

# ***UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA***

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL  
PARA EL PROCESO DE MEZCLA DE CERVEZA"

## **TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRONICO**

**RAUL ALFREDO REY NARRO**

LIMA-PERU

1997

## **SUMARIO**

El avance de la tecnología de medición y control nos permite hoy en día innovar y resolver los problemas de regulación de procesos con mayor confiabilidad y lograr una mejora en la eficiencia de la producción.

La mezcla de cerveza concentrada con agua desaireada, como cualquier otro proceso, puede ser influenciada por varios factores : costo, exactitud, higiene y mantenimiento.

Un sistema de control como el que se propone, basado en modernos equipos de medición magnética de caudal y controladores digitales, puede ser usado como alternativa para la regulación de las proporciones requeridas de caudales de diferente gravedad, de manera de producir un producto con la gravedad final y exactitud deseada.

El que se tome como referencia una planta cervecera, no implica que el modelo propuesto, no pueda aplicarse a procesos similares de otras actividades industriales.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESO  
DE MEZCLA DE CERVEZA**

**RAUL ALFREDO REY NARRO**

**PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**LIMA - 1997**

**EXTRACTO**

El desarrollo del presente trabajo de tesis empieza con una exposición en el capítulo I, de las generalidades del proceso de fabricación de cerveza en una cervecería típica y la descripción de las partes complementarias que conciernen al proceso de mezcla de cerveza.

En el capítulo II se plantea un modelo típico de planta, sobre el cual se realiza la selección de la estrategia de control y se define la estructura del sistema de control y su modo de operación.

En el capítulo III, se establecen los parámetros técnicos generales, se selecciona la instrumentación y se configura el sistema de control de mezcla de cerveza, complementándose con diagramas de conexiones externas, señalización, alarma y panel de control.

Finalmente en el capítulo IV, se muestra el cuadro de costos del equipamiento y luego se presentan las conclusiones de este trabajo.

El presente proyecto, también se complementa con tres anexos incluidos que corresponden a manuales de instrucción de los fabricantes de los equipos seleccionados. El primero esta referido a los controladores digitales de mezcla, el segundo a los sensores - transmisores magnéticos de caudal y el tercero a los elementos finales de control, que han servido de base para la configuración del sistema de control de mezcla de cerveza propuesto.

## INDICE

	Pág.
PROLOGO	1
CAPITULO I	
DESCRIPCION DEL PROCESO	
1.1 Generalidades.	4
1.1.1 Desaireación de agua.	6
1.1.2 Proceso de carbonatación.	8
1.1.3 Proceso de mezcla de cerveza.	9
CAPITULO II	
ESTRATEGIA DE CONTROL	
2.1 Modelo típico de la planta.	10
2.2 Selección de la estrategia de control.	11
2.3 Estructura del sistema de control y su operación.	11
CAPITULO III	
INSTRUMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL	
3.1 Introducción.	15
3.2 Especificaciones técnicas generales.	16
3.3 Selección de la instrumentación.	18
3.3.1 Sensores.	19
3.3.2 Transmisores.	19
3.3.3 Elementos finales de control	19
3.3.4 Controladores.	19

3.3.5 Líneas de conexión.	21
3.4 Configuración del sistema de control de mezcla de cerveza.	22
3.5 Escalización de los controladores del sistema de mezcla.	24
3.6 Diagrama de conexiones externas, señalización y alarma.	27
3.7 Panel de control.	27
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>COSTOS</b>	
4.1 Introducción.	29
4.2 Cuadro de costos del equipamiento.	29
<b>CONCLUSIONES</b>	31
<b>ANEXOS</b>	
I Manual de instrucciones del sistema digital de control de mezcla Blendtrol Serie 99P - Foxboro.	33
II Manual de instrucciones de medidores - transmisores magnéticos de caudal Modelo E96 - Foxboro.	96
III Manual de instrucciones de válvulas de control 8500 y transductores electroneumáticos 546 - Fisher.	120
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	150

## PROLOGO

La automatización de los procesos industriales en nuestro País, con la era de la globalización de la economía y la creciente competencia, muestra en los últimos años un significativo avance, sobre todo en las industrias minera, petrolera, química y alimenticia, entre otras.

Optimizar la producción, mejorar la productividad, disminuir los errores humanos y ahorrar recursos ya no son más palabras dormidas en las mentes de los empresarios de hoy, sino más bien, una prioridad ineludible e impostergable que tienen que afrontar.

Este trabajo de fácil aplicación, pretende de manera sencilla resolver el problema de medición y control de un proceso de mezcla, teniendo como objetivos la exactitud y confiabilidad, para asegurar :

- la eficiencia óptima de la producción,
- la máxima productividad y rendimiento de los recursos,
- el mínimo de desperdicios y,
- la máxima seguridad de operación.

No siempre la tecnología de punta con sus sofisticaciones son la mejor solución para el control de un determinado proceso, pues podría no ajustarse a la medida de las necesidades y expectativas del usuario. El empleo de tecnología intermedia, como alternativa dada en este caso, mediante el uso de controladores digitales y medidores magnéticos de caudal; resulta suficiente, económica y menos sofisticada. Los medidores magnéticos de caudal producen señales de voltaje proporcionales al caudal del líquido que pasa por ellos; estas señales son amplificadas y transmitidas a los

controladores digitales, quienes la tratan, procesan y luego producen las señales de control respectivas.

El modelo de sistema aquí propuesto, permite un buen control y regulación de la relación requerida de los componentes de mezcla y una supervisión continua del proceso, a fin de lograr un producto final con la calidad deseada. Adicionalmente permite programar la cantidad total de mezcla que se desea producir y conocer la cantidad que se esta produciendo en un instante determinado.

El desarrollo de este trabajo empieza con la presentación de un esquema sencillo del proceso de fabricación de cerveza en una planta cervecera típica, donde se describe claramente la etapa de mezcla, para tener un conocimiento cabal de las variables a controlar. Seguidamente se plantea la selección de una estrategia de control para un modelo típico de planta y en base a ello, se define la estructura del sistema de control y su modo de operación. Teniendo en cuenta el carácter práctico del proyecto y la realidad del proceso, se plantean las funciones básicas que debe cumplir el sistema de control, los requerimientos mínimos de operación y rendimiento, sus especificaciones técnicas y con ello se aborda la instrumentación del sistema que conlleva a la elección de los equipos, su configuración, escalización de los controladores e implementación. Luego se presenta un cuadro de costos del equipamiento, como resultado de la elección de una oferta estimada para este caso. Un factor muy importante que cuenta en el usuario final, y que no se ha dejado de lado en este trabajo, es la relación costo-prestaciones en la elección de los equipos, además de los aspectos físicos. Finalmente se exponen los resultados y conclusiones más saltantes que se extraen de este proyecto y se incluyen tres anexos con los manuales de instrucción técnica suministrados por los fabricantes de los equipos elegidos. Una bibliografía da cuenta de los libros y manuales técnicos consultados para este fin.



Los conceptos planteados en los distintos capítulos de este trabajo, se complementan con esquemas de principio, diagramas de flujo y esquemas eléctricos de control para su mejor comprensión y pueden ser útiles para una determinada aplicación.

Ahondar en explicaciones teóricas sobre técnicas de control, que por cierto abundan en este campo, no ha sido el propósito de este trabajo, sino más bien, despertar en toda persona vinculada a esta rama de la ingeniería ( estudiante, técnico, ingeniero, etc. ) el interés en el desarrollo de proyectos o trabajos de aplicación práctica que tanto necesita el País; combinando el aprendizaje teórico con la investigación y la experiencia práctica adquirida en el desempeño profesional.

Deseo expresar de manera especial, mi agradecimiento y reconocimiento al Ing. Rubén Aquize Palacios, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la UNI, por su valiosa colaboración como Asesor y sus aportes teóricos sobre los temas de control inherentes a este trabajo; a mi esposa Consuelo por su apoyo y ayuda constante, así como también, a todos aquellos amigos y empresas que de una u otra forma enriquecieron la información presentada en esta tesis. A todos ellos también, mi profunda gratitud.

## **CAPITULO I DESCRIPCION DEL PROCESO**

### **1.1 Generalidades.**

Las industrias cerveceras se cuentan hoy entre las más tecnificadas del País. La aplicación de modernas tecnologías de control en la automatización de su proceso de fabricación, no solo ha aumentado su producción y productividad, sino que ha mejorado su calidad y reducido significativamente las mermas por manipuleo, embotellado, etc. en su producción.

Los procesos de fabricación de cerveza varían según el tipo de cerveza producida y el país de origen. El esquema mostrado en la figura 1, representa el proceso principal de fabricación de una cervecería típica. En el pueden verse las distintas etapas, que de manera general, a continuación se describen

El **Cocimiento** es la primera operación en el largo proceso de fabricación de cerveza. Lo que se obtiene es el mosto caliente que luego es **enfriado** e inoculado con levadura y enviado a los tanques de fermentación. Aquí la cerveza es **fermentada** a una temperatura y tiempo convenientes según el tipo de cerveza que se produce. De la fermentación se recuperan levadura y CO<sub>2</sub> que luego se reutilizan en el proceso. Desde aquí la cerveza pasa a una etapa de **maduración y estabilización** en condiciones de temperatura y tiempo que también dependen del tipo de cerveza que se produce. La cerveza ya madura pasa a la etapa de **filtración** y luego, si está concentrada, puede diluirse con agua **desaireada**. Esta etapa es la que concierne a esta tesis y es tratada más adelante con detalle. Seguidamente la cerveza es **enfriada y carbonatada** y posteriormente **embotellada, pasteurizada y almacenada**.

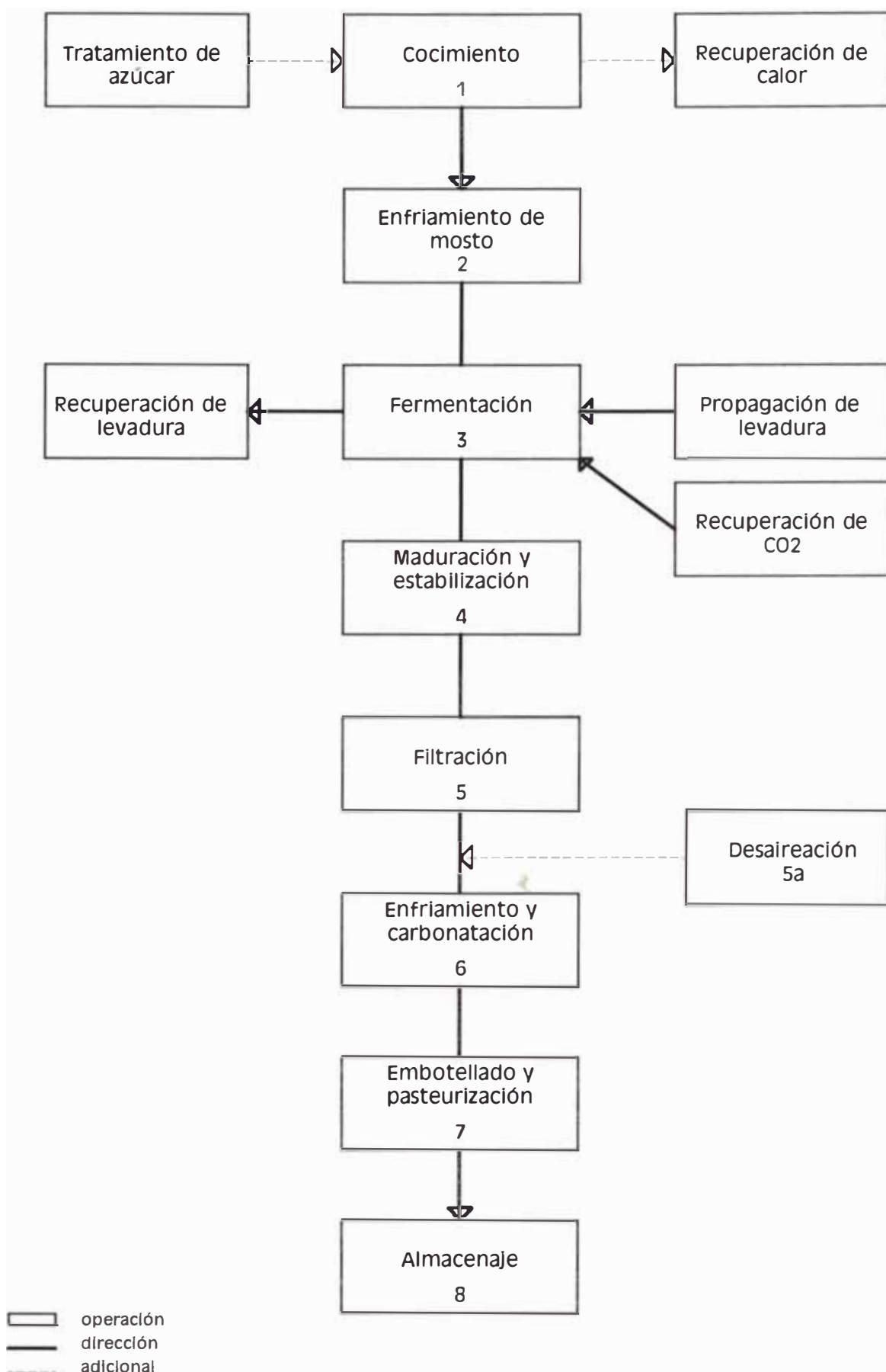


Fig. 1.- Esquema típico del Proceso principal de Fabricación de cerveza.

En la fabricación de cerveza se dan naturalmente otras variantes del proceso que se han obviado, por no ser materia del presente trabajo. El tiempo total que dura el proceso de fabricación de cerveza varía de acuerdo al tipo de cerveza y la fábrica que la produce.

Al elaborarse una cerveza más concentrada, conocida también comúnmente con la denominación inglesa de High Gravity Brewing, para después mezclarla con agua desaireada, se consigue un alivio de la capacidad instalada y un porcentaje significativo de aumento en la producción con el mismo número de cocimientos por día empleados normalmente.

#### **1.1.1 Desaireación de agua.**

En la figura 2 se muestra un esquema típico que representa el proceso de desaireación de agua ( rectángulo 5a-fig.1 ) en una planta cervecera.

El agua tratada a temperatura ambiente y una presión de 35 a 40 PSI es alimentada por medio de una bomba "booster" a un intercambiador de calor para calentarla por regeneración hasta 67°C y luego es pasada a un intercambiador de calor tubular para calentarla hasta los 77°C, antes de introducirla al tanque desaireador y esparcirla como chorro a travez de un sistema de spray. El vapor y aire salen por la parte superior del tanque y son guiados a un condensador y extraídos por una bomba de vacío. Desde la parte inferior del tanque el agua es bombeada otra vez al intercambiador de calor regenerativo para enfriarse y luego es llevada a un enfriador tubular para su enfriamiento final hasta 1°C. Después de salir del intercambiador de calor, el nivel de oxígeno del agua es analizado y registrado, el agua también es carbonatada y luego del enfriamiento final es almacenada en tanques bajo presión de CO<sub>2</sub> ( 10 a 15 PSI ), para evitar una redisolución del aire.

Desairear el agua entonces, es reducir su nivel de oxígeno para evitar un sabor desagradable en la cerveza por efecto de la oxidación, lo cual sería muy perjudicial para la cervecería.

- 1 Entrada de agua tratada.
- 2 Bomba booster.
- 3 Intercambiador de calor.
- 4 Intercambiador de calor tubular.
- 5 Tanque desaireador.
- 6 Condensador.
- 7 Bomba de vacío.
- 8 Bomba de extracción.
- 9 Tablero analizador de oxígeno.
- 10 Cámara de oxígeno.
- 11 Inyector de CO<sub>2</sub>.
- 12 Enfriador final.
- 13 Salida de agua desaireada.

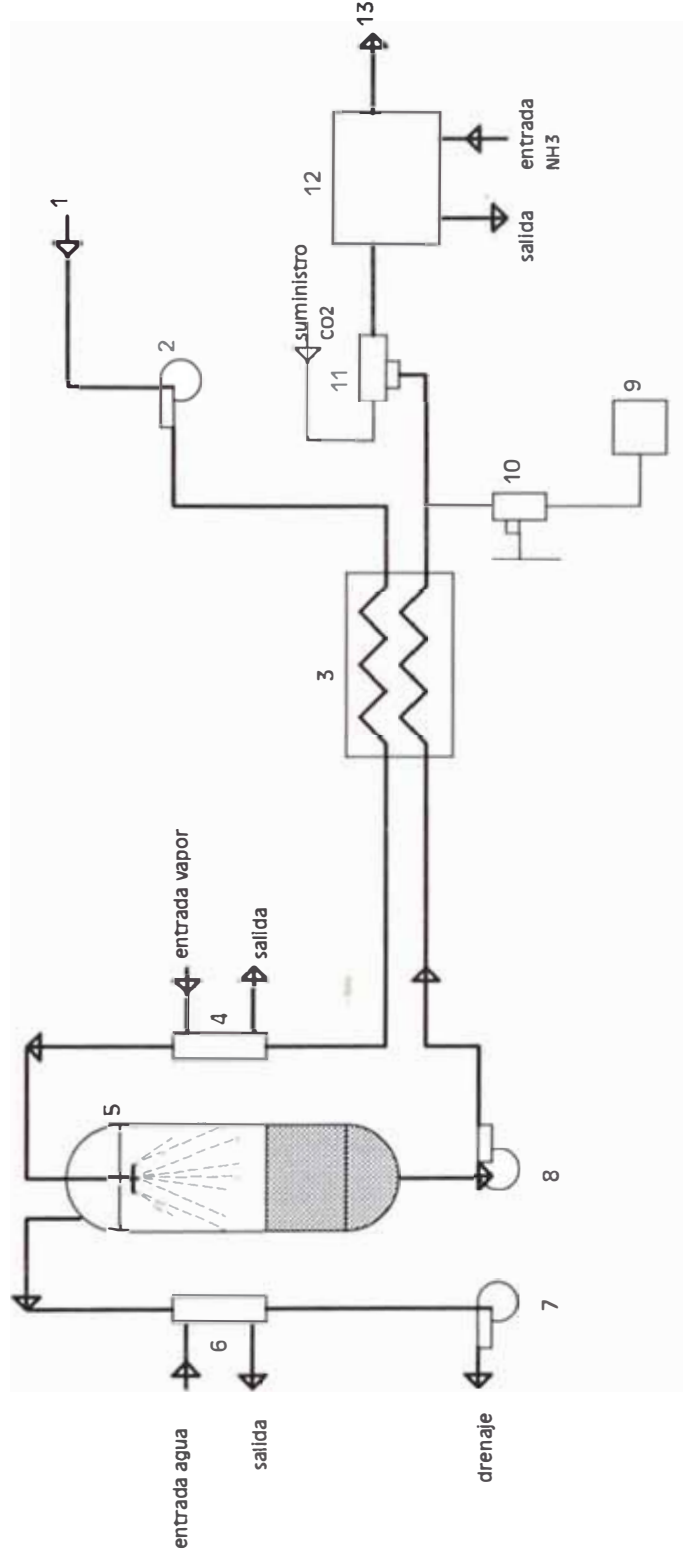


Fig. 2.- Esquema del Proceso de Desaireación de Agua.

### 1.1.2 Proceso de carbonatación.

En la figura 3 se ha representado un esquema del proceso de enfriamiento y carbonatación de cerveza ( rectángulo 6-fig.1 ), esté o no mezclada.

La cerveza filtrada es alimentada a un punto de carbonatación donde se le inyecta CO<sub>2</sub>, pasa a través de un enfriador y a la salida se analiza y controla su volumen de CO<sub>2</sub> y luego es llevada a los tanques de embotellado. Si la medida del volumen de CO<sub>2</sub> es baja, entonces mediante un lazo de control se incrementa este volumen hasta restablecer el valor deseado.

- 1 Entrada de cerveza filtrada.
- 2 Inyector de CO<sub>2</sub>.
- 3 Suministro CO<sub>2</sub>.
- 4 Enfriador de cerveza.
- 5 Carbonatador.
- 6 Controlador de carbonatación.
- 7 Salida de cerveza.

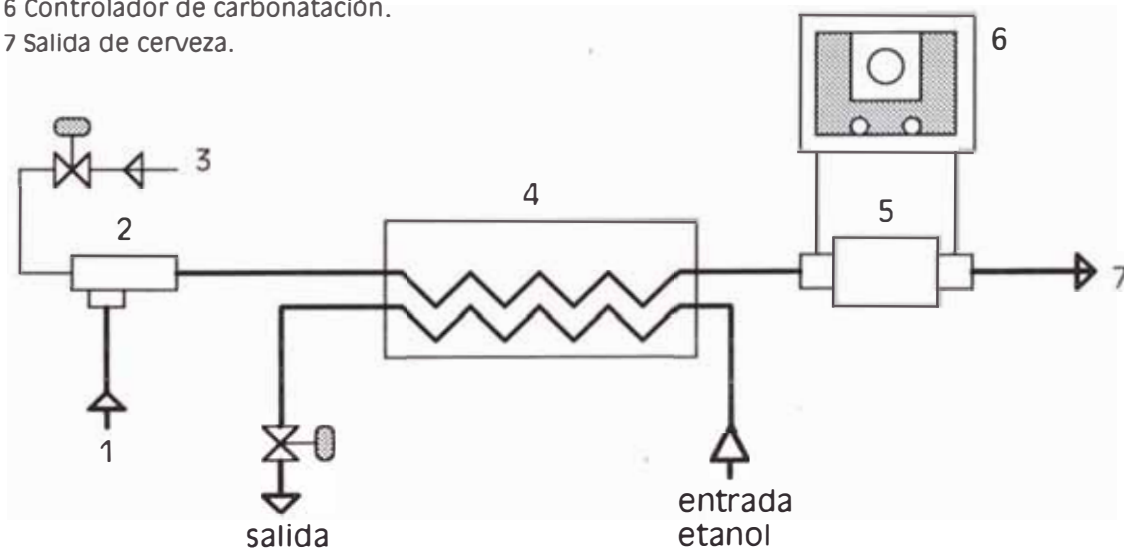


Fig. 3.- Esquema de Enfriamiento y Carbonatación de Cerveza.

### 1.1.3 Proceso de mezcla de cerveza.

El sistema de mezcla conocido como mezcla de Heavy Beer o mosto concentrado, representado esquemáticamente en la figura 4, no es otra cosa que la combinación de proporciones adecuadas de caudal de cerveza concentrada con un determinado caudal de agua desaireada; obteniéndose de ello una cerveza diluida a la densidad requerida, que luego es carbonatada y almacenada en tanques refrigerados para su posterior embotellamiento. Este proceso se lleva a cabo a una temperatura constante de más/menos 3°C ( varía de acuerdo al fabricante ), en ambientes debidamente acondicionados con aislamiento y climatizados.

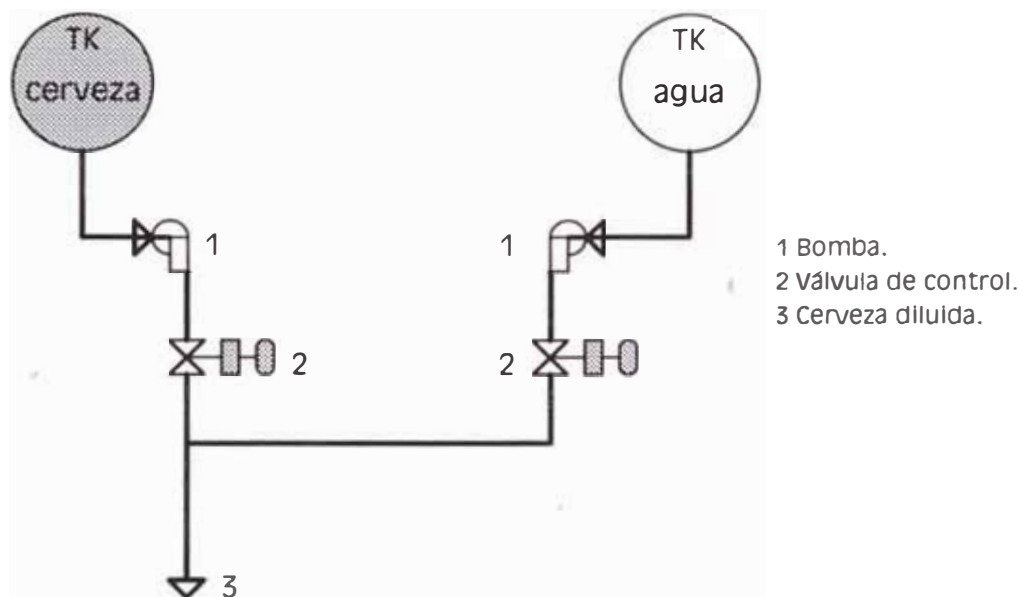


Fig. 4.- Esquema del Sistema de Mezcla de cerveza / agua.

Este proceso tiene dos variables a controlar : el caudal de cerveza y el caudal de agua. Su relación de proporcionalidad es fijada por el maestro cervecero. La medición y regulación son independientes de la viscosidad y densidad de los componentes de la mezcla. Una vez establecido el volumen total de cerveza a producir, el proceso es continuo y la relación de los componentes de la mezcla deberá mantenerse inalterable en todo momento.

Con este conocimiento del proceso, se procede a diseñar la estrategia de control.

## CAPITULO II ESTRATEGIA DE CONTROL

### 2.1 Modelo típico de la planta.

El modelo de proceso se plantea desde un punto de vista de la dimensión de la Planta y los volúmenes de caudal que se suelen dar en la mezcla, para que sirvan de referencia en el análisis y selección del sistema de control más conveniente, entre los muchos que ya existen en el mercado para estos casos. No se trata pues de desarrollar algo nuevo, sino de conocer la realidad práctica de un usuario y combinar la experiencia y el conocimiento en los distintos sistemas de control, para encontrar la solución más adecuada a sus necesidades.

El tamaño de Planta se define en función de la capacidad anual de producción. Según esta se pueden conocer los volúmenes de caudal que manejan. Para este caso los datos escogidos son los siguientes :

- Producción anual de cerveza	400 000 HI
- Número de cocimientos por día	5
- Caudales de mezcla,	
. cerveza concentrada Q1	0-680 HI/H
. agua desaireada Q2	0-170 HI/H
. total del sistema Q3 = Q1 + Q2	0-850 HI/H
- Relación de dilución	25 %
- Temperatura ambiente de mezcla	3°C+/-10%

Por los datos anteriores la Planta definida es de tamaño pequeño, o sea que su nivel de procesamiento no es muy grande.



## **2.2 Selección de la estrategia de control.**

Por las características del proceso explicadas en las secciones 1.1.3 y 2.1, se observa que el objetivo es la obtención de cerveza diluida a una cierta densidad, que dependerá de las proporciones específicas de agua desaireada y cerveza concentrada. Consecuentemente la estrategia de control más aparente para este proceso será de control de relación, con un grado de automatización que satisfaga plenamente las condiciones de operación y permita la flexibilidad para operación manual en caso dado y que además la relación costo prestaciones sea la más conveniente para el usuario.

## **2.3 Estructura del sistema de control y su operación.**

Para resolver el problema de medición y control del proceso de mezcla en este caso, se plantea un circuito de control básico que convine tres operaciones :

- 1.- Medición y transmisión.
- 2.- Control y computación.
- 3.- Acción.

En la figura 5 se muestra el esquema de principio del circuito de control. En este esquema simplificado de caracter ilustrativo, el medidor - transmisor A detecta el caudal en la línea y envía una señal al controlador B. El controlador compara automáticamente el caudal medido con el caudal deseado prefijado y envía una señal a la válvula de control C, para su regulación. La válvula responde aumentando o disminuyendo el caudal de la línea, ajustándolo así a la proporción deseada.

Según el número de variables que se quiera controlar y los requerimientos que se exijan, existen varias alternativas de solución para desarrollar el sistema de control de mezcla, desde las basadas en controladores analógicos hasta las que emplean microcontroladores. Todas ellas tienen ventajas y desventajas que deben ser evaluadas cuidadosamente antes de su aplicación a un caso determinado.

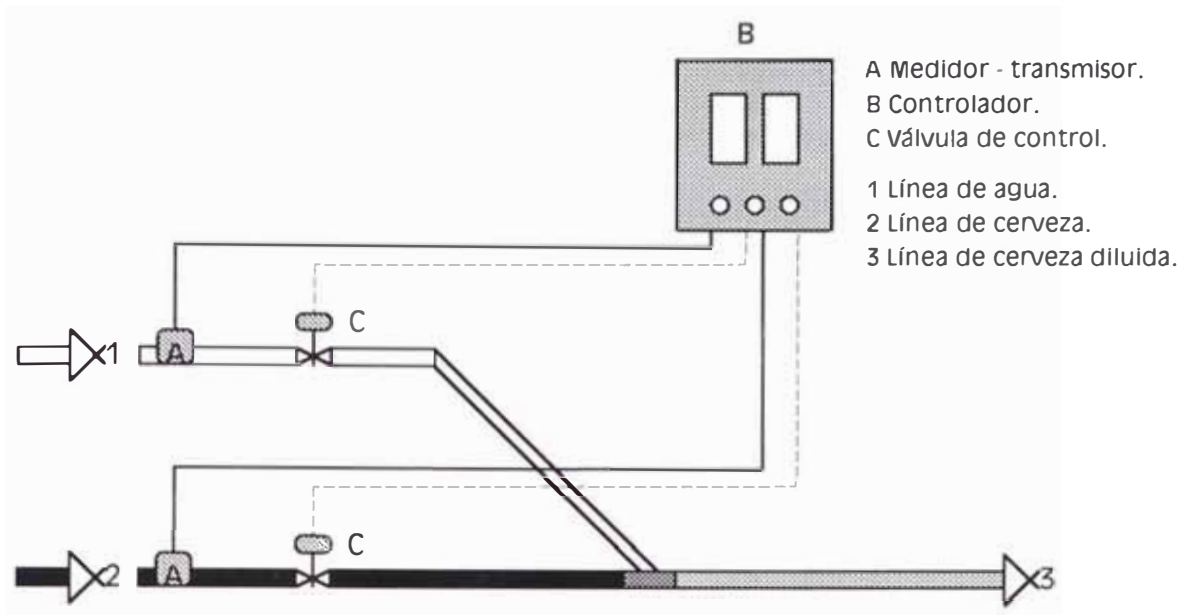


Fig. 5.- Esquema de principio del circuito de control.

Una alternativa de tecnología intermedia que satisface plenamente los requerimientos de este proceso, se elige. Es de costo bajo y está basada en controladores digitales que tratan y procesan la señal que reciben de transmisores magnéticos de caudal y luego generan las señales analógicas de salida que envían a las válvulas de control respectivas, equipadas con transductores de corriente - presión.

El sistema de control de mezcla, así definido, queda conformado por los siguientes elementos básicos :

- a.- Medidores/transmisores magnéticos de caudal.
- b.- Controladores digitales.
- c.- Válvulas de control con transductores de corriente-presión.

El sistema propuesto entonces, utiliza medidores/transmisores magnéticos de caudal cuyas señales son convertidas a pulsos proporcionales al caudal que pasa por ellos. Estos pulsos son monitoreados con una constante de base de un totalizador. Es

preciso establecer una adecuada escala, para convertir los pulsos medidos en una unidad de ingeniería entendible para su lectura en el totalizador.

La proporción del caudal de agua será constantemente reajustada, para que la correcta relación del caudal total de cerveza al caudal total de agua se mantenga.

Si se fija un nivel de demanda final a procesar, un controlador que actúa como unidad maestra, enviará a un controlador de relación los pulsos de señal que representan las proporciones de caudal deseado para la obtención de la cerveza diluida. En el controlador de relación se fijan las proporciones de caudal que se desean. Luego este produce separadamente las señales de demanda que representan los valores deseados de los porcentajes de caudal de cerveza y agua. Estas señales son alimentadas a los controladores de cerveza y agua y constituyen el valor deseado de estos controladores.

Los pulsos medidos por los transmisores de caudal son transmitidos a sus controladores y convertidos a una unidad de ingeniería adecuada para su control y totalización. Estos controladores tienen un contador ascendente-descendente incorporado, para comparar estos pulsos medidos con los pulsos fijados del valor deseado. Cualquier diferencia entre estos es detectada y convertida en una señal de error, la cual se envía a la válvula de control para su regulación.

Si por alguna circunstancia el caudal de cerveza disminuye, un sistema de advertencia de carga haría que el caudal de agua disminuyera también, para mantener la correcta relación de proporcionalidad. Asimismo, si en un determinado momento el caudal de uno de los componentes disminuye y no alcanza la demanda requerida, entonces, este sistema disminuye la demanda total proporcionalmente de tal manera que las correctas proporciones de la mezcla sean mantenidas y continúa mezclando en forma lenta.

La figura 6 muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto, con los componentes internos básicos y su relación exterior.

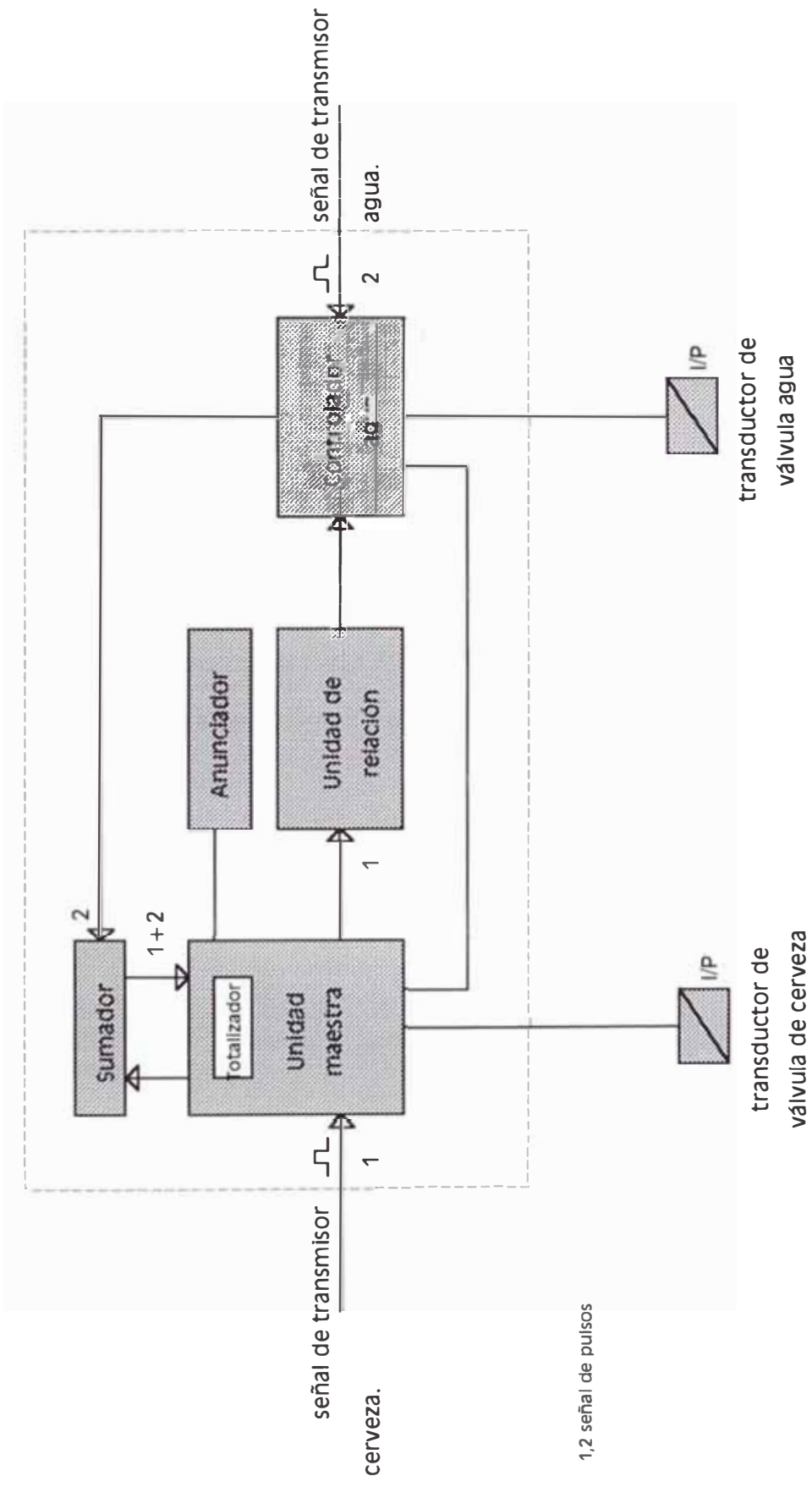


Fig. 6.- Diagrama de bloques del Sistema de Control de Mezcla.

## **CAPITULO III INSTRUMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL**

### **3.1 Introducción.**

Una vez definido el sistema de control para una aplicación dada, no siempre es tan fácil elegir la instrumentación más adecuada. La elección es crítica pues afecta el futuro de la productividad y la inversión puede resultar un fiasco.

Las consideraciones previas a la decisión final, consonantes con lo que se quiere, suelen basarse en evaluaciones técnicas, físicas y económicas, entre otras.

Hoy existen en el mercado de la automatización e instrumentación una variedad de productos que ofrecen la solución a diversos problemas de control de procesos.

Las consideraciones utilizadas para elegir la instrumentación de esta aplicación selectiva, se han agrupado en cinco rubros : fabricante, tecnológico, funcionabilidad, físico y económico.

#### **a.- Fabricante**

- que reúnan las condiciones de experiencia suficiente en sistemas de control e instrumentación,
- que tengan reputación comprobada, y
- que tengan una buena red de distribución, que garantice el servicio post venta de repuestos, asistencia técnica y mantenimiento periódico.

#### **b.- Tecnológico**

- tecnología probada, con un grado de automatización suficiente para un control efectivo y preciso del proceso, bajo las condiciones usuales en la industria,
- que esta tecnología este enmarcada dentro de la realidad que se posea, y

- que permita integrarse en el futuro a un sistema de control computarizado, de acuerdo a la dinámica de crecimiento de la empresa.

c.- Funcionabilidad :

- que sea flexible y permita la operación manual en un caso dado,
- que sea confiable y su operación no se perturbe con vibraciones o temperaturas extremas, y
- que ofrezca el mantenimiento de la mayor seguridad e higiene de operación.

d.- Físico

- que los equipos sean lo suficientemente robustos, de manera que puedan resistir condiciones extremas de operación,
- que sean de fácil instalación, y
- que estén contruidos con los más altos estandard de calidad y normas para locales peligrosos.

e.- Económico

- que sean de costos bajos para que la inversión sea mínima,
- que los productos estén debidamente garantizados contra cualquier defecto de fabricación o mal funcionamiento y que estén certificados para operar dentro de las especificaciones que señalan, y
- que posean buena información técnica.

Con estas premisas y criterios utilizados en la evaluación de varios productos, elegimos la marca Foxboro para los sensores, transmisores y controladores, y la marca Fisher Controls, para los elementos finales de control.

### 3.2 Especificaciones técnicas generales.

Para definir la instrumentación del sistema de control, se han establecido los requerimientos esenciales que deben cumplir los equipos, así como sus características físicas; para lograr la mejor performance en operación.

Las especificaciones son las siguientes :

## a.- Características de operación

- Voltaje de alimentación	.....	120/240V +/-10%, 60Hz.
- Consumo de potencia	.....	150 a 300 V.A. máximos.
- Temperatura de operación	.....	0 a 50 °C.
- Señales de entrada		
. Pulsos de entrada	.....	desde controladores o transmisores de caudal .
* sensibilidad		4 a 50 V p.p, con tiempo menor que 25 microseg. Inoperante con señales menores que 1,5 V p.p.
* rango		0 - 5000 pulsos / seg.
. Control remoto de proporción	.....	opcional.
. Operación remota	.....	opcional.
- Señales de salida		
. Analógica	.....	4 a 20 mA., con carga de 600 ohm, para control de válvula.
. Arranque externo	.....	para bombas de mezcla.
. Alarma de bajo flujo	.....	si
. Alarma externa	.....	para activar una bocina.

## b.- Rendimiento

- Precisión	.....	+/- 1 cifra de conteo total.
-------------	-------	------------------------------

## c.- Características físicas

## - Montaje :

Todo el equipo será montado en un panel autosoportado, prealambrado, con su regleta de bornes y sistemas de protección. Deberá contar con espacio suficiente

para arrancadores de las bombas de mezcla y otros instrumentos futuros.

- Clasificación eléctrica

Todo lo aplicable a locales peligrosos.

- Dimensiones :

Según fabricante, pero no mayores a 1,80 m. de alto x 1m. ancho x 0,50 m. de profundidad.

### **3.3 Selección de la instrumentación.**

La instrumentación elegida que satisface las especificaciones técnicas y las consideraciones tratadas en la sección 3.1, es la siguiente :

- Un ( 1 ) Sistema Digital de Control de Mezcla - Serie 99P denominado Blendtrol de Foxboro, que incluye : un (1) controlador maestro con totalizador, dos (2) controladores de caudal para cerveza y agua, un (1) controlador de relación y una (1) unidad anunciadora de alarma; todos prealambrados y ensamblados en su compartimiento metálico.

- Un ( 1 ) medidor magnético de caudal de 2" de diámetro, 120V, monofásico, 60 Hz., con transmisor E96 de pulsos graduado a una escala de 0 - 170 HI / H para agua, Foxboro.

- Un ( 1 ) medidor magnético de caudal de 3" de diámetro, 120V, monofásico, 60 Hz., con transmisor E96 de pulsos graduado a una escala de 0 - 680 HI / H para cerveza concentrada, Foxboro.

- Una ( 1 ) válvula mariposa de 2" de diámetro, operada con aire de 3 - 15 PSI, tipo 8500, con transductor I / P tipo 546 para agua, Fisher.

- Una ( 1 ) válvula mariposa de 3" de diámetro, operada con aire de 3 - 15 PSI, tipo 8500, con transductor I / P tipo 546 para cerveza concentrada, Fisher.

- Un ( 1 ) filtro - regulador de aire Fisher, con manómetro y rango de 3 - 15 PSI, 1/4 NPT, para las válvulas de control.



A continuación se describen las características de funcionamiento más saltantes de los instrumentos del sistema de control.

### **3.3.1 Sensores.**

Son los encargados de la medición del caudal de cada componente de la mezcla. Su funcionamiento está basado en el principio de inducción magnética de Faraday. Producen una salida analógica pequeña del orden de 0 - 30 mV ac. proporcional al caudal que pasa por ellos y que es recogida por los transmisores.

### **3.3.2 Transmisores.**

Son instrumentos electrónicos que amplifican la señal de salida de los sensores y luego la convierten en pulsos que son enviados a los controladores para la medida instantánea y total del caudal del proceso.

### **3.3.3 Elementos finales de control.**

Son las válvulas de control que están en contacto directo con el proceso. Vienen con un transductor electroneumático incorporado que acepta entradas analógicas del orden de 4 a 20 mA. dc. y suministra una salida de aire de 6 a 30 PSI, para el accionamiento de la válvula. Requiere un suministro de aire de 35 PSI.

### **3.3.4 Controladores.**

El sistema digital de control de mezcla Blendtrol Serie 99P de Foxboro, es un paquete de control completo que está diseñado para mezclar 2 a 6 componentes en forma continua. Vienen en dos versiones : Standard y Wildstream. Se ha elegido este ultimo por ser el más sencillo y adecuado a los requerimientos del presente trabajo.

En este sistema la señal proporcional de demanda patrón es recibida a través de una unidad maestra, desde un medidor de caudal y escalada a una medida conveniente de ingeniería para su conteo total. Esta señal estandarizada es enviada a una unidad de relación de mezcla como la señal de demanda patrón. En la unidad de relación se fijan las proporciones de los componentes de la mezcla, produciéndose las salidas de demanda que representan los porcentajes de la demanda total de cada componente.

Cada señal es alimentada a su respectivo controlador como la señal de valor deseado. De producirse una diferencia con la señal medida por el controlador, este envía una señal de corriente a la válvula de control para corregir el error.

El equipo completo consta de las siguientes partes :

a.- Controlador maestro.

Es la unidad patrón que tiene todos los controles y la lógica requerida para operar el sistema. Acepta pulsos de entrada desde un transmisor de caudal, los escala y genera una señal patrón de demanda proporcional al caudal medido. Incluye :

- Totalizador,

que es un contador electromecánico de 6 dígitos, para fijar la demanda total.

- Indicador de corriente de válvula,

señala la corriente de salida a la válvula de control.

- Interruptor remoto-local,

sirve para ajustar la corriente de salida a la válvula de control.

- Pulsadores de operación,

para correr y parar la mezcla, borrado, cese de alarma, etc.

b.- Controladores.

Proporcionan un control digital de cada componente de la mezcla, comparando los pulsos medidos desde un transmisor de caudal con los del valor deseado y producen la señal de salida analógica que pasan a la válvula de control, para corregir cualquier desviación detectada. Poseen un controlador de "marcha", que detecta cuándo el caudal de un componente de la mezcla a bajado y no puede alcanzar lo exigido por la demanda; entonces, el controlador baja proporcionalmente la demanda hasta que la relación de mezcla sea mantenida correctamente. Ante esta situación, el sistema continúa la mezcla en proporciones bajas. Incluyen :

- Totalizador electromecánico de 6 dígitos, para indicación continua del caudal que se mide.

- Indicador de salida de corriente para válvula de control.
  - Interruptor automático-manual
  - Indicador porcentual de caudal instantáneo.
- c.- Controlador de relación.

Es la unidad donde se fijan los porcentajes de cada componente de la mezcla, en relación con la demanda total. Acepta la señal patrón de demanda que envía la unidad maestra y genera los pulsos de valor deseado para los controladores, de acuerdo a los porcentajes establecidos para cada componente.

d.- Unidad anunciadora.

Es la que proporciona una indicación visual del comportamiento del sistema, mostrando una señal luminosa parpadeante en caso de anormalidad. Tiene señales de "fin de mezcla", "error", "bajo caudal", "estación manual encendida", "marcha lenta" y salida para bocina.

### 3.3.5 Líneas de conexión.

En las conexiones externas al sistema de control propuesto hay que distinguir dos :

a.- Eléctricas.

Corresponden a la alimentación del circuito de control y las líneas de señal a los transmisores y elementos finales de control.

- La alimentación al circuito de control será con cable 2x14AWG-THW + 1 Neutro en tubería conduit galvanizada SAP de 3/4" de diámetro y protegida con fusible de 5 Amp. de quemado lento. Esto también es válido para los cables de alimentación de fuerza a los medidores magnéticos de caudal.

- Los cables de señal entre los medidores y transmisores, así como también a los elementos finales de control serán del tipo blindado o apantallado de dos conductores calibre #18AWG flexibles, e irán instalados en tubería conduit galvanizada SAP de 3/4" de diámetro, separados de los cables de fuerza. Los cables de señal serán

suministrados en longitudes apropiadas para este propósito, por los suministradores de los equipos.

b.- Neumáticas.

Corresponden a las líneas de suministro de aire a los transductores electroneumáticos de las válvulas de control.

- El aire para este fin será limpio y seco, de 60 PSI y será suministrado al sistema a través de un filtro-regulador de aire, con regulación de salida de 3 a 35 PSI leída en manómetro incorporado. Las conexiones de salida serán de 1/4 NPT.

- Las líneas de salida neumática a los transductores de las válvulas serán de plástico, flexibles, de 1/4" de diámetro.

### **3.4 Configuración del sistema de control de mezcla de cerveza.**

Luego de definir la instrumentación, se procede a configurar el sistema de control de mezcla de cerveza, conforme la estructura planteada en el capítulo II y tal como se muestra en la figura 7. En este esquema simplificado se han representado las partes del sistema y sus interconexiones externas con los sensores y los elementos finales, completando así el lazo de control de relación del proceso planteado.

Las variables medidas son el caudal de cerveza concentrada y el caudal de agua. La implementación del sistema quedó definida en la sección 3.3 y las señales del proceso estarán dentro de las especificaciones dadas en la sección 3.2 de este capítulo. Se consigue así el objetivo trazado y el propósito de esta tesis, poniendo en práctica una técnica de control automático de variables existente, basada en el lazo cerrado de control largamente utilizado en la regulación de procesos industriales.

Los valores que aparecen en los controladores, han sido obtenidos en el cálculo para la determinación de la escala de medida de los pulsos para este caso, y pueden verse en la sección 3.5 de este capítulo.

Este diseño de sistema de control digital, basado en controladores Foxboro, está concebido para una aplicación situada junto al proceso.

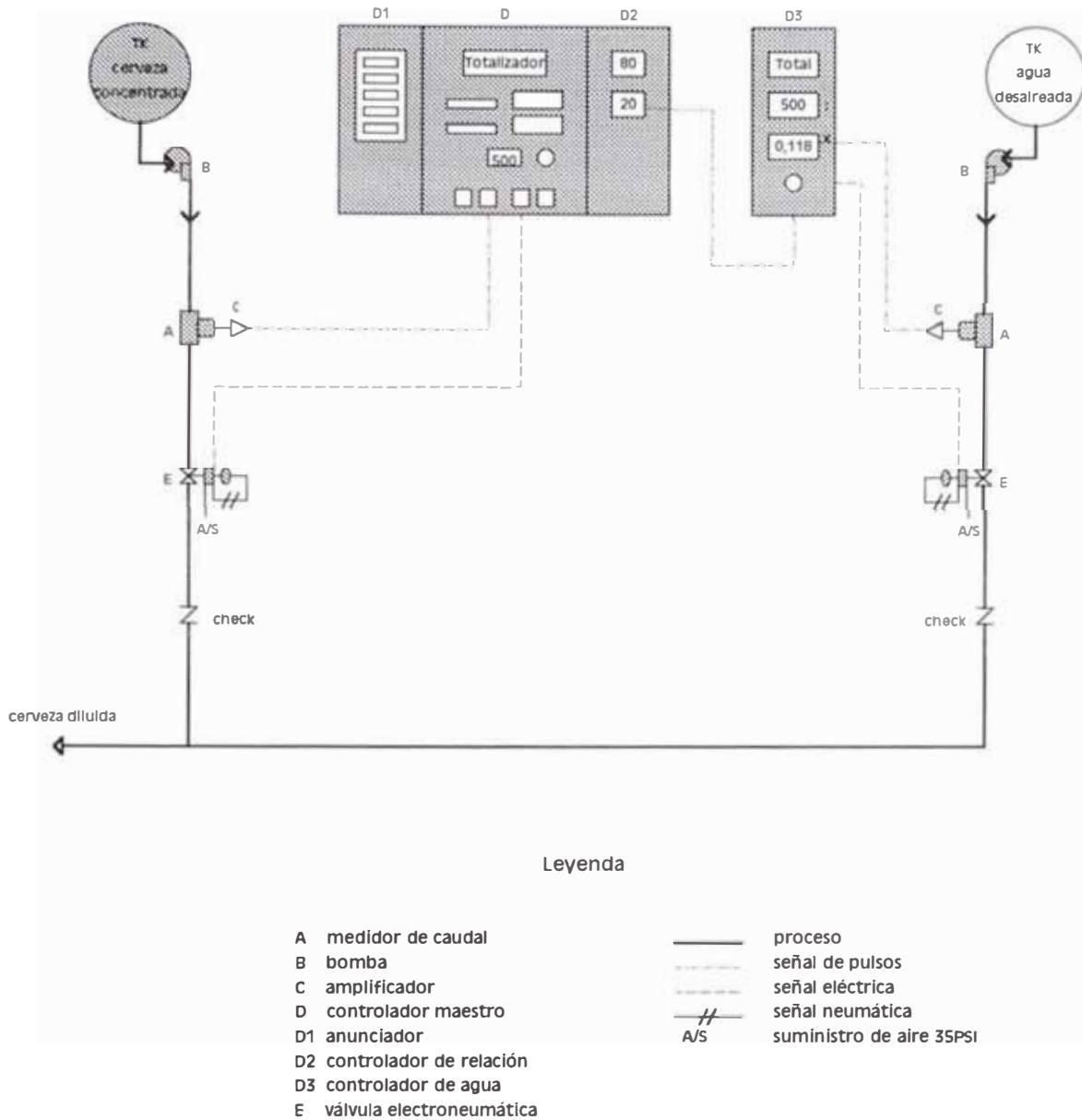


Fig. 7.- Esquema del Sistema de Control de Mezcla de Cerveza

### 3.5 Escalización de los controladores del sistema de mezcla.

Para cumplir con la relación de proporción, que para este caso es de 20 % de agua y 80 % de cerveza concentrada, requerimos escalar los controladores en base a la frecuencia patrón y los pulsos producidos por el proceso en las líneas de agua y cerveza; de acuerdo al procedimiento recomendado por el fabricante de los controladores, que es como sigue :

1.- Calcular la señal de demanda  $K_{mo}$  de la unidad maestra mediante la siguiente fórmula :

$$K_{mo} = \frac{F \times 3600 \text{ seg.}}{Q_t}$$

donde :

F = frecuencia de salida del oscilador maestro = 1180.55 pps.

$Q_t$  = caudal proyectado del sistema de mezcla en unidades/H

Para este caso 850 HI/H

$K_{mo}$  = señal de demanda de la unidad maestra en pulsos/unidad.

Resolviendo :

$$K_{mo} = 1180.55 \times 3600 / 850 = 5000 \text{ pulsos / HI.}$$

Para hallar el K de cada componente de la mezcla, se usa la misma fórmula, pero con la frecuencia del transmisor de caudal, que en este caso tienen el mismo valor para el agua y la cerveza y es de 2000 pps.

Aplicando :

- para la cerveza  $K_c = 2000 \times 3600 / 680 = 10588.23 \text{ ppHI.}$

- para el agua  $K_a = 2000 \times 3600 / 170 = 42352.94 \text{ ppHI.}$

2.- Selección del factor de escala.

Para igualar los pulsos de demanda de la unidad maestra con los medidos por los transmisores de cada componente, se tiene que seleccionar un factor de escala que viene dado por la siguiente fórmula

$$\text{Factor escala } S_f = \frac{\text{N}^\circ \text{ de pulsos de demanda}}{\text{N}^\circ \text{ de pulsos medidos}}$$

Su valor aceptable está entre 0.0001 y 1.9999

Aplicando :

- para cerveza  $S_{fc} = 5000 / 10588.23 = 0.4722$

- para agua  $S_{fa} = 5000 / 42352.90 = 0.1180$

Estos factores son aceptables y se usan para programar sus respectivos controladores.

### 3.- Selección del factor divisor del totalizador.

Se usa en el controlador de agua y la unidad maestra, cuando se desea que cada cifra contada represente un múltiplo o submúltiplo de la unidad escogida.

Ejemplo : unidad escogida Hl y se desea que cada cifra del totalizador represente 10, 0.1, etc. Hl, entonces, se procede a calcular el factor divisor del totalizador mediante la siguiente fórmula :

$$D_f = (K_s) \cdot N$$

donde :

$D_f$  = factor divisor del totalizador.

$K_s$  = es el K de cada componente hallado anteriormente.

$N$  = número de unidades que representa cada cuenta del totalizador.

Para el caso propuesto se desea tener un totalizador en Dl, es decir 1 pulso / Dl

Aplicando para la unidad maestra y el controlador de agua :

$$D_f = (5000 \text{ pulsos/Hl}) \cdot (0.1 \text{ Hl/pulso}) = 500$$

Para determinar si la proporción del totalizador es aceptable ( debe ser menor que 10 pps. ) se aplica la siguiente fórmula :

$$T_r = \frac{\frac{Q_{\text{máx}} \times K}{3600 \text{ seg.}}}{D_f}$$

donde :

$T_r$  = proporción del totalizador.

$Q_{\text{máx}}$  = caudal máximo de la mezcla o  $Q_t$  para la unidad maestra.

$K$  = el  $K_s$  de cada componente y  $K_{\text{mo}}$  para la unidad maestra.

$D_f$  = factor divisor del totalizador.

Aplicando :

- para la cerveza que es el componente de mayor caudal,

$$T_r = \frac{\frac{680 \times 5000}{3600}}{500} = 1.88 \text{ pps}$$

- y para la unidad maestra,

$$T_r = \frac{\frac{850 \times 5000}{3600}}{500} = 2.36 \text{ pps.}$$

Estos resultados son aceptables, porque son menores que 10 pps.

4.- Cálculo de la relación.

Se hallan los porcentajes de cada componente de la mezcla :

$$\% \text{ de cerveza} = ( 680 / 850 ) \times 100 = 80\%$$

$$\% \text{ de agua} = ( 170 / 850 ) \times 100 = 20\%$$

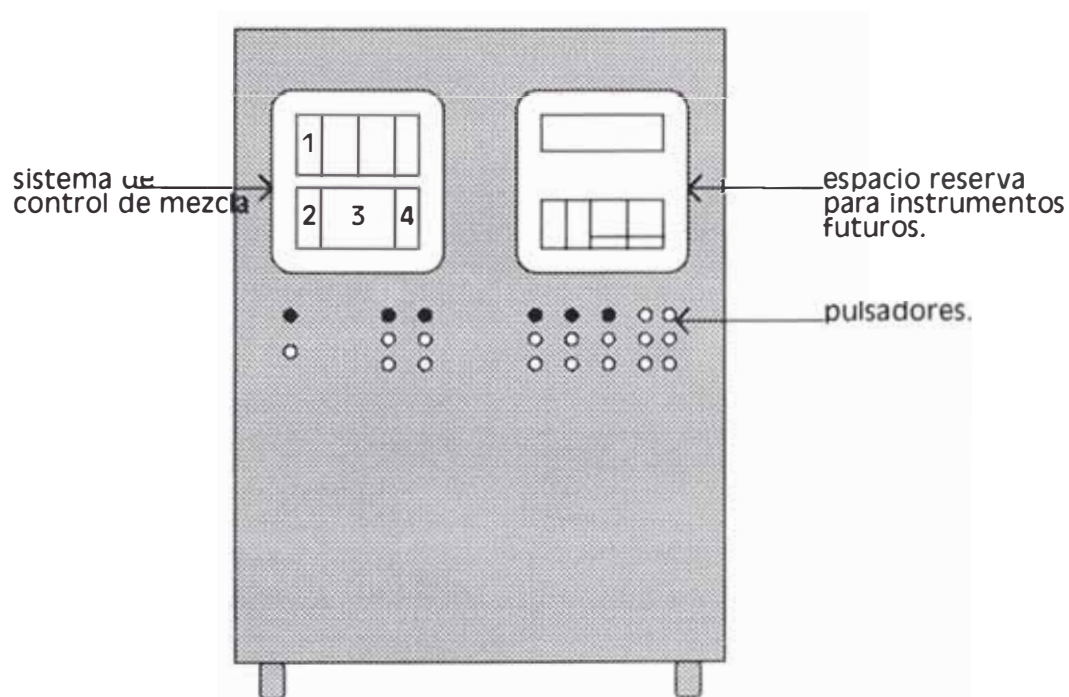
Con estos resultados ya se pueden programar los controladores.



### 3.6 Diagrama de conexiones externas, señalización y alarma.

Ver la figura 8, donde además de los sensores y elementos finales de control, se muestran las conexiones eléctricas con los arrancadores de las bombas.

### 3.7 Panel de control.



- 1 controlador de agua.
- 2 anunciador.
- 3 unidad maestra.
- 4 unidad de relación.

Fig. 9.- Esquema del panel de control del Sistema de Mezcla de Cerveza.

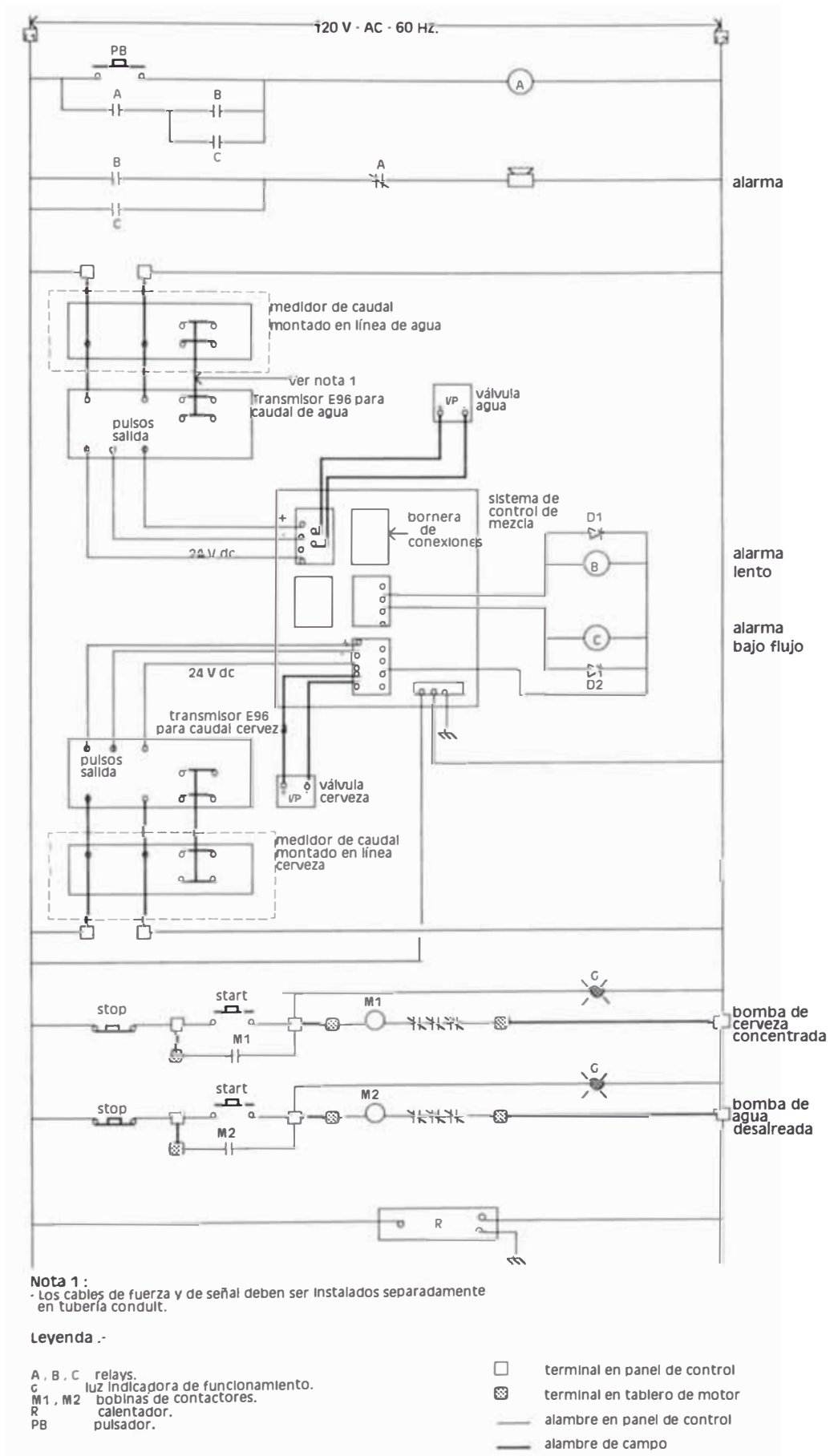


Fig. 8.- Diagrama eléctrico de conexiones externas, señalización y alarma.

## **CAPITULO IV COSTOS**

### **4.1 Introducción.**

Los costos considerados en el presente proyecto están referidos a los dispositivos de control, tales como : sensores y transmisores, controladores digitales y elementos finales de control. Son una estimación promedio basada en las ofertas de los principales distribuidores que existen en nuestro medio para este tipo de productos, ya que no se fabrican en nuestro País, además de un cotización referencial para una cervecería pequeña de la Cía. A.P.V. Company Inc. de Tonawanda, Nueva York U.S.A. En las estimaciones de costos se ha trabajado con un margen de error de +/- 10%.

Los costos son FOB en D.A. ( dólares americanos ) y no incluyen flete ni gastos de aduana. Tampoco se consideran costos relativos a Dirección Técnica, instalaciones previas para el montaje, pruebas y puesta en operación del sistema.

Los montos consignados en el cuadro de costos que sigue más adelante, tienen sólo carácter referencial para el propósito de este proyecto; para el caso de una aplicación determinada, deben confirmarse previamente con los representantes autorizados de las marcas elegidas.

### **4.2 Cuadro de costos del equipamiento.**

El siguiente cuadro de costos esta basado en las consideraciones dadas en la introducción y deberá ser tomado sólo como una referencia. En el ítem de varios están consignados gastos menores de materiales, repuestos y otras contingencias de esa índole que suelen presentarse en el envío.

Montos en dólares americanos.

Item	Cant.	Descripción	C. Unit.	C. Total
1	1	Sistema Digital de Control de Mezcla	15 000	15 000
		Serie 99P Blendtrol Foxboro que incluye :		
		- Panel de Control de Ac. Inox. prealam-		
		brado con todos sus accesorios.		
		- Controlador Maestro con totalizador.		
		- Controlador de caudal.		
		- Controlador de relación.		
		- Unidad anunciadora.		
2	2	Medidores magnéticos de caudal con	3 000	6 000
		transmisores E96 Foxboro de 3" y 2"		
		de diámetro, 120 V AC, 60 Hz.		
3	1	Válvula mariposa de control tipo 8500	2 000	2 000
		con transductor electroneumático Tipo		
		E 546 de 2", 3 a 15 PSI, Fisher.		
4	1	Válvula mariposa de control tipo 8500	2 500	2 500
		con transductor electroneumático tipo		
		E 546 de 3", 3 a 15 PSI, Fisher.		
5	1	Filtro-regulador de aire, con manómetro	100	100
		de rango 5 a 35 PSI, 1/4 NPT, Fisher.		
6	Est.	Varios.	100	100
				=====
<b>COSTO TOTAL FOB USA</b>				<b>\$ 25 700,00</b>

## CONCLUSIONES

Muchas veces los industriales y los ingenieros de planta, en el momento de elegir un equipo nuevo para automatizar un determinado proceso, se hacen las siguientes preguntas : ¿ qué equipo elegir ?, ¿ qué tecnología usar ?, ¿ cuál es el equipo que ofrece más ventajas y satisface mejor sus necesidades ?, ¿ se justifica el gasto o la inversión en equipos de alta tecnología que operarían con pocos lazos de control, desperdiciando su capacidad ?, ¿ hasta qué punto un determinado sistema resulta más conveniente a sus planes de expansión ?. Estas y otras , sin considerar las de carácter humano, son las cuestiones que tienen que resolver.

Encontrar un equipo ideal a sus requerimientos, es casi siempre un gran reto que los ingenieros tienen que asumir. No siempre la elección termina en la adquisición de equipos sofisticados de alta tecnología, muchas veces caros y que no resuelven todos sus problemas; en muchos casos la solución se encuentra en el uso de equipos de tecnología intermedia que se adaptan mejor a sus planes de crecimiento.

El sistema digital de control de mezcla propuesto es muy versátil, asegura la automatización del proceso y la exactitud de la relación de los componentes, eliminando por completo la posibilidad de remezclado. Los gastos de implementación e instalación son reducidos, así como los costos de operación, porque no requieren grandes modificaciones en la línea de proceso para su adaptación. Por otro lado, pueden formar parte de un proyecto más integral que contemple, por ejemplo, el control de agua desaireada que se usa en la mezcla y el control de carbonatación de cerveza. Tal sugerencia es perfectamente posible y viable con el uso de estos equipos.

El sistema propuesto está capacitado para mezclar hasta 6 componentes en forma continua y con gran exactitud. Los componentes electrónicos que lo conforman son de gran confiabilidad y flexibilidad, pues permiten, mediante una apropiada interface su interconexión con equipos como, PLCs Simatic S5-115U de Siemens o de la línea Comutec de Endress + Hauser entre otros, creándose una central de procesamiento de datos de los registros de producción de mezcla con fecha y hora de realización. Se complementa bien con indicadores analógicos, compensadores de temperatura, correctores de gravedad específica, etc. que tengan que ver con el proceso de mezcla.

Sistemas similares ya se encuentran operando en varias cervecerías del País con excelentes resultados, como es el caso de Compañía Nacional de Cerveza - Pilsen Callao, Sociedad Cervecera de Trujillo - Pilsen Trujillo, entre otras; sin que hasta el momento se hayan reportado quejas por fallas de diseño o mal funcionamiento.

Finalmente, hay que decir, que las marcas Foxboro y Fisher Controls elegidas para implementar este sistema de control, son empresas reconocidas mundialmente y líderes en el campo de la automatización y la instrumentación, lo cual es ya una garantía de credibilidad, innovación y servicio.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Manual del Cervecerero - Pub. de la Asociación de Maestros Cerveceros de América.
- 2 Fisher & Porter, Manuales de Instrucción 10D1418A y 50PR1000 Medidores y Convertidores magnéticos de caudal.
- 3 Foxboro, Manuales de Instrucción 2198 y 2233. Sistema de Control Digital de Mezcla Blendtrol.
- 4 Dorf, Richard C. Sistemas Automáticos de Control.
- 5 Kúo, Benjamín C. Sistemas Automáticos de Control.
- 6 Marcombo Ed. Transductores y Medidores Electrónicos.
- 7 Ogata K., Ingeniería de Control Moderna.