

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**Automatización de una línea de producción de jaleas y  
mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala**

Karen Vanessa Cordero Morales

Guatemala

2,006



**Automatización de una línea de producción de jaleas y mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

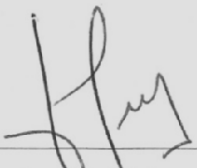
**Automatización de una línea de producción de jaleas y  
mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala**

Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Química

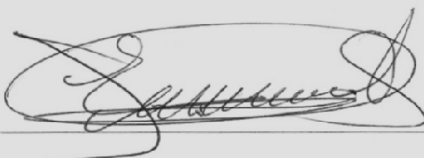
Guatemala

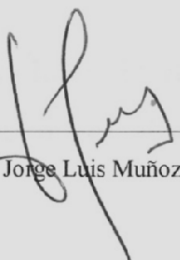
2006

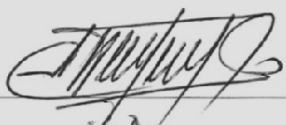
**Vo. Bo.**

(f):   
Ing. Jorge Luis Muñoz  
Asesor

**Tribunal:**

(f):   
Ing. José Eduardo Calderón García

(f):   
Ing. Jorge Luis Muñoz

(f):   
Ing. Alejandro Hidalgo

Fecha de aprobación: 23 de mayo de 2006.

# PREFACIO

Los procesos de elaboración de alimentos han desempeñado un papel muy importante en la actividad industrial de Guatemala. El propósito de esta investigación es presentar una descripción somera de uno estos procesos, la fabricación de jaleas y mermeladas y la importancia de la automatización de una línea de producción disminuyendo los tiempos perdidos para aumentar la producción diaria.

El contenido de este trabajo está dirigido a todos aquellos interesados en conocer el proceso de fabricación de jaleas y mermeladas a nivel industrial. En especial, la forma de mejorar la eficiencia de las operaciones utilizando sensores y sistemas de control automático.

En esta investigación se describen los fundamentos utilizados en la selección de los dispositivos que conforman el sistema de control automático.

Finalmente, se presenta el análisis económico realizado para justificar la implementación de la automatización y demostrar la factibilidad financiera del proyecto.

Agradezco al Director General de la fábrica de alimentos en estudio y a las personas de la planta que fueron parte importante en la realización de la presente investigación. Al Ingeniero Jorge Muñoz por guiarme y asesorarme de la mejor manera. Por último, pero no con menos importancia deseo expresar mi agradecimiento a mi familia por el gran apoyo y ayuda durante toda mi carrera.

## **RESUMEN**

Este trabajo trata sobre la automatización de una línea de producción de jaleas y mermeladas. Actualmente el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala, es un proceso completamente manual, lo cual ocasiona muchos tiempos perdidos, que al minimizarse harían que el proceso fuera óptimo, aumentando el nivel de producción.

Se determinó que la etapa de cocción y empaque de las jaleas y mermeladas conlleva la mayor cantidad de tiempo. Con este proyecto se propone la automatización de esta etapa para la minimización de los tiempos perdidos y del producto no conforme, así como la incorporación de un sistema de trazabilidad de las materias primas y producto terminado.

Para seleccionar los dispositivos del sistema de control automático, se determinaron las variables del proceso y el rango de las mismas, se consultó con proveedores y se seleccionaron los instrumentos para medir y controlar el proceso. Se diseñó el sistema de control y se determinó el procedimiento nuevo para la elaboración de jaleas y mermeladas, con base a una receta guía. Se logró minimizar un total de 33.33 % del tiempo utilizado en la cocción y empaque de las jaleas y mermeladas, lo cual significó la realización de un lote adicional por día.

Luego de realizar el estudio técnico, se hizo un análisis económico para determinar la factibilidad financiera del proyecto utilizando el flujo de efectivo de la línea de producción con un préstamo para cubrir la inversión inicial. El flujo de efectivo muestra un valor positivo en el segundo año, lo cual muestra que la inversión inicial tiene un tiempo de recuperación (TR) de 1.17 años; la tasa interna de retorno (TIR) es de 63 %, y el valor actual neto (VAN) es positivo y mayor que la inversión inicial y los costos de producción, lo cual muestra que el proyecto puede ser implementado.

# ABSTRACT

The present study deals with the automation of a jam and jelly production line. At this time the elaboration process of jam and jelly in a food factory in Guatemala, is a totally manual process, which causes a lot of wasted time in the production line; minimizing this actual wasted times would make the process optimum increasing the production level.

With observation of the production process, it has been determined that the cooking and the packaging time of the jam and jelly takes more than the elaboration time in the production line. In this study an automation project of this stage is proposed to minimize the wasted time and the reduction of product out of specifications; this would be accomplished with the incorporation of a traceability system for the raw material and finished product.

In order to select the devices for the automatic control system, process variables were identified and the range of influence they had in the process; the instruments and hardware were also identified to measure and control the process; various specialists in control solution processes where consulted and one was selected. The control system was designed and a new process flow was defined for the preparation of the jam and jelly following a recipe.

Using data and specifications of the control process, a reduction of 33.33% of the elaboration time was projected; this time would be enough for the production of an additional product unit per day.

Additional to the technical feasibility of the project, an economic analysis where conducted, in order to determine the financial feasibility of the project using the cash flow for the production line with a loan to cover the initial inversion. The cash flow shows a positive value over the second year, which leads us to know that the initial financial inversion has a return of investment time (ROI) of 1.17 years, the initial return rate of the cash flow is 63%, and the net present value is positive and greater than the initial inversion and the production costs; this shows that the project would be feasible if it were implemented.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
A.    Jaleas y mermeladas.....	2
1.    Definición de jaleas y mermeladas.....	2
2.    Proceso de producción de jaleas y mermeladas.....	2
B.    Control automático.....	4
1.    Definición.....	4
2.    Breve historia.....	4
3.    Control automático clásico.....	4
4.    Representaciones de los sistemas clásicos de control.....	5
5.    Lazo de control.....	6
6.    El control lógico y el PLC.....	12
C.    Sensores en línea.....	14
1.    Sensores para condiciones de proceso.....	14
D.    Control para procesos discontinuos.....	18
1.    Operación de los procesos discontinuos.....	19
2.    Equipos y procedimientos de control.....	20
<b>III. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>25</b>
1.    Objetivo general.....	25
2.    Objetivos específicos.....	25
<b>V. PROBLEMA A RESOLVER.....</b>	<b>26</b>
<b>VI. METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>VII. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
A.    Descripción del proceso actual.....	29
B.    Diagrama de operaciones del proceso actual.....	31
C.    Diseño del proceso automatizado de la línea de producción de jaleas y mermeladas.....	34

a)	Formulación de una receta de una mermelada para diseñar el sistema de control automático. ...	34
b)	Variables del proceso.....	34
c)	Rango de las variables .....	35
d)	Sistema de control automático.....	35
e)	Diseño del proceso de elaboración de la receta guía .....	37
D.	Diagrama de operaciones con el sistema de control automático.....	41
<b>VIII.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>IX.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>X.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>XI.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>XII.</b>	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>53</b>

# LISTA DE CUADROS

Tabla 1 Instrumentos de medida.....	6
Tabla 2 Tipos de controladores .....	7
Tabla 3 Sistemas de transmisión de señales .....	7
Tabla 4 Fórmulas de cálculo.....	10
Tabla 5 Rango de las variables del proceso.....	35
Tabla 6 Etiqueta de información con código de barras para la materia prima.....	38
Tabla 7 Flujo de efectivo, Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno .....	46
Tabla 8 Especificaciones del transmisor de presión .....	56
Tabla 9 Especificaciones de la válvula de control del vapor .....	58
Tabla 10 Especificaciones del transmisor de temperatura .....	59
Tabla 11 Especificaciones del transmisor de caudal volumétrico .....	60
Tabla 12 Especificaciones de la válvula de control del caudal del agua .....	61
Tabla 13 Especificaciones de los transmisores de masa .....	62
Tabla 14 Especificaciones de la válvula de control de llenado de producto terminado .....	63
Tabla 15 Especificaciones del transmisor .....	64
Tabla 16 Especificaciones del transmisor de pH .....	65
Tabla 17 Especificaciones del CPU (Unidad Central de Proceso) .....	66
Tabla 18 Entradas y salidas analógicas del sistema de control.....	66
Tabla 19 Especificaciones de los módulos de entradas analógicas .....	67
Tabla 20 Especificaciones de los módulos de salidas analógicas.....	68
Tabla 21 Especificaciones de la computadora para el sistema de control .....	69
Tabla 22 Especificaciones de la computadora personal .....	70
Tabla 23 Especificaciones de la impresora de etiquetas con código de barras.....	71
Tabla 24 Especificaciones del lector de código de barras .....	72
Tabla 25 Nomenclatura para los dispositivos del sistema de control .....	72
Tabla 26 Materia prima utilizada con el sistema de control automático .....	73
Tabla 27 Insumos utilizados con el sistema de control automático.....	73
Tabla 28 Servicios generales utilizados con el sistema de control automático.....	74
Tabla 29 Otros costos utilizados con el sistema de control automático.....	74
Tabla 30 Costos unitario y precio de venta de 1 kg de mermelada de naranja con el sistema de control automático.....	74
Tabla 31 Producción anual y ventas brutas anuales de mermelada de naranja con el sistema de control automático.....	74
Tabla 32 Costo mobiliario, equipo y vehículos con el sistema de control automático.....	75
Tabla 33 Depreciación mobiliario, equipo y vehículos con el sistema de control automático.....	76

Tabla 34 Costo de maquinaria con el sistema de control automático.....	77
Tabla 35 Depreciación maquinaria.....	77
Tabla 36 Salarios y prestaciones .....	78
Tabla 37 Flujo de efectivo automatización.....	79
Tabla 38 Valor Actual Neto .....	80
Tabla 39 Tasa Interna de Retorno.....	81
Tabla 53 Período de recuperación .....	81

## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Diagrama del sistema de control automático.....	44
Ilustración 2: Arquitectura del sistema de control.....	45
Ilustración 3 Diagrama de la marmita .....	53
Ilustración 4: Punto de equilibrio de la línea de producción automatizada .....	80

# I. INTRODUCCIÓN

Las jaleas y mermeladas son productos elaborados a partir de frutas u hortalizas con la adición de azúcar. Durante el proceso de fabricación de éstas deben controlarse algunas variables de las cuáles dependerá la calidad del producto final y la aplicación para la que puedan utilizarse.

En una fábrica de alimentos ubicada en la ciudad de Guatemala, el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas es completamente manual, ya que el operario es el encargado de agregar la materia prima dentro de la marmita y controlar las variables del proceso por medio de instrumentos ajenos a la línea. Adicionalmente, éste debe llevar una muestra del producto al laboratorio de Control de Calidad para su análisis, en caso de no cumplir las especificaciones de producto terminado, tiene que inferir qué procedimiento seguir para ajustarlas.

Lo anterior ocasiona que se pierda una cantidad considerable de tiempo entre la producción de un lote y el siguiente. En este trabajo, se diseñará un sistema de control automático de la línea de producción para reducir los tiempos perdidos y aumentar así la productividad diaria de la empresa.

## II. ANTECEDENTES

### A. Jaleas y mermeladas

**1. Definición de jaleas y mermeladas.** Las jaleas son sustancias transparentes o cristalinas, hechas a partir del jugo de fruta colado o clarificado, o del extracto de agua de la fruta. Mientras que las mermeladas contienen todos o casi todos los sólidos insolubles de las frutas, debido a que, para su manufactura es utilizada la fruta entera, triturada, macerada o el puré. Las mermeladas contienen trozos de las frutas (Belitz 1992).

Las mermeladas son productos de consistencia pastosa y untuosa elaboradas por cocción de fruta fresca separada de semillas, o bien de pulpa o concentrados de fruta, a los que se añade azúcar. Es habitual la adición de productos tales como frutas con peladura, pectina de frutas, jarabe de almidón y ácido málico, cítrico o láctico (Belitz 1992).

La consistencia de las mermeladas depende del contenido de azúcar y de la formación de gel de pectina. La solidez de este gel está determinado por la cantidad de pectina que contiene y por su pH, es decir, una buena mermelada es un producto complejo que requiere un buen balance entre el nivel de azúcar, pectina y la acidez (Belitz 1992).

Las mermeladas de frutas cítricas tienen en su interior la cáscara de la fruta finamente picada. Se elaboran diversos tipos de mermeladas cuyas diferencias radican en el tamaño y forma en que se corta la piel y en las proporciones entre piel y material procedente del centro de la fruta (Ranken 1988).

**2. Proceso de producción de jaleas y mermeladas.** La fabricación de jaleas y mermeladas de frutas es una de las más importantes industrias de subproductos de frutas, y está basada en el principio de altos sólidos solubles y ácido (Desrosier 1987).

En la actualidad la mayoría de las conservas y jaleas se elaboran comercialmente en recipientes al vacío y no a la presión atmosférica. El uso de vacío permite temperaturas de ebullición más bajas, lo que a su vez repercute en un menor daño al color y sabor de la fruta (Desrosier 1987).

Las relaciones entre los ingredientes de la mermelada como pectina, azúcar, ácido y otros aditivos son importantes en la calidad del producto. La calidad y cantidad de pectina útil que presenta la fruta depende de la cantidad que contiene naturalmente, del estado de maduración de la fruta al ser recolectada y del nivel de actividad enzimática tras la recolección. Algunas frutas contienen un nivel elevado de pectina natural y otras un nivel bajo, como resultado de esta variación es preciso incorporar pectinas comerciales para obtener productos consistentes (Desrosier 1987).

El azúcar en una alta concentración actúa como preservante ya que, reduce la actividad del agua del alimento hasta el punto que es imposible el crecimiento microbiano y aumenta la presión osmótica de la solución. El ácido actúa incrementando la tendencia de las moléculas de asociarse para formar un gel. El pH debe estar debajo de 3.5 para formar un gel (Desrosier 1987).

Cuando se ha llegado al punto final (65° Brix para jaleas) debe agregarse la cantidad apropiada de ácido para lograr el proceso de gelificación. El pH puede medirse cuando el lote esté en la olla de vacío (marmita) y agregar el ácido directamente en ese punto, o bien descargarse el lote a un olla aparte en que se incorpora el ácido (Desrosier 1987).

La cocción es uno de los pasos más importantes en el proceso de fabricación de mermeladas, ya que es cuando se disuelve el azúcar y ocurre la unión del azúcar, ácido y la pectina para formar gel. Su propósito principal es incrementar la concentración del azúcar al punto en donde la gelificación ocurre (FAO 1985).

Como la concentración del azúcar en la mezcla aumenta, el punto de ebullición se incrementa. Si el jugo o la pulpa contienen las proporciones adecuadas de azúcar, ácido y pectina, el punto de ebullición de la mezcla en el punto de gelificación será normalmente alrededor de 3.5 a 4 °C sobre el punto de ebullición del agua. Al nivel del mar, corresponde aproximadamente a 104 °C con una concentración de 65 a 68 por ciento de sólidos totales en la jalea o mermelada ya enfriada (FAO 1985).

El punto final al preparar una jalea puede determinarse en muchas formas, sin embargo es mucho más exacto y más simple usar un refractómetro, el método más común en la actualidad. Estos refractómetros, más que leer los índices de refracción, tienen una escala que muestra directamente los grados Brix o porcentaje de sólidos solubles (Campbell 1990).

La medición de los sólidos solubles es útil, si todos los ingredientes y otras condiciones son adecuadas, la mezcla formará el gel cuando se alcance el de sólidos contenidos. Las mezclas con poca pectina o ácido pueden no alcanzar la consistencia adecuada hasta que la cantidad de sólidos

contenidos sea mayor de la normal, en cambio, una mezcla rica en estos constituyentes, puede formar gel en bajas cantidades inusuales de sólidos solubles (Campbell 1990).

## B. Control automático

**1. Definición.** El control automático es una rama de la teoría de los sistemas a la que concierne el control de entidades o dispositivos físicos. Las configuraciones de los dispositivos varían con el objetivo y la función de éstos. Algunos ejemplos son el control del flujo de agua que pasa por una turbina, la regulación de la temperatura de un horno de difusión y la estabilización de la orientación de un satélite de comunicaciones (Paniagua 1990).

**2. Breve historia.** Los antiguos griegos diseñaron sistemas de control automático del tipo de regulación, que tenían la finalidad de mantener constante el fluido contenido en un recipiente, aunque en forma periódica se sacara algo de ese fluido (Paniagua 1990).

El prolífico autor Herón de Alejandría descubrió un “dispensador de vino” que el diseño en el año 50 d.C., el cual mantenía llena una copa por medio de un regulador flotante (Paniagua 1990).

El primer sistema de control automático se incorporó a una clepsidra (reloj de agua), diseñada y construida por el diseñador y constructor de maquinaria griega Ctesibios, que trabajaba al servicio del rey egipcio Tolomeo II de Alejandría hacia el año 300 a.C. El control automático era una válvula flotante que mantenían constante el nivel de líquido en un pequeño tanque elevado. El pequeño tanque a su vez, contenía un pequeño orificio por el cual caía agua a un tanque mucho mayor, que se llenaba lentamente. El nivel del tanque mayor elevaba un flotador conectado a una aguja que indicaba las horas. El flotador de Ctesibios era parecido a la válvula de flotador actual que se utiliza en los carburadores de los automóviles, más de 2000 años después (Paniagua 1990).

**3. Control automático clásico.** Éste trata sobre el análisis y diseño de sistemas lineales de control de ciclo abierto mediante diagramas de bloques, funciones de transferencia de transformada de Laplace y métodos de dominio de frecuencia (Paniagua 1990).

**a. Sistema de control de ciclo abierto.** Es aquel en el cual existe relación entre la salida y la entrada, de manera que la entrada cambiante hace que la salida cambie de forma conocida. La relación entre la entrada y la salida se puede llamar ganancia del sistema, función de transferencia del sistema, función de ponderación del sistema o función de planta del sistema (Paniagua 1990).

**b. Sistema de control de ciclo cerrado.** La característica distintiva de un sistema de control de ciclo cerrado es una comparación entre el valor deseado de alguna variable del sistema y el valor físico de esa variable. La diferencia entre estos dos valores se llama error. Después se aplica la señal de error como entrada a ciertos componentes del sistema configurados de manera que esa señal tienda a cero. Conforme se reduce el error, se aproxima el valor deseado de la variable del sistema seleccionada. Con mayor frecuencia el valor que se desea de la variable es la salida del sistema (Paniagua 1990).

Los sistemas de ciclo cerrado pueden diseñarse de modo que sean muy exactos, a fin de reducir los efectos de las variaciones de los componentes internos y de las perturbaciones aleatorias. Esta es su ventaja principal. Su desventaja es que puede ser inestable, aunque todos sus componentes sean individualmente sean individualmente estables (Paniagua 1990).

**4. Representaciones de los sistemas clásicos de control.** Se aplican tres métodos para describir un sistema de control automático lineal invariante en el tiempo:

- Ecuaciones matemáticas; ecuaciones integrodiferenciales en el dominio del tiempo o funciones de transferencia con resolución por medio de transformadas de Laplace, en el dominio de la frecuencia.
- Diagramas de bloques.
- Gráficas de flujo de señales.

a. Ecuaciones integrodiferenciales. Estas ecuaciones permiten describir el comportamiento físico de un sistema, la variable de salida del sistema y diversas derivadas o integrales de estas variables respecto al tiempo. Con mayor frecuencia, las integrales son eliminadas por una elección idónea de variables o por diferenciación de una ecuación que contenga integrales. Las ecuaciones diferenciales son el método más general de descripción de sistemas y pueden ser no lineales, variantes en el tiempo y de orden elevado. La teoría clásica del control se encarga principalmente de ecuaciones diferenciales lineales de diversos órdenes con coeficientes constantes (Paniagua 1990).

b. Funciones de transferencia. Son simplemente el resultado de la aplicación de las transformadas de Laplace a las ecuaciones integrodiferenciales que relacionan las variables de entrada y salida de un sistema. Las funciones de transferencia se formulan como la razón de la salida entre la entrada, de manera que representen una función de ganancia.

En el cálculo de una función de transferencia, las condiciones iniciales se fijan en cero. La razón principal de usar funciones de transferencia en el dominio de la frecuencia de la transformada de Laplace es que esto hace posible la combinación algebraica de los elementos del sistema, una simplificación espectacular que al utilizar la ecuación diferencial compuesta. La desventaja principal de las funciones de transferencia es que están limitadas a ecuaciones diferenciales lineales (o sistemas lineales) por las restricciones matemáticas de la transformada de Laplace (Paniagua 1990).

c. Diagramas de bloques y gráficas de flujo de señales. Son las representaciones gráficas de las funciones de transferencia interconectadas. Cada bloque de un diagrama de bloques contiene una función de transferencia. La información viaja en una sola dirección por un bloque. La dirección del recorrido se indica por medio de flechas. Se supone que los bloques no interactúan y que los bloques conectados en cascada o en paralelo no descargan o afectan la función de transferencia de otros bloques (Paniagua 1990).

**5. Lazo de control.** Consta de tres elementos básicos: un instrumento de medida, un controlador y un actuador (generalmente una válvula).

- **Instrumento de medida:** envía una señal electrónica proporcional a la variable medida.
- **Controlador:** Resta la variable medida del valor deseado, también llamado punto de consigna. La diferencia es el “error” de control.
- Envía a la **válvula** una señal con objeto de modificar su apertura en el sentido adecuado para reducir el “error”. Si la señal de salida del controlador fuese proporcional al error, éste nunca desaparecería por completo y, además, la respuesta del sistema podría ser demasiado lenta o, por el contrario, excesivamente oscilante (inestable) (Corrales 1998).

**Tabla 1**  
**Instrumentos de medida**

<b>Variable medida</b>	<b>Función</b>	<b>Ejemplo</b>
Las más habituales son: Presión, nivel	Indicación local de la variable medida	Manómetros Termómetros Niveles de vidrio
Caudal, Temperatura	Transmisión de una señal electrónica o neumática proporcional a la variable medida	Transmisores neumáticos Transmisores electrónicos
Composición	Cierra o abre un contacto eléctrico al alcanzar la variable medida un valor predeterminado o una posición dada	Termostatos Presostatos Límite de carrera

**Tabla 2**  
**Tipos de controladores**

<b>Uso</b>	<b>Tipo</b>	<b>Notas</b>
En desuso	Analógico neumático Analógico electrónico	
Opciones actuales	Multilazo digital Sistema de control distribuido  Controlador lógico programable (PLC)  Ordenadores de procesos	Hasta 16 lazos por controlador  Pensado inicialmente para control lógico, pero también puede utilizarse para control continuo con PID  Pueden ser PCs

Además de estos tres elementos básicos, puede haber otros muchos de carácter auxiliar.

Hace dos décadas todos los elementos del lazo de control eran neumáticos y se comunicaban entre sí mediante una señal analógica de 0.2 a 1 kg/cm<sup>2</sup>. En la actualidad, el control de procesos está atravesando una etapa de transición que hace que convivan tres tipos distintos de señales dentro de un mismo lazo. Generalmente, los transmisores son electrónicos y envían al panel una señal analógica (4 a 20 mA). En el panel, esta señal se convierte a digital, puesto que así la requieren los actuales controladores. Luego, la señal de salida a la válvula tiene que ser convertida a una señal neumática, ya que las válvulas siguen teniendo un actuador neumático (Tabla No.3) (Corrales 1998).

**Tabla 3**  
**Sistemas de transmisión de señales**

<b>Soporte</b>	<b>Tipo</b>	<b>Aplicaciones</b>
Neumática	0.2 a 1 kg/cm <sup>2</sup> (3 a 15 psig)	En desuso salvo para la actuación de válvulas de control.
Electrónica Analógica	4 a 20 mA	Utilizados para las comunicaciones con los instrumentos de campo.
Digital	Impulsos eléctricos (comunicación de datos)	Utilizados para comunicación entre microprocesadores (ordenadores). Empiezan a emplearse también en la comunicación con los transmisores y cuando se desarrolle el "bus de campo" reemplazarán por completo a las analógicas.
Óptica	Impulsos ópticos transmitidos por fibras de vidrio o plástico	Actualmente sólo se utilizan en casos aislados para comunicar gran cantidad de datos entre puntos lejanos, pero pronto se extenderán a otras aplicaciones.

**a. Válvulas de control.** La válvula de control es el elemento final de un lazo de control. Su función consiste en ejecutar las órdenes procedentes del controlador u otros instrumentos. Estos miden y controlan las variables del proceso, como pueden ser la presión, la temperatura o el caudal, y según la desviación entre el dato real de la variable medida y la fijada, mandan una señal correctora a la válvula. Esta abrirá o cerrará, interrumpiendo o dejando pasar el fluido, en función de la señal recibida (Corrales 1998).

Si la señal que hace variar la apertura de la válvula es generada en la propia válvula, ésta recibe el nombre de válvula autorreguladora. Si la recibe de un elemento externo, se trata de una válvula de control (Corrales 1998).

La válvula de control está formada por dos elementos fundamentales:

- Cuerpo y partes internas
- Actuador o servomotor

El primero regula el paso del fluido, mientras que el segundo actúa sobre el elemento obturador de la válvula modificando su apertura (Corrales 1998).

### 1) Selección de válvulas de control

#### ○ *Datos básicos*

Para seleccionar una válvula hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Datos primarios:
  - Propiedades del fluido
  - Presión antes de la válvula
  - Caída de presión en la válvula
  - Temperatura del fluido
  - Caudal del fluido
- Datos secundarios
  - Nivel de estanquidad
  - Características del caudal
- Otros aspectos a los que hay que prestar atención son los fenómenos denominados cavitación, ruido, etc.

Los datos primarios son necesarios para el cálculo de la sección de paso de la válvula. Algunos como la temperatura tienen un papel adicional en la selección del material de cada una de las piezas que componen la válvula (Corrales 1998).

**2) Características de caudal.** Se define como la relación existente, a presión constante, entre el caudal a través de la válvula y su carrera cuando ésta varía en todo su campo (Corrales 1998).

Las tres características más utilizadas son las denominadas: lineal, isoporcentual y rápida apertura (Corrales 1998).

- Característica lineal: la capacidad de la válvula varía linealmente con la carrera.
- Característica isoporcentual o igual porcentaje: a incrementos iguales de recorrido de la válvula produce cambios en igual porcentaje en el caudal existente.
- Característica rápida apertura: el cambio de caudal es máximo a bajos recorridos o aperturas, siendo posteriormente su ganancia muy pequeña.

La característica se consigue por la forma contorneada del obturador o, en el caso de válvulas guiadas por jaula, por el diseño y forma de ésta (Corrales 1998).

**3) Dimensionamiento de las válvulas de control.** En un lazo de control donde se requiera una válvula, ésta se elegirá en función de las condiciones de proceso donde va a ir instalada. (presión, caída de presión, caudal, datos del fluido, etc.). Con todos estos datos se calcula un coeficiente de dimensionamiento de la válvula. A este valor se denomina “Coeficiente de caudal” (Kv):

Kv: es el número de metros cúbicos de agua a 15 °C que pasa a través de una válvula cuando la presión diferencial es de un bar.

Cv: es el número de galones EEUU de agua a 60 °F que pasan a través de una válvula en un minuto cuando la presión diferencial (DP) es de una libra por pulgada cuadrada.

Este coeficiente es determinado experimentalmente para cada tipo y tamaño de válvula. El Cv (sistema Inglés estadounidense) está relacionado con el Kv (sistema Internacional) (Corrales 1998).

Utilizando la tabla No.4 o programas de ordenador de cálculo de Kv, se puede determinar el valor de Kv de cálculo. Con este dato y las tablas empíricas o gráficos de Cv que dispone cada fabricante para cada tipo de válvula, tamaño, paso y característica, se elige aquella cuyo valor Kv de cálculo sea inferior al Kv de la válvula (Corrales 1998).

**Tabla 4**  
**Fórmulas de cálculo**

<p><b>Líquidos</b></p> <p><i>Sistema Internacional</i></p> $Kv = Q \sqrt{\frac{G}{Dpd}}$ <p><i>Sistema Inglés estadounidense</i></p> $Cv = Q' \sqrt{\frac{G}{Dpd'}}$ <p><i>Relación Cv con Kv</i></p> <p><math>Cv = 1,156 Kv</math></p>	<p>Donde:</p> <p>Q: Caudal (m<sup>3</sup>/min)</p> <p>Q': Caudal (galones/min)</p> <p>G : Peso específico</p> <p>Dpd: Presión diferencial (bar)</p> <p>Dpd': Presión diferencial (psi)</p> <p>C1: Coeficiente empírico (válvula)</p> <p>N: Constante numérica</p> <p>Fp: Factor numérico de tubería</p> <p>Fr: Factor numérico de Reynolds</p> <p>Fy: Factor de caudal crítico</p> <p>P1: Presión de entrada (absoluto)</p> <p>P2: Presión de salida (absoluto)</p> <p>Fm: Q volumen de gas/Q volumen total</p> <p>Cv: Coeficiente de caudal (líquidos)</p> <p>Cg: Coeficiente de caudal (gases)</p> <p>Cs: Coeficiente de caudal (vapores)</p> <p>Cvr: Coeficiente de caudal (mezclas)</p> <p>Cv* = Coeficiente de caudal (L,G,V).</p>
<p><b>Gases (Cg)</b></p> <p><math>Cg = (1,156 Kv) * C1</math></p>	
<p><b>Vapores (Cs)</b></p> <p><math>Cs = (1,156 Kv) / 20</math></p>	
<p><b>Mezclas (Cvr)</b></p> $Cvr = [(Cg / C1)_{gas} + Cv_{líquido}] [1.0 + Fm]$ $Cvr = [(Cs / C1)_{vapor} + Cv_{líquido}] [1.0 + Fm]$	
<p><i>Correcciones del Cv</i></p> <p>Fluido (L,G,V)</p> $Cv^* = \frac{Q}{NFpFyFr \sqrt{(P1 - P2)/G}}$	

Actualmente, los fabricantes disponen de programas muy completos de cálculo de válvulas. Con ellos se puede obtener la siguiente información:

#### 4) Respecto al cuerpo de la válvula:

##### a) Dimensionamiento de la válvula. (Valor de Kv)

- Corrección del Kv por:
- Caudal crítico.
- Internos anticavitación.
- Viscosidad del fluido.
- Consistencia de fluidos pastosos.
- Compresibilidad.
- Efecto de los conos reductores

##### b) Nivel de ruido

Corrección de Kv en caso de utilizar:

- Internos antirruidos, difusores, etc.
- Variación del ruido con el caudal.

##### c) Velocidad del fluido a la entrada y salida

#### 5) Respecto al actuador:

##### a) Tipo y tamaño.

##### b) Fuerza requerida para el cierre de la válvula.

##### c) Tiempo de ruptura y cierre de la válvula.

El Kv calculado por las fórmulas de la tabla No.4 y tiene que ser corregido en los siguientes casos:

- *Cavitación.* En estos fenómenos se forman burbujas de vapor. Estas tienden a restringir el paso del fluido, llegándose a la situación que por más que aumente la presión diferencial, el caudal no varía (caudal crítico).

El límite de presión por el cual el caudal no varía se denomina presión diferencial permisible. Este depende de la geometría de la válvula (Corrales 1998).

- *Viscosidad.* La presión diferencial es diferente cuando se utiliza un fluido no viscoso (régimen turbulento) o un fluido viscoso (régimen laminar).

Para corregir este efecto se considera un factor correcto " $Fr$ " que es función del Número de Reynolds y éste, a su vez de la viscosidad (Corrales 1998).

- *Reductores de tubería.* Cuando la válvula es instalada en una línea cuyo diámetro nominal no coincide con ella, se ponen conos reductores entre ambas. Estas reducciones producen unas caídas de presión adicionales en el sistema y, a la vez, una disminución en la capacidad real de la válvula.

Por ello, se debe tener en cuenta el factor de corrección  $Fp$ , que es función del tamaño de la válvula y los diámetros, interior y exterior, de la tubería donde va a ser instalada.

En el caso de válvulas de globo este factor es despreciable. En cambio, en válvulas rotatorias (bola, mariposa, etc.) alcanza mucha importancia (Corrales 1998).

- *Consistencia de fluidos muy pastosos.* En el caso de utilizar fluidos pastosos es necesario utilizar un factor de corrección que tiene en cuenta la consistencia de la pasta (Corrales 1998).

## 6. El control lógico y el PLC

Hay operaciones consistentes en: arrancar y parar máquinas o cerrar y abrir válvulas en función de la evolución de presiones, temperaturas, niveles, etc. Estas operaciones, llamadas "lógicas", se realizaban con ayuda de relés y otros sistemas electromecánicos, hasta que en 1970 apareció el PLC Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller) (Corrales 1998).

Las señales de entrada son lógicas (contacto cerrado o abierto) procedentes de termostatos, presostatos, límites de carrera, etc. La lógica interna es del tipo: "si A está cerrado y B o C están abiertos, entonces accionar H" (Corrales 1998).

Esta lógica es "programada" y no "cableada", por tanto, es muy flexible y permite temporizaciones y cálculos complejos. Aunque los PLC están concebidos para el manejo de señales lógicas, también permiten realizar control continuo con algoritmos del tipo PID (por los términos Proporcional, Integral y Derivada del error que interviene en el proceso) (Corrales 1998).

El PLC está orientado a la automatización de procesos con predominio de señales todo-nada. Se conciben como elementos muy robustos (casi siempre para soportar ambiente industrial), fiables (capaces de aplicarse en operaciones críticas incluso de alto riesgo) y autónomos (mantienen el control de la operación con independencia de potenciales fallos en el resto de los elementos del sistema, red, visualización). Dentro de la enorme diversidad de modelos de PLCs pueden abstraerse como características comunes la utilización de un bastidor que aloja una fuente de alimentación y una serie

de tarjetas con diversas funcionalidades, entre las que siempre ha de figurar, al menos, una tarjeta básica dotada con la unidad central de proceso (CPU) que proporciona la capacidad de programar el sistema (Corrales 1998).

En el terreno de la automatización de procesos discretos (manufacturing) el PLC no tiene competencia y su utilización es universal. En el mundo de la industria química y afín destaca su aplicación en aquellos procesos, típicamente por cargas o mixtos, en los que el conjunto de acciones de control, el número y sobre todo, complejidad de tratamiento de las señales continuas (analógicas) no resultan excesivos (Corrales 1998).

Las funciones encomendadas al PLC (recepción y envío de señales a campo, cálculos, disparo de alarmas, etc.) se programan, mediante auxiliares de programación (en realidad un ordenador) que se conecta temporalmente al sistema. El tiempo requerido por el PLC para ejecutar secuencialmente el conjunto de órdenes programadas se denomina ciclo. El tiempo de ciclo máximo aceptable dependerá de la criticidad de las medidas o comprobaciones exigidas. El tiempo de ciclo depende tanto de la complejidad como del número de instrucciones programadas. El número máximo de señales entrada/salida digitales y/o analógicas oscila desde ocho en los modelos más compactos hasta 5000 en los más potentes (Corrales 1998).

#### **a. Componentes del PLC**

1) *Tarjeta central.* Integrantes típicos de esta tarjeta son: el microprocesador (en los modelos más avanzados de 32 bits), módulos de memoria EPROM y RAM (desde 8 kb hasta algunos Mb), reloj calendario con batería y conectores de conexión con periféricos (Corrales 1998).

2) *Tarjetas de entrada (E) y salidas (S).* Se encargan de la comunicación con campo mediante la recepción y /o envío de señales. Cada tarjeta puede ser sólo de E, sólo de S o E/S pudiendo ser, en cualquiera de los tres casos, señales analógicas (termopar, termorresistencia, 4-20 mA, 0-10V, etc.) o digitales (24 ó 48 V dc, 24-230 V ac.) etc. Suelen diferenciarse dos tipos de señales, las normales y las de interrupción. Estas últimas interrumpen la ejecución del ciclo para su procesamiento inmediato, disparando una rutina preestablecida, por lo que resulta de gran interés en acciones relacionadas con la seguridad. Dado que la operación interna del PLC es siempre digital, las entradas o salidas analógicas han de pasar por una conversión A/D o D/A, respectivamente, normalmente a través de un multiplexador (Corrales 1998).

3) *Tarjetas de comunicaciones.* Las comunicaciones entre PLC's pueden efectuarse punto a punto o por medio de una red local. El primer caso afectará a aquellas aplicaciones más sencillas en las que la necesidad de intercambio de información resulte inmediata (Corrales 1998).

4) *Tarjetas inteligentes.* En este grupo se encuentran aquellas que van dotadas de un microprocesador auxiliar que efectúa un preprocesamiento de las señales, reduciendo la carga del microprocesador de la tarjeta básica. Esta arquitectura permite además independizar el tiempo de exploración de estas tarjetas del tiempo de ciclo del conjunto del sistema, permitiendo su adaptación a las necesidades del proceso. Dentro de este grupo figuran típicamente las siguientes:

a) *Tarjetas de regulación.* Para lazos de control con, por ejemplo, PID (por los términos Proporcional, Integral y Derivada del error que intervienen en el proceso), control todo-nada de 2 ó 3 puntos; con entrada de termopares, termorresistencias, 4-20 mA, etc. Salidas digitales o analógicas, según aplicación. El número de lazos atendidos por cada tarjeta varía según el suministrador pero suele ser limitado (1-4). Como alternativa a la utilización de este tipo de tarjetas, para un número limitado de lazos, puede programarse el algoritmo de control dentro de la CPU, ejecutándose con la frecuencia deseada mediante interrupciones del ciclo. (El tiempo de ejecución del algoritmo es mínimo, por lo que estas interrupciones no son especialmente gravosas para el tiempo de ciclo total) (Corrales 1998).

b) *Tarjetas de posicionamiento rápido.* Orientadas al control de recorrido y coordenadas de un elemento móvil dotado de algún dispositivo de lectura de posición, por ejemplo, captadores de posición absolutos o relativos (Corrales 1998).

c) *Tarjetas para dosificación.* Dentro de las diversas posibilidades de este tipo de tarjetas puede describirse la típica de dosificación, que permite sucesivamente un control basto y otro fino, accionando las válvulas o motores adecuados. Se monitorizan asimismo cierto número de señales de advertencia sobre anomalías, disponibilidad, etc (Corrales 1998).

## **C. Sensores en línea**

**1. Sensores para condiciones de proceso.** Se utilizan transductores de medida de esfuerzos de tracción para medir directamente la presión, proporcionando el elemento sensor principal en muchos sistemas de medida de presión, masa, nivel y caudal. Los avances en la tecnología de los circuitos integrados ha permitido grandes mejoras en la fiabilidad y miniaturización de todas las aplicaciones que utilizan la medida de esfuerzos de tracción (McFarlane 1997).

**a. Temperatura.** Existen muchos dispositivos comerciales para medir temperaturas. La mayor parte de ellos requieren estar en contacto con el gas, líquido o sólido cuya temperatura se va a monitorizar. Tres tipos cubren la mayor parte de las aplicaciones:

- Termopares;
- Termómetros de resistencia de platino;
- Termistores.

Los termopares son los sensores industriales de temperatura más extendidos. Por medio de la selección del material de fabricación del termopar y de su funda es posible hacer medidas de temperatura en un amplio rango de condiciones de proceso. Los termopares de cualquier tipo son intercambiables, pero siempre deben ser usados con un amplificador específico del tipo. La velocidad de respuesta es rápida, menos de 1s si la unión del termopar está soldada a su funda, pero normalmente es preferible utilizar el tipo aislado, con un tiempo de respuesta de 5-15 s, dada la ventaja del aislamiento eléctrico en las señales de baja tensión (McFarlane 1997).

Cuando es necesario medir con una precisión de décimas de grado, se recomienda un termómetro de resistencia de platino (PRT). Los termómetros de resistencia de platino clase A DIN tienen una tolerancia de 0.25 °C, y los de la clase B tienen una tolerancia de 0.5 °C. El elemento forma un cuadrante de un puente de resistencias, y un tercer cable del elemento puede ser usado para compensar la resistencia de los cables (McFarlane 1997).

La necesidad de una unión fría de compensación para los termopares y de una resistencia de compensación en los termómetros de resistencia de platino añade coste a la medida, y aunque la diferencia de coste está bajando, pueden existir aplicaciones en las que se prefiera usar termistores. Los termistores están contruidos con un material semiconductor cuya resistencia varía exponencialmente con la temperatura (McFarlane 1997).

Todos los sensores de temperatura requieren un acondicionador de señal para cada sensor. Existe un transmisor versátil, utilizable con varios sensores de entrada y no afectado por las interferencias de radiofrecuencia; el transmisor es del tipo de dos cables, en el que el sistema se alimenta y transmite la salida por un único par de cables, lo que minimiza los costes de instalación (McFarlane 1997).

Después del procesado es necesario monitorizar la temperatura durante el almacenamiento y la distribución. Existen indicadores (tiempo-temperatura) para este fin. Pueden mencionarse tres tipos:

1) El tipo 1 es un indicador basado en la difusión, en el que una mezcla de ésteres de ácidos grasos y ftalatos se difunde a lo largo de una mecha porosa para proporcionar una indicación visible de temperatura crítica para alimentos congelados, es una indicación integrada de tiempo-temperatura.

2) El tipo 2 está basado en un cambio de color causado por el descenso de pH en la hidrólisis enzimática de un sustrato de lípidos, como el tricaprionato de glicerina; el color cambia de manera continua, y puede ser monitorizado con un colorímetro.

3) El tipo 3 está basado en la habilidad de los cristales de diacetileno disustituido para polimerizarse a través de una reacción en estado sólido controlada. El polímero que se forma es muy coloreado. Los tipos 1 y 2 se activan por retirada de una barrera en el momento de la aplicación, mientras que el tipo 3 está activo desde su ensamblado y necesita ser almacenado a baja temperatura hasta su uso (McFarlane 1997).

**b. Presión, masa y nivel.** Los transductores de esfuerzo de tracción de película metálica delgada se fabrican por fotoimpresión. Tienen pequeño tamaño y masa para permitir la operación en un amplio rango de frecuencias con una sensibilidad mínima a los golpes. La salida es estable durante largos períodos de tiempo. Para medir presiones se fijan a un diagrama o a un tubo. Para rangos pequeños, el diafragma se acopla a una varilla que es parte de una palanca doble en voladizo. Para mayores rangos, la presión se aplica a un tubo cerrado con galgas fijadas por parejas a la superficie exterior; si el tubo está aplastado se pueden medir esfuerzos de tracción y compresión utilizando dos pares de galgas en un puente de resistencias. Es frecuentemente necesario interponer un sello entre el elemento sensor y la posición donde se apoya, para proteger el elemento de la corrosión y proporcionar una plataforma libre de perforaciones por razones de higiene (McFarlane 1997).

No suele ser recomendable utilizar sensores de presión para medir nivel de líquido, ya que se obtienen mejores indicaciones utilizando sensores de capacitancia fija o electro-ópticos o sensores de nivel ultrasónicos de medida continua. Suelen aparecer dificultades al utilizar sensores de nivel de cualquier tipo, debido a la presencia de agitadores, a la espuma o a los sedimentos, o a cambios en densidad, viscosidad o propiedades eléctricas. Una técnica diseñada para aplicaciones complejas utiliza sensores de capacidad a frecuencias de radio de 15-500 kHz entre un electrodo suspendido en lo alto del depósito y sus paredes. La enorme diferencia entre la constante dieléctrica del aire y la de la mayor parte de los fluidos o compuestos granulados proporciona el principio de medida (McFarlane 1997).

**c. Caudal.** En las operaciones de procesado de alimentos se encuentra una enorme variedad de necesidades de medida de caudal. La selección del dispositivo de medida depende del caudal, la viscosidad, la temperatura, la conductividad y la corrosividad del fluido, y también la precisión requerida, teniendo en cuenta la posible presencia de aire arrastrado (McFarlane 1997).

Los caudalímetros de turbina de flujo axial son ampliamente utilizados en sistemas discontinuos o por lotes. La naturaleza y la cantidad del fluido influyen en su calibración; si el caudalímetro está calibrado para el

fluido utilizado es posible alcanzar una repetibilidad del 0.1 % y una precisión del 0.5 % en toda la escala (McFarlane 1997).

**d. Densidad, viscosidad y tamaño de partículas.** La densidad, viscosidad y tamaño de partículas son propiedades físicas de interés especial en el procesado de alimentos, en parte porque están frecuentemente asociadas a la evaluación sensorial (McFarlane 1997).

Para fluidos de alta viscosidad se ha desarrollado un transductor de densidad formado por un único tubo horadado, que vibra longitudinalmente y aislado por fuelles flexibles para prevenir errores debidos a la expansión térmica o a los esfuerzos de la tubería. La calibración en línea de sensores de densidad es complicada, por lo que se recomienda para obtener mayor precisión la instalación temporal en serie de un segundo transductor, previamente calibrado con el mismo fluido en condiciones estándar o incluso con agua en algunas ocasiones (McFarlane 1997).

En los métodos de medida de la viscosidad resalta la importancia del número de Reynolds, normalmente definido en el sistema Internacional:

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu}$$

donde:

D= diámetro de la tubería en m

V=velocidad del fluido en m/s

$\rho$ =densidad del fluido en kg/m<sup>3</sup>

$\mu$ =viscosidad del fluido en kg/m s

Los modelos de flujo cambian de laminar a turbulento para números de Reynolds mayores de 3000. Cuando el flujo aumenta tanto que este número es superado, el comportamiento del fluido cambian de laminar a turbulento para números de Reynolds mayores de 3000. Cuando el flujo aumenta tanto que este número es superado, el comportamiento del fluido deja de ser Newtoniano y la viscosidad efectiva crece rápidamente conforme aumenta el esfuerzo cortante (McFarlane 1997).

La unidad de viscosidad, el poise, se define también en unidades tradicionales,

$$1 \text{ poise} = 1 \text{ dina/cm/s}$$

Como es una unidad grande, los datos se dan normalmente en centipoises, que se convierten al sistema internacional de la siguiente forma:

$$1\text{cP}=0.01\text{ dina/cm/s}$$

$$1\text{cP}=1\text{ mPa s}$$

La viscosidad cinemática es la relación entre viscosidad y densidad, y tradicionalmente utiliza como unidad el centistoke.

Algunos alimentos como la leche, los jarabes, los zumos filtrados y diluidos y los aceites vegetales tiene comportamiento Newtoniano. Muchos otros son no Newtonianos (McFarlane 1997).

Los fluidos se pueden distinguir <<plásticos de Bingham>> que requieren un umbral mínimo de esfuerzo cortante antes de fluir (como el ketchup y la mayonesa) y los fluidos tixotrópicos, en los que el flujo crece con un esfuerzo cortante constante y se recupera cuando se elimina (como la pasta de tomate, la salsa de manzana y el recubrimiento de chocolate). El comportamiento tixotrópico puede ser modificado con cambios en la concentración o en la secuencia de adición de componentes (McFarlane 1997).

Existen tres tipos de viscosímetros en línea: El viscosímetro de cilindro coaxial tiene un elemento cilíndrico que rota dentro de un cilindro estático; es preciso para viscosidades bajas, pero no puede usarse si hay partículas en suspensión. El segundo tipo está basado en la caída de presión en una tubería, tiene precisión limitada y es sensible a los ruidos de proceso. El tercer tipo es una varilla vibrante que mide el producto de la densidad y viscosidad, pero no es afectado por el ruido de proceso (McFarlane 1997).

**e. Electrodo de pH y selectivos de iones.** La medida del pH en fluidos de proceso se realiza normalmente con un electrodo de vidrio sensible al pH, monitorizando el cambio de energía dependiente de la concentración asociado con la ionización del agua en las paredes de un vidrio hidratadas de forma similar a un gel; un segundo electrodo no sensible al pH es necesario para medir la salida del electrodo de vidrio. Existen también electrodos de estado sólido, con el electrodo sensible dentro de un cuerpo de teflón y una solución saturada de cloruro potásico, más resistente a la suciedad (McFarlane 1997).

## D. Control para procesos discontinuos

Una planta de procesos discontinuos (batch) es más flexible que una planta de procesos continuos y cuando una planta es requerida para producir diferentes productos usando el mismo equipo, es más económico usar procesos discontinuos (batch) (Tsai 1986).

## 1. Operación de los procesos discontinuos

**a. Operaciones secuenciales.** Prácticamente todos los procesos discontinuos requieren las operaciones básicas para uno o más reactores:

- 1) Preparación
- 2) Carga
- 3) Reacción
- 4) Descarga
- 5) Post preparación

1) Preparación. Algunas consideraciones que afectan las operaciones:

*a) Concentración de la solución:* Si la solución se prepara por los operadores mezclando diferentes químicos, la composición final es un factor muy importante en la operación del reactor. Una composición consistente será esencial, una compensación en la cantidad cargada debe hacerse de acuerdo a la composición medida (Tsai 1986).

*b) Tiempo para volver a llenar el tanque de carga:* No se debe volver a llenar el tanque mientras el reactor está siendo utilizado por dos razones: Primero, el tanque debe utilizarse para medir cuanta solución es cargada al reactor y segundo, la composición de la solución en el tanque no es exactamente la misma que la utilizada para volver a llenar el tanque (Tsai 1986).

2) Carga. La fase de carga es probablemente la más complicada, porque es fácilmente afectada por errores de operación. La razón es que esta fase requiere múltiples pasos, operación secuencial y medidas exactas. Por el gran número de equipo de operaciones involucradas (válvulas, bombas, etc.), el fallo del equipo durante una operación es común (Tsai 1986).

3) Reacción. Para la mayoría de operaciones químicas, la función más importante es el control de las condiciones de la reacción. Para la mayoría de reactores por lote, el objetivo del control es mantener la temperatura del reactor al punto de ajuste (setpoint). Especialmente, se requiere un controlador de temperatura que tenga las características de funcionamiento siguientes:

- Permite que la velocidad de calentamiento sea la más rápida posible, pero no permiten que la temperatura del punto de ajuste (setpoint) sea excedida.
- Mantiene la temperatura en el punto de ajuste (setpoint) de la temperatura sobre el ciclo entero del lote dentro de una tolerancia pequeña.

○ Proporciona funcionamiento constante para todos los puntos de ajuste (setpoints) de la temperatura (Tsai 1986).

## 2. Equipos y procedimientos de control

**a. Sistemas de datos de formulaciones.** Todo proceso tiene que tener alguna materia prima entrante. La mayoría de los procesos tienen más de un componente en el producto formulado, y por lo tanto la calidad del producto final depende en cierta medida de conseguir la proporción adecuada en la mezcla de los ingredientes. La mayoría de los procesos también dependen de la adecuada intensidad de suministro de los ingredientes, ya sea por lotes o de manera continua (Mcfarlane 1997).

Hay tres categorías de plantas con distintos requerimientos de gestión de las entradas al proceso:

- Una sola entrada principal, ni medida ni controlada;
- Una sola entrada principal, medida pero no controlada;
- Más de una entrada principal

La mayor parte de las industrias alimentarias caen en la categoría final, con varias entradas de ingredientes principales, que necesitan un control adecuado. Actualmente existen muchos métodos de control para formular cada uno de los ingredientes en una proporción controlada y, para los procesos discontinuos, en una secuencia controlada. La elección del esquema de control depende de: el número de ingredientes, y si son secos o fluidos;

- El número de líneas a suministrar
- Si la producción es continua o por lotes (discontinua)
- Cuántas recetas deben manejarse
- Con qué frecuencia se cambian las recetas
- Quién está autorizado a cambiar (o conocer) la receta
- Si varias plantas pueden necesitar el mismo ingrediente simultáneamente.

Los paquetes de control han evolucionado, de manera que se han adaptado convenientemente a determinados sectores industriales. Existen algunos principios de control automático que se aplican en la fabricación de productos formulados (Mcfarlane 1997).

**b. Dispensación de ingredientes.** Las cantidades de una receta se expresan tradicionalmente como mezclas de unidades de peso o volumen. En la práctica industrial, el peso es todavía la especificación

inevitable para polvos y sólidos, pero el volumen se especifica frecuentemente para los fluidos porque el más fácil manejar fluidos utilizando simples contenedores graduados (Mcfarlane 1997).

La tecnología de pesado fue transformada por el desarrollo de la célula de pesado con detector de esfuerzo. Para mayor precisión, (mejor que 1/10000) los detectores de esfuerzo todavía no son tan efectivos como la balanza mecánica estática. Las células de carga ofrecen de forma satisfactoria este grado de precisión (Mcfarlane 1997).

Los sistemas de pesado por lotes ofrecen una precisión significativamente mejor que los sistemas de medida continua, lo que combinado con sus menores problemas de fiabilidad, mantiene su popularidad a pesar de sus inconvenientes en mayor necesidad de espacio, mayor número de depósitos y mayores y más variables tiempos de espera (Mcfarlane 1997).

**c. Mezcla de ingredientes secos.** No es fácil mezclar ingredientes secos hasta obtener una mezcla homogénea; para un proceso donde una buena mezcla sea importante, el método de suministro de los ingredientes debe ser tenido en cuenta (Mcfarlane 1997).

Cuando se mezcla en seco una variedad de tamaños y formas de partículas, como en ciertos saborizantes, la segregación es un problema, y en condiciones de humedad se pueden producir aglomeraciones.

- Mezcla correctiva, donde el material se recicla desde una tolva de descarga a la línea de alimentación.
- Mezcla difusiva, donde las partículas individuales se distribuyen sobre una superficie desarrollada dentro del mezclador.
- Mezcla cortante, donde grupos de partículas se mezclan mediante la formación de planos deslizantes (como en la mezcla estática) (Mcfarlane 1997).

**d. Mezcla de fluidos.** Los fluidos miscibles no presentan los problemas de dispersión y segregación asociados con la mezcla de polvos; los problemas principales de la dispensación de fluidos provienen de la viscosidad de los fluidos. Si el fluido es muy viscoso, es mucho más fácil asegurar que un depósito utilizado para pesar por lotes está completamente vacío, y si se elige dispensación volumétrica, entonces el aire arrastrado se convierte en una fuente de imprecisión común (Mcfarlane 1997).

**e. Programas de computadora (software) para control de procesos discontinuos.** Los sistemas de control basados en computador ofrecen distintas formas de diálogo entre el sistema y el operador. El Sistema de Control de Computadora (Computer Control System: ACCOS) es uno de los paquetes

de programas para computadoras (software) bien establecidos para el control de procesos alimentarios. Se pueden identificar dos categorías de tareas a desarrollar por el sistema de control: aquellas sobre las que el operador de la planta no interviene y aquellas que el operador de la planta podría necesitar modificar (Mcfarlane 1997).

En el primer grupo están los módulos necesarios para la operación de varios elementos del computador y de los periféricos. En el segundo grupo, la lógica de control específica de una planta en particular fue escrita en un lenguaje llamado Paracode. Las secuencias de control inicial fueron preparadas, introducidas y comprobadas por ingenieros; el usuario puede posteriormente cambiar o añadir nuevas secuencias (Mcfarlane 1997).

El uso de controladores lógicos programables (PLCs) está muy extendido. Estos dispositivos tiene programas de computadoras (software) fijo en memoria ROM para los módulos inalterables, haciéndolos muy robustos y seguros (Mcfarlane 1997).

Aunque han pasado pocos años desde estas primeras aplicaciones de los PLCs, los ingenieros de proceso se han aprovechado de la capacidad y la fiabilidad ofrecidas por las posteriores versiones de los PLCs para introducir procedimientos de alimentación antiguamente inconcebibles (Mcfarlane 1997).

A largo plazo se generarán estándares ampliamente aceptados para programas de computadoras (software) de control de procesos. Se pueden mencionar dos conjuntos primarios de estándares en estado embrionario: las recomendaciones EC NAMUR (Esta directiva describe los puntos de unión entre el elemento final de control, el actuador y los accesorios. Hace referencia a estándares existentes y se hacen recomendaciones para la adición de controles de posición, válvulas de control y dispositivos de señalización para accionamientos neumáticos), realizadas por un comité de representantes de compañías químicas europeas, y el comité SP88 (El estándar ISA-SP88 constituye una metodología usada para hacer un diseño jerárquico de programas de control industrial) de la Sociedad de Instrumentación de América (Instrument Society of América). Durante 1991 NAMUR y SP88 cooperaron para crear una metodología destinada a los fabricantes de pequeña y gran instrumentación. Las funciones de control con las directrices del NAMUR se clasifican según una jerarquía estructurada:

- Funciones de lazo
- Operación unitaria
- Receta básica
- Control de fase
- Receta de control

Una ventaja práctica de una estructura de este tipo es que un ingeniero de producto, por ejemplo, que desarrolle una receta determinada, puede definir la secuencia de proceso utilizando instrucciones simples, que pueden ser usadas a su vez por un operador de planta para establecer las condiciones exactas bajo las cuáles la planta funcionará, sin la necesidad de traducción por especialistas de control de procesos (Mcfarlane 1997).

**f. Manejo de controladores.** La inteligencia de la máquina (computador) ofrece velocidad de computación, almacenamiento de información detallada y alta fiabilidad computacional; la inteligencia humana ofrece reconocimiento de patrones, imaginación y sentido común (Mcfarlane 1997).

En el diseño de las interfases hombre-máquina, muchos dispositivos para entrada de datos y presentación en pantalla deben utilizarse con éxito, incluyendo punteros y escala, avisadores y alarmas audibles, y registradores circulares y cartesianos (Mcfarlane 1997).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala, es un proceso completamente manual, ya que el operario es el encargado de agregar la materia prima dentro de la marmita y llevar el control de las variables del proceso por medio de instrumentos ajenos a la línea.

Durante el proceso se realizan pruebas en el laboratorio de control de calidad de una muestra del producto, hasta que el mismo cumpla con las especificaciones previamente establecidas por el cliente. Debido a esto, el proceso de cocción en la marmita constituye el cuello de botella en la producción, ocasionando que aumente el tiempo entre cada lote.

La fábrica de alimentos en cuestión, se dedica a maquilar jaleas y mermeladas que se utilizan para la fabricación de gran variedad de productos alimenticios como: postres, galletas, donas y otros, por lo que es necesario disminuir los tiempos perdidos para aumentar la capacidad de producción.

La automatización de la línea de producción reducirá el tiempo entre cada lote aumentando la productividad diaria, disminuirá los requerimientos energéticos, se logrará el aseguramiento de la calidad del producto, permitirá la trazabilidad del producto terminado en caso de inconformidades del mismo y abrirá, la posibilidad de incorporación de nuevos clientes nacionales y extranjeros.

## **IV. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

- Diseñar un sistema de control automático para la medición de las variables de proceso, temperatura, masa, concentración, viscosidad y el pH de las jaleas y mermeladas para reducir el tiempo de producción en la línea.

### **2. Objetivos específicos**

- Determinar los instrumentos de control para la medición de las variables del proceso.
- Instalar la instrumentación en la línea de producción.
- Determinar los nuevos tiempos de producción de la línea.
- Elaborar el diagrama del sistema de control automático de la línea de producción.
- Elaborar el diagrama de la arquitectura del sistema de control automático de la línea de producción.
- Desarrollar el estudio económico de la automatización de la línea de producción de jaleas y mermeladas.

## **V. PROBLEMA A RESOLVER**

En el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas en una fábrica de alimentos en Guatemala, se pierde demasiado tiempo entre la producción de un lote de producto y el siguiente, debido al ajuste de las especificaciones que debe cumplir el éste y el empaque del mismo.

## VI. METODOLOGÍA

**Etapa 1:** Diseño del proceso que se automatizará.

1. Formulación de una receta de una mermelada para utilizar como guía para diseñar el sistema de control automático.
2. Diseño del proceso de elaboración de la receta guía.

**Etapa 2:** Determinación de las variables del proceso.

3. Establecer las variables del proceso y parámetros de control en la preparación de la receta guía.
4. Determinar el rango de las variables.

**Etapa 3:** Selección de los dispositivos de medida y control y caracterización del equipo auxiliar, con base a las variables del proceso y el rango de las mismas.

5. Investigar documentos que describan las características del equipo utilizado para control de procesos.
6. Determinar el tipo y cantidad de equipo auxiliar para el sistema de control.
7. Localizar proveedores de equipo.
8. Especificar entradas y salidas del sistema
9. Localización puntos de control y alarma.

**Etapa 4:** Diseñar el sistema de control del proceso.

10. Especificar el equipo control del proceso.
11. Determinar accesorios y materiales de montaje.
12. Realizar el diagrama de flujo del proceso.
13. Determinar el tiempo de puesta en marcha.
14. Realizar pruebas finales.

**Etapa 5:** Factibilidad económica

15. Cotizar precios de equipo, instrumentos de control y equipo auxiliar.
16. Realizar un análisis de inversión total
17. Calcular la depreciación del equipo

18. Calcular la rentabilidad del proyecto mediante indicadores como:

- a. Valor actual neto
- b. Tasa interna de retorno
- c. Tiempo de recuperación del capital

La recolección e interpretación de datos en todo el proyecto, se realizará por medio de búsqueda bibliográfica, en la Internet y a través de entrevistas personales con fabricantes locales de equipo de control.

## VII. RESULTADOS

### A. Descripción del proceso actual

En una fábrica de alimentos en Guatemala, el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas consiste básicamente en tres pasos:

1. Preparación de la materia prima
2. Fabricación de las jaleas o mermeladas
3. Empaque del producto terminado

**1. Preparación de la materia prima.** La fábrica de alimentos en cuestión, está instalada en un edificio de tres niveles, en el primer nivel se encuentra el área de preparación. La materia prima fresca (frutas y vegetales) seleccionada según los criterios de control de calidad establecidos en la empresa, es preparada en esta área. Posteriormente se pesa y se empaqueta en cubetas con bolsas plásticas y se congela (en caso de que no se vaya a utilizar ese mismo día) o se envía en el elevador hacia el tercer nivel en donde se encuentra el área de fabricación.

En el tercer nivel se almacena la materia prima seca (químicos) que se van preparando según el requerimiento del producto a elaborar.

**2. Fabricación de las jaleas o mermeladas.** Actualmente el proceso de fabricación de las jaleas y mermeladas se lleva a cabo en una línea de 6 marmitas de diferentes capacidades. Todas las marmitas son accionadas por vapor, que proviene de una caldera automática de 470 kg/h de vapor.

La materia prima es agregada a la marmita por el operario, quien por medio del panel de control de la marmita, programa el tiempo de producción y la temperatura de producto. Algunas de las marmitas tienen un agitador y un homogenizador para lograr la incorporación de los ingredientes y lograr un producto consistente.

Los productos elaborados se calientan a una temperatura de 95 °C y se empaquetan en caliente para evitar contaminación de los mismos.

Cuando las jaleas y mermeladas alcanzan la temperatura programada, el operario de la marmita extrae una muestra, la enfría y la lleva al laboratorio de control de calidad para verificar que cumpla con las especificaciones de producto terminado.

Los parámetros a verificar dependen del tipo de producto, pero básicamente son tres, todos determinados en un rango de temperatura de 19 – 21 °C, la temperatura se determina con un termómetro infrarrojo:

- **Concentración:** Los sólidos solubles se miden por refractometría, se toma una porción de la jalea o mermelada y se coloca en el refractómetro para obtener una lectura de la concentración de sólidos solubles o grados brix. Este parámetro se verifica en todos los productos.
- **pH:** El pH se mide por medio de un pH metro, para todos los productos.
- **Viscosidad:** La viscosidad se determina por medio de un viscosímetro, solamente a algunos productos.

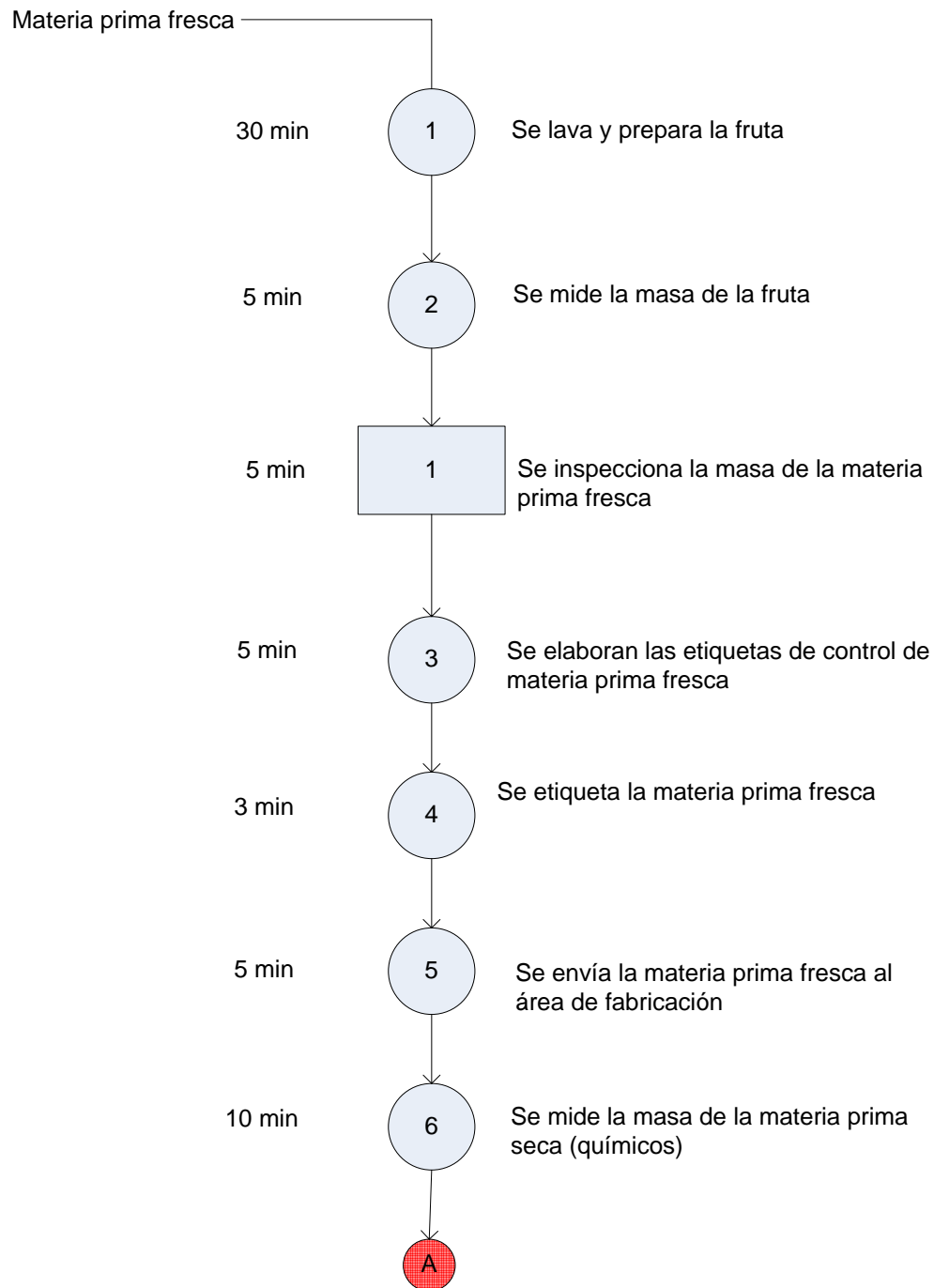
Si el producto no se encuentra dentro del rango de las especificaciones técnicas establecidas por el cliente, el personal del laboratorio, debe inferir qué procedimiento debe seguir el operario para lograr que el producto se encuentre dentro de especificación.

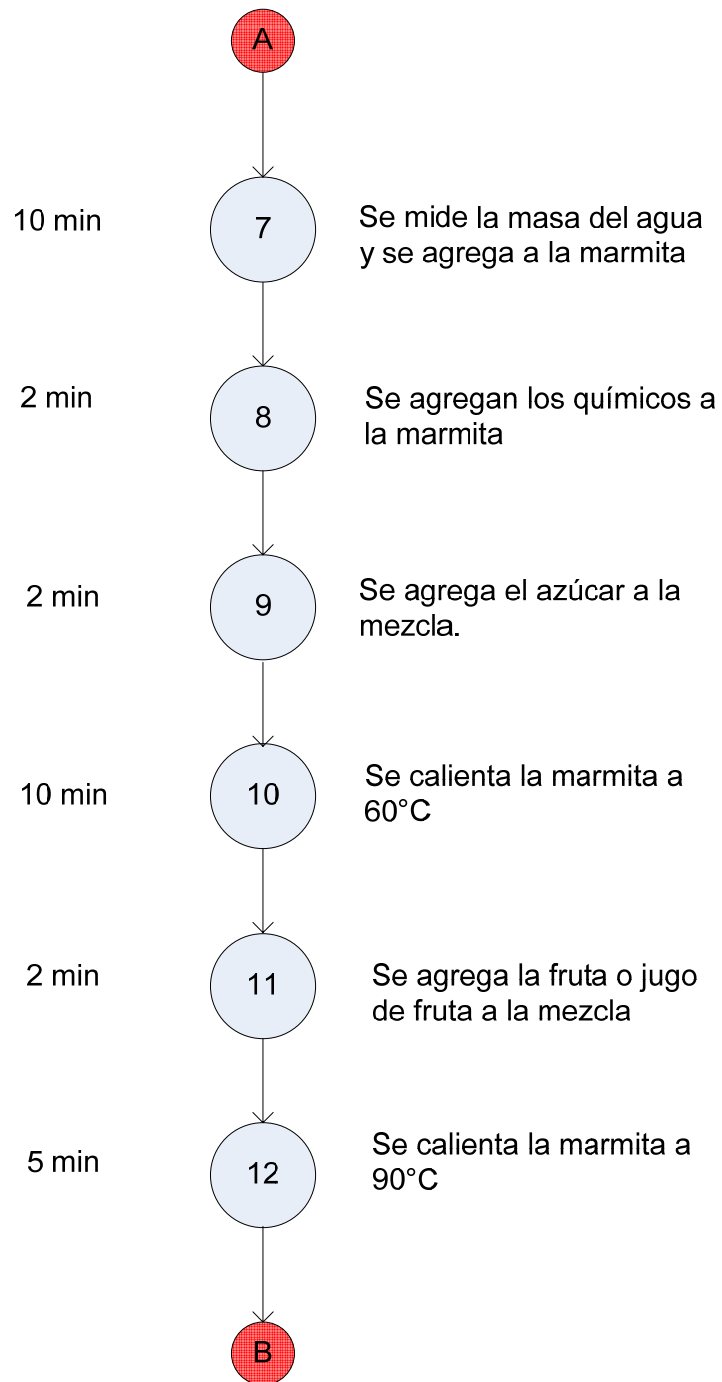
**3. Empaque del producto terminado.** Cuando el producto se encuentra dentro de especificación, el operario con ayuda de un auxiliar, empaqueta el producto a una temperatura no menor de 80 °C, en cubetas de 18.18 kg (40 lb).

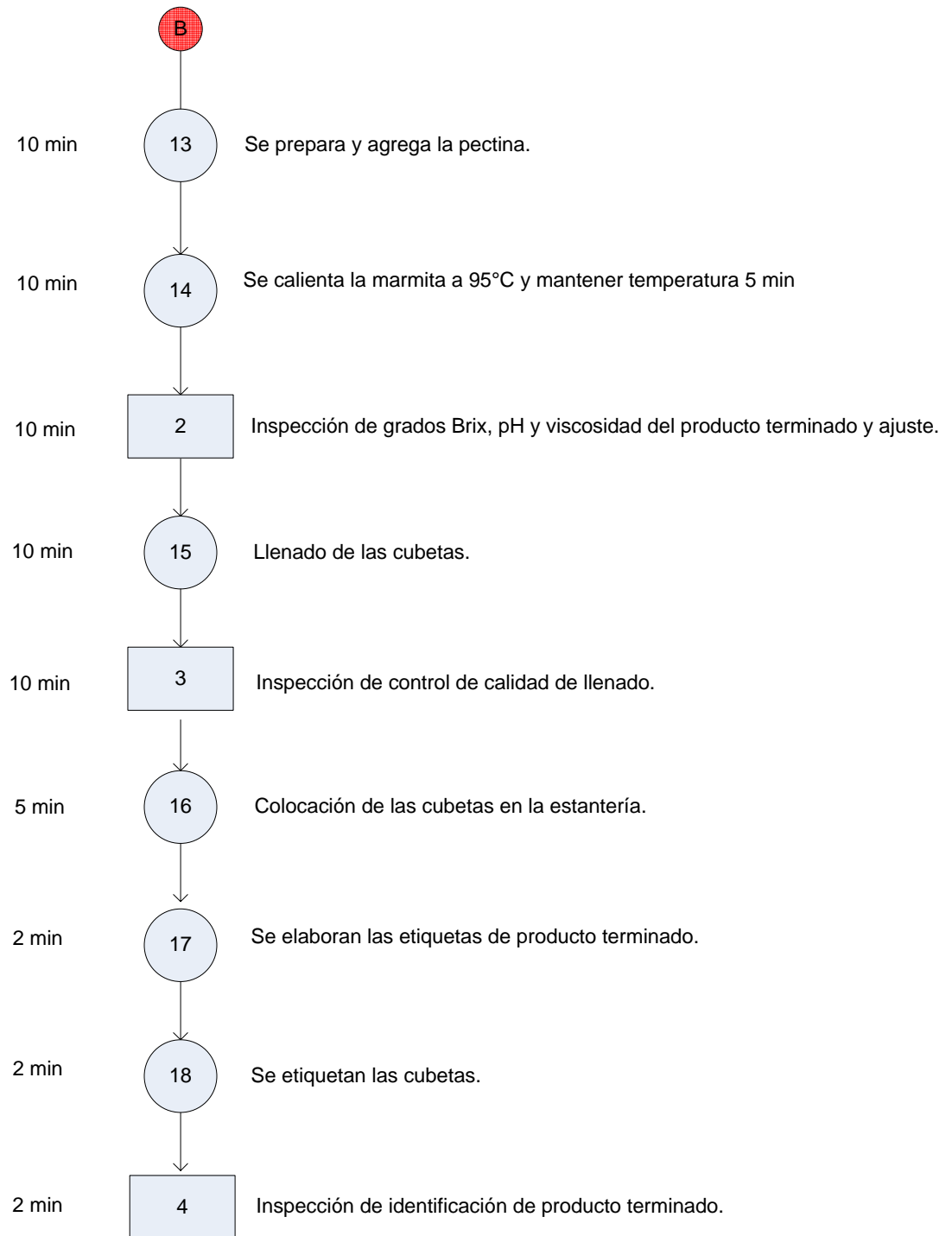
Para hacerlo, el operario de la marmita coloca la cubeta con su respectiva bolsa plástica en la parte inferior de la marmita, abre la válvula de descarga y llena la cubeta hasta la cantidad que considera adecuada. Procede a llenar todas las cubetas y posteriormente verifica el peso de cada cubeta, ajusta en caso de ser necesario con ayuda de un recipiente plástico. Cierra la bolsa con una abrazadera plástica y dependiendo del producto, coloca la tapadera de la cubeta o lo hace hasta el día siguiente. Con la orden de producción solicita la impresión de las etiquetas e identifica cada cubeta.

Las bolsas y las cubetas son enviadas a los cuartos congelados para su almacenaje hasta el día de su envío al cliente.

## B. Diagrama de operaciones del proceso actual







Actividad	No.	Tiempo
Operación	18	78
Inspección	04	27

## C. Diseño del proceso automatizado

Según lo indicado anteriormente, tanto el proceso de preparación de materia prima, fabricación de jaleas y mermeladas y empaque del producto terminado, es un proceso completamente manual y tiene muchos tiempos perdidos que podrían aprovecharse mejor para optimizar el proceso.

**1. Formulación de una receta.** Se elaboró una receta guía para diseñar el sistema de control automático, ésta no forma parte de las recetas de la fábrica de alimentos en cuestión y se utilizará únicamente como ejemplo (protegiendo así la propiedad intelectual).

Se seleccionó una mermelada ya que por su contenido de trozos de fruta es más difícil su proceso de elaboración (por el cuidado que conlleva la fruta en trozos), logrando así que los resultados de esta investigación se apliquen también a las jaleas cuyo proceso de elaboración es más sencillo (no contienen trozos de fruta).

La receta guía es para la elaboración de un lote de mermelada de naranja de 382.20 kg, que consiste en 236.96 kg pulpa de naranja, 36.99 kg de agua, 107.02 kg de azúcar y 1.23 kg de los siguientes ingredientes menores:

- 0.06 kg de sorbato de potasio
- 0.06 kg de benzoato de sodio
- 0.26 kg de ácido cítrico
- 0.85 kg de pectina

La especificación de producto terminado para la mermelada de naranja será de  $68 \pm 1$  grados Brix (68% de sólidos solubles), un pH de  $3.5 \pm 0.1$  y una viscosidad de  $12.5 \pm 0.1$  Pa s. De la cocción se obtendrían 382.2 kg, pero debido a que se evapora 30 % del agua que contiene la pulpa y 3.5 % merma durante el proceso, la cantidad final de mermelada que se obtendrá, es de 254.2 kg (560 lb).

**2. Variables del proceso.** Las variables a controlar en el proceso de producción de la mermelada de naranja son:

- Temperatura de la mermelada
- Presión del vapor
- Flujo volumétrico de agua
- Concentración de la mermelada
- pH de la mermelada

- Viscosidad de la mermelada
- Masa de la mermelada

### 3. Rango de las variables

**Tabla 5**  
**Rango de las variables del proceso**

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>
Temperatura	0-95 °C
Presión	0 – 700 kPa
Flujo volumétrico de agua	30- 40 LPM
Concentración	67 – 69 grados Brix
PH	3.4 – 3.6
Viscosidad	12.4 – 12.6 Pa s
Máximo de carga en celdas	0-268 kg

**4. Sistema de control automático.** Para determinar los dispositivos necesarios para el sistema de control automático del proceso, se seleccionó una marmita con capacidad 268 kg (590.8 lb).

La marmita actualmente cuenta con dos instrumentos de medida, un manómetro para el control de la presión del vapor que ingresa a la misma y una termocopla para el control de la temperatura del producto. Estos instrumentos van conectados a un panel de control, desde el cual el operario de la marmita controla estas variables del proceso.

Considerando las variables del proceso a controlar y el rango de las mismas, se seleccionaron los siguientes dispositivos para el control automático del proceso<sup>1</sup>:

**Presión:** Un transmisor de presión en el cual la corriente de la salida es linealmente proporcional a la presión de entrada. Esta señal electrónica se envía al actuador de la válvula, de esta forma la cantidad de vapor en la marmita será controlada desde el control maestro y visualizada por la computadora. La válvula de vapor actual se reemplazará por una válvula de bronce tipo globo con un posicionador electromagnético.

**Temperatura:** Un sensor-transmisor de temperatura para un rango de 0 a 150 °C, que enviará una señal electrónica al actuador de la válvula de vapor proporcional a la temperatura del producto en la marmita, de esta forma la válvula de vapor dejará pasar más vapor o se cerrará dependiendo los requerimientos del producto.

---

<sup>1</sup> Las especificaciones técnicas de los dispositivos del sistema de control se detallan en el Apéndice.

**Flujo volumétrico de agua:** Un sensor-transmisor de flujo electromagnético de acero inoxidable, éste enviará una señal electrónica al actuador de la válvula proporcional a la flujo de agua necesario, siendo controlado así el flujo de agua que ingresará a la marmita. La válvula instalada en la tubería de agua se reemplazará por una válvula tipo bola de acero inoxidable, la cual contará con un posicionador electromagnético y un actuador neumático de doble diafragma.

**Masa:** Se utilizarán tres sensores-transmisores de masa alimentada a la marmita de 511.36 Kg, uno para cada base de la marmita con una caja de unión (junction box). Estos transmisores enviarán una señal electrónica al sistema de control de la masa de la marmita en cualquier momento, verificando así la cantidad de cada ingrediente agregado al producto. Para la dosificación del producto, serán los transmisores de masa los que envíen la señal electrónica al actuador de la válvula de llenado de producto terminado, de esta forma será posible dosificar el producto. La válvula de llenado actual será reemplazada por una válvula tipo bola de acero inoxidable con posicionador electromagnético y actuador neumático de doble diafragma.

**pH:** Se instalará al sistema actual un sensor-transmisor de pH de un rango de 0.00 a +14.00, el cual enviará una señal electrónica al sistema de control indicando el pH del producto terminado. El sistema de control por medio de la curva de pH, determinará la cantidad de ácido cítrico que debe agregarse al sistema para el ajuste del nivel de acidez.

**Viscosidad:** Se utilizará un transmisor de corriente a señal analógica para determinar por medio de la curva de viscosidad y dependiendo de la cantidad de corriente transferida al agitador la viscosidad del producto terminado.

Además de los dispositivos indicados anteriormente y conociendo la cantidad de entradas y salidas del sistema (referirse al apéndice), el control maestro del sistema consistirá básicamente de los siguientes elementos principales<sup>2</sup>:

**Unidad Central de Proceso (CPU):** Un CPU tipo 222 AP compacto que será el controlador maestro del proceso. Las especificaciones del equipo se encuentran detalladas en el apéndice.

**Módulos de entradas analógicas:** Se utilizarán dos módulos de 4 entradas analógicas EM231.

**Módulos de salidas analógicas:** Se utilizarán dos módulos de 2 salidas analógicas EM232.

---

<sup>2</sup> Las especificaciones técnicas del equipo de control maestro del sistema se detallan en el Apéndice.

**Tarjeta Profibus:** Se utilizará una tarjeta Profibus la cual será el bus de comunicación entre el PLC (Controlador lógico de proceso) y la computadora.

**Programa de Computadora (Software) de visualización:** Se utilizará un programa de computadora (software) de visualización Siemens WIN CC, el cual permitirá ver el proceso de forma gráfica, así como las alarmas del sistema de control y los datos históricos del proceso.

**Computadoras personales:** Se instalará una computadora personal en el área de fabricación y en el área de preparación, estaciones de trabajo (Work Station). La computadora del área de fabricación permitirá la visualización del proceso en forma gráfica y el ingreso del código de barras de la materia prima. La computadora instalada en el área de preparación permitirá el ingreso de los datos de cada lote y la generación de un código de barras con esta información para cada cubeta de materia prima.

**Lector de código de barras:** Se implementará la utilización en el área de fabricación de un lector de código de barras, éste permitirá el almacenamiento en una base de datos de los códigos de barras de las materias primas utilizadas en cada producto. En la bodega de producto terminado también se instalará un lector de código de barras, la implementación de este aparato hará posible verificar las salida del producto terminado de la fábrica.

**5. Diseño del proceso de elaboración de la receta guía.** Utilizando el Sistema de Control automático, la elaboración de las jaleas y mermeladas se realizará de la siguiente forma:

**a. Preparación de la materia prima.** La naranja se seleccionará y preparará en el primer nivel de la fábrica. Se medirá en la báscula de la fábrica la cantidad necesaria para la producción, 236.96 kg de pulpa, esta cantidad corresponde al 88 % de la capacidad de la marmita, el 12 % restante es el volumen en que se incrementa la mezcla al adicionarle el agua el azúcar y los ingredientes menores. La pulpa se empacará en bolsas plásticas colocadas dentro de cubetas plásticas. Esta parte del proceso de preparación de materia prima fresca seguirá igual que como actualmente se realiza.

En esta área se implementará un equipo de computación conectado a la red de la empresa, programa de computadora (software) para la codificación por barras de la materia prima y una impresora de etiquetas con código de barras.


Además del equipo serán necesarios los requerimientos adicionales siguientes:

- Integración a la red Ethernet, mano de obra y materiales
- Ingeniería y desarrollo de sistema de trazabilidad a sistema administrativo.

Debido a que actualmente se tiene un sistema de trazabilidad del producto utilizando etiquetas con la identificación del mismo, las cuales son elaboradas en el laboratorio de control de calidad, la incorporación del equipo mencionado anteriormente permitirá el seguimiento del producto desde este punto, facilitando su identificación en cualquier momento del proceso. La información obtenida del código de barras se almacenará en una base de datos, la cual podrá incorporarse para el manejo de inventarios, control de proveedores y proyecciones anuales de requerimientos de materia prima.

El sistema a implementar generará una etiqueta con la siguiente información:

**Tabla 6**  
**Etiqueta de información con código de barras para la materia prima.**

Tipo de producto	<<Materia prima fresca o seca>>
Número de lote	<<Número de 4 dígitos>>
Proveedor	<<Nombre del proveedor>>
Cantidad	<<Cantidad recibida>>
Fecha de ingreso	<<fecha de ingreso de la materia prima>>
Código de barras	

Las cubetas serán transportadas por medio del elevador hacia el tercer nivel (área de fabricación) de la misma forma que se realiza actualmente.

En el tercer nivel de la fábrica el encargado de la producción de la mermelada recibirá la materia prima del elevador y la dispondrá para su utilización posterior en el proceso.

**b. Fabricación de las jaleas o mermeladas.** El proceso de fabricación de las jaleas y mermeladas con el sistema propuesto llevará los siguientes pasos:

- 1) Inspeccionar la limpieza del equipo a utilizar.
- 2) Preparación de la materia prima necesaria (solicitar envío de fruta o jugo y medir la masa de la materia prima seca).

- 3) Encender el sistema (PLC, equipo de computación, impresora, etc).
- 4) Seleccionar en la computadora la receta a elaborar.
- 5) Leer el código de barras de las materias primas a utilizar.
- 6) El sistema agrega la cantidad de agua necesaria en base a control por masa de las celdas de carga y enciende el agitador a la velocidad programada para cada receta. Para la mermelada de naranja 36.99 kg de agua.
- 7) Alarma para agregar las materias primas secas según requerimiento del sistema en forma espolvoreada para evitar la formación de grumos. En el caso de la mermelada de naranja, se agregará 0.06 kg de benzoato de sodio y sorbato de potasio.
- 8) Alarma para agregar el azúcar en la cantidad indicada en cada receta. Para la mermelada de naranja 107.02 kg de azúcar.
- 9) En este momento la válvula de control automático de vapor se acciona. Al abrirse la válvula, comienza a pasar vapor a la chaqueta y la temperatura asciende hasta igualar a la temperatura programada para cada receta, en este caso 60°C, muestra una alarma para indicar que hay que agregar la fruta (naranja). Agregar 236.96 kg de pulpa de naranja. El sistema de calentamiento mantendrá esa temperatura y el agitador funcionando.
- 10) Luego de que se ha terminado de agregar la fruta la temperatura subirá según lo programado en este paso para cada receta, en este caso 90°C y mantiene el agitador encendido para lograr buena incorporación de la mezcla. En este punto muestra una alarma para agregar la pectina previamente preparada. La temperatura y el agitador se mantienen en los parámetros establecidos. La cantidad de pectina está relacionada con la cantidad de azúcar, por cada 0.15 kg de azúcar se adicionará 0.001 kg de pectina, para la mermelada de naranja 0.85 kg (1.56 lb). La pectina en polvo se prepara disolviéndola en agua, en una solución al 5 %.
- 11) Dependiendo del producto elaborado, debe mantenerse la temperatura por un tiempo el cuál será llevado por un contador de tiempo del sistema. Cuando el tiempo programado termina, se da una alarma y se cierra la válvula de vapor automáticamente.
- 12) En este momento el sistema propuesto determina la viscosidad y el pH de la jalea o mermelada, por medio de la resistencia del producto sobre el agitador monitoreado por la potencia del motor. Si la viscosidad está muy alta se abre la válvula de agua y agrega una cantidad dependiendo del producto, al

minuto vuelve a verificar hasta conseguir el valor deseado. Si la viscosidad está muy baja, la válvula de control automático de vapor se acciona y dejar pasar vapor a la chaqueta por un minuto y con una temperatura límite, vuelve a realizar la medición hasta lograr el valor esperado. En el caso del pH si está muy alto muestra una alarma indicando la cantidad de ácido cítrico que debe agregarse para ajustarlo. La cantidad de ácido cítrico será dada por el sistema según la caracterización de cada producto, datos que la computadora tendrá, y será dosificado manualmente.

13) Luego de que las condiciones o parámetros tanto automáticos como de laboratorio están correctos, el sistema para automáticamente el proceso y está listo para descargar. El sistema de control acciona la válvula de salida del condensado.

Cuando el producto cumple con las especificaciones, el operario de la marmita procede empaclar el producto.

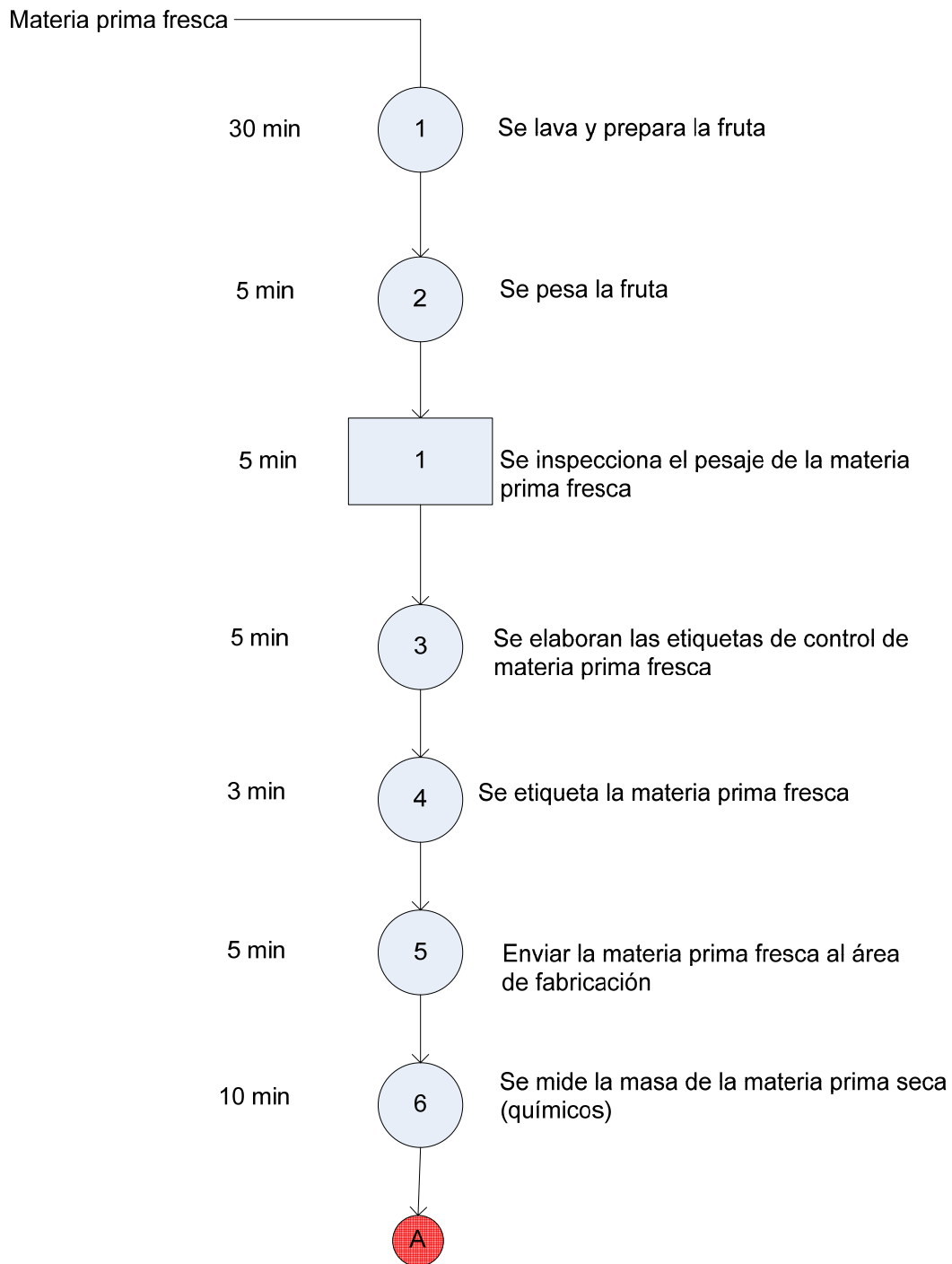
**c. Empaque del producto terminado.** Para empaclar el producto el operario coloca las cubetas con su respectiva bolsa plástica en la parte inferior de la marmita se abre la válvula de llenado. El sistema de control propuesto llena la cubeta con la cantidad indicada en la receta.

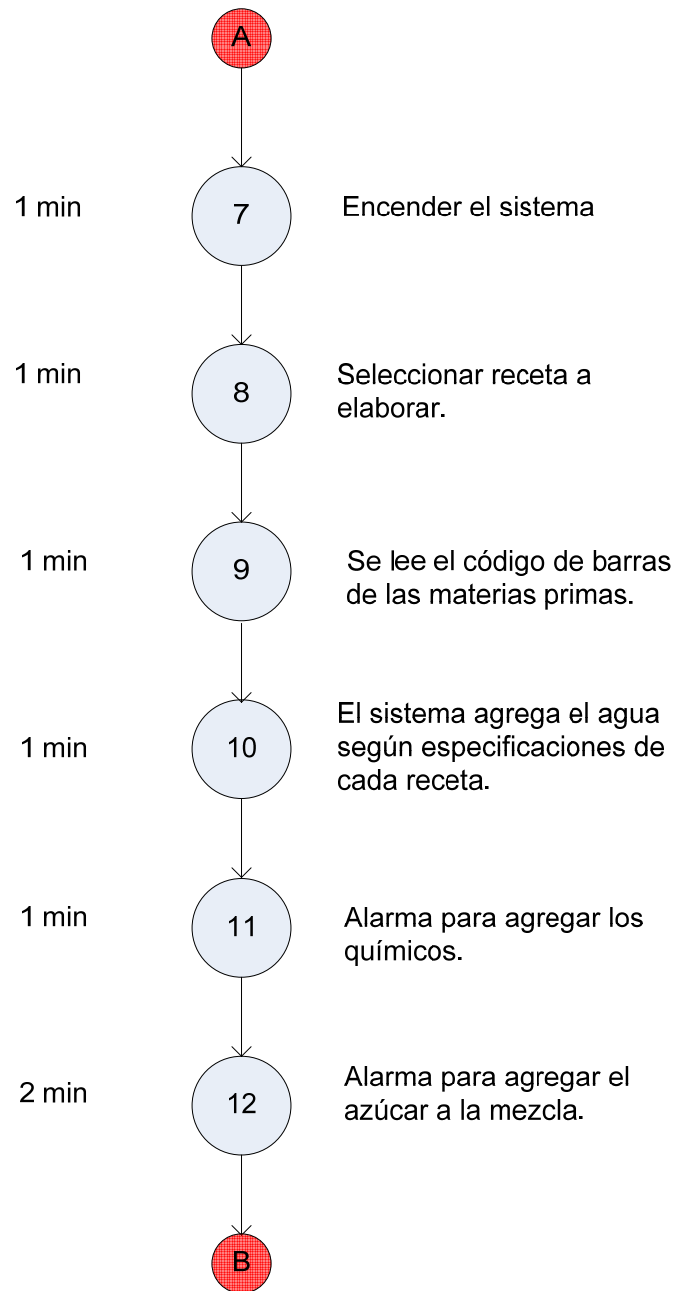
Cuando termina de llenar todas las cubetas, el sistema imprime las etiquetas de producto terminado con la información correspondiente a número de lote, fecha de elaboración y vencimiento, registro sanitario del producto y su respectivo código de barras.

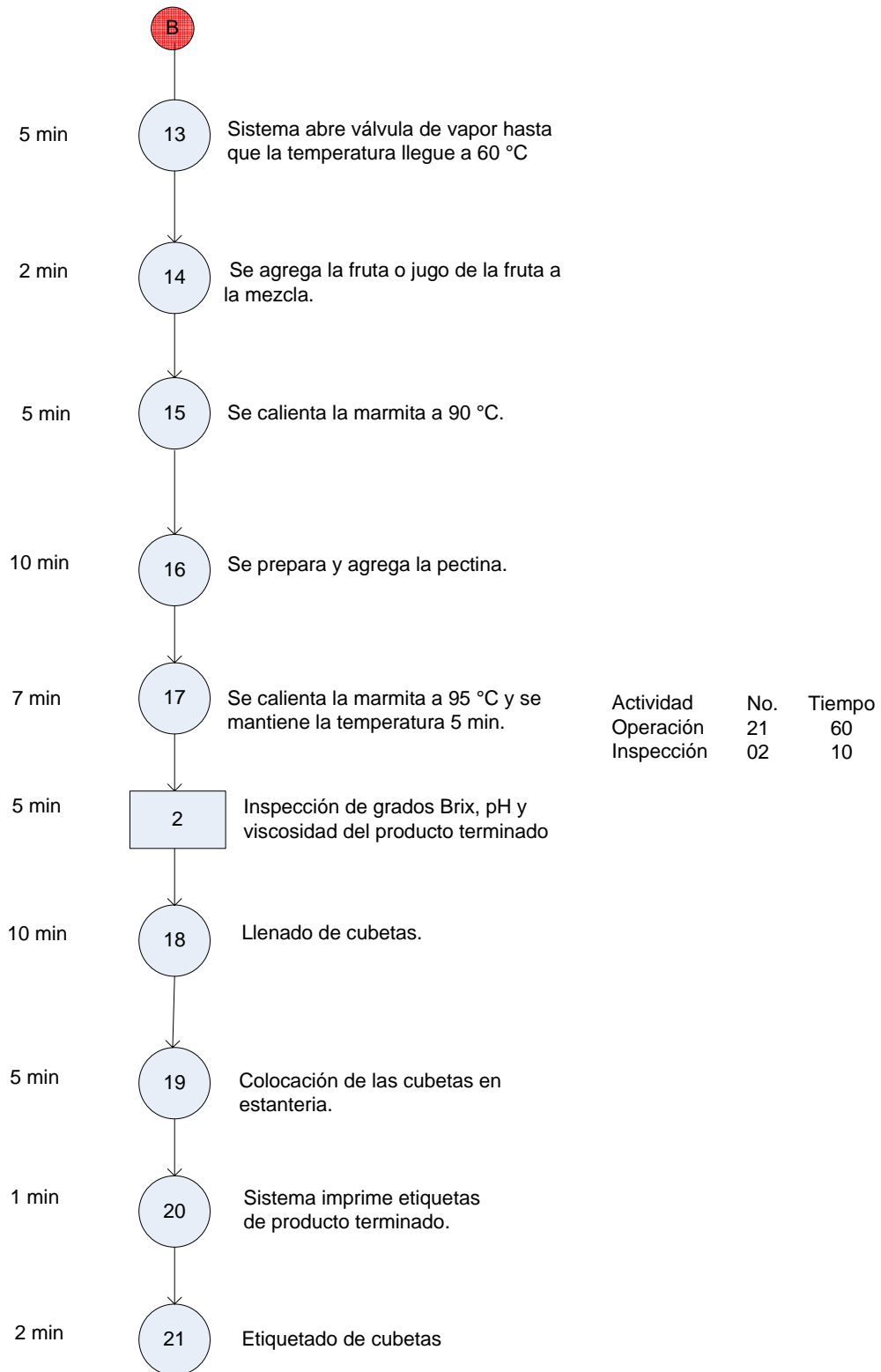
El operario etiqueta el producto terminado, cierra cada bolsa con ayuda una abrazadera plástica y deja enfriar el producto hasta el día siguiente cuando coloca las tapaderas a las cubetas y las envía a la bodega de producto terminado.

En la bodega de producto terminado, el encargado lee el código de barras de cada una de las cubetas de un envío. Esta información es almacenada en una base de datos para lograr en cualquier momento la trazabilidad del producto, desde el ingreso de las materias utilizadas en el mismo hasta el producto final entregado a cada cliente.

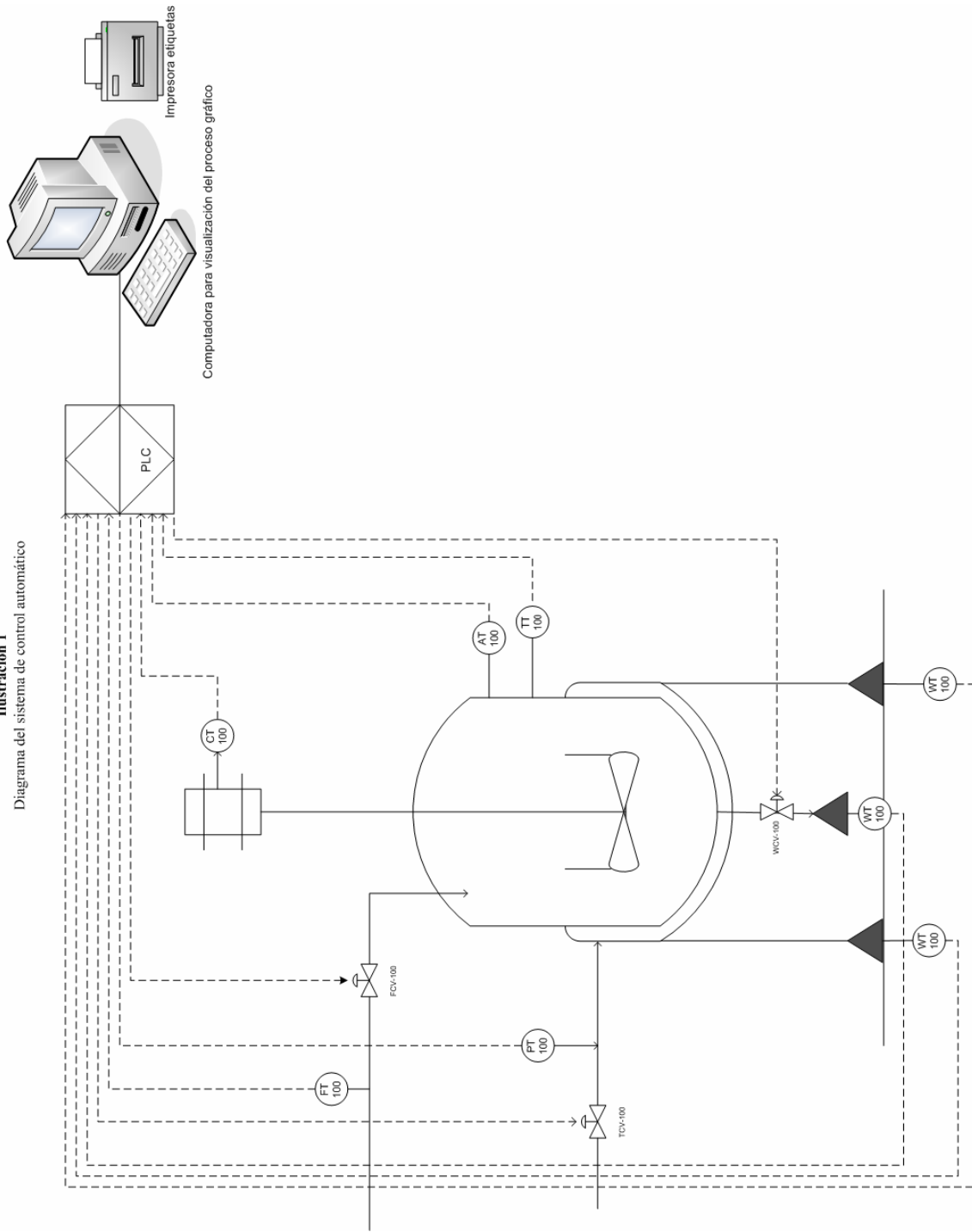
### D. Diagrama de operaciones con el sistema de control automático





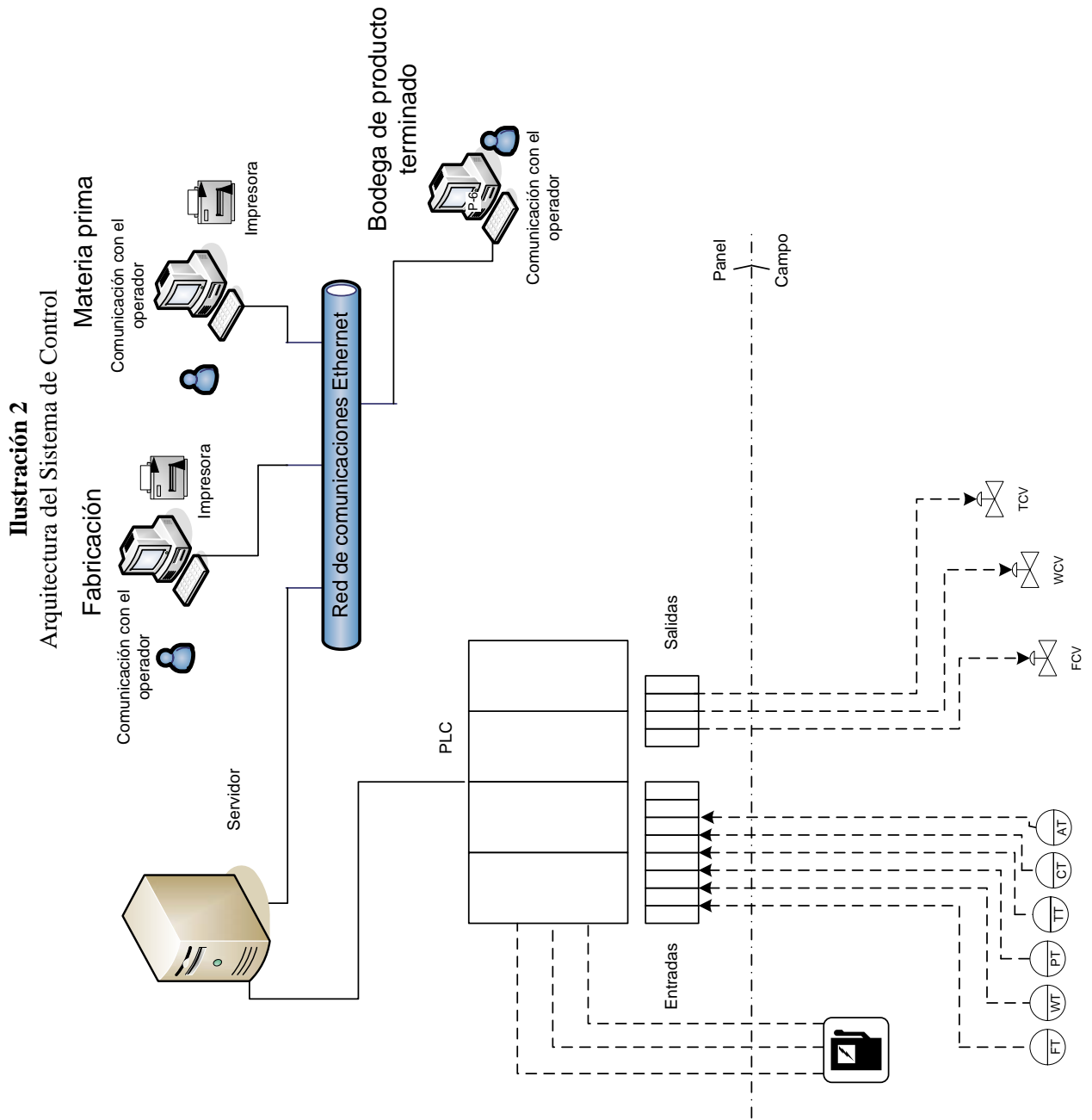


**Ilustración 1**  
Diagrama del sistema de control automático



Impresora etiquetas

Computadora para visualización del proceso gráfico





## VIII. DISCUSIÓN

Este trabajo es una propuesta para la automatización del proceso de producción de jaleas y mermeladas, en una fábrica de alimentos, tratando de mejorar la eficiencia del mismo por medio de la incorporación de sensores y el sistema de control automático.

Para el efecto, se realizó el diagrama de operaciones de una de las 6 líneas de producción y se determinó que el proceso de cocción en la marmita y empaque del producto terminado constituye el cuello de botella en la producción, ocasionando que aumente el tiempo entre cada lote.

Se seleccionó una marmita de 268 kg y se elaboró una receta guía de una mermelada de naranja para el diseño del sistema de control automático. De acuerdo a las variables del proceso y el rango de las mismas, se seleccionaron los instrumentos de control y los dispositivos del control maestro del sistema.

Para determinar la cantidad de presión del vapor que ingresará a la chaqueta de la marmita, se seleccionó un sensor-transmisor de presión, éste enviará una señal electrónica al controlador proporcional a la presión del vapor en la tubería, el controlador a su vez enviará una señal a la válvula de control del vapor con el objeto de modificar su apertura en el sentido adecuado dependiendo de los requerimientos del sistema.

La temperatura del producto terminado será determinada por un sensor-transmisor de temperatura, el cual enviará una señal electrónica al controlador, el cual verificará el valor ingresado y enviará una señal a la válvula de control de vapor en caso de requerir más vapor para aumentar la temperatura del producto o cerrar el paso del mismo.

La marmita seleccionada cuenta con una tubería para el ingreso de agua a la misma, la cual actualmente no está siendo utilizada, el operario de la marmita pesa y agrega el agua requerida manualmente. Con el sistema propuesto se instalará un transmisor de flujo volumétrico, de esta forma la cantidad de agua para cada producto, será agregada a la marmita por el sistema de control.

Para disminuir el tiempo de producción por ajuste de especificaciones técnicas del producto, se seleccionó un sensor-transmisor de pH, el cual medirá la acidez del producto terminado y enviará una señal electrónica proporcional a la medición realizada. El sistema de control verificará el dato ingresado y lo comparará con la curva de pH, indicando al operario cuánto ácido cítrico debe agregar en caso de ser necesario (en base a una tabla para adición de ácido cítrico previamente elaborada). Para la viscosidad, se utilizará un sensor-transmisor de corriente a señal analógica, éste medirá la corriente del motor del agitador y en base a la curva de corriente-viscosidad para cada producto, efectuará los ajustes programados para cada receta.

La verificación y ajuste automático de las especificaciones de producto terminado, disminuirá la cantidad de producto no conforme de la empresa ya que actualmente existe un 0.8 % de producto no conforme anual.

El control maestro del sistema será el controlador lógico programable (PLC), el cual unido con la computadora y los programas (software) permitirá la visualización del proceso en forma gráfica.

La incorporación de una codificación por barras de las materias primas permitirá la trazabilidad de las mismas y del producto terminado en caso de inconformidades del mismo, así como también el almacenamiento en una base de datos de esta información hará posible contar con datos históricos de producción, que en un futuro pueden incorporarse al sistema administrativo de la fábrica para el manejo de inventarios tanto de materia prima como de producto terminado, control de proveedores de materia prima, control de pedidos por cliente y proyecciones de materia prima anuales y por temporadas.

La implementación del sistema de control automático redujo el tiempo de cocción y empaque de las jaleas y mermeladas en un 33.33 %, lo cual corresponde a un lote más de producción al día. Debido a que la fábrica de alimentos en cuestión, se dedica a maquilar jaleas y mermeladas que se utilizan para la fabricación de gran variedad de productos alimenticios, aumentar la capacidad de producción le abrirá la posibilidad de incorporación de nuevos clientes nacionales y extranjeros.

El sistema de control automático también permite la reducción del personal de la línea de producción, debido a que únicamente el operario de la marmita sería el encargado de controlar el proceso y ya no se necesitarían dos supervisores de calidad, ya que los análisis al producto terminado los realizaría en su mayoría el sistema de control automático. También se reducirá el uso de maquinaria, ya que la báscula electrónica que es utilizada por la línea de producción actual para el ajuste de la masa del producto terminado, puede utilizarse también en otras líneas de producción al disminuir su tiempo de uso.

Otra de las ventajas del sistema de control automático es la reducción de la manipulación del producto terminado, al evitar el ajuste manual de la masa del producto. Esto evitaría la contaminación del producto tanto por manipulación y por disminución de temperatura del mismo (haciéndolo más susceptible a contaminarse). También evita que el operario sufra daños por quemaduras al manipular el producto caliente.

El análisis económico se realizó para determinar la rentabilidad de la automatización de la línea de producción. Se estimó para un período de 10 años. Se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), a partir del flujo de efectivo. El flujo de efectivo muestra un valor positivo en el segundo año, lo cual muestra que la inversión inicial tiene un período de recuperación de 1.17 años; la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 63 %, y el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y mayor que la inversión inicial y los costos de producción, lo cual muestra que el proyecto es viable de ser implementado.

## **IX. CONCLUSIONES**

1. La implementación del sistema de control automático reduce el tiempo de cocción y empaque de las jaleas y mermeladas.
2. La utilización del sistema de control automático permite la producción de un lote más al día lo cual corresponde a un incremento del 33 % de la producción diaria, también minimiza la probabilidad de reclamos y la cantidad de producto para reproceso.
3. Con el sistema de control automático se reduce la manipulación del producto terminado lo cual evitará daños por quemaduras al operario y la contaminación del producto terminado.
4. La incorporación de las etiquetas con código de barras permitirá la trazabilidad de las materias primas y del producto terminado. Esta información en el futuro podría ser de utilidad para el manejo de inventarios, control de proveedores y clientes y para estimaciones de producción.
5. El proyecto de automatización es rentable y la inversión tiene un tiempo de recuperación de 1.17 años. La tasa interna de retorno del proyecto es 63 %.
6. El punto de equilibrio es cuando se producen 143,000 kg de mermelada, a partir de este punto se cubren los costos de producción totales con las ventas totales.

## **X. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar la factibilidad técnica y económica de la incorporación de las 6 líneas de producción al sistema de control automático para aumentar la producción total de la empresa disminuyendo los tiempos perdidos entre cada lote.
2. Utilizar información histórica de mediciones del sistema de control para lograr un aprovisionamiento más eficiente e identificar puntos débiles del proceso.
3. Un análisis económico de los costos fijos a través de prorrateo de insumos globales, para determinar el costo real por unidad producida.
4. Evaluar la factibilidad técnica y económica para la adquisición de una máquina empacadora para las presentaciones en bolsas de 0.91 kg de jaleas y mermeladas.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Belitz, H., W. Grosch. 1992. *Química de los alimentos*. 2ª ed. España. Editorial Acribia, S. A.
2. Blank L., A. Tarquin. 2004. *Ingeniería económica*. 5ª ed. México D.F. McGraw Hill Interamerican S.A. 796 págs.
3. Corrales, José, *et al.* *Manual de instrumentación y control de procesos*. 1998. Madrid, España. Editorial Alción, S.A. 181 págs.
4. Desrosier, N. 1987. *Elementos de tecnología de alimentos*. 5ª ed. México. Compañía Editorial Continental.
5. Desrosier, N. 1959. *The technology of food preservation*. Connecticut, U.S.A. AVI Publishing Company.
6. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean. 1985. U.S.A. *Technical manual basic food processing*.
7. McFarlane, I. 1997. *La automatización de la fabricación de alimentos y bebidas*. Madrid, España. A. Madrid Vicente, Ediciones. 276 págs.
8. Paniagua, F. *Enciclopedia de la electrónica ingeniería y técnica*. 1985. Barcelona, España. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. 1084 págs.
9. Ranken, M. 1988. *Manual de industrias de los alimentos*. 2ª ed. España. Editorial Acribia, S.A.
10. Tsai, T. 1986. *Modern control techniques for the processing industries*. New York, U.S.A. Marcel Dekker Inc. 277 págs.
11. Weston, J., E. Brigham. 1994. *Fundamentos de Administración Financiera*. 10ª ed. México. Mc Graw Hill.

**Bibliografía de Internet:**

1. <http://www.siemens.com/processinstruments>
2. <http://www.nibco.com>
3. <http://www.hardyinst.com>
4. <http://www.dell.com>
5. <http://www.satoamerica.com>

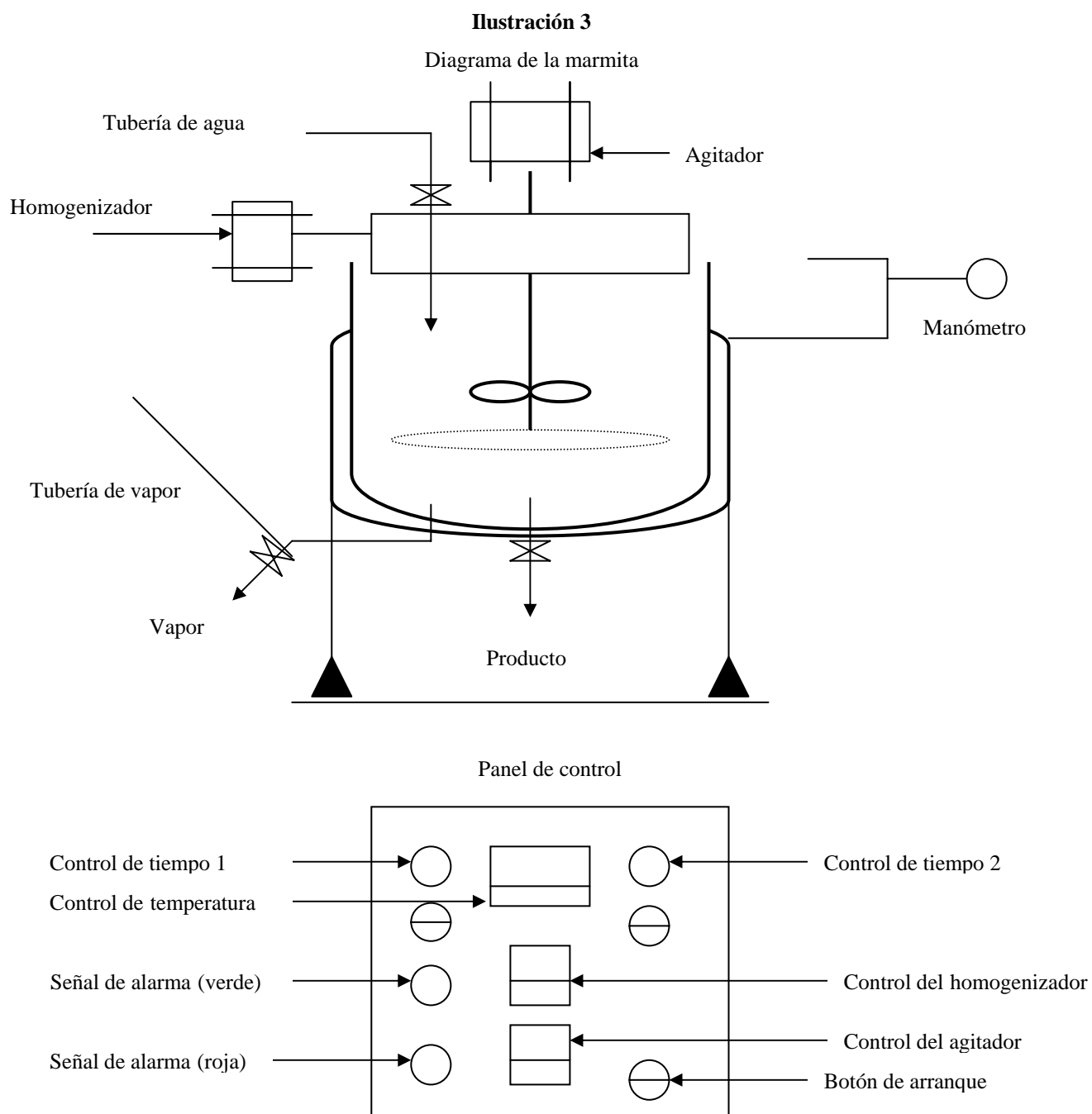
**Otras fuentes de información:**

1. ESINSA, 20 calle 8-63 z. 11 Colonia Mariscal.
2. SEGA, Av. Hincapié 1-27 z.13.

## XII. APÉNDICE

### A. Diagrama de la mamita

La marmita seleccionada para instalar el sistema de control es marca Groen modelo No. F 80, No. de serie 37264 hecha en Chicago (Estados Unidos) en 1954, tiene una capacidad de 268 kg (590.8 lb), un diámetro de 0.32 m y 0.75 m de altura, consta los siguientes dispositivos:



## B. Selección de los dispositivos del sistema de control

El sistema de control engloba a todos los dispositivos que sirven de interfase con el usuario y a todo el conjunto de elementos que sirven de puente entre los distintos elementos de campo (entre los elementos primarios o de medida y los finales) (Corrales 1998).

**1. Transmisor de presión.** La presión, además de ser una de las variables más utilizadas en el control de procesos, es sin duda la más importante. Todos los sistemas para la medida de presión tienen básicamente dos elementos: el sensor o elemento primario, que está en contacto directo con el proceso, y el transmisor (Corrales 1998).

Los sensores o elementos primarios son los dispositivos que están en contacto directo con el proceso y tienen la misión de convertir la señal en una señal preferentemente de desplazamiento o deformación, para que posteriormente se convierta en una señal útil. Existen diferentes tipos de sensores o elementos primarios (Corrales 1998).

La señal que proporciona el sensor no es apta para el receptor. Es preciso realizar un acondicionamiento de esta señal y transformarla en una señal eléctrica o neumática normalizada. Esta operación es realizada por los transmisores (Corrales 1998).

En este caso se utilizará un transmisor con sensor electro-mecánico de galga extensiométrica (strain galge) que aporta una señal proporcional a la presión medida, que será tratada y posteriormente, transmitida a los dispositivos encargados de su recepción. El sensor es una celda de film delgado que para la medición tiene un puente de resistencia, en el cual la presión de operación es transmitida a través del diafragma de cerámica. El voltaje de salida de la celda de medición es alimentado a un amplificador y convertido en una corriente de salida de 4 a 20 mA.


Se utilizaron los siguientes criterios para la selección del transmisor de presión:

- **Integración en planta:** Por tratarse de un área donde la medición de sus variables se van a integrar en el sistema automático de control, se optó por el transmisor de presión inteligente para unificar el protocolo de comunicación.
- **Situación de la instalación:** Son importantes la situación geográfica de la planta como la ubicación de los transmisores dentro de ella. El área de la marmita donde se va a colocar

el transmisor, es accesible y el tamaño del transmisor seleccionado es adecuado. Debido a que las condiciones climatológicas no son rigurosas no es necesario un transmisor con las opciones adecuadas. No se va a instalar en áreas de atmósferas explosivas, por lo cual no necesita corresponder a certificados de clasificación.

- **Tipo de proceso:** El tipo de proceso condiciona los materiales en contacto con el mismo. En este caso el transmisor seleccionado está elaborado para manejar gases, líquidos y vapores agresivos y no agresivos.
- **Precisión:** En cuanto más elevada sea la precisión de la medida mayor será la calidad de control del lazo donde se integre. La precisión suele describirse como el error producido por la acción conjunta de los errores de linealidad, histéresis y repetibilidad, para conocer el comportamiento real del transmisor a las condiciones del proceso hay que tener en cuenta el error probable que incluye los efectos de la presión estática y el efecto de la temperatura (Corrales 1998). El transmisor seleccionado tiene una precisión de 0.5% del valor de la escala completa. El error en la medida corresponde a mediciones realizadas a 25 °C, incluyendo errores de linealidad, histéresis y repetibilidad.
- **Costes de mantenimiento:** Los transmisores inteligentes reducen los costes de mantenimiento gracias a su gran estabilidad y capacidad de comunicación.

**Tabla 8**  
**Especificaciones del transmisor de presión <sup>3</sup>**

<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	Sitrans P
<b>Tipo</b>	Presión relativa o manométrica
<b>Entrada</b>  Medición variable  Rango de medición	  0 a 16 bar (0 - 232 psi)  0 a 25 bar (0 - 363 psi)
<b>Salida</b>  Señal de corriente de salida	  4 a 20 mA
<b>Condiciones promedio</b>  <i>Condiciones del medio</i>  Temperatura del proceso	    -30 a +120 °C
<b>Diseño</b>  Masa  <i>Materiales de las partes húmedas</i>  Celda de medición	  ≈ 0.2 Kg    Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> al 96%
<b>Figura</b>	

<sup>3</sup> Referirse a página de Internet [www.siemens.com/processinstruments](http://www.siemens.com/processinstruments)

Los principales componentes del transmisor de presión son:

- Caja (housing) de acero inoxidable, con celda de medición de silicón y placa con las partes electrónicas.
- Conexión al proceso
- Conexión electrónica

**2. Válvula de control del vapor.** La válvula de control es el elemento final de un lazo de control. Su misión consiste en ejecutar las órdenes procedentes del controlador u otros instrumentos. Estos miden y controlan las variables de proceso y según la desviación entre el dato real de la variable medida y la fijada, manda una señal correctora a la válvula. Esta abrirá o cerrará, interrumpiendo o dejando pasar el fluido, en función de la señal recibida (Corrales 1998).

La válvula de control está formada por dos elementos fundamentales:

- Cuerpo y partes internas
- Actuador o servomotor

El primero regula el paso del fluido, mientras que el segundo actúa sobre el elemento obturador de la válvula modificando su apertura (Corrales 1998).

Se seleccionó una válvula tipo globo de bronce.


El posicionador se encarga de transmitir una señal electromagnética al actuador, con el fin de que este actúe sobre la válvula posicionándola en una situación abierta, cerrada o intermedia (Corrales 1998).

El actuador de la válvula, será de tipo neumático de doble diafragma. Los dos diafragmas cilíndricos actúan en dirección opuesta. El diseño del doble diafragma es superior a los diseños anteriores porque utiliza un pequeño volumen de aire y su diseño de baja fricción, proporciona una respuesta rápida y precisa.(2).

Entre las ventajas de este tipo de actuador están:

- Fiabilidad y simplicidad de diseño.
- Usados donde no son requeridas grandes fuerzas.
- Económicos (Corrales, 1998).

**Tabla 9**  
**Especificaciones de la válvula de control del vapor <sup>4</sup>**


<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Nibco
<b>Tipo</b>	Globo
<b>Tamaño nominal</b>	0.254 m (1 pulg)
<b>Tipo de conexión</b>	Roscada NPT
<b>Material del cuerpo</b>	Bronce
<b>Tipo de posicionador</b>	Electromagnético
<b>Tipo de actuador</b>	Neumático de doble diafragma
<b>Marca del actuador</b>	Metso
<b>Modelo del actuador</b>	EC 05
<b>Figura</b>	

**3. Transmisor de temperatura.** La temperatura es la variable más utilizada en el control de procesos. Se seleccionó un transmisor de campo, éste convierte señales de termómetros de resistencia a señales de corriente directa. Los sensores de este transmisor están aislados, lo cual les permite soportar altas temperaturas del proceso y vibración. Este modelo de transmisor de temperatura, integra tres elementos en uno sólo: un termómetro de resistencia en una cubierta de acero inoxidable, una carcasa de acero inoxidable con un alto grado de protección y un transmisor de medida con pantalla de despliegue y tres botones para configuración.

---

<sup>4</sup> Referirse a página de Internet [www.nibco.com](http://www.nibco.com)

**Tabla 10**  
**Especificaciones del transmisor de temperatura <sup>5</sup>**

<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SITRANS TF2
<b>Rango</b>	0 a 150 °C
<b>Tipo de instalación</b>	Tecnología dos alambres (two-wire)
<b>Sensores conectables</b>	Sensores tipo resistencia, termómetros de resistencia, termocoplas y fuentes de voltaje directo.
<b>Accesorios</b>	Termómetro de resistencia Pt 100 Pantalla de despliegue LC con tres botones para configuración
<b>Salida</b>	4 a 20 mA
<b>Figura</b>	

**4. Transmisor de caudal volumétrico.** Se utilizará un transmisor de caudal para enviar una señal electrónica al actuador proporcional al caudal de agua en la tubería, de esta forma la cantidad de agua en la marmita será controlada desde el control maestro del sistema. Actualmente la cantidad requerida de agua, se agrega manualmente.

El transmisor de flujo electromagnético ofrece una medida confiable y precisa de todos los líquidos conductivamente eléctricos. Está caracterizado por su simplicidad: es fácil instalar, operar y


<sup>5</sup> Referirse a página de Internet [www.siemens.com/processinstrumentation](http://www.siemens.com/processinstrumentation)

dar mantenimiento. Está formado básicamente por un tubo de caudal situado dentro de un campo magnético y un transmisor de señal. En el tubo de caudal se genera una fuerza electromotriz como consecuencia del movimiento del fluido dentro del campo magnético, basado en la Ley de Faraday de inducción electromagnética (Corrales 1998).

El sensor (tubo de flujo) convierte el flujo a un voltaje eléctrico proporcional a la velocidad del flujo. Está construido de acero inoxidable, electrodos, 2 bobinas, carcasa y una línea aislada.

El convertidor de señales consiste en un bloque de funciones que convierten el voltaje del sensor a lecturas de flujo.

**Tabla 11**  
**Especificaciones del transmisor de caudal volumétrico**


<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Siemens SITRANS F M MAGFLO
<b>Modelo</b>	MAG 1100 FOOD
<b>Tipo</b>	Electromagnético
<b>Tamaño nominal</b>	0.254 m (1 pulg)
<b>Tipo de conexión</b>	Sanitaria
<b>Material del cuerpo</b>	Acero inoxidable 316 SS
<b>Material del interior</b>	Teflón grado FDA <sup>6</sup>
<b>Rango de temperatura</b>	-28.88 a 148.8 °C
<b>Electrodo</b>	Aleación de Platino C276
<b>Sensor</b>	Acero inoxidable 316 SS modelo MAG 1100
<b>Convertidor</b>	Modelo MAG 6000
<b>Figura</b>	 <p>MAG 1100 FOOD</p>

<sup>6</sup> FDA Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Drogas).

**5. Válvula de control del caudal del agua.** En el caso del agua, se seleccionó una válvula tipo bola de acero inoxidable debido a que tiene las ventajas mencionadas anteriormente, con posicionador electromagnético y actuador neumático de doble diafragma.

**Tabla 12**

**Especificaciones de la válvula de control del caudal del agua <sup>7</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Nibco
<b>Tipo</b>	Bola
<b>Tamaño nominal</b>	0.254 m (1 pulg)
<b>Tipo de conexión</b>	Sanitaria
<b>Material del cuerpo</b>	Acero inoxidable 316 SS
<b>Tipo de posicionador</b>	Electromagnético
<b>Tipo de actuador</b>	Neumático de doble diafragma
<b>Marca del actuador</b>	Metso
<b>Modelo del actuador</b>	EC 05
<b>Figura</b>	

**6. Transmisores de masa.** El transmisor de masa consiste en un sensor de acero inoxidable completamente sellado.


---

<sup>7</sup> Referirse a página de Internet [www.nibco.com](http://www.nibco.com)

Se utilizarán tres transmisores de masa de 511.36 kg uno para cada base de la marmita.

**Tabla 13**

**Especificaciones de los transmisores de masa <sup>8</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Hardy Instruments
<b>Modelo</b>	HI HLPS
<b>Tipo</b>	Celda de carga
<b>Masa</b>	511.36 kg (1,125 lb)
<b>Equipo adicional</b>	Caja de unión (junction box) Marca Hardy Instruments Serie HI 215 JB
<b>Figuras</b>	

Las celdas estarán conectadas a la caja de unión (junction box) y de la caja de unión a un módulo del control central del PLC (Controlador lógico programable).

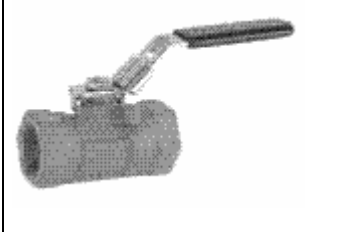
**7. Válvula de control de llenado de producto terminado.** Se seleccionó una válvula tipo bola de acero inoxidable debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Excelente control ante fluidos viscosos, erosivos, fibrosos o con sólidos en suspensión. La mermelada es un fluido con sólidos en suspensión.
- Alta rangeabilidad (relación existente entre el máximo y el mínimo coeficiente de caudal controlable por una válvula).
- Mayor capacidad que las válvulas de globo (Corrales 1998).

El posicionador será electromagnético y el actuador neumático de doble diafragma.

<sup>8</sup> Referirse a página de Internet [www.hardyinst.com](http://www.hardyinst.com)

**Tabla 14**  
**Especificaciones de la válvula de control de llenado de producto terminado <sup>9</sup>**

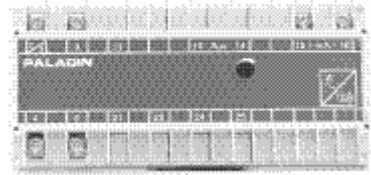
<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Nibco
<b>Tipo</b>	Bola
<b>Tamaño</b>	0.508 m (2 pulg)
<b>Tipo de conexión</b>	Sanitaria
<b>Material del cuerpo</b>	Acero inoxidable 316 SS
<b>Tipo de posicionador</b>	Electromagnético
<b>Tipo de actuador</b>	Neumático de doble diafragma
<b>Marca del actuador</b>	Metso
<b>Modelo del actuador</b>	EC 05
<b>Figura</b>	

**8. Viscosidad del producto terminado.** Para determinar la viscosidad del producto terminado se utilizará un transmisor de corriente a señal analógica.

---

<sup>9</sup> Referirse a página de Internet [www.nibco.com](http://www.nibco.com)

**Tabla 15**  
**Especificaciones del transmisor <sup>10</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Crompton
<b>Tipo</b>	Transductor Paladin
<b>Serie</b>	250 clase 0.5
<b>Rango de entradas</b>	Voltaje 63.5, 100,110,120,220,240,250,380,400,415 y 480 V a.c. , 50 o 60 Hz
<b>Rango de salidas</b>	$\pm 1\text{mA}/5\text{mA}/10\text{mA}/20\text{mA}$ , 50 o 60 Hz
<b>Figura</b>	

La señal analógica se relacionará con la viscosidad por una curva, elaborada de la siguiente forma:

Para determinar la relación entre el voltaje y la viscosidad, se propone la realización de una curva de viscosidad, determinando la cantidad de corriente que pasa a través del agitador en:

1. La marmita vacía
2. La marmita llena de agua.
3. La marmita con la mermelada 1 (viscosidad 1)
4. La marmita con la mermelada 2 (viscosidad 2), tal que  $v_2 > v_1$ .


Con los datos determinados anteriormente se grafica la viscosidad en función de la corriente que pasa al agitador. Esta gráfica se ingresará a la computadora del sistema de control para que

<sup>10</sup> Referirse a página de Internet [www.crompton.com](http://www.crompton.com)

determine la viscosidad como una función de la variación de la corriente en el agitador de la marmita. De acuerdo al valor determinado y el valor de viscosidad para cada producto realizará el ajuste respectivo.

**9. Transmisor del pH del producto terminado.** Para determinar el pH del producto terminado se utilizará un transmisor de pH.<sup>11</sup>

**Tabla 16**  
**Especificaciones del transmisor de pH<sup>11</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Honeywell
<b>Modelo</b>	APT 2000
<b>Series</b>	2-Wire
<b>Rango</b>	pH 0.00 a +14.00 mV -1500mV a +1500mV
<b>Figura</b>  <b>Electrodo y panel de control</b>	

<sup>11</sup> Referirse a página de Internet [www.honeywell.com/sensing](http://www.honeywell.com/sensing)

## C. DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

**1. Unidad Central de Proceso (CPU).** El elemento fundamental de los sistemas de control será el dispositivo capacitado para la incorporación de lógica o “inteligencia” para las tareas regulatorias. La lógica incorporada puede ir desde la secuenciación de operaciones todo-nada (habitual en procesos de operaciones discretas o discontinuas) hasta la aplicación de algoritmos de control dentro de un lazo, simple o multivariable (típicamente en procesos continuos). (Corrales 1998). Se utilizará un CPU que será el control maestro del proceso con las siguientes especificaciones:

**Tabla 17**  
**Especificaciones del CPU (Unidad Central de Proceso) <sup>12</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo/tipo</b>	SIMATIC S7-200/ CPU 222 AP. Compacto
<b>Alimentación</b>	DC 2 Kb palabras en instrucciones
<b>Programación</b>	8 ED DC/6 SD DC PROFIBUS DP Ampliable

Para determinar la cantidad de módulos de entrada y salida, se identificaron las entradas y salidas analógicas del sistema de control:

**Tabla 18**  
**Entradas y salidas analógicas del sistema de control**

No.	Etiqueta	Descripción	Analógica	
			Entrada	Salida
1	FT-100	Transmisor de Flujo volumétrico de agua	1	
2	FCV-100	Válvula de control del ingreso del agua		1
3	WT-100	Masa de la marmita	1	
4	WCV-100	Válvula de control de llenado producto terminado		1
5	TCV-100	Válvula de control del vapor		1
6	PT-100	Presión del vapor	1	
7	TT-100	Temperatura de producto	1	
8	VT-100	Viscosidad del producto	1	
9	AT-100	pH de producto	1	

<sup>12</sup> Referirse a página de Internet [www.siemens.com/processinstruments](http://www.siemens.com/processinstruments)

Se determinó un total de 6 entradas y 3 salidas analógicas, por lo cual se instalarán dos módulos de 4 entradas analógicas y dos módulos de 2 salidas analógicas.

## 2. Módulos de entradas analógicas

Las tarjetas de entradas (E) y salidas (S) se encargan de la comunicación con campo mediante la recepción y/o envío de señales. Cada tarjeta puede ser sólo de E, sólo de S o E/S pudiendo ser, en cualquiera de los tres casos, señales analógicas (termopar, termorresistencia, 4-20 mA, 0-10 V, etc) o digitales (24 ó 48 V dc, 24-230 V ac. Etc.) (Corrales 1998).

Se utilizarán dos módulos de 4 entradas analógicas con las siguientes especificaciones:

**Tabla 19**  
**Especificaciones de los módulos de entradas analógicas**<sup>13</sup>

<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SIMATIC S7-200
<b>Tipo de entrada</b>	Analógica EM 231
<b>Convertidor</b>	12 Bit $\pm$ 10V DC
<b>Aplicación</b>	Sólo para CPU S7-22X, 4 IA (input analog) entradas analógicas

## 3. Módulos de salidas analógicas

Se utilizarán dos módulos de 2 salidas analógicas con las siguientes especificaciones:

<sup>13</sup> Información proporcionada por ESINSA, 20 calle 8-63 z. 11 Colonia Mariscal.

**Tabla 20**  
**Especificaciones de los módulos de salidas analógicas**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	SIMATIC S7-200
<b>Tipo de salida</b>	Analógica EM 232
<b>Convertidor</b>	12 Bit $\pm$ 10V DC
<b>Aplicación</b>	Sólo para CPU S7-22X, 2 AQ (analog quit) salidas analógicas

#### **4. Tarjeta Profibus**

Se utilizará una tarjeta Profibus la cual será el bus de comunicación entre el PLC (Controlador lógico de proceso) y la computadora.

#### **5. Programa de Computadora (Software) de visualización**

Se utilizará un programa de computadora (software) de visualización Siemens WIN CC, el cual permitirá ver el proceso de forma gráfica, así como las alarmas del sistema de control y los datos históricos del proceso.

#### **6. Computadora personal**

La computadora personal del área de fabricación tendrá las siguientes características:

**Tabla 21**  
**Especificaciones de la computadora para el sistema de control**

<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	DELL
<b>Modelo</b>	Estación de Trabajo Precisión (Precision Workstation 470)
<b>Procesador</b>	2 GHz
<b>Memoria de acceso aleatorio RAM (Random Access Memory)</b>	1Gb
<b>Capacidad Disco duro HD (Hard Disk)</b>	160 Gb
<b>Cantidad y tipo de puertos</b>	4 puertos USB
<b>Monitor</b>	Panel plano DELL de 19" Modelo E196FP

#### **7. Accesorios adicionales**

- Accesorios eléctricos y panel de control (Cables, terminales, tornillos, riel de sujeción, canaletas, identificadores, fuentes de poder, etc).
- Diagrama eléctrico
- Desarrollo del sistema de control, ingeniería y puesta en marcha
- Integración al sistema administrativo.

#### **8. Computadora personal**

Se utilizará una computadora personal en el área de preparación de materia prima con las siguientes especificaciones:

**Tabla 22**  
**Especificaciones de la computadora personal <sup>14</sup>**

<b>Descripción</b>	<b>Característica</b>
<b>Marca</b>	DELL
<b>Modelo</b>	Estación de Trabajo (Work Station)
<b>Procesador</b>	Pentium 2.6 GHz
<b>Memoria de acceso aleatorio RAM (Random Access Memory)</b>	512 Kb
<b>Capacidad Disco duro HD (Hard Disk)</b>	80 Mb
<b>Cantidad y tipo de puertos</b>	4 puertos USB
<b>Monitor</b>	Tipo Flat panel Tamaño 17"

### **9. Impresora de etiquetas para diagramas de barras**

Se utilizará una impresora en el área de preparación para la generación de etiquetas de identificación del producto, por medio de un código de barras.

---

<sup>14</sup> Referirse a página de Internet [www.dell.com](http://www.dell.com)

**Tabla 23**  
**Especificaciones de la impresora de etiquetas con código de barras<sup>15</sup>**

Descripción	Característica
<b>Marca</b>	SATO
<b>Modelo</b>	MB200
<b>Velocidad de impresión</b>	0.625 m/s
<b>Ancho de impresión máx.</b>	0.048m
<b>Largo de impresión máx.</b>	0.16m
<b>Adicionales</b>	Programa de computación (software) para etiquetas con código de barras
<b>Figura</b>	

## 10. Lector de código de barras

Se implementará el uso de un lector de código de barras en el área de fabricación para controlar las materias primas utilizadas en cada producto y un lector de código de barras en el área de la bodega de producto terminado para la verificación de los datos del producto que se enviará al cliente.

<sup>15</sup> Referirse a página de Internet [www.satoamerica.com](http://www.satoamerica.com)

**Tabla 24**  
**Especificaciones del lector de código de barras <sup>16</sup>**

Descripción	Característica
Marca	Intermec
Modelo	ScanPlus 1800 SR
Velocidad	400 scan / s
Puerto	USB

**Tabla 25**  
**Nomenclatura para los dispositivos del sistema de control.**

FT-100	Transmisor de flujo
FCV-100	Válvula de control de agua
WT-100	Transmisor de masa de la marmita
WCV-100	Válvula de control de llenado producto terminado
TCV-100	Válvula de control del vapor
PT-100	Transmisor de presión del vapor
TT-100	Transmisor de temperatura del producto terminado
M-200	Arranque del motor del agitador
M-201	Motor trabajando
M-202	Motor disparado
M-205	Auto-manual
M-250	Arranque del motor del homogenizador
M-251	Motor trabajando
M-252	Motor disparado
M-253	Auto-manual
CT-100	Transmisor de corriente a señal analógica
AT-100	Transmisor de pH del producto terminado

<sup>16</sup> Información proporcionada por SEGA, Av. Hincapié 1-27 z.13.

## D. Análisis económico

Se realizó un análisis económico para evaluar la rentabilidad del proyecto. Se hizo el análisis económico con la implementación del sistema de control automatizado de la línea de producción, calculando la inversión inicial a partir del costo total del equipo de fabricación.

**1. Materiales, insumos y servicios generales.** Para la fabricación de un lote de mermelada de naranja de 454.54 kg (560 lb), se necesitan los siguientes materiales, insumos y servicios generales:

**Tabla 26**

### Materia prima utilizada con el sistema de control automático

Material	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Pulpa de naranja	kilogramo	236.96	1.54	364.92
Azúcar	kilogramo	107.02	3.50	374.57
Pectina	kilogramo	0.85	73.44	62.42
Ácido cítrico	kilogramo	0.26	11.90	3.09
Benzoato de sodio	kilogramo	0.06	20.59	1.24
Sorbato de potasio	kilogramo	0.06	49.50	2.97
Cubetas de 40 lb	unidad	14	8.90	124.60
Bolsa plástica	unidad	14	0.59	8.26
Abrazadera plástica	unidad	14	0.10	1.40
Etiquetas	unidad	14	0.08	1.12
<b>Total con empaque</b>				<b>944.59</b>
<b>Empaque</b>				<b>134.26</b>
<b>Total sin empaque</b>				<b>810.33</b>

**Tabla 27**

### Insumos utilizados con el sistema de control automático

Insumo	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Agua	litro	60	0.10	6.00
Energía*	kW	30.43	1.15	35.00
Diesel	GPh	3	19.80	59.40
<b>Total</b>				<b>100.40</b>

\* Cálculo consumo de energía:  $Q.28,000.00$  (promedio de facturación mensual de energía) \* 0.6 (60% de utilización de energía en área de producción) /6 (líneas de producción que comparten uso de energía) /20 (días productivos del mes) /4 (lotes de producto diarios)

Tabla 28

## Servicios generales utilizados con el sistema de control automático

Servicio	Mes	Año	% que cubre la línea
Teléfono	3,000.00	6,000.00	17%
Extracción de basura	150.00	300.00	17%
Internet	374.85	749.70	17%
Agua	1,750.00	3,500.00	17%
Energía eléctrica	11,200.00	22,400.00	17%
Transporte	4,500.00	9,000.00	17%
<b>Totales</b>	<b>20,974.85</b>	<b>41,949.70</b>	

Tabla 29

## Otros Costos utilizados con el Sistema de Control Automático

Servicio	Mes	Año	% que Cubre la línea
Mantenimiento de instalaciones	138.89	1,666.67	17%
Impuestos sobre inmuebles	83.33	1,000.00	17%
<b>Totales</b>	<b>222.22</b>	<b>2,666.67</b>	

## 2. Costo unitario y precio de venta

Tabla 30

## Costos unitario y precio de venta de 1 kg de mermelada de naranja con el sistema de control automático

Descripción	Valor (Q)
Costo materias primas lote de producto	944.59
Costos insumos lote de producto	100.40
<b>Costo de producción lote de producto</b>	<b>1,044.99</b>
Costos unitario	4.11
Precio de venta unitario	7.39

Tabla 31

## Producción anual y ventas brutas anuales de mermelada de naranja con el sistema de control automático

Descripción	Unidades	Unidades producidas	Valor (Q)
Producción al día	kg	1018.08	3,166.62
Producción anual	kg	244,339.20	1,003,192.74
<b>Ventas brutas anuales</b>	<b>kg</b>	<b>244,339.20</b>	<b>2,006,227.84</b>

### 3. Costo mobiliario, equipo y vehículos

Tabla 32

Costo mobiliario, equipo y vehículos con el sistema de control automático.

Cantidad	Especificación	Costo Unitario	Costo Total	Costo Proporcional
12	Computadoras de escritorio	10,000.00	120,000.00	20,000.00
1	Computadoras portátiles	8,000.00	8,000.00	1,333.33
16	Teléfonos individuales	200.00	3,200.00	533.33
11	Impresoras	1,000.00	11,000.00	1,833.33
1	Impresora de etiquetas	2,400.00	2,400.00	400.00
2	Lectores de código de barras	1,800.00	3,600.00	3,600.00
1	Transmisor de flujo volumétrico	9,180.00	9,180.00	9,180.00
1	Válvula de control del agua	12,240.00	12,240.00	12,240.00
3	Transmisores de masa	6,375.00	19,125.00	19,125.00
1	Válvula de control de llenado producto	14,152.50	14,152.50	14,152.50
1	Válvula de control del vapor	9,945.00	9,945.00	9,945.00
1	Transmisor de presión	1,530.00	1,530.00	1,530.00
1	Transmisor de temperatura	1,530.00	1,530.00	1,530.00
1	Transmisor de corriente a señal analógica	6,120.00	6,120.00	6,120.00
1	Transmisor de pH en línea	12,240.00	12,240.00	12,240.00
1	CPU ( Control maestro del proceso)	7,267.50	7,267.50	7,267.50
1	Dos módulos de entradas analógicas de 4	2,295.00	4,590.00	4,590.00
1	Dos módulos de salidas analógicas de 2	2,295.00	4,590.00	4,590.00
1	Tarjeta profibus (bus de comunicación entre el PLC y la PC)	2,677.50	2,677.50	2,677.50
1	Software de visualización (Ver proceso, alarmas, históricos)	9,180.00	9,180.00	9,180.00
1	Accesorios eléctricos y panel	15,300.00	15,300.00	15,300.00
1	Mano de obra de panel de control incluye diagrama eléctrico	3,825.00	3,825.00	3,825.00
1	Desarrollo de sistema de control, ingeniería y puesta en marcha	15,300.00	15,300.00	15,300.00
1	Integración al sistema administrativo/financiero	7,650.00	7,650.00	7,650.00
2	Computadoras personales para sistema de control	10,000.00	20,000.00	20,000.00
2	Lectores de código de barras	1,800.00	3,600.00	3,600.00
1	Impresora de etiquetas con código de barras	2,400.00	2,400.00	2,400.00
2	Muebles para computadoras nuevas según especificaciones	1,500.00	3,000.00	3,000.00
1	Fotocopiadora	2,500.00	2,500.00	416.67
2	Dispensador de agua	400.00	800.00	133.33
1	Televisor	2,500.00	2,500.00	416.67
1	Reproductor de video	450.00	450.00	75.00
1	Panel	60,000.00	60,000.00	10,000.00
1	Camión pequeño	80,000.00	80,000.00	13,333.33
1	Camión grande	150,000.00	150,000.00	25,000.00
14	Sillas fijas	400.00	5,600.00	933.33
11	Sillas de escritorio	1,000.00	11,000.00	1,833.33
10	Escritorios de oficina	1,000.00	10,000.00	1,666.67
14	Archivos individuales	600.00	8,400.00	1,400.00
6	Librerías	4,500.00	27,000.00	4,500.00
7	Mesas de comedor	100.00	700.00	116.67
30	Sillas de comedor	40.00	1,200.00	200.00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q693,792.50</b>	<b>Q273,167.50</b>

#### 4. Depreciación mobiliario, equipo y vehículos

Tabla 33

##### Depreciación mobiliario, equipo y vehículos con el sistema de control automático

Especificación	Costo total	Costo proporcional	Valor salvamento	Depreciación proporcional
Computadoras de escritorio	120,000.00	20,000.00	Q12,000.00	Q666.67
Computadoras portátiles	8,000.00	1,333.33	Q800.00	Q44.44
Teléfonos individuales	3,200.00	533.33	Q320.00	Q17.78
Impresoras	11,000.00	1,833.33	Q1,100.00	Q61.11
Impresora de etiquetas	2,400.00	400.00	Q240.00	Q13.33
Lectores de código de barras	3,600.00	3,600.00	Q360.00	Q120.00
Transmisor de flujo volumétrico	9,180.00	9,180.00	Q918.00	Q306.00
Válvula de control del agua	12,240.00	12,240.00	Q1,224.00	Q408.00
Transmisores de masa	19,125.00	19,125.00	Q1,912.50	Q637.50
Válvula de control de llenado producto	14,152.50	14,152.50	Q1,415.25	Q471.75
Válvula de control del vapor	9,945.00	9,945.00	Q994.50	Q331.50
Transmisor de presión	1,530.00	1,530.00	Q153.00	Q51.00
Transmisor de temperatura	1,530.00	1,530.00	Q153.00	Q51.00
Transmisor de corriente a señal analógica	6,120.00	6,120.00	Q612.00	Q204.00
Transmisor de pH en línea	12,240.00	12,240.00	Q1,224.00	Q408.00
CPU ( Control maestro del proceso)	7,267.50	7,267.50	Q726.75	Q242.25
Dos módulos de entradas analógicas de 4	4,590.00	4,590.00	Q459.00	Q153.00
Dos módulos de salidas analógicas de 2	4,590.00	4,590.00	Q459.00	Q153.00
Tarjeta profibus (Bus de comunicación entre el PLC y la PC)	2,677.50	2,677.50	Q267.75	Q89.25
Software de visualización	9,180.00	9,180.00	Q918.00	Q306.00
Accesorios eléctricos y panel	15,300.00	15,300.00	Q1,530.00	Q510.00
Mano de obra de panel de control incluye diagrama eléctrico	3,825.00	3,825.00	Q382.50	Q127.50
Desarrollo de sistema de control y puesta en marcha	15,300.00	15,300.00	Q1,530.00	Q510.00
Integración al sistema administrativo/financiero	7,650.00	7,650.00	Q765.00	Q255.00
Computadoras personales para sistema de control	20,000.00	20,000.00	Q2,000.00	Q666.67
Lectores de código de barras	3,600.00	3,600.00	Q360.00	Q120.00
Impresora de etiquetas con código de barras	2,400.00	2,400.00	Q240.00	Q80.00
Muebles para computadoras nuevas	3,000.00	3,000.00	Q300.00	Q100.00
Fotocopiadora	2,500.00	416.67	Q250.00	Q13.89
Dispensador de agua	800.00	133.33	Q80.00	Q4.44
Televisor	2,500.00	416.67	Q250.00	Q13.89
Reproductor de video	450.00	75.00	Q45.00	Q2.50
Panel	60,000.00	10,000.00	Q6,000.00	Q333.33
Camión pequeño	80,000.00	13,333.33	Q8,000.00	Q444.44
Camión grande	150,000.00	25,000.00	Q15,000.00	Q833.33
Sillas fijas	5,600.00	933.33	Q560.00	Q31.11
Sillas de escritorio	11,000.00	1,833.33	Q1,100.00	Q61.11
Escritorios de oficina	10,000.00	1,666.67	Q1,000.00	Q55.56
Archivos individuales	8,400.00	1,400.00	Q840.00	Q46.67
Librerías	27,000.00	4,500.00	Q2,700.00	Q150.00
Mesas de comedor	700.00	116.67	Q70.00	Q3.89
Sillas de comedor	1,200.00	200.00	Q120.00	Q6.67
<b>TOTALES</b>	<b>Q693,792.50</b>	<b>Q273,167.50</b>	<b>Q69,379.25</b>	<b>Q9,105.58</b>

## 5. Costo de maquinaria

En el caso de la maquinaria utilizada para la producción de la mermelada de naranja, su costo se consideró como el 100 %, en el caso de la maquinaria para la preparación de la fruta se consideró únicamente como el 16.7% ya que la misma también se utiliza con las demás líneas de producción.

**Tabla 34**

### Costo de maquinaria con el sistema de control automático

Cantidad	% de tiempo	Especificación	Costo Unitario Q	Costo Proporcional
1	16.7%	Mesa de separación y lavado	7,650.00	1,275.00
1	16.7%	Despulpador	21,420.00	3,570.00
1	100.0%	Marmita	45,900.00	45,900.00
1	16.7%	Balanza electrónica	38,525.00	6,420.83
1	16.7%	Balanza electrónica	38,525.00	6,420.83
<i>TOTAL</i>				<b>Q63,586.67</b>

## 6. Depreciación maquinaria

La depreciación de la maquinaria se calculó para 5 años por el método de la línea recta. El valor de salvamento se calculó como el 10% del costo total.

**Tabla 35**

### Depreciación maquinaria

Cantidad	% de tiempo	Especificación	Costo proporcional	Valor salvamento	Depreciación anual
1	16.7%	Mesa de separación y lavado	1,275.00	Q765.00	Q255.00
1	16.7%	Despulpador	3,570.00	Q2,142.00	Q714.00
1	100.0%	Marmita	45,900.00	Q4,590.00	Q9,180.00
1	16.7%	Balanza electrónica	6,420.83	Q3,852.50	Q1,284.17
1	16.7%	Balanza electrónica	6,420.83	Q3,852.50	Q1,284.17
<i>TOTAL</i>			<b>Q63,586.67</b>	<b>Q15,202.00</b>	<b>Q12,717.33</b>

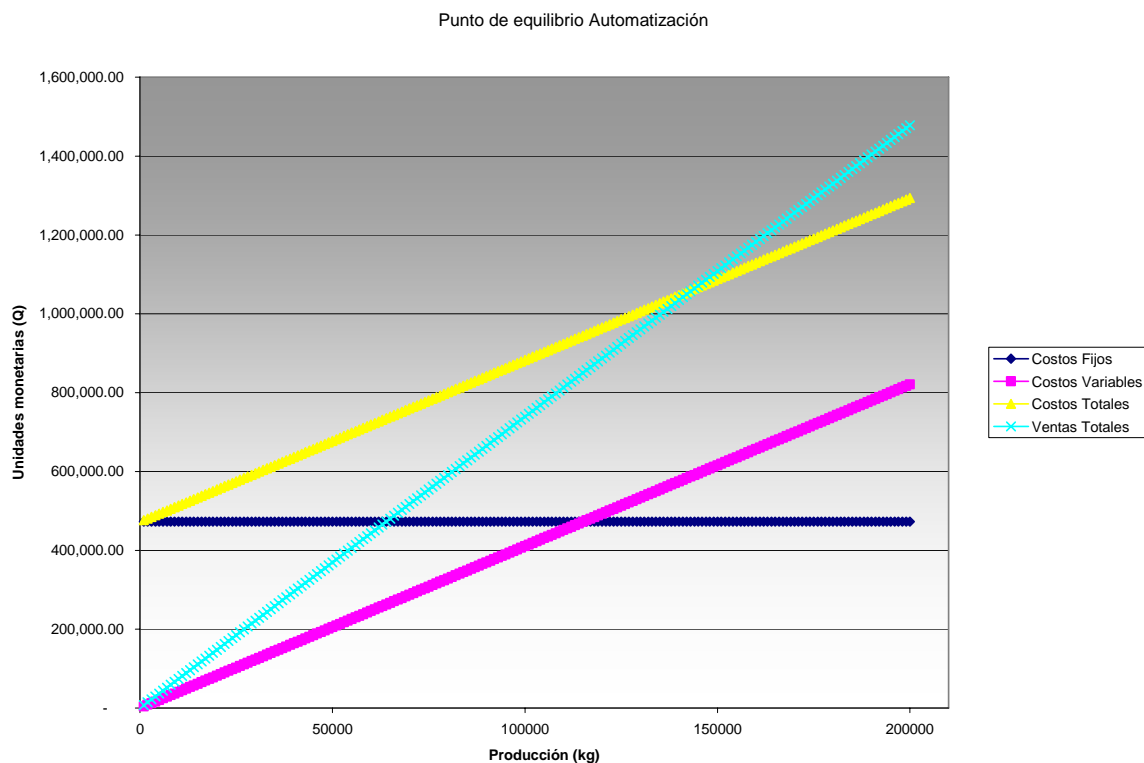
Tabla 36: Salarios y Prestaciones

No.	Cantidad	% Tiempo	Descripción de Puesto	Salario Base	Salario Proporcional	Costos de Cuotas Patronales										BONO POR DECRETO	Costo Total Patrono
						IGSS	IRTRA	INTECAP	AGUINALDO	BONO 14	INDEMNIZACION	VACACIONES					
1	1	16.7%	Director Gral	18,000.00	3,000.00	320.10	30.00	30.00	250.00	250.00	125.10	41.67	4,338.53				
2	1	16.7%	Gerente Plana	12,000.00	2,000.00	213.40	20.00	20.00	166.67	166.67	83.40	41.67	2,906.24				
3	1	16.7%	Gerente Administrativo	8,000.00	1,333.33	142.27	13.33	13.33	111.11	111.11	55.60	41.67	1,951.39				
4	3	16.7%	Asistentes	3,000.00	1,500.00	160.05	15.00	15.00	125.00	125.00	62.55	41.67	2,190.10				
5	2	16.7%	Jefes de Area	3,500.00	1,166.67	124.48	11.67	11.67	97.22	97.22	48.65	41.67	1,712.67				
6	1	16.7%	Mantenimiento 1	3,500.00	583.33	62.24	5.83	5.83	48.61	48.61	24.33	41.67	877.17				
7	3	16.7%	Seguridad 3	1,800.00	900.00	96.03	9.00	9.00	75.00	75.00	37.53	41.67	1,330.73				
8	3	16.7%	Pilotos 3	2,000.00	1,000.00	106.70	10.00	10.00	83.33	83.33	41.70	41.67	1,473.96				
9	1	16.7%	Limpieza	1,500.00	250.00	26.68	2.50	2.50	20.83	20.83	10.43	41.67	399.74				
10	1	16.7%	Gerente de Producción	5,000.00	833.33	88.92	8.33	8.33	69.44	69.44	34.75	41.67	1,235.24				
11	1	16.7%	Jefe de Calidad	6,000.00	1,000.00	106.70	10.00	10.00	83.33	83.33	41.70	41.67	1,473.96				
12	2	16.7%	Encargado de Bodegas	2,750.00	916.67	97.81	9.17	9.17	76.39	76.39	38.23	41.67	1,354.60				
13	1	16.7%	Supervisor de Producción	2,750.00	456.33	48.90	4.58	4.58	38.19	38.19	19.11	41.67	698.13				
14	2	16.7%	Supervisor de Calidad	2,750.00	916.67	97.81	9.17	9.17	76.39	76.39	38.23	41.67	1,354.60				
15	2	16.7%	Asistente de Bodegas	2,000.00	666.67	71.13	6.67	6.67	55.56	55.56	27.80	41.67	996.53				
16	1	16.7%	Supervisor de Preparación	2,750.00	456.33	48.90	4.58	4.58	38.19	38.19	19.11	41.67	698.13				
17	1	16.7%	Operario de Preparación de Fruta	2,000.00	333.33	35.57	3.33	3.33	27.78	27.78	13.90	41.67	519.10				
18	1	16.7%	Asistente de Preparación de Fruta	1,750.00	291.67	31.12	2.92	2.92	24.31	24.31	12.16	41.67	459.42				
19	1	16.7%	Supervisor de Laboratorio	1,500.00	250.00	26.68	2.50	2.50	20.83	20.83	10.43	41.67	399.74				
20	1	100.0%	Operario de Mermita	2,000.00	2,000.00	213.40	20.00	20.00	166.67	166.67	83.40	250.00	3,114.58				
21	0	100.0%	Auxiliar de Mermita	1,750.00	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
<b>TOTAL MENSUAL</b>				<b>86,300.00</b>	<b>19,858.33</b>	<b>2,118.88</b>	<b>198.58</b>	<b>198.58</b>	<b>1,654.86</b>	<b>1,654.86</b>	<b>828.09</b>	<b>1,041.67</b>	<b>29,484.54</b>				
<b>TOTAL ANUAL (Q.)</b>				<b>1,035,600.00</b>	<b>238,300.00</b>	<b>25,426.61</b>	<b>2,383.00</b>	<b>2,383.00</b>	<b>19,858.33</b>	<b>19,858.33</b>	<b>9,937.11</b>	<b>12,500.00</b>	<b>353,814.44</b>				



#### Ilustración 4

##### Punto de equilibrio de la línea de producción automatizada



#### 7. Valor Actual Neto

**Tabla 38**  
**Valor Actual Neto**

<i>Descripción</i>	<b>Línea de producción automatizada</b>
Valor actual neto (Q)	<b>Q4,854,820.86</b>

#### 8. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno indicará la tasa de interés obtenida del saldo de inversión no recuperado del proyecto. Si la tasa de retorno es mayor que el costo de capital, se acepta el proyecto.

**Tabla 39**  
**Tasa interna de retorno**

<i>Descripción</i>	<b>Línea de producción automatizada</b>
Tasa Interna de retorno	63%

## 9. Período de recuperación

El período de recuperación es el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos de efectivo descontados sean capaces de recuperar el costo de la inversión. El período de recuperación se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Año.anterior.recuperación.total} + \frac{\text{costo.no.recuperado.al.principio.del.año}}{\text{Flujo.de.efectivo.durante.el.año}}$$

(Weston 1994)

**Tabla 40**  
**Período de recuperación**

<i>Descripción</i>	<b>Línea de producción automatizada</b>
Período de recuperación (años)	1.17