTINO							
6:30							
7:00							
7:30							
8:00							
8:30							
9:00							
9:30							
10:00							
10:30							
11:00							
11:30							
12:00							
12:30							
13:00							
13:30							

Vo Bo DYE ASEG CALIDAD

LAMPARA ROJA (C.F.) _____

PESO INICIAL CO2 (KG) _____

PESO FINAL CO2 (KG) _____

CONSUMO CO2 (KG) _____

SP. ASEG CALIDAD _____ SUP. PRODUCCION _____

HORA	PRESION	TEMP. °C	VOLUMEN DE GAS	BRIX MUESTRA	PRUEBA SABOR	RA TANQUE	BRIX PATRON
TURNO VESPERTINO							
14:30							
15:00							
15:30							
16:00							
16:30							
17:00							
17:30							
18:00							
18:30							
19:00							
19:30							
20:00							
20:30							
21:00							
21:30							

LAMPARA ROJA (C.F.) _____

PESO INICIAL CO2 (KG) _____

PESO FINAL CO2 (KG) _____

CONSUMO CO2 (KG) _____

SP. ASEG CALIDAD _____ SUP. PRODUCCION _____

HORA	PRESION	TEMP. °C	VOLUMEN DE GAS	BRIX MUESTRA	PRUEBA SABOR	RA TANQUE	BRIX PATRON
TURNO NOCTURNO							
22:30							
23:00							
23:30							
00:00							
00:30							
01:00							
01:30							
02:00							
02:30							
03:00							
03:30							
04:00							
04:30							
05:00							
05:30							
06:00							

LAMPARA ROJA (C.F.) _____

PESO INICIAL CO2 (KG) _____

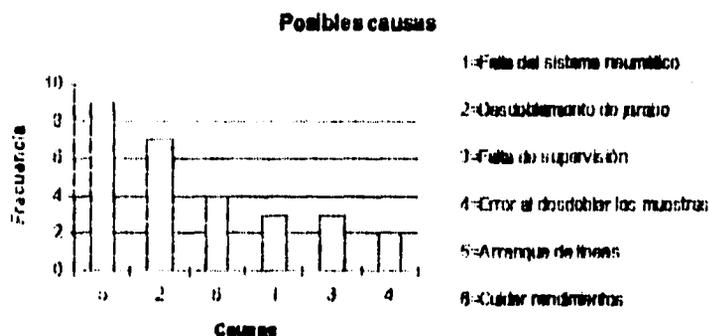
PESO FINAL CO2 (KG) _____

CONSUMO CO2 (KG) _____

SP. ASEG CALIDAD _____ SUP. PRODUCCION _____

Para identificar el comportamiento de los grados Brix previo al estudio se utilizaron 20 datos de los registros diarios de desdoblados correspondientes a los meses de enero y febrero. Se utilizaron datos de desdoblados porque están en base a sacarosa y no a glucosa y fructosa, el emplear datos de producto en línea implicaría considerar escalas relativas al brix patrón que se está manejando en ese momento. Se obtuvieron el histograma, Cp y Cpk como se muestra en las gráficas 3.1 y 3.2

Para buscar las posibles causas se utilizó una encuesta utilizando la pregunta "¿Cuál es la causa más probable de este comportamiento en la distribución de valores de Brix?". se obtuvieron los siguientes resultados de 28 supervisores de las áreas de producción, calidad y mantenimiento:

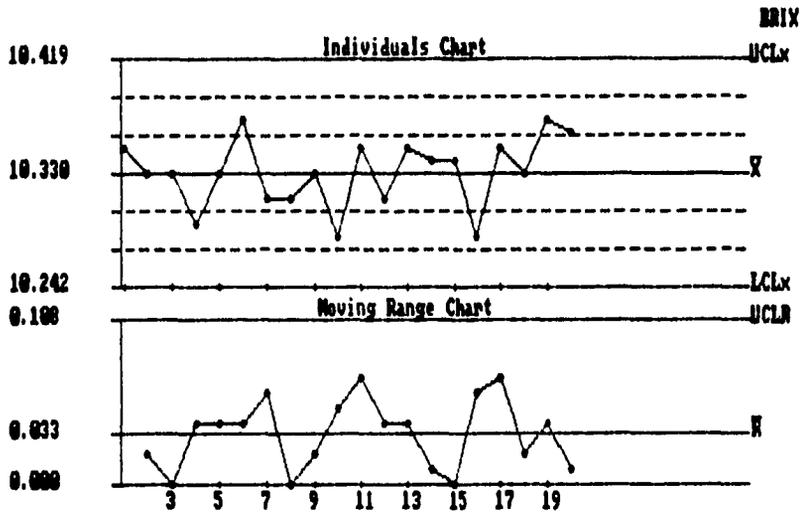


Las causas más probables son preparación de línea y desdoblamiento de jarabe terminado.

3.1) DISEÑO EXPERIMENTAL

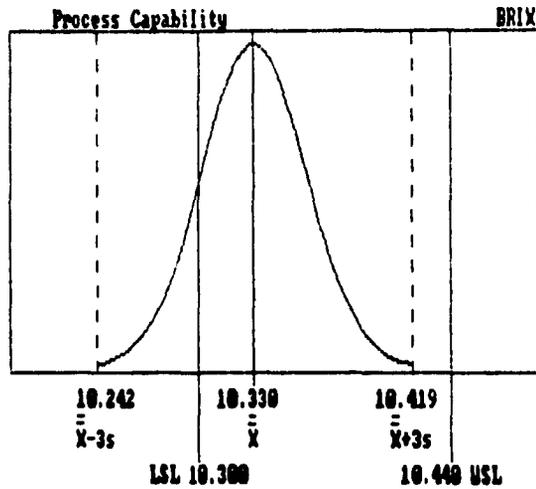
La elaboración del jarabe es por lotes de 16500 lt y se cuenta con cuatro tanques; la velocidad de consumo depende del número de líneas, tamaño y tipo de los productos que se están elaborando (varía de 2.5 a 5 horas el consumo de un tanque). Aproximadamente 45 minutos después de terminando un tanque se sacaba una muestra para determinar el Brix

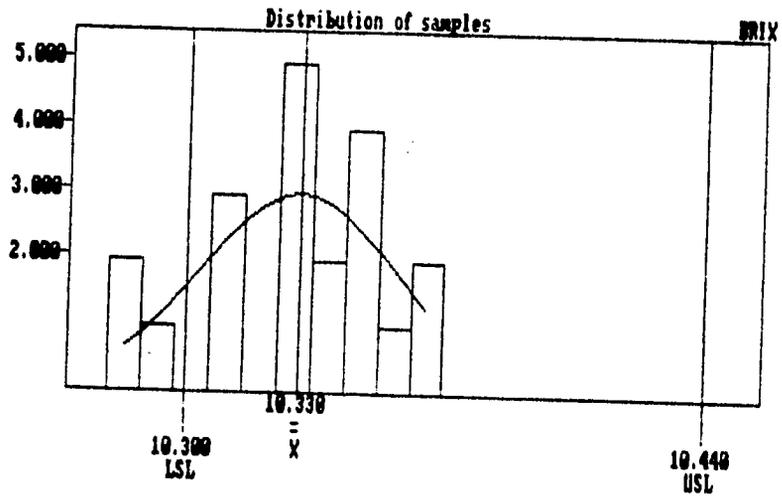
GRAFICAS 3.1 Y 3.2



Bilateral Distribution
 $(\bar{R} \text{ bar}) / \sqrt{2}$
 sigma = 0.029

$C_p = 0.794$
 $C_p = 1.260$
 $C_{pk} = 0.346$
 $P_{zu} = 1.000E-4$
 $P_{zl} = 0.149$





patrón a manejar. La aplicación del C.E.P. se llevó a cabo utilizando los siguientes criterios:

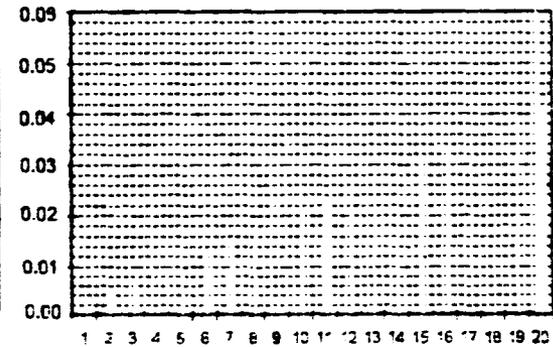
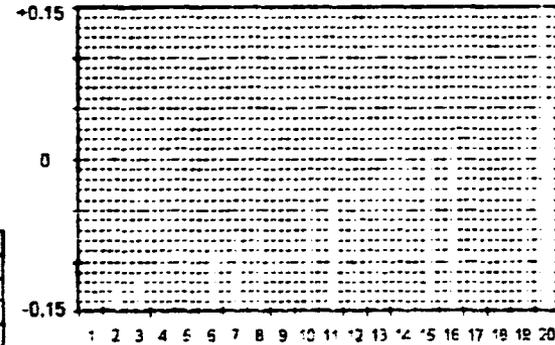
- Duración 20 días.
- Cambio de formato para incluir la gráfica de individuos y rangos
- Identificación del proceso, responsable, equipo de medición, fecha, línea, turno y unidades.
- La aplicación se llevará a cabo en el turno nocturno abarcando 10 horas.
- Tomar muestra de jurabe 1/2 hora antes de ser enviado a líneas para cuantificar desdoblamiento.
- No ajustar el equipo por cualquier desviación respecto al Brix patrón.
- Dejar que el equipo varíe libremente y solo realizar ajuste si existe evidencia que el proceso se encuentra fuera de control.
- Los límites de control se obtendrán del día anterior de trabajo durante la 1ª semana.
- Para los días posteriores se usarán los límites obtenidos en esa semana.
- Al final del turno se utilizarán los datos del día para modificar los límites de control, obtener Cp, Cpk y analizar la jornada de trabajo.
- Tomando en cuenta que únicamente se pueden determinar °brix hasta la segunda cifra decimal y con el fin de darle un poco de libertad al proceso redondearemos los límites hasta la tercera cifra decimal.
- Realizar la estratificación de los arrastres tomando el primer punto cuando exista preparación para obtener la media, Cp y Cpk.
- Para cuantificar si existen mejoras del proceso se tomó diariamente una muestra de bodega, como normalmente se realiza, para desdoblarla.
- Obtener Cp y Cpk de los desdoblados correspondientes a los 20 días que duró la experiencia.
- Comparación de resultados.

A continuación se muestra el formato diseñado para utilizar el CEP para los grados Brix. Cuenta con la identificación del responsable, línea de producción, especificaciones del producto y equipo de medición. La escala de grados Brix es relativa al brix patrón.

Carta de Individuos

Fecha	
Responsable	
Turno - línea de producción	
Equipo	
Característica	
Unidades	
Equipo de medición	
Frecuencia	
LS Especificación	
LI Especificación	

Muestra	Grk	Patrón	CARTA INDIVIDUOS
1			LSC
2			LIC
3			Media
4			Desv. est.
5			R
6			Constante A
7			# de datos
8			Cp
9			Cpk
10			
11			CARTA DE RANGOS
12			
13			LSC
14			LIC
15			Media
16			Constante D4
17			Constante D3
18			
19			
20			

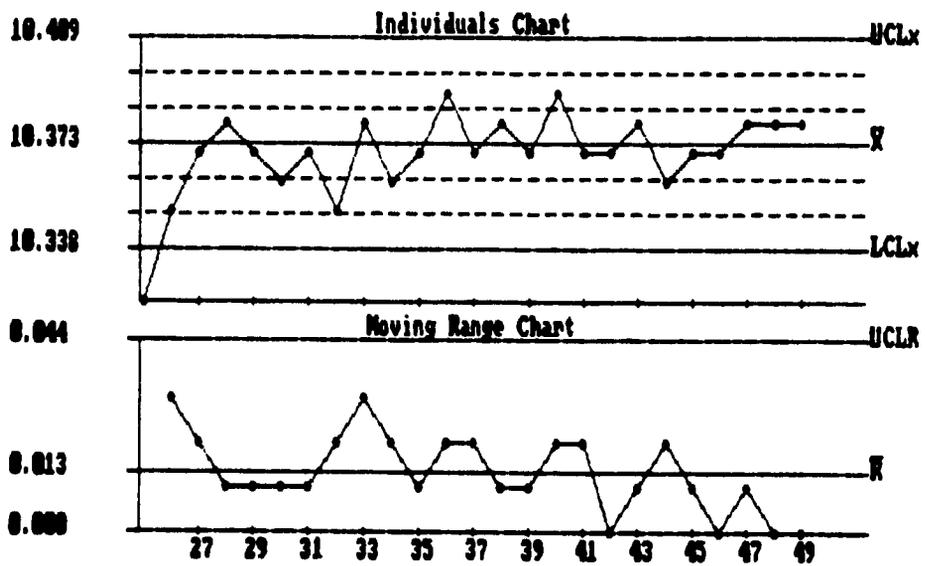
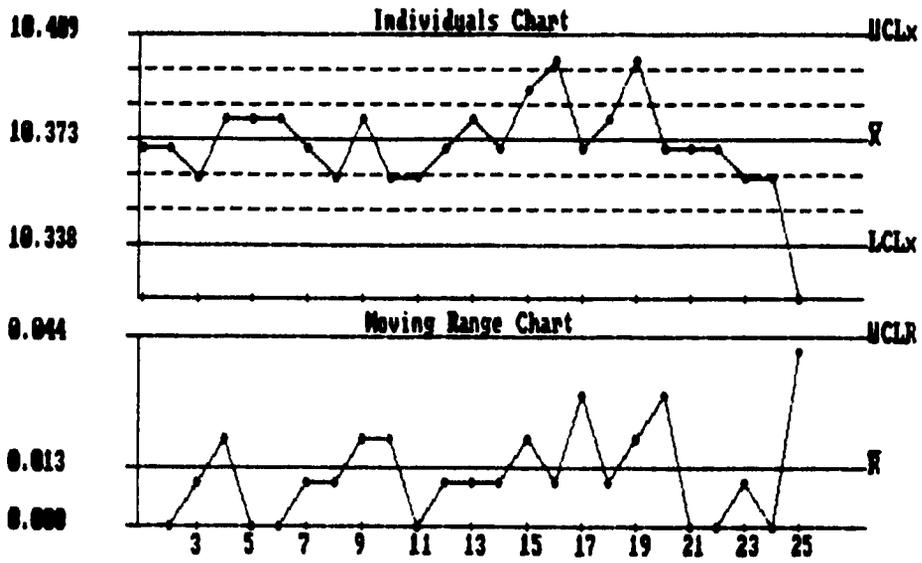


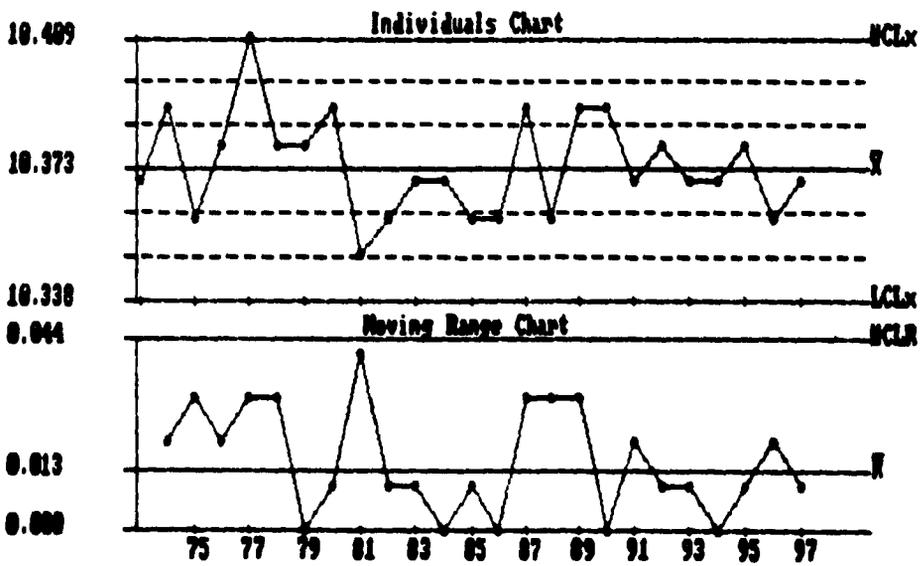
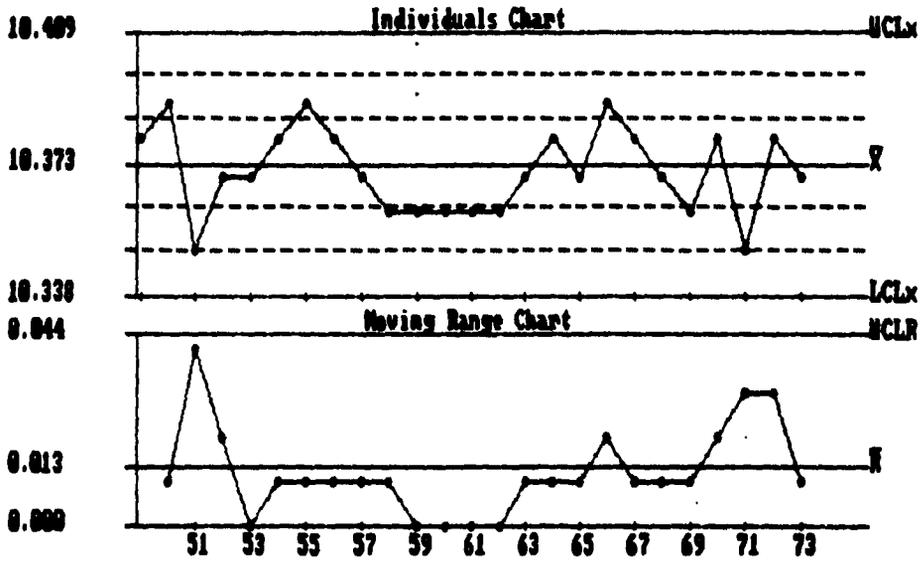
Datos de los primeros 6 días aplicando el control estadístico del proceso para obtener los límites de control usados en el resto de la prueba.

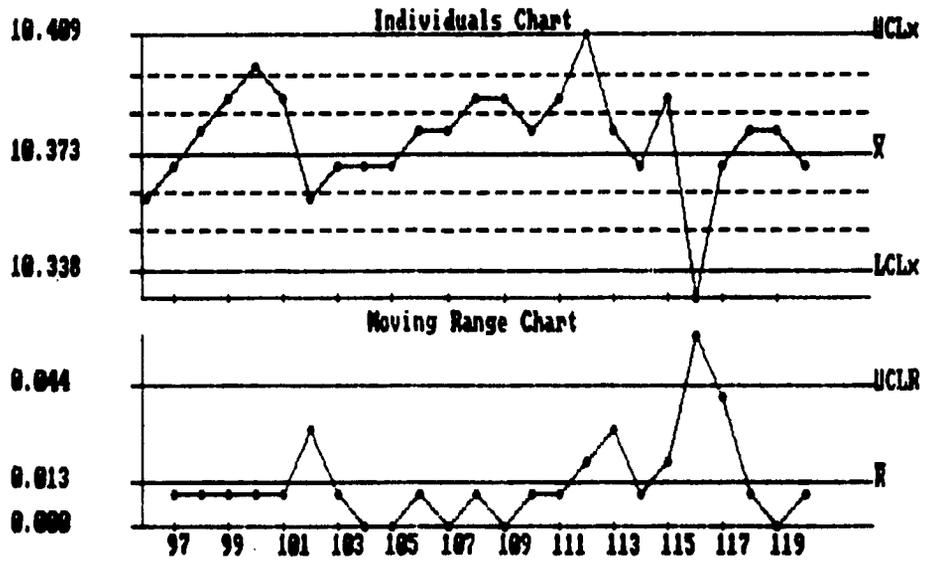
Gráficas 3.4 y 3.5 Capacidad del proceso e Histograma utilizando todos los puntos.

Gráficas 3.6 y 3.7 Capacidad del proceso e Histograma eliminando puntos 25 y 116 por estar fuera de control.

Causados por el cambio de tanque de jarabe terminado a líneas de proceso.







Bilateral Distribution
(\bar{x} bar) / σ^2

sigma = 0.012

NOTE:
Process stability
analysis not performed
without charting first!

$C_p = 1.950$

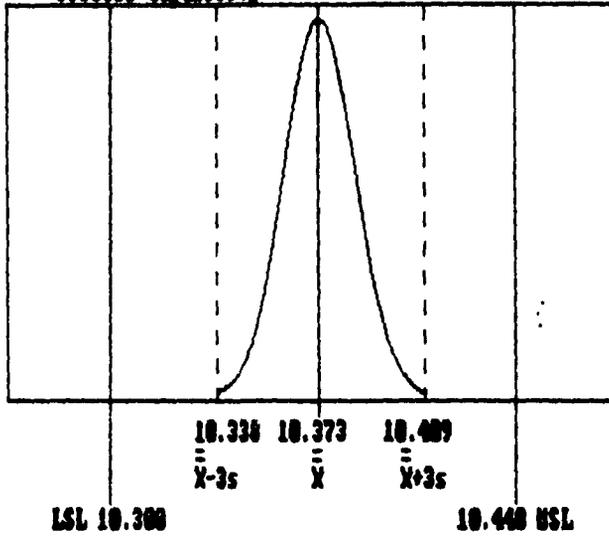
$C_{pk} = 0.511$

$C_{pk} = 1.062$

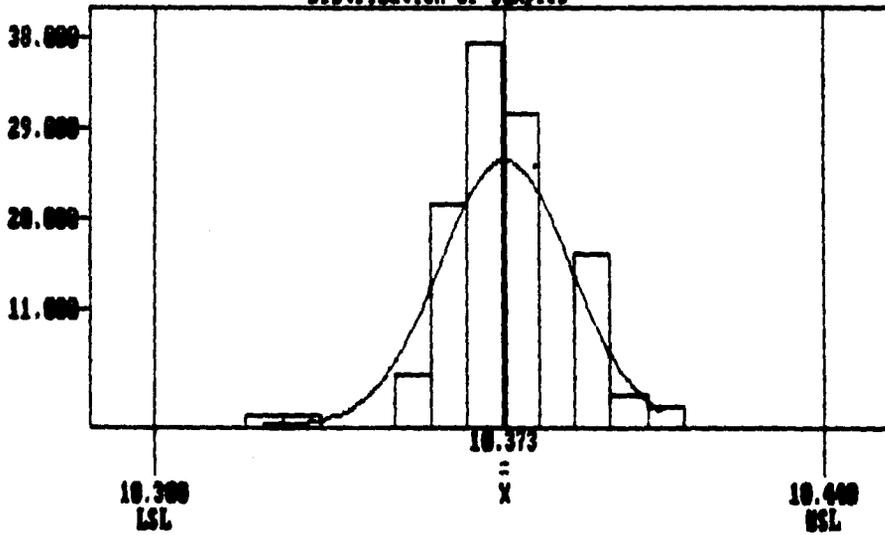
$P_{su} = \text{negligible}$

$P_{sl} = \text{negligible}$

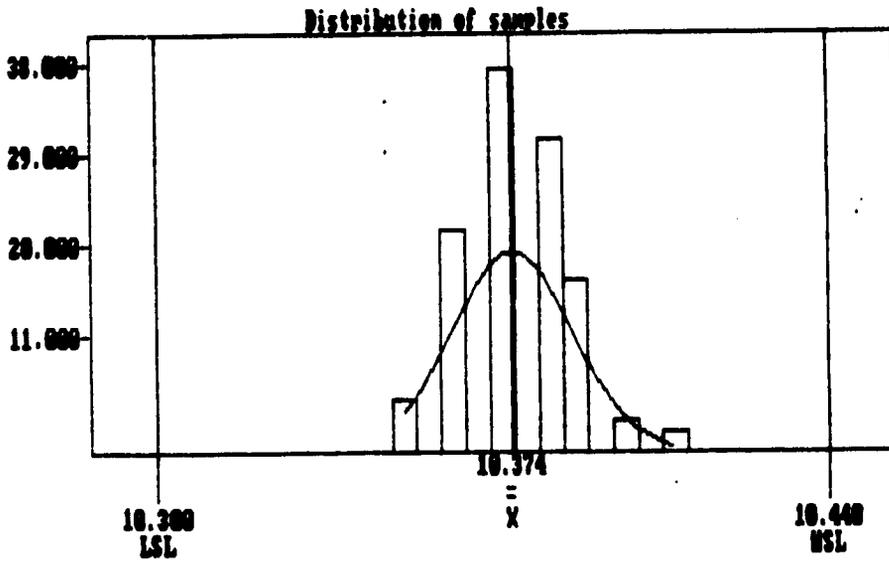
Process Capability



Distribution of samples

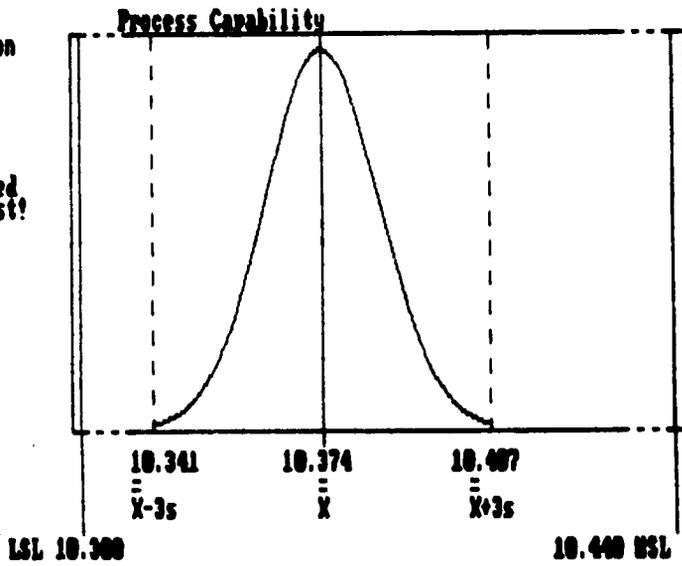


GRAFICAS 3.4 Y 3.5



Bilateral Distribution
 (\bar{R} bar) / d_2
 sigma = 0.011
 NOTE:
 Process stability
 analysis not performed
 without charting first!

$C_p = 2.109$
 $C_p = 0.474$
 $C_{pk} = 1.902$
 $P_{su} = \text{negligible}$
 $P_{sl} = \text{negligible}$

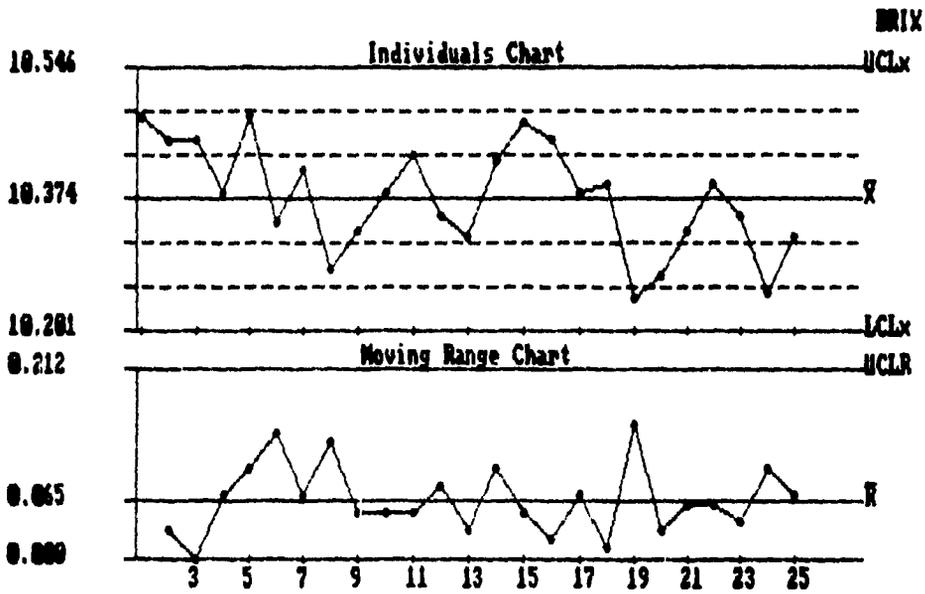


GRAFICAS 3.6 Y 3.7

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

Datos utilizando únicamente los primeros valores obtenidos en el arranque de la línea (Incluye 25 puntos en preparación).

Gráfica 3.8	Gráfica de control.
Gráfica 3.9	Capacidad de proceso.
Gráfica 3.10	Histograma.

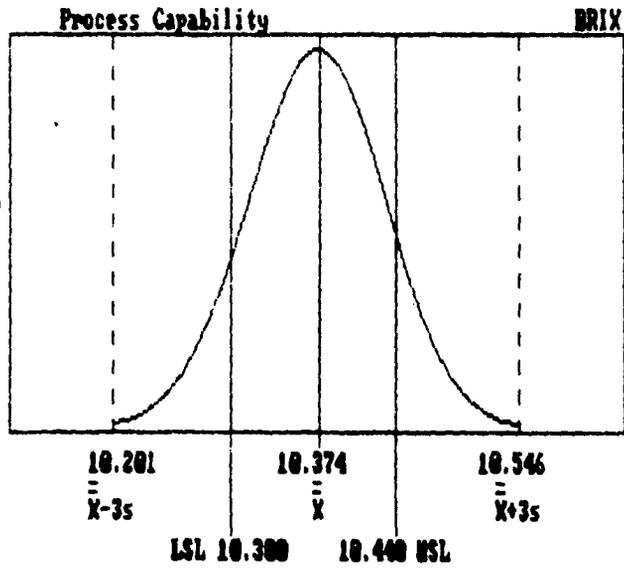


Bilateral Distribution
(\bar{R} bar) / $\sqrt{2}$

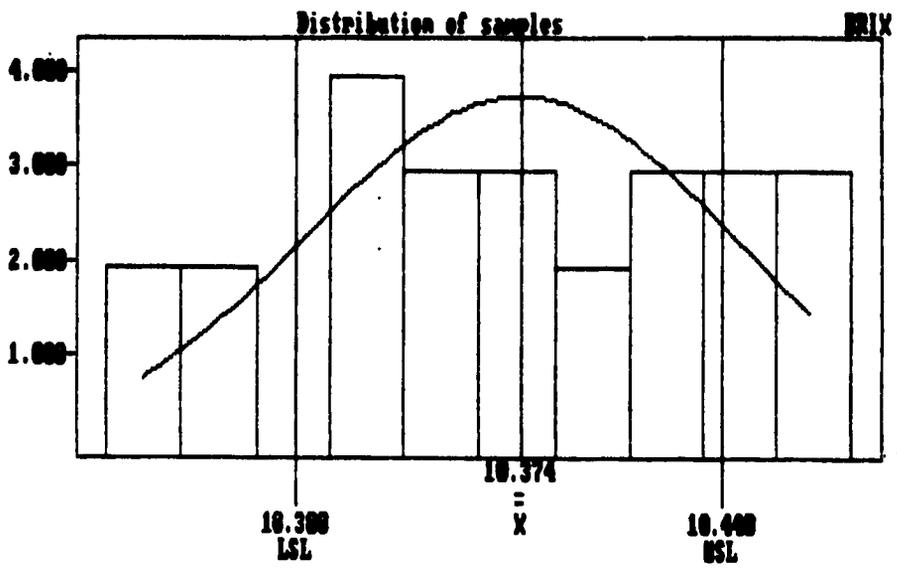
sigma = 0.053

NOTE:
The pattern analysis
you selected indicates
an out-of-control process!

$C_p = 0.405$
 $C_{pk} = 2.470$
 $P_{pk} = 0.304$
 $P_{pu} = 0.125$
 $P_{pl} = 0.100$



GRAFICAS 3.8 Y 3.9



GRAFICA 3.10

Datos de 1 muestra diaria durante el periodo de 20 días que duró la prueba.

Gráfica 3.11 Gráfica de proceso.

Gráfica 3.12 Capacidad de proceso.

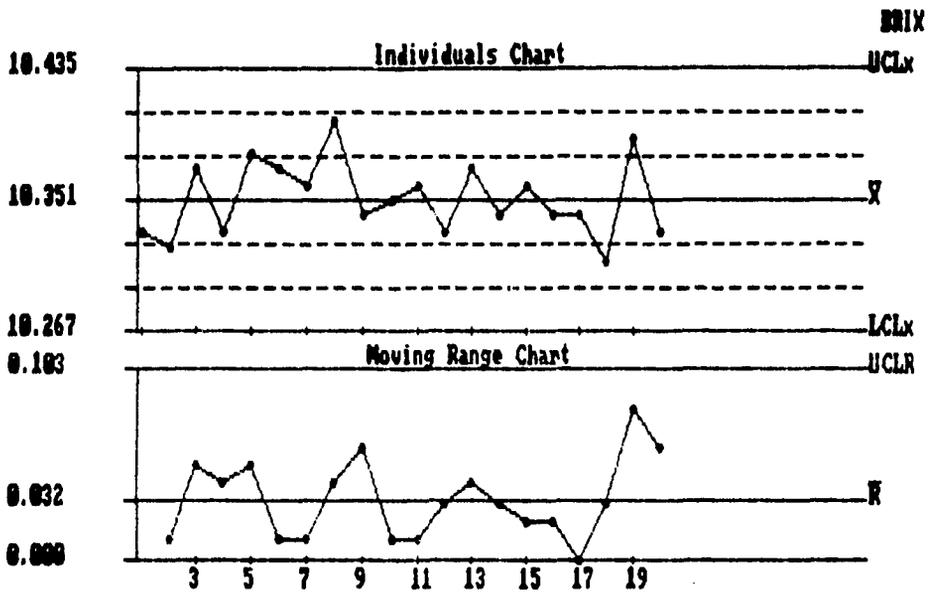
Gráfica 3.13 Histograma.

Datos de 1 muestra diaria durante el periodo de 20 días que duró la prueba.

Gráfica 3.11 Gráfica de proceso.

Gráfica 3.12 Capacidad de proceso.

Gráfica 3.13 Histograma.



Bilateral Distribution
(\bar{R} bar) / d_2

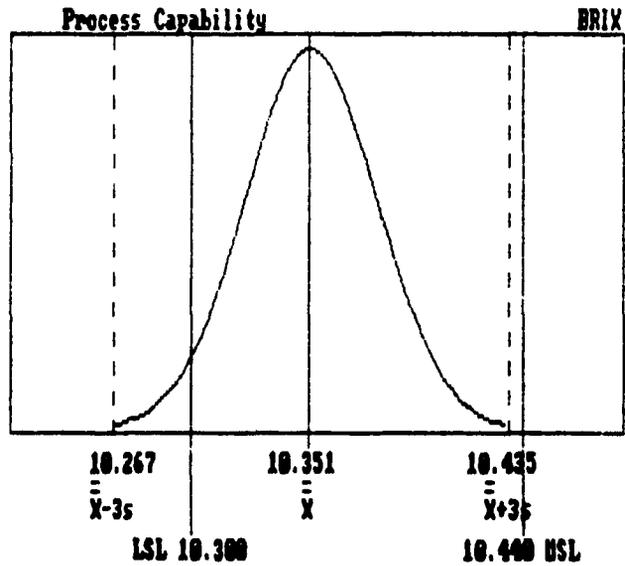
sigma = 0.028

$C_p = 0.833$

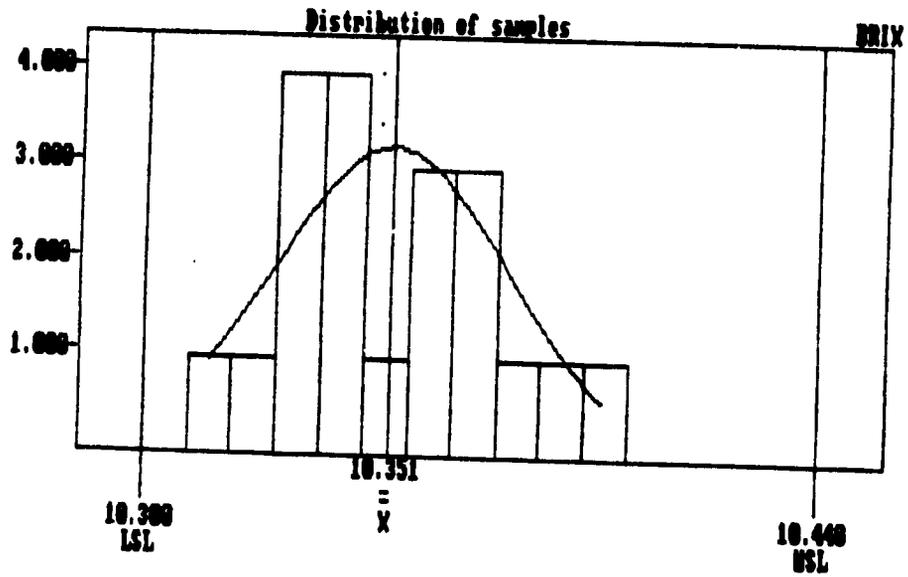
$C_{pk} = 1.200$

$P_{pu} = 0.001$

$P_{pl} = 0.034$



GRAFICAS 3.11 Y 3.12



GRAFICA 3.13

4 RESULTADOS

Límites para las muestras diarias previas a la aplicación del CEP tomadas de bodega:

$$LSC = 10.242$$

$$LIC = 10.419$$

$$\bar{X} = 10.33$$

$$Cp = 0.794$$

$$Cpk = 0.346$$

Límites obtenidos con 120 datos correspondientes a la primera semana en la aplicación del CEP.

$$LSC = 10.407$$

$$LIC = 10.341$$

$$\bar{X} = 10.374$$

$$Cp = 2.109$$

$$Cpk = 1.982$$

Resultados al tomar 1 muestra diaria de bodega durante el periodo en el que se aplicó el CEP.

$$LSC = 10.267$$

$$LIC = 10.435$$

$$\bar{X} = 10.351$$

$$Cp = 0.833$$

$$Cpk = 0.607$$

En el histograma se observa que ya no existen muestras fuera de la norma interna aunque estadísticamente esto es posible.

Resultados tomando 25 muestras de los arranques se observa que existen 22.5 % de las mismas fuera de la norma interna. Aplicándole la metodología únicamente para observar el comportamiento operado de las muestras en los arranques se obtiene:

$$LSC = 10.546$$

$$LIC = 10.201$$

$$\bar{X} = 10.374$$

$$Cp = 0.405$$

$$Cpk = 0.384$$

5 ANALISIS DE RESULTADOS :

El proceso antes de iniciar con la metodología presentaba una media inferior al centro de la norma y los valores de Cp indican que no era capaz de cumplir con la norma interna aunque cumpliera con la norma externa.

Durante el periodo de aplicación se encontró que es más fácil de mantener el proceso estable si se deja actuar libre, mientras no existan causas que provoquen que se desvíe. El Cp y Cpk nos muestran de una manera medible que el equipo es capaz de mantener al producto controlado y dentro de la norma interna con mucha confiabilidad.

Observando las gráficas de cada uno de los días que duró la prueba observamos que la principal causa de variación asignable fueron los cambios de tanque, provocan cambios en el promedio y puntos fuera de los límites de control. La segunda causa de variación que se pudo identificar fue la variación que existe en los primeros minutos de un arranque de la línea, ambas causas son asignables.

Comparando los datos previos con finales se aprecia que la media del proceso cambió de 10.33 a 10.35, esto representa una mejora en la operación por estar más cerca del centro de la norma 10.37. Posteriormente se debe disminuir la dispersión de los datos modificando las causas naturales y asignables.

La evaluación de las muestras de bodega que se tomaron para verificar los resultados obtenidos en línea nos indican que existe una causa natural que está afectando a todo el producto, el promedio de esta prueba continúa corrido hacia la izquierda, la dispersión de puntos es más amplia que la obtenida directamente en línea y, aunque no se encontraron muestras fuera de norma interna el resultado de aplicar la capacidad de proceso indica que estadísticamente esto es posible ($Cp = 0.833$), para reducir la variabilidad es recomendable eliminar la causa natural que la está generando y afectando a todo el producto. Como la campana está corrida hacia la izquierda nos puede indicar que aún existe un grado de desdoblamiento no cuantificado en el jarabe, tal vez debido al tiempo que tarda en prepararse un tanque de jarabe (normalmente de 2 a 2.5 horas).

6 CONCLUSIONES :

Estos resultados indican como siguiente paso para mejorar el control, la revisión de los procedimientos de arranque de línea para garantizar que no existan muestras fuera de norma en las preparaciones.

La causa más frecuente de causas asignables de variación a lo largo de la operación de la línea son los cambios de tanque de jarabe terminado, por lo que se recomienda tener especial cuidado en monitorear el desdoblamiento del azúcar desde que se prepara el jarabe simple hasta que se termina el tanque. Verificar que se cumpla el procedimiento de recepción de tanques por parte del personal de producción al término de elaboración del jarabe y antes de ser enviado a línea.

Con esto se pretende evitar los puntos fuera de límites, cambios de promedio y corrimiento de la media al desdoblar las muestras en laboratorio y así eliminar una causa natural que está afectando a todo el proceso.

BIBLIOGRAFIA

Control estadístico de la calidad.

Eugene I. Grant.

Richard S. Leavenworth.

Ed. CECSA

Octava reimpresión 1994.

¿Que es el control total de la calidad?.

Kaoru Ishikawa.

Ed. Norma S.A.

Sexta reimpresión 1992.

Memorias del curso "Control estadístico del proceso"

Ponente I.Q. José Luis Gonzalez Machado.

Departamento de Educación continua, Sede C.U.

Marzo 1995.

Memorias del curso "Quest 2001"

Ponente Francisco Gerlium Campos.

Prisma.

Julio 1992.

Control estadístico de procesos.

Coca Cola FEMSA

CALPRO ASISORES

México

1995

Probabilidad y Estadística.

Ronald E. Walpole

Raymond H. Myers

Mc Graw Hill

México

1995.

Memorias del curso "Capacitación sobre maquinaria para la industria embotelladora".
FIGGIE Internacional de México S.A.
Guadalajara Jalisco.
1994.

Química Orgánica
Ralp J Fessenden
Ed Iberomérica
México
1983.