

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTOMATIZACIÓN POR PLC DE UNA  
MEZCLADORA EN UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN  
DE PAN (BOLLERÍA)

T E S I S

Que para obtener el título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista  
(Area Industrial)

PRESENTA

FERNANDO CARMONA OROZCO



DIRECTOR DE TESIS  
DR. ÁLVARO AYALA RUÍZ

MÉXICO, D.F.

MAR / 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>D-1</b>
<b>1 PROCESO DE FABRICACIÓN (MASA)</b>	<b>1-1</b>
1.1 Línea de producción	1-1
1.2 Esponjas líquidas	1-3
1.3 Mezcladora	1-6
1.4 Divisora	1-9
1.5 Boleadora	1-13
1.6 Fermentador	1-14
1.7 Modeladora y depositadora	1-15
<b>2 PROCESO DE FABRICACIÓN (PAN)</b>	<b>2-1</b>
2.1 Cámara de vapor	2-1
2.2 Horno	2-5
2.3 Desmoldeador	2-14
2.4 Enfriador	2-16
2.5 Rebanadora	2-17
2.6 Embolsadora	2-18
<b>3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMA Y NECESIDAD</b>	<b>3-1</b>
3.1 Problema y necesidad	3-1
3.2 Propuesta de solución	3-2
3.3 Ventajas y desventajas	3-3
<b>4 CASO DE ESTUDIO</b>	<b>4-1</b>
4.1 Descripción de la mezcladora	4-1
4.2 Sustitución por PLC (diagrama de flujo)	4-4
4.3 Calendario de actividades	4-7
4.4 Justificación del proyecto.	4-9
4.5 Revisión y selección de elementos de control	4-12
4.6 Definición proceso de mezclado y selección de elementos nuevas necesidades	4-16
4.7 Definición de equipo	4-23
4.8 Diagramas	4-25
4.9 Programación y tablero de control	4-27
4.10 Simulación y cableado	4-27
4.11 Planeación de la ejecución	4-27
4.12 Conexión	4-28
4.13 Pruebas en vacío	4-28
4.14 Entrenamiento	4-28
4.15 Puesta en marcha y mejoras	4-28

4.16 CONCLUSIONES.

4-29

**BIBLIOGRAFÍA**

**B-1**

## INTRODUCCIÓN

Existe un alto grado de tecnificación, éste se está suscitando actualmente en la industria a nivel mundial. En este avance tecnológico no puede quedar excluido nuestro país, ya que en estos tiempos es indispensable ser competitivo como empresa a nivel mundial. La globalización nos lleva a buscar un mayor grado de productividad con el cual se pueda ver incrementada la competitividad de la industria.

Cuando se quiere ser competitivo, al fabricar o producir un producto y pretender que éste permanezca en el mercado, es muy importante que la empresa se enfoque en la detección de las áreas de oportunidad. La finalidad es la de detectar la parte del proceso que genera la mayor cantidad de bajas y reproceso que provocan una mala calidad y la pérdida de tiempo en el proceso, generando que el producto no esté presente en el momento que se necesita y a un costo mayor.

El proceso de fabricación de pan (bollería) no es la excepción, el proceso se conforma de varios subprocesos, cuando alguno de los pasos es omitido o alguno de los ingredientes no es añadido por completo o es añadido en otro momento diferente al necesario, pueden suceder varias cosas: La primera es que la masa no se desarrolle con las características de elasticidad y plasticidad necesarias, características que se pueden detectar antes de que el producto salga del proceso de mezclado. La segunda es la falta de adición de algún ingrediente o la falta de alguno de los pasos de mezclado que no sea detectable antes de entrar al siguiente proceso y en este caso se detectará más tarde en alguno de los otros equipos.

En este último caso, ya se cuenta con un grave problema, porque no sólo será el tiempo perdido, sino que también el producto se desechará por completo en otra parte del proceso. Después del proceso de mezclado, no es sencillo sacar el producto de la línea de producción, porque ya será un producto dividido y quizás ya depositado en su molde, por lo que se necesitará mano de obra para poder llevar a cabo este trabajo y consecuentemente este producto no podrá recuperarse.

Actualmente en la empresa productora de bollos se opera la mezcladora en forma manual, es decir, en cada paso de la secuencia es necesaria la participación de los operadores. En el proceso de mezclado la cantidad y proporción de las materias primas, así como el tiempo de trabajo de la masa es de vital importancia para la productividad y calidad del producto terminado, lo que implica que los operadores deban recordar y llevar el control de todo lo que sucede durante el proceso.

Dado el problema que se presenta se considera que es necesario contar con un control en la mezcladora, que ayude a los operadores a asegurar la calidad del producto terminado.

La solución que se propone para cumplir con la necesidad propuesta es cambiar el control eléctrico manual de la mezcladora, por un sistema automático controlado por PLC, que liberaría a los operadores de la necesidad de controlar cada paso que se requiere en el proceso de mezclado.

Lo que se obtiene con este cambio es que cada ingrediente sea depositado en la mezcladora y que cada paso en la secuencia se dé en el momento adecuado, sin retrasos ni omisiones y que los tiempos de todo el proceso se garanticen.

Por medio de la automatización se acrecientan la calidad y uniformidad de los productos y la productividad. La productividad se ve afectada de dos maneras: la primera logrando una mayor eficiencia de la línea de producción. En el proceso de mezclado se pretende reducir tiempos muertos y mermas de producto. La segunda, promoviendo una mejora del ambiente laboral, en la mezcladora, esto se logra evitando labores repetitivas por parte del operador y dándole mayor tiempo para verificar su proceso.

También la automatización pretende eliminar el error humano, además de lograr en primer término la estandarización de los procesos; es decir, se logrará un producto uniforme, el cual, una vez que está bajo control es susceptible de mejorarse.

Los PLCs ayudan a la disminución de fallas eléctricas por la sustitución que hacen de elementos tales como relevadores, temporizadores, contadores, etc. En dado caso de que hubiera fallas, es posible también crear una lógica para la detección de fallas y el despliegue de la falla, su descripción y hasta el diagnóstico para su corrección.

Una muy importante característica es la de su versatilidad. En estos tiempos en que se requiere de agilidad para el cambio, ya sea para colocar en el mercado nuevos productos o para modificar los ya existentes, la ventaja que presenta el tener el control programable es la facilidad para modificar la lógica de control, hacerlo cuando la maquinaria está trabajando, probarlo y en dado caso, regresar al programa o la lógica anterior si no funcionara, con tal de probar el proceso y obtener su manera óptima de funcionamiento.

Así el objetivo de esta tesis es mejorar la productividad del área de masas, dentro del proceso de fabricación de bollería, reconvirtiendo una mezcladora con control eléctrico a control vía PLC.

Para cumplir con el objetivo, el presente trabajo se desarrolló de la siguiente manera:

En los capítulos 1 y 2 se describe el proceso de panificación, en estos capítulos se da una explicación para la fabricación del pan y se mencionan algunas de las variables o parámetros a controlar en la línea, con la finalidad de dar una visión general que se requieren para la fabricación de bollos y de esta manera, situar el proceso de mezclado.

En el Capítulo 3 se identifica el problema, la necesidad y se propone una solución.

En el Capítulo 4 se trata el caso de estudio en el cual se describe la mezcladora, se justifica económicamente la necesidad del cambio, se dan a conocer los pasos a seguir y se desarrolla el proyecto de la sustitución del control convencional por el de PLC.



# 1 PROCESO DE FABRICACIÓN (MASA)

## 1.1 Línea de producción

El proceso de fabricación comienza con el equipo con el que se abastece la materia prima para la fabricación de pan. Este equipo o sistema es llamado manejo de materiales y está compuesto por varios subsistemas, en este caso el manejo de harina, de azúcar (dependiendo del tipo de producto que se producirá), que pueden ser manejados a granel o por costales, y de agua.

En la línea de producción de pan (bollería), la línea se está subdividiendo en dos áreas para su mejor comprensión, la primera de ellas se cubre en éste capítulo y la siguiente en el capítulo 2, el siguiente es el orden de los equipos divididos en sus dos áreas.

Área 1. Preparación de masa hasta depositado en molde (presente capítulo).

- Esponjas líquidas.
- Mezcladora.
- Divisora.
- Boleadora.
- Fermentador.
- Modeladora y depositadora.

Área 2. Manejo del producto en molde hasta embolsado (capítulo dos).

- Cámara de vapor.
- Horno.
- Desmoldeador.
- Enfriador.
- Rebanadora.
- Embolsadora.

En la figura. 1.1 se muestra la disposición de los equipos en una línea de fabricación de pan. En este arreglo se puede ver también el área de abastecimiento de producto (silos).

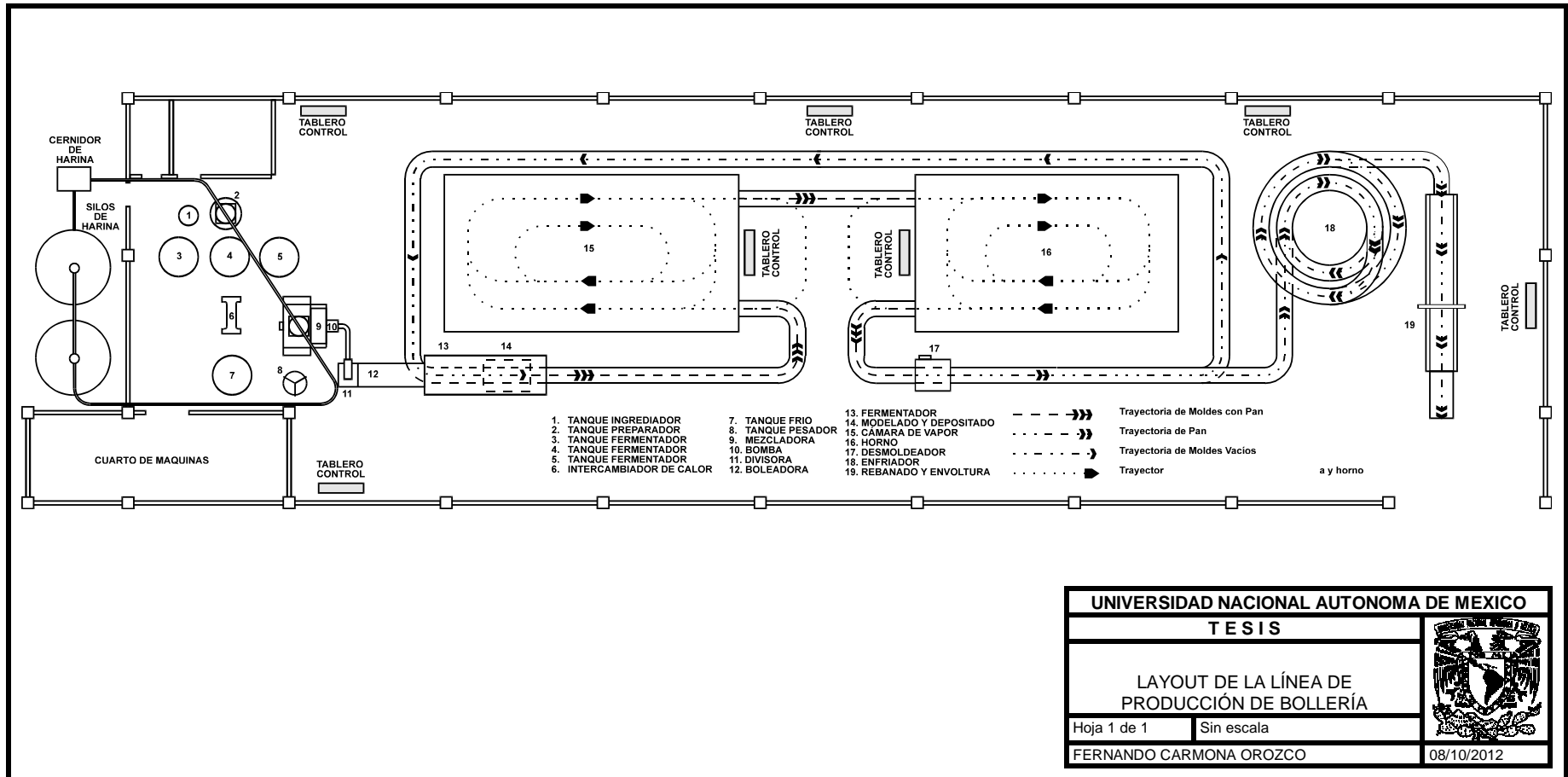


Fig 1.1. Layout (distribución) de la línea de fabricación

## 1.2 Esponjas líquidas

Los principales objetivos del mezclado de la esponja (mezcla básicamente hecha con agua, harina y levadura) es integrar todos los ingredientes en una masa suave y homogénea para asegurar la completa hidratación de las partículas de harina y formar gluten. El gluten debe ser capaz de retener la suficiente cantidad de bióxido de carbono para incrementar el volumen de la esponja conforme vaya progresando la fermentación. Después de mezclar los ingredientes de la esponja se pretende lograr una temperatura en el rango de 25.5 a 28°C, que al cabo de la fermentación deberá aumentar alrededor de 5.6°C. Normalmente la esponja contiene la mayor parte de la harina total, la levadura, alimento para levadura y suplemento para enzimas.

La amplia adopción de las esponjas líquidas por los panaderos comerciales, ha dado lugar al desarrollo de equipo para mezclado, fermentación, enfriamiento y transferencia de diferentes tamaños y complejidad. En general, se incluyen varios tamaños de tanques verticales, ya sea con o sin capacidad de refrigeración, que se utilizan para el mezclado de ingredientes, mezclado de agua y harina con otros ingredientes, y almacén para la fermentación del líquido. Estos tanques son normalmente utilizados con tableros de control, bombas de transferencia y medición, válvulas de control de flujo e intercambiadores de calor.

Las diferentes unidades de equipo representan módulos básicos cuyo tamaño es gobernado por la capacidad deseada de producción que puede variar en un rango que va desde 1,362 hasta 8,172 Kg de esponja por hora.

Para la medición correcta del sistema de fermentación líquida de harina existen dos requerimientos: a). Para cada 454 Kg de mezcla de masa se necesitan 227.1 litros de esponja líquida libre de gas y b). El límite máximo de carga del tanque de fermentación no debe exceder el 50% de su contenido cúbico. (Pylar, Ernest John. baking science & technology).

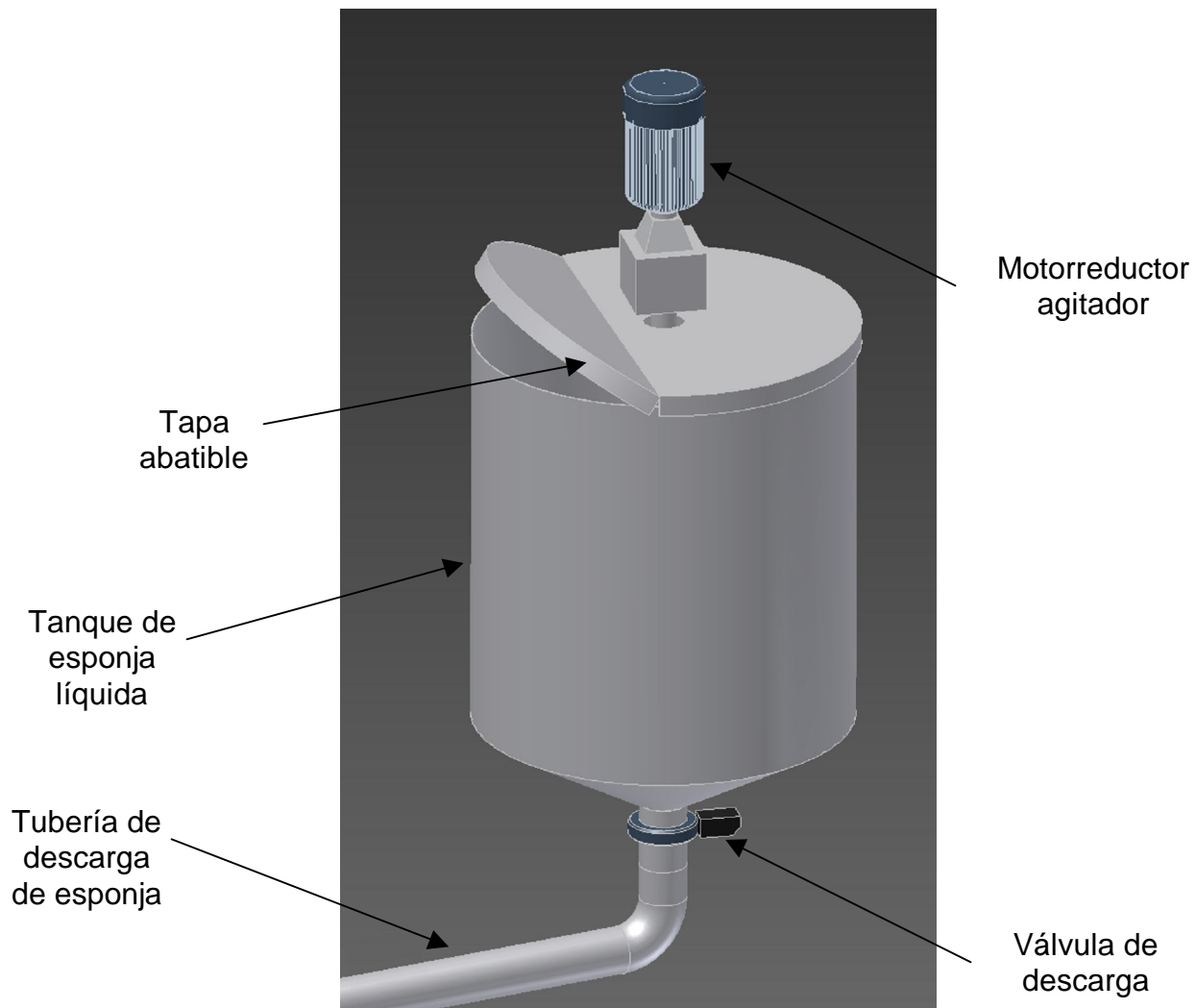
Basándose en estas consideraciones, una línea de producción con una capacidad de 3,178 Kg de masa requiere un tanque para revoltura de 3,785 litros dos tanques de fermentación de 3,028 litros y un tanque para su refrigeración o de almacén en frío de 1,741.1 litros.

Los tanques frecuentemente se encuentran equipados con agitadores especiales que aseguran una suspensión homogénea durante la fermentación, y frecuentemente son enchaquetados para permitir el rápido enfriamiento del fermento a la temperatura propia de almacenamiento al término de la fermentación.

Este sistema es bastante eficiente, requiere de un mínimo de espacio, y es relativamente económico. El líquido para la fermentación es puesto a una temperatura de 27°C a 32°C y es fermentado por una o dos horas, a un pH específico o hasta que se logra un aumento de temperatura predeterminado.

Cuando se completa la fermentación, el fermento se enfría rápidamente hasta obtener 4.4°C a 10°C y así evitar la actividad posterior de la levadura y estabilizar el fermento para un posiblemente prolongado almacenamiento.

Los tanques usados para el proceso en lotes y para la fermentación de mezclas con alto contenido en harina normalmente tienen tapa y una base con diseño en forma de cono, con una apertura de descarga relativamente grande para adecuar el flujo en la descarga para un fermento viscoso. (Fig. 1.2)



**Figura 1.2. Tanque alto contenido de harina en esponja**

La esponja líquida y fermentada se transfiere a través de un intercambiador de calor de placas hacia un tanque de almacenamiento enchaquetado a partir de donde un sistema de pesado alimenta baches precisos de fermento hacia la mezcladora de masa.

Los tanques usados en este sistema normalmente están equipados con un agitador del tipo caja de ardilla para facilitar la rápida incorporación de la harina en el agua, la harina es alimentada al tanque por una tolva pesadora situada arriba del tanque, la duración del tiempo de agitación requiere un estricto control para evitar el lavado de gluten, el cual es no deseado.

El fermento fresco usualmente es transferido a un tanque especial de fermentación, equipado con un agitador de barrido lento para mantener una temperatura y condiciones de densidad uniformes durante la fermentación. Al término de la fermentación, el fermento es pasado a través de un intercambiador de calor de placas para bajar su temperatura a 10°C o 17.8°C.

Los fermentos a una temperatura baja son más estables en un tanque de almacenamiento frío y facilitan el control de temperatura de las masas durante el mezclado. Los fermentos a un nivel de temperatura alta reducen el tiempo de mezclado, pero generalmente no pueden ser guardados por la noche en el tanque frío, la levadura normalmente está en su estado latente a 10°C y causa muy poco cambio en el pH, mientras que a 17.8°C hay un incremento lento de acidez con almacenamiento prolongado.

La secuencia de operaciones normalmente seguida en la producción de fermentos líquidos de harina se muestra esquemáticamente en la Figura 1.3.

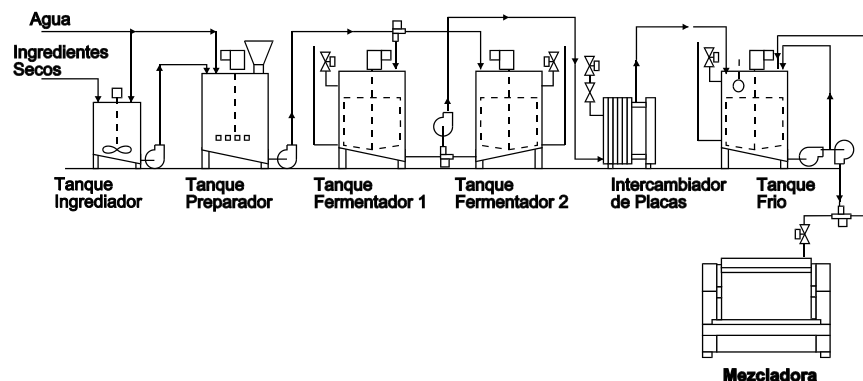


Figura 1.3. Esponjas líquidas y mezcladora

### 1.3 Mezcladora

El mezclado puede ser definido como el acto de combinar o revolver en una masa homogénea los diversos ingredientes que son destinados a convertirse en parte del producto final procesado. En la producción de pan, inicia la larga serie de cambios complejos e interacciones de componentes diversos como agua, almidón, proteínas, lípidos, enzimas, sal, endulzantes, levadura, agentes reductores y oxidantes, etc., llevándolos a un contacto íntimo de unos con otros por medio del trabajo físico, hasta formar una masa homogénea en última instancia.

Deben encontrarse dos condiciones previas para la producción de masa con las propiedades adecuadas: una proporción adecuada de los ingredientes individuales y la distribución homogénea de estos ingredientes en toda la masa.

Esencialmente, el mezclado de masa comprende la combinación y la revoltura de los ingredientes de la fórmula y después la aplicación de trabajo físico suficiente a la mezcla para transformarla en una masa cohesiva con las propiedades viscoelásticas requeridas.

En la producción comercial panadera de gran escala, dichos ingredientes mayores como la harina, mezclas varias y endulzantes secos son normalmente pesados por básculas automáticas que después alimentan directamente a las mezcladoras, mientras que el agua, manteca líquida y endulzantes líquidos son transportados hacia la mezcladora a través de tuberías y medidores que pueden ser prefijados para llevar volúmenes específicos.

Los ingredientes de poco volumen son usualmente pesados individualmente en pequeñas y más sensibles básculas, o, en el caso de alimentos para levadura, ingredientes enriquecedores, acondicionadores de masa, encimas y otros materiales altamente reactivos, estos pueden ser adicionados en forma de tabletas o pequeños paquetes hechos de papel soluble. La levadura dependiendo de la forma en la que sea usada, se puede añadir desmoronada, rehidratada o en su estado seco.

Para lograr una dispersión de los ingredientes en una mezcla homogénea, el proceso de mezclado de masa para hacer pan, tiene el importante objetivo de desarrollar físicamente las proteínas de gluten en una estructura tridimensional coherente que impartirá a la masa el grado deseado de plasticidad, elasticidad y viscosidad.

Durante la fase inicial de mezclado, otros efectos físicos significantes son la hidratación de las partículas de harina y la incorporación de oxígeno. Mientras la masa se desarrolla, ocurren muchos y complejos cambios físicos, coloidales y bioquímicos que transforman la masa en un sistema polímero viscoelástico.

Entre los métodos que son practicados comercialmente, el proceso que prevalece es el de esponja y masa que involucra dos fases de mezclado, uno en la esponja y otro en la masa. La fase de mezclado de la esponja produce la dispersión homogénea de los ingredientes y la hidratación de la harina y normalmente es de breve duración, mientras que la fase más crítica del desarrollo de la masa se reserva para el mezclado más extenso de la masa final.

En el método de esponja y masa la mayor acción fermentativa toma lugar en la prefermentación, llamada esponja en la que normalmente del 50 al 70% de la harina es sujeta a la acción física, química y biológica de la levadura de fermentación. La esponja es subsecuentemente combinada con el resto de los ingredientes de la masa para recibir su desarrollo físico final, durante el mezclado de la masa.

El mezclado a un grado óptimo de desarrollo de la masa es de vital importancia para el proceso subsecuente de la masa y en última instancia para la calidad del pan. El objetivo del operador de la mezcladora es el de sacar la masa en su condición más seca, con la absorción tan alta como sea posible y, al mismo tiempo, con la consistencia adecuada para que sea maquinada.

El fin es el de obtener el balance óptimo de las propiedades de la masa. a). Plasticidad, que permite a la masa retener la forma que se le da al bolearse y modelarse; b). Flujo viscoso, o la propiedad de la masa para asumir la forma del molde u otro contenedor en que se coloca; c). Elasticidad, o la habilidad de la masa de recuperarse de la deformación a que es sujeta durante el modelado; y d). Viscoelasticidad, que combina las propiedades de viscosidad y elasticidad e influye en el comportamiento de la masa durante todo el proceso.

El desarrollo de la masa durante el mezclado se alcanza en cuatro o cinco etapas. El objetivo de la etapa inicial, es asegurar la revoltura uniforme de los ingredientes. La mezcla en este punto está húmeda y pegajosa al tacto. Al continuar, el producto mezclado, entra en una segunda etapa, llamada, etapa de levantamiento, que es cuando la estructura del gluten se comienza a formar. En la tercera etapa, generalmente conocida como la de limpieza, la masa se torna seca y más elástica y se hace más cohesiva y empieza a golpear en la parte trasera de la mezcladora con cada revolución. Esta etapa finaliza, cuando la masa se despega totalmente de la taza de la mezcladora.

La cuarta y más crítica etapa, es también conocida como la de desarrollo, la masa pasa de ser materia burda, a ser brillante y tersa. Se dice que el producto mezclado está listo, cuando una pequeña pieza de masa se puede estirar hasta formar una lámina semitranslúcida de espesor uniforme. El producto de esta etapa, cuando se sujeta a estiramiento, muestra tiras y abultamientos además de que se rompe fácilmente.

En cuanto la masa muestra una apariencia sedosa y seca y se estira en láminas largas y tersas, se dice que está lista para descargarse de la mezcladora y entrar a un pequeño tiempo de recuperación llamado tiempo de piso, que es anterior al formado.

Las masas que se mezclan más allá de su completo desarrollo, empiezan a perder sus características elásticas y llegan a ser progresivamente suaves, tersas y extensibles. Comienzan a ser jaladas en tiras largas y cohesivas por los brazos de la mezcladora, en esta etapa las masas comienzan a denotar signos de sobre mezclado.

Al revisar los aspectos prácticos del mezclado de masas se llega a las siguientes conclusiones: a). La etapa de limpieza, es buen punto de referencia, para establecer el punto óptimo de mezclado. b). La temperatura de la esponja, sin tener efecto en la cuarta etapa del mezclado, influye para optimizar el tiempo de mezclado. c) al reducirse la absorción de la masa se reduce el tiempo de mezclado. d) Masas con fórmula rica (1) requieren tiempos más largos de mezclado. e) Hay una relación inversa entre la velocidad de la mezcladora y el tiempo de mezclado. f) La adición retardada de sal, reduce el tiempo de mezclado, aumenta la absorción de agua y ayuda a disminuir la temperatura final de la masa. g) El tiempo de mezclado está correlacionado con los subsecuentes tiempos de piso, por lo tanto, tiempos de mezclado más largos dan largos tiempos de piso. h) El método para la extracción de la masa de la mezcladora debe ser estandarizado para asegurar un tratamiento uniforme a las masas en esta etapa.

La preocupación acerca de las dificultades con masas pegajosas durante el formado, provoca que los panaderos utilicen una absorción menor a la óptima, situación que no únicamente conlleva un rendimiento bajo, sino también calidad de producto no satisfactoria.

El punto es obtener la absorción óptima, para la cual la harina es capaz de obtener un rendimiento máximo, para formar pan de calidad con un contenido final de humedad que no exceda del límite legal de 38%.

**Refrigeración.** El mezclado de la masa va acompañado por su aumento perceptible en la temperatura. Las dos mayores fuentes para el aumento de la temperatura son: el calor por la hidratación de la harina, y el calor generado por las fuerzas de fricción del mezclado, que es por mucho, el más importante.

(1) Fórmula rica es aquella receta en que se utilizan ingredientes tales como azúcar, manteca, huevo, etc...



El calor por la hidratación proviene del cambio de nivel de energía que resulta cuando una sustancia absorbe agua. Frecuentemente esto involucra un desprendimiento de energía que resulta en un aumento de temperatura como en el caso de la harina. Otro factor que influye en el aumento de temperatura de una masa, es el calor específico de sus ingredientes individuales, como el harina, agua, azúcar, sal, manteca, etc. El calor específico de una sustancia, es la cantidad de calor expresada en BTU, requerida para calentar de 39°F a 40°F (3.8°C a 4.4°C) la temperatura de una libra (0.454 Kg) de agua.

El calor debido a la fricción se produce por energía mecánica, provista por el motor de la mezcladora, que se necesita para vencer las fuerzas de fricción internas y externas creadas al trabajar la masa. El calor debido a la fricción es producto principalmente de la potencia del motor de la mezcladora, el grado de absorción de agua y la duración del proceso de mezclado.

**Remoción de calor.** El calor generado durante el mezclado debe ser eliminado de tal manera que la masa salga de la mezcladora a una temperatura de 25.5°C a 27°C. La reducción de la temperatura generalmente se alcanza por uno o más de los tres siguientes métodos (a) uso de hielo; (b) uso de agua helada como ingrediente; y (c) aplicación de refrigeración mecánica a la taza de la mezcladora.

#### 1.4 Divisora

El primer paso en el proceso de formado, es el pesado de la masa fermentada en piezas individuales de un determinado peso. Esta operación se lleva a cabo por divisoras especiales con cavidades o por las más recientemente diseñadas, divisoras rotatorias.

Una regla en el dividido se basa en que éste sea logrado en el tiempo más corto posible con el fin de asegurar un peso constante en las piezas de masa individuales y una máxima uniformidad en la masa desde el principio hasta el final de la operación de dividido, ya que éstas son medidas volumétricamente, en lugar de por su peso. Estas condiciones se dan generalmente cuando la masa es dividida totalmente dentro de los 20 minutos.

La velocidad de la divisora debe, por supuesto, estar coordinada con el programa de mezclado de masa, así como con las velocidades operacionales del demás equipo de formado y el horno.

Las propiedades reológicas (elasticidad y viscosidad) de la masa han sido, por mucho, un obstáculo al desarrollo de un método de pesado gravimétrico aceptable. Por lo tanto, todas las divisoras actualmente disponibles operan con el principio de la medición

volumétrica. El mayor problema asociado con la medición volumétrica, es que la masa por su continua fermentación, lleva a cabo un cambio perceptible en su densidad.

Para el dividido, la masa fermentada se transfiere a la tolva superior de la divisora. La transferencia de masa se logra manualmente aventando grandes piezas de masa dentro de la tolva, o más generalmente, elevando una artesa de masa por medios mecánicos y depositándola sobre una compuerta que la alimentará a la tolva de la divisora.

En algunas panaderías, el departamento de formado, se encuentra localizado justamente debajo del cuarto de fermentación, de tal manera que la masa pueda ser transferida por gravedad a través de una abertura en el piso directamente en la compuerta de la divisora. Finalmente, el uso de bombas especiales de masa que la transportan por tubería desde la artesa de la mezcladora hacia la tolva de la divisora, con el degasificado simultáneo de la masa, ha extendido su aceptación en los últimos años.

La tolva se encuentra sobre la cámara de compresión de la divisora dentro de la cual la masa fluye por gravedad. Una placa horizontal o cuchilla para masa, fijada en el fondo de la tolva, corta la pieza de masa que ha llenado la cámara y sirve como un sello para la tolva. Después, un martinete fuerza a la pieza de masa hacia dentro de una serie de cavidades en la caja rotatoria de división. El volumen de estas cavidades para la rotación determina el tamaño de la pieza de masa.

Al final del golpe del martinete, la caja de división gira y corta la masa localizada dentro de las cavidades. Las piezas de masa, ya medidas, son expulsadas por pistones montados en la leva de expulsión y tiradas sobre un transportador de banda para ser transferidas a la boleadora, entonces, el ciclo se revierte, causando que las cavidades de masa vacías, encaren la cámara de masa y la cuchilla de la tolva se retraiga para permitir el flujo de masa de la tolva hacia la cámara de compresión.

Las divisoras se consiguen normalmente de 4 y 6 cavidades y con velocidades de operación de hasta 100 cortes por minuto.

La mayor parte de las divisoras trabajan con motores de 7.5 HP y con inversores (variadores de velocidad) para el ajuste de la medición de los pedazos de masa. De cualquier manera, algunos utilizan la fuerza hidráulica para trabajar. Refinamientos recientes en el diseño incluyen compensadores de presión del martinete para dar una presión uniforme en la masa a través del rango de medición, vástagos de penetración para ayudar a la degasificación cada pieza de masa, y un variador de velocidad en el transportador de banda de descarga secundario, para un espaciado uniforme de las piezas de masa para cuando las piezas lleguen a la boleadora.

Hay también en el mercado equipos que son ya muy populares por su facilidad de manejo y sencillez en la operación y en el mantenimiento. Estos equipos cuentan con tornillos sinfín que sirven para empujar y a la vez desgasear la masa, con lo que se hace más compacta. Posteriormente la masa se alimenta por medio de una bomba positiva que permite que se alimente continuamente la masa para dosificarse a cada una de los puertos de salida por medio de válvulas y después ser dividida por medio de unas cuchillas fabricadas de Nylon sanitario. Representado en figura 1.4



**Figura 1.4** Divisora de alta velocidad para bollería.

El efecto de la división en la masa se da por el trabajo físico, especialmente en la etapa de compresión cuando la masa es forzada a entrar en las cavidades individuales. Esta compresión seguida por la acción del corte, provoca una pérdida de bióxido de carbono, inmediata y continua. Hay más cambios en las propiedades producidas por la desorientación de las fibras del gluten, causadas por la compresión y el corte, por el aumento de la temperatura de la masa y por la añadidura incidental de aceite por las piezas de masa.

Una razón mayor para mantener un tiempo establecido de dividido es la imposibilidad práctica de mantener una temperatura uniforme en la masa mientras esta reside sobre la tolva de la divisora. No sólo se da el aumento de la temperatura por la fermentación, sino que también se da un calentamiento por la zona en la que se encuentra.

Así como se calienta la masa, la fermentación se va acelerando con la subsecuente generación de bióxido de carbono, con la correspondiente pérdida de densidad, además aumenta la acidez, se hace pegajosa y se hace vieja. Estas masas se miden sin uniformidad, con algunos pedazos de masa sobrepasando las tolerancias de peso aceptables y las hogazas ya horneadas exhibirán una apariencia rayada, color pálido de corteza y baja calidad en su vida de anaquel.

El control en el pesado debe excederse por un margen para contrarrestar las pérdidas por fermentación y de evaporación subsecuentes al dividido.

Aún, en gran extensión, el control de peso se hace manualmente a las piezas de masa, en intervalos prescritos. Para este propósito se colocan básculas sensibles, con el objeto de verificar que el peso sea adecuado en lapsos predefinidos. El control de peso no sólo es necesario para cuidar de pesos bajos sino para evitar también las excesivas pérdidas que se dan por el sobrepesado. Las desviaciones de las tolerancias correctas, se corrigen por los ajustes apropiados en el volumen de las cavidades de medición de la divisora.

Recientemente el control de pesado ha sido reemplazado por sistemas de verificación de peso automáticos localizados entre la divisora y la boleadora, esto se hace por medio de una banda de pesado a velocidades de hasta 160 unidades por minuto. Las piezas de masa que salían del rango eran retornadas ya sea a la mezcladora o a la tolva de la divisora. En un refinamiento subsecuente de la operación de dividido, se añade masa a los pedazos que vinieran cortos de peso para llevarlos al peso estándar.

En la década anterior, la precisión de la divisora ha sido mejorada, por la aplicación de controles por computadora y microprocesadores, en estos sistemas, el control de peso se encuentra unido electrónicamente a la divisora de tal manera que cuando es sensada una desviación en el peso por la computadora, los ajustes volumétricos en la divisora se

llevan a cabo automáticamente. Al colocar el control de peso después del boleado se logran ventajas como mayor velocidad de pesado y mayor exactitud en el peso del producto ya horneado.

Otro factor muy importante para el pesado correcto es el de la lubricación, se utiliza el aceite mineral por sus características como el ser insaboro e inoloro, dar una lubricación efectiva en pequeñas cantidades y no fomentar el crecimiento de bacterias.

La degasificación de la masa se da para mejorar la uniformidad en el control de peso, ya que reduce cambios en la densidad de la masa durante la operación de la divisora. Se logra por medio de bombas degasificadoras que transfieren la masa desde la mezcladora hacia la tolva de la divisora con un mínimo de tiempo de espera en esta última.

Estas bombas de masa efectivamente sacan el bióxido de carbono y en este proceso imparten cierto grado de desarrollo adicional.

Dentro de las ventajas que ofrece una bomba degasificadora se encuentra: (a) peso más uniforme, resultado de una masa con una densidad más constante; (b) mayor flujo de masa dentro del molde que se obtiene por la eliminación de sus características gaseosas y de resistencia; (c) grano y textura más uniforme en el producto ya horneado, resultado de propiedades en la masa más constantes en la operación de pesado desde el principio hasta el final; (d) habilidad para trabajar con masas más grandes en tiempos más largos de proceso, facilitando los programas de mezclado y aumentando la eficiencia; (e) proveyendo seguridad contra pérdidas en caso de interrupciones, extendiendo la tolerancia de la masa; y (f) facilitar la transferencia de la artesa de la mezcladora a la tolva de la divisora.

## 1.5 Boleadora

Las piezas de masa que salen de la divisora son de una forma irregular con sus superficies de corte pegajosas y han perdido parte de su aireación debido a las acciones de compresión y corte que son parte de la operación de dividido. Por lo tanto la siguiente tarea es la de reconstituir el pedazo de masa, convertirla en una superficie continua y no pegajosa que retendrá el bióxido de carbono que se continua generando por la levadura. La masa que ha sido parcialmente degasificada no formará una pieza estable en el modelado. De esta manera, la pieza de masa ya pesada, tendrá la oportunidad de recuperarse en cuanto a los gases y la orientación estructural del gluten que ha perdido, para ser aceptable para el modelado.

Se debe usar poca harina de polveo durante la operación de boleado, ya que un exceso podría resultar en la formación de defectos en la migaja y también puede interferir con la formación de una piel apropiada en la pieza de masa boleada. Para dar una superficie seca en la bola de masa se debe utilizar harina de polveo seca. Es mejor incorporar la harina ya usada en la producción en lugar de reutilizarla en la boleadora.

Las bandas boleadoras son ampliamente utilizadas en la industria actualmente y constan de una banda que sincroniza la alimentación de las bolitas divididas en su paso hacia el fermentador de canastillas y de los canales de boleado fabricados normalmente de Nylon, que hacen presión sobre la pieza de masa para darle su forma redonda.

## 1.6 Fermentador

El dividido y el boleado dan a la masa un abuso físico considerable que resulta en una pérdida marcada de gases de fermentación y el deterioro de las propiedades reológicas como de flexibilidad y elasticidad. Para reparar estas propiedades, se da a las bolas de masa un pequeño periodo de descanso, al que se refiere como fermentador intermedio o elevado, durante el cual toma lugar la fermentación y el relajamiento estructural y deja a la masa en una situación adecuada para el modelado.

Estos fermentadores simplemente son gavetas en donde hay canastillas en transportadores sinfín. En la práctica, el tiempo en estos fermentadores va desde 30 segundos hasta 20 minutos. Este tiempo de fermentación se influencia por la temperatura, la formulación y el previo proceso de la masa. En caso de tiempos de fermentación insuficientes, se encontrarán defectos de calidad como el de un grano no uniforme y abierto con paredes gruesas y con la apariencia de tiras y gránulos en la migaja.

Estos fermentadores generalmente no vienen con control de humedad ni de temperatura de tal manera que estos cajones toman las condiciones atmosféricas del cuarto en que están localizadas. Normalmente estas condiciones permanecen lo suficientemente constantes, de manera que no presentan problemas de control. De cualquier manera las condiciones adecuadas son una temperatura de 26.7 a 29.4°C y una humedad relativa de alrededor de 75%. Temperaturas arriba de este rango tenderán a envejecer la masa reduciendo su capacidad de retención de gas, haciéndola pegajosa, mientras que por el otro lado, temperaturas demasiado bajas retrasan la expansión adecuada de las piezas de masa retrasando la fermentación.

Humedades relativas mucho menores al 75% promueven la formación de corteza dura, mientras que más altas a este nivel producen condensación y la apariencia de pegajosidad.

### **1.7 Modeladora y depositadora**

Al abandonar el fermentador, las piezas de masa, que para este momento deben tener una superficie seca y una apariencia relajada, entran a la modeladora en la que son formados y puestos en la banda, de la que se depositan en las cavidades de los moldes.

## 2 PROCESO DE FABRICACIÓN (PAN)

### 2.1 Cámara de vapor

Después de haber sido modeladas, las piezas de masa se depositan en moldes para su acondicionamiento final a temperaturas que varían desde 32°C hasta 49°C y 70% - 95% de humedad relativa.

Esta es una etapa bastante crítica en el proceso de la producción, ya que establece y estabiliza algunos de los mayores atributos de calidad como el volumen y la estructura del grano. La cámara de vapor es más bien un proceso largo con una duración de 55 a 65 minutos. Por lo tanto un control exacto y preciso de las condiciones de temperatura y humedad dentro de la cámara es de muy alta importancia.

La cámara de vapor tradicional es una caja con su sistema de acondicionamiento de aire. La capacidad de la cámara se da por el número de líneas para las jaulas en donde se aloja el pan y el número de jaulas que pueden ser acomodadas en cada línea.

La cámara de vapor tradicional ha evolucionado en distintas variantes con carga y descarga automáticas, así como en transportación modificada de masa en charolas y rejillas. Siendo completamente cerrados, excepto por una pequeña abertura para carga y otra para descarga, en contraste con las varias puertas de una cámara convencional. Las cámaras automáticas ofrecen una estabilidad mayor y la facilidad del control de sus condiciones atmosféricas interiores.

Las cámaras de vapor continuas han sido desarrolladas durante las últimas dos décadas. Se trata de un sistema integral de cámara de vapor y horno, en el que estos últimos están diseñados de tal manera que permiten el viaje de un transportador continuo a través de ellos por periodos de tiempo específicos.

El concepto que se persigue es el de proveer un flujo ininterrumpido del producto en moldes desde las etapas de formado, pasando por cámara de vapor y horno sin la interferencia de agrupadores y transferencias de moldes. Se tiene un grado suficiente de adaptabilidad para encontrar los requerimientos de productos diferentes.

Aunque ha habido varias modificaciones de este sistema, todos son similares en sus características esenciales. El tiempo de permanencia del producto en molde en la cámara



o en el horno se establece por sus respectivas longitudes y a la velocidad del transportador que es similar en ambas unidades.

La cámara continua da la apariencia de una tradicional en su apariencia externa. Consiste de una estructura que soporta paneles hechos de un relleno de poliuretano con cubiertas de aluminio o acero inoxidable. También esta provista por aberturas de entrada y salida para el transportador. El transportador puede entrar a la cámara en un nivel alto o a uno bajo, dependiendo del diseño individual.

En la versión original, el transportador continuo entra a la cámara cerca de la parte superior y desciende en una serie de espirales hasta cerca de la base en donde sale hacia el horno. En otros modelos, la trayectoria del transportador difiere en que en ambos entra y sale de la cámara en la base, pero viaja en dos espirales dentro de la cámara, una en ascenso y otra en descenso.

El transportador, del que la velocidad varía desde 1 hasta 25 metros por minuto, trabaja por medio de una a tres transmisiones de velocidad variable (inversores), número dado por la longitud final del transportador.

La construcción del transportador varía dependiendo de los diferentes sistemas. En uno de estos la cadena del transportador corre dentro de un riel con baleros que trabajan como ruedas. La superficie del transportador tiene 75 centímetros de ancho, con rejillas de acero inoxidable atornilladas a la cadena y con guías laterales.

Otro sistema consta de una cadena de transmisión montada a los lados, construida por uniones universales. Cada cadena de transmisión soporta cuatro baleros, dos en cada eje. La cadena de transmisión está equipada con columnas de soporte y al otro lado tienen ruedas guía que corren libres en un riel guía.

Las rejillas de carga que son de acero o acero inoxidable, de acuerdo a su uso, están fijadas a las columnas de soporte y están designados a proveer un soporte estable a los moldes. En un último sistema, la banda de transportación se hace con plástico reforzado y está provisto con abrazaderas de baja fricción. Estos forman los contactos deslizantes con la línea de desgaste, que alinea los rieles de aluminio que dan soporte a la banda.

La cámara continua normalmente tendrá un tamaño de tres veces el del horno continuo. La planeación del tamaño de todo el sistema se basa en la capacidad de producción pronosticada, el tiempo de cámara, el tiempo de horneado y el tamaño neto de cada molde.

En contraste con las cámaras de vapor convencionales, en que el ambiente atmosférico interno es regulado por una unidad de acondicionamiento externo, las cámaras continuas tienen sus unidades de acondicionamiento localizadas dentro del área central formada

por las hileras de transportadores. Normalmente son fabricadas en acero inoxidable. Están equipadas con tubos de vapor para el calentamiento, inyectores de vapor o agua, ventiladores de recirculación y ductos que se extienden en el perímetro exterior de la cámara para facilitar la circulación uniforme de aire en todo el interior. Las unidades deben tener la capacidad de mantener y controlar temperaturas de hasta 49°C y humedades relativas de hasta 95%.

**Acondicionamiento de aire.** Los mayores factores ambientales que intervienen en el procesamiento de la panadería incluyen a la temperatura, humedad relativa, pureza y movimiento del aire. Estos factores pueden ser establecidos y controlados a un nivel deseado en un espacio cerrado con el uso de sistemas apropiados de acondicionamiento de aire.

La temperatura de un ambiente dado representa el nivel de energía calorífica presente y es regulada convenientemente por varios tipos de termómetros, termocoples y termostatos que controlan el funcionamiento de elementos de calentamiento y enfriamiento en una unidad de acondicionamiento.

La humedad relativa (rh) es la relación del vapor de agua o contenido de humedad del aire, en un momento dado, con su contenido de vapor de agua a la saturación; es comúnmente expresado como un porcentaje. Mientras que el contenido de humedad absoluta permanece relativamente constante, su presión de saturación de vapor aumenta con el incremento de temperatura. Por lo tanto, el aire con un contenido de humedad absoluta dado indicará una humedad relativa mayor a bajas temperaturas de lo que lo hará a altas temperaturas, entonces, su capacidad para retener humedad aumenta con la temperatura.

La humedad relativa se representa como el porcentaje de la presión de vapor al punto de saturación.

Por ejemplo, una humedad relativa del 75% significa, en efecto, que aire con este nivel de humedad contiene solo el 75% de humedad que podría retener en la saturación a una temperatura dada. La temperatura a la que la presión de vapor presente en el aire alcanza su saturación se le conoce como punto de rocío, la condensación de la humedad ocurrirá como niebla o como rocío si la temperatura del aire baja o si el aire tiene contacto con una superficie más fría.

Aunque hay varios tipos de higrómetros disponibles para medir la humedad relativa del aire, el instrumento comúnmente usado por las panaderías es el higrómetro de bulbo húmedo y seco que utiliza la capacidad relativa de evaporación del aire a diferentes presiones de vapor. El instrumento consta de dos termómetros, uno de los cuales se

mantiene seco, mientras el otro se mantiene húmedo por medio de una mecha que en parte está inmersa en un recipiente con agua. El termómetro seco indica la temperatura regular del aire, mientras que el termómetro húmedo refleja el efecto de la acción evaporativa del aire en la temperatura. Entre más baja esté la presión de vapor del aire, mayor será su capacidad evaporativa y, por lo tanto, el efecto de enfriamiento resultante.

Bajo estas condiciones, el bulbo húmedo de temperatura indicará una temperatura menor. Esta diferencia en temperatura entre los bulbos húmedo y seco es directamente proporcional a la humedad relativa del aire circundante. Para obtener una mayor precisión, debe haber una corriente de aire que se mueva por el termómetro a razón de 3 metros por segundo.

**Unidades de acondicionamiento de aire.** Los niveles requeridos de humedad y temperatura se establecen en el aire de proceso por unidades de acondicionamiento de aire que, en su mayoría, son operadas por reguladores y controladores automáticamente. Estas unidades consisten en tubos de vapor o radiadores, un sistema de humidificación a base de vapor o aspersores inyectores de agua, ventiladores, válvulas, bombas, controles, etc.

Los radiadores de calentamiento son activados por controles que responden a los bulbos húmedo y seco. El sistema de humidificación provee de humedad al aire ya sea como vapor a baja presión o mediante aspersores cuando el control del higrómetro responde a la necesidad de humedad adicional.

La función principal de la batería de aspersores de agua es la de limpiar el aire de polvo, moho y bacterias. En condiciones de alta temperatura ayuda al descenso de ésta en el aire. A continuación, el aire lavado entra a los eliminadores, en el que las diminutas gotas se detienen en la corriente de aire de tal manera que no hay humedad libre presente en los ductos de distribución de aire.

Los radiadores de vapor representan la fase final de tratamiento de aire. La demanda de calor es sensada por medio del bulbo seco, el cual, regula la operación de la válvula de vapor. Los requerimientos de calor varían considerablemente con el diseño de la cámara de vapor. En las cámaras convencionales de vapor hay mayores pérdidas de calor, con la cantidad de puertas y la carga intermitente con jaulas grandes y frías cargadas con moldes fríos y masa. Las cámaras automáticas con aberturas pequeñas y bastidores interiores integrales o sistemas de transportación de charolas experimentan la menor pérdida de calor.

El movimiento del aire se da por medio de un ventilador, cuyo tamaño y velocidad son adecuados para suministrar los volúmenes de aire requeridos. Las condiciones de

humedad en la unidad de acondicionamiento hacen variar el uso de acero inoxidable u otros metales resistentes a la corrosión para su construcción.

## 2.2 Horno

El horno frecuente y justificablemente es referido como el corazón de la panadería ya que es el medio que lleva a cabo la última transformación de la masa cruda en pan por medio de calor. Las consideraciones que tienen importancia en el diseño y la última concepción de hornos modernos incluye, entre otras, el tipo de productos a hornear, el combustible a usarse, sistemas de aplicación de calor y medios de transmisión al producto a ser horneado, flexibilidad requerida para controlar la cantidad e intensidad de energía calorífica necesaria para resultados óptimos de horneado y el costo de construcción del horno, operación y mantenimiento.

Los hornos del tipo de transportador vienen acompañados por cámaras de vapor del mismo tipo y cargan la masa en moldes a través de la cámara y el horno por los periodos de tiempo requeridos y sin interrupciones de transferencias. Los tiempos promedio de la masa en la cámara y el horno son de 60 y 20 minutos, respectivamente. Como la velocidad del transportador es la misma durante todo el recorrido, el tiempo de cámara se da por el aumento de tres veces la longitud del transportador del horno (Figura 2.1).

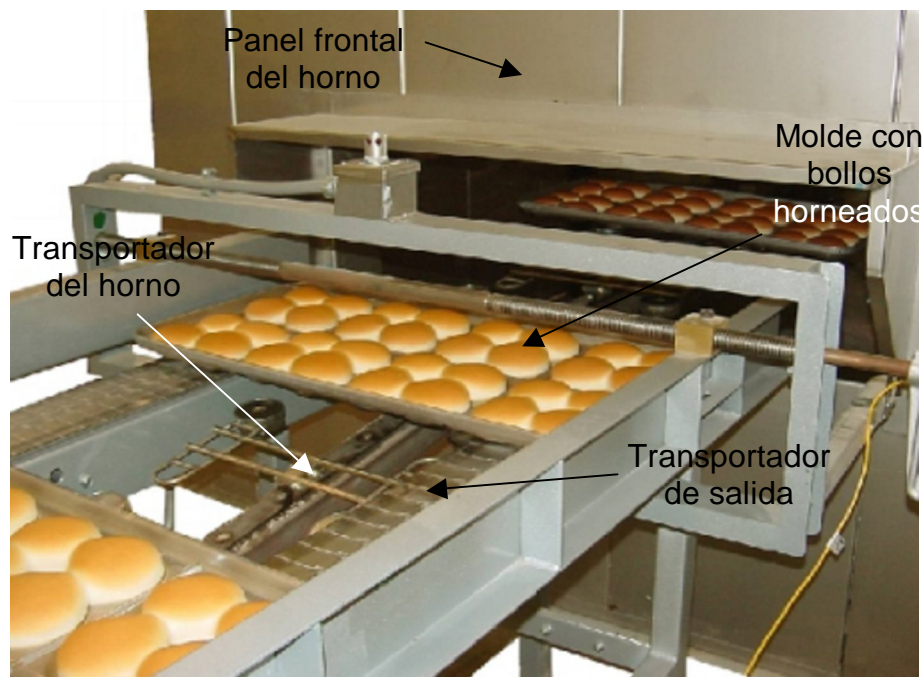


Figura 2.1 Horno de tipo transportador.

Hay una diferencia correspondiente en el tamaño de las dos unidades. En las últimas modificaciones, los transportadores de la cámara y el horno se mueven por diferentes motores y sus relaciones de operación se pueden alterar para ajustar el cambio de los requerimientos de cámara y horno. El horno consiste de un cajón formado por paneles aislados, soportados por una estructura de fierro. Ahí se guarda un transportador sinfín que se arregla en espirales ascendentes y descendentes o hileras cerca de la periferia. Dependiendo del diseño particular, el producto en moldes entra en el horno a través de una pequeña abertura, ya sea en la parte superior o inferior de la unidad. Viaja por toda la longitud del transportador interior, mientras se va horneando y después sale de nuevo en un nivel alto o bajo.

Como cada molde pasa por los mismos lugares, se alcanza un alto grado de uniformidad en el horneado. Esencialmente el horneado ocurre por medio de calor por convección.

El horno es del tipo de quemadores de tipo listón de flama directa y están localizados directamente abajo de las rejillas del transportador y están agrupados o no para el control de zona. De cualquier manera, como el horno tiene su interior abierto, esencialmente sin distinción ni clara definición de zonas de temperatura, el control cerrado de las diferentes zonas de temperatura presenta dificultades.

En donde se requiere vapor, se logra encerrando una longitud adecuada del transportador en la entrada al horno en un túnel e inyectándole vapor. La ausencia de columpios pesados y miembros estructurales masivos facilita rápidos ajustes de temperatura. Un sistema de distribución de aire da la recirculación y la ventilación parcial del aire caliente. La capacidad de algunos de los sistemas más grandes varía hasta llegar a una capacidad de 7264 Kg/hr de pan, y 400-800 unidades/min para bollería.

**Transferencia de calor.** La energía de calentamiento se transfiere de un cuerpo a otro en la dirección de caliente a frío. Las maneras en que esta transferencia de calor ocurre, incluyen: (a) conducción en sólidos o líquidos a lo demás; (b) convección en líquidos o gases que están en estado de movimiento; (c) radiación, la cual no incluye material de traslado.

**Conducción.** Por definición, calor conducido es el que se transmite por un medio sólido o un líquido a lo demás. Por ejemplo, cuando un extremo de una varilla de metal se mantiene cerca de una fuente de calor, la varilla completa, pronto se calentará. En este caso se dice que el calor fluirá del extremo caliente al extremo frío. La velocidad del flujo de calor se determina primeramente por la naturaleza del material sólido. Algunos sólidos, principalmente los metales, son buenos conductores de calor, mientras otros, como asbesto, vidrio, lana mineral, madera, etc., son conductores pobres y por esta razón se usan para propósitos de aislamiento.

Dada la naturaleza de la conducción, por ejemplo, el flujo de energía de un cuerpo a alta temperatura a uno a baja temperatura, su mayor rol en el horneado es la transferencia de calor de la fuente al hogar y las paredes de la cámara de cocción.

Es la primera manera de transferencia de calor en aquellos productos planos, como galletas, tortillas, *English Muffins*, etc., las cuales se hornean casi completamente por el contacto con una superficie caliente.

La afectación directa de la conducción en el horneado de productos grandes y aireados básicamente se limita a la transmisión de calor de las paredes del molde a la corteza de los lados y del fondo del producto a hornear. La conducción juega un papel mayor en los hornos modernos de calentamiento indirecto, en los que el calor de la cámara de fuego se transmite a la cámara de horneado por medio de radiadores y después se transforma en calor radiante que sirve como la principal forma de energía de horneado.

**Convección.** La convección incluye la transferencia de calor ya sea por fluidos o por gases que están en estado de movimiento. Por lo tanto, cuando se coloca agua caliente sobre una fuente de calor, la energía que se transfiere crea corrientes de convección. Éstas igualan la distribución de calor en el contenedor.

En un horno, aire y vapor son los principales medios de transmisión de calor dentro de la cámara de horneado, mientras que en la cámara de fuego, son los productos gaseosos de combustión, que sirven como agentes de transferencia de calor primarios. La convección libre o pasiva se basa completamente en las corrientes de aire naturales que resultan de las diferencias de temperatura de las masas de aire adyacentes. La convección forzada, por el otro lado, se crea con el uso de ventiladores y sopladores. En general, entre más rápido sea el movimiento de aire más rápida y eficiente se hará la difusión de calor, por esta razón, algún grado de convección forzada es aplicada en casi todos los hornos modernos.

Es una experiencia universal que ambos, la uniformidad de horneado y la rapidez de transferencia de calor hacia el producto de horneado se mejoran por la presencia de convección forzada. Hay diferencias de opinión, de cualquier manera, en cuanto al método más efectivo de agitación de aire y el volumen de aire óptimo necesario para alcanzar la transferencia máxima de calor. Se ha observado que así como el movimiento de aire se acelera progresivamente, se alcanza un punto eventualmente, detrás del cual cualquier incremento posterior en la velocidad del aire ya no va a resultar en un incremento de transferencia de calor desde su fuente.

Los sistemas de convección forzada generalmente utilizan una cámara en el fondo del horno, en la que el aire es forzado hacia la cámara del horno a una razón determinada

por medio de una serie de ranuras para crear una agitación atmosférica uniforme. La convección forzada también se logra por medio de la recirculación de la atmósfera del horno por medio de un sistema de ventiladores que toman el aire de la parte superior de la cámara del horno y lo recircula a través de tubos perforados, localizados arriba y abajo del producto a hornear.

**Radiación.** La radiación térmica representa el modo más complejo de transmisión de calor. Es un proceso en el cual la energía se transmite por medio de un cuerpo calentado en la forma de radiación electromagnética y viaja con la velocidad de la luz directamente al punto de absorción. Mientras la longitud de la radiación térmica varía desde los rayos infrarrojos más largos a través del espectro de la luz visible a los rayos ultravioleta más cortos, el rango práctico utilizado en el horneado cae principalmente dentro del espectro infrarrojo. Las longitudes de onda más efectivas de los rayos infrarrojos para las aplicaciones de horneado y cocina caen dentro del rango de los 3 a los 9 micrones. Similares a los rayos de luz, los rayos infrarrojos viajan en líneas rectas, son reflejados y refractados, pasan a través de materia transparente. Se absorben por cuerpos opacos que después se calientan y disminuyen su intensidad con base en el cuadrado de la distancia a la fuente de radiación.

Las superficies que se calientan por cualquier método se convierten en una fuente de radiación de calor. En hornos, por lo tanto, las superficies intensamente calientes, como el fogón, charolas, paredes de la cámara, radiadores, etc., representan fuentes de calor radiante que actúan sobre la superficie del producto de horneado.

Los paneles de calentamiento comercialmente desarrollados para usarse en hornos y otros tipos de equipo de cocina consisten en un alambre empotrado en material cerámico que se calienta uniformemente cuando se aplica electricidad. Forrando el interior de la cámara de horneado con estos paneles, un sistema de energía de calentamiento se crea y depende exclusivamente de la radiación térmica para la transferencia de calor a la superficie del producto de horneado.

**Sistemas de calentamiento.** Los dos principales sistemas de calentamiento de los hornos convencionales son (a) por fuego directo, donde la combustión ocurre dentro de la cámara de horneado, usualmente por el uso de quemadores de listón, y (b) por fuego indirecto, el cual usa cámaras separadas de combustión. Otros sistemas incluyen calentamiento semidirecto en el que parte de los gases de combustión circulan a través de la cámara de horneado para crear corrientes de convección y últimamente un método no muy utilizado que hace uso de tubos de vapor a alta presión. Energía eléctrica, cuyo uso se restringe a hornos pequeños es la fuente de calor ideal de calentamiento directo.

**Sistemas de fuego directo.** En los hornos modernos de fuego directo, hay varios bancos de quemadores de listón localizados dentro de la cámara de horneo, transversalmente al viaje de las charolas de horneo o de la banda de horneo. Estos quemadores normalmente se localizan ambos arriba y abajo de la superficie de horneo, para proveer calentamiento controlable arriba y abajo.

Ya que los productos de combustión se confinan a la cámara de horneo, los hornos de fuego directo usualmente se limitan al uso de gas limpio como combustible. Los sistemas de extracción controlan los niveles de ambos, los gases de combustión y la humedad dentro de la cámara. La eficiencia de este tipo de hornos se incrementa añadiendo un sistema de agitación de aire forzado para la circulación de la atmósfera de la cámara de horneo.

**Sistemas de fuego indirecto.** Los hornos con sistema de fuego indirecto se calientan con tubos de radiación a través de los cuales circulan los gases de combustión calientes que se generan en cámaras separadas de combustión. Los tubos de radiación se arreglan en bancos dentro de la cámara de horneo y dan su calor esencialmente por radiación, los productos de combustión no entran a la cámara de horneo y no tienen contacto directo con el producto horneado. Mientras el gas normalmente se usa como el combustible preferido, los sistemas de fuego indirecto son capaces de quemar petróleo y otros combustibles.

Cada cámara de combustión va a servir a una zona del horno, de tal manera que un horno largo tendrá varias de ellas. Consisten en un quemador de alta capacidad que se suplementa con un ventilador de circulación, ductos y controladores de temperatura.

Los tubos de radiación dentro de la cámara de horneo se pueden arreglar para dar calor radiante a ambos, la parte superior y la inferior del producto de horneo. Existen limitaciones de la superficie de radiación que se puede designar dentro de un horno, por la utilización menos eficiente de la energía que se obtiene en hornos de fuego indirecto comparado con los de fuego directo.

Los hornos de fuego directo son más lentos en su respuesta a ajustes de temperatura y en su velocidad de horneo. Los hornos equipados con un sistema de aire forzado auxiliar, que recircula la atmósfera de la cámara de horneo a través de tubos alrededor de los radiadores, muestran un mejoramiento considerable en su velocidad de horneo. La capacidad de utilizar varios combustibles y su sistema de agitación de aire dan una gran complejidad a estos hornos.

Una variante de los sistemas indirectos es la llamada versión semidirecta que también usa cámaras de combustión separadas y se basa en tubos de radiador para transferir el



calor a la cámara de horneo. De cualquier manera, los radiadores en este caso están provistos con, ya sea, pequeñas ranuras u orificios pequeños que permiten a los gases calientes entrar en la cámara del horno.

La intensidad de las corrientes de convección dentro de la cámara de horneo puede ser controlada por medio de reguladores de tiro. Un horno con este tipo de sistema ofrece las opciones de ambos, calor de convección y calor radiante y combina en una unidad los beneficios que son inherentes a ambos métodos de transferencia de calor.

En los llamados hornos de calentamiento por recirculación, los quemadores se localizan también fuera de la cámara de horneo. Aquí, de cualquier manera el aire calentado en la cámara de combustión circula a través de la cámara de horneo por medio de ventiladores y ductos de aire, para ser retornado a los quemadores para recalentamiento. Mientras parte de este aire es extraído continuamente, la mayoría es reciclado. El incremento resultante de movimiento de aire dentro de la cámara de horneo tiene un efecto saludable en la velocidad con la que el calor penetra y es absorbido por el producto de horneo.

El sistema de tubos de vapor, poco usado para calentamiento de hornos por su ineficiencia relativa, se basa en el hecho de que el vapor bajo presión puede alcanzar muy altas temperaturas.

Los hornos calentados por este método utilizaron tubos sellados herméticamente para servir como conductores y transmisores de calor. Los tubos, parcialmente llenados con agua o con un líquido estable al calor, se instalaban de tal manera que un extremo se proyectara hacia la cámara de fuego, mientras que la mayor parte se extendía hacia la cámara de horneo. Los tubos se encuentran ligeramente inclinados hacia la cámara de fuego para permitir al condensado retornar hacia la fuente de calor para ser reevaporados.

El vapor saturado a presión atmosférica tiene una temperatura de 100°C, mientras que las temperaturas de horneo generalmente caen en el rango de 182°C a 232°C. Por lo anterior, debe ocurrir un aumento de presión considerable dentro de los tubos para alcanzar los niveles de temperatura mayores. Aún más, como en este sistema la transmisión de calor es principalmente por radiación en la que el efecto de calentamiento es proporcional al nivel de calor de la fuente de radiación, la temperatura de los tubos de vapor debe ser mayor a la temperatura de horneo. El vapor a una temperatura práctica de 335°C desarrolla una presión de 140.7 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tipos de quemadores.** La mayoría de los hornos modernos de fuego directo operan con quemadores de listón que se instalan directamente en la cámara de horneo. Originalmente, los quemadores fueron esencialmente tubos provistos con una serie de

boquillas de gas. El quemador de listón más moderno genera una tira de flama continua a todo lo largo y, cuando se equipa con un equalizador lateral de calor, tiene la capacidad de un ajuste de flama lateral selectivo, para controlar con precisión la producción de calor a cualquier nivel a todo lo ancho del horno. En hornos de fuego indirecto o del tipo de recirculación de calor, grandes quemadores de alta capacidad, sencillos o en pares, generan los gases calientes en cámaras de combustión separadas.

Hay dos métodos para conseguir una mezcla de gas con aire adecuada que sea combustible y queme limpiamente con flama azul. En el sistema de aspiración viejo, el gas se conduce al tubo del quemador bajo una presión de 0.07037 a 0.3519 Kg/cm<sup>2</sup>. El interior del quemador se diseña de tal manera que el gas que fluye produce un efecto de Venturi para dar el suficiente espacio al aire para formar la mezcla gas/aire del combustible. Cada quemador tiene su propia válvula de control de gas para un control de calor manual.

Como el aire se adapta al flujo de gas, se puede absorber una cantidad insuficiente de aire para ajustes bajos de la válvula y resultar en una menor eficiencia del horno. También, el sistema de aspiración tiene una tendencia a que la flama se apague bajo ciertas condiciones, creando peligros en la operación.

En un sistema más eficiente y seguro de combustión, el aire y gas se mezclan proporcionalmente, en un mezclador por zonas, antes de ser alimentados a través de un cabezal común a quince o más quemadores de listón. Los sopladores proveen de aire filtrado bajo presión usualmente a 0.07037 Kg/cm<sup>2</sup>. El aire jala al gas, del que la presión ha sido reducida a cero por un regulador de presión o gobernador, en la unidad mezcladora para formar la mezcla gas-aire.

El control de los quemadores se alcanza con una válvula de control de aire que se opera con el controlador de temperatura. Cuando el controlador de temperatura detecta una caída en la temperatura del horno, manda la señal a la válvula motorizada para aumentar el flujo de aire a la cámara de mezclado. Esto a la vez, causa que entre más gas, resultando en un incremento de tamaño de flama y generación de calor. Si se excede el nivel de temperatura predeterminada del horno, el flujo de aire y la generación de calor se reducen proporcionalmente. La unidad de mezclado viene con una serie de dispositivos como interruptores de presión automática, válvulas de cerrado de gas y bujías de ignición continuos o intermitentes.

Una versión modificada de este sistema tiene un mezclador proporcional por separado para cada quemador, con aire a baja presión y líneas de gas a presión cero. Este arreglo, de cualquier manera, se justifica sólo cuando es esencial un muy alto nivel de control.

**Control de quemadores.** El control de quemadores puede ser alguno de tres tipos. El primero y el más simple, el de encendido-apagado que, como su nombre lo implica hace que los quemadores estén totalmente encendidos o totalmente apagados. En sistemas de quemadores "alto-bajo", los controles fluctúan entre las condiciones de flama alta y baja de acuerdo con la cambiante demanda de calor. Finalmente, los controles modulados o proporcionales, que también son los más complejos, cubren todo el rango de la intensidad de flama.

Los hornos modernos están equipados con varios elementos de seguridad contra el mal funcionamiento de quemadores que pudiera llevar a condiciones peligrosas. La falla de flama puede ocasionarse por varias razones. Por lo tanto, el gas o combustible puede no encenderse, ya sea porque la luz de piloto se extinguió o porque la ignición electrónica falló o no produjo la chispa adecuada. Puede ocurrir una falla temporal del suministro de combustible, o la flama se puede apagar por una ráfaga repentina de aire.

A menos de que el horno se equipe con los detectores y alarmas apropiados, una falla de gas puede pasar desapercibida el suficiente tiempo para dejar crudos los productos. Una precaución importante incluye el apagar automáticamente la alimentación de combustible al quemador en caso de falla de flama. Normalmente otros dispositivos de seguridad incluyen a temporizadores de purga del horno, monitores de flama e ignición, relevadores de interconexión, alarmas y luces indicadoras de seguridad.

**Instrumentación.** Los hornos modernos están provistos con varios tipos de instrumentos de control para asegurar su operación correcta y segura. Varían desde elementos simples de indicación hasta sistemas sofisticados de monitoreo, interrupción y controladores de funciones que imparten un alto grado de automatización y precisión a la operación del horno.

En las últimas décadas, los temporizadores electromecánicos recientes, relevadores e interruptores, han sido reemplazados por elementos de estado sólido y últimamente por controladores programables que son capaces, mediante una unidad de procesamiento central, de llevar a cabo las funciones que se demandan para una completa automatización.

**Control de Temperatura.** El principio en que se basa el termómetro indicador de bulbo es la expansión, con calor, del mercurio o algún otro fluido. El mismo principio se aplica a algunos controladores de temperatura más complejos, que no indican y que actúan por sí mismos en los que la presión creada por un medio de llenado expansivo se usa para activar una válvula de control o disparar un interruptor eléctrico. Complementando esos controladores con un tubo capilar o de Bourdon que cambia su

configuración en respuesta a las variaciones internas de presión inducidas por cambios de temperaturas, se convierten en controles de indicación con mucha exactitud.

Estos controladores son capaces, con adaptaciones adecuadas, de operar simultáneamente varias válvulas ajustadas a diferentes temperaturas de control que se encuentran en el rango del instrumento. Finalmente, el control indicador se puede expandir a un instrumento de grabación, equipado con una pluma y una gráfica móvil que marcará todas las variaciones de temperatura sensadas por elementos térmicos y producirá una grabación permanente. La precisión de los termómetros del tipo presión es de 1% de su escala.

Las alteraciones en las propiedades eléctricas de los metales inducidas por cambios de temperaturas ha llevado al desarrollo de varios instrumentos de control e indicación de calor. Las variaciones de temperatura afectan tanto a la conductividad eléctrica del metal como a la fuerza electromotriz que desarrolla cuando dos cables de metal diferente se unen. Los tipos de instrumentos resultantes son el termómetro de resistencia y el pirómetro termocople, respectivamente.

Los termómetros de resistencia consisten esencialmente de un cable en espiral cuya resistencia a la conductividad eléctrica varía en diferentes temperaturas en incrementos conocidos exactamente y puede entonces servir como la base para la medición de la temperatura. En el pirómetro termocople, dos cables de diferentes metales se juntan en un extremo, para formar la junta caliente o sensor, mientras que los otros extremos, con núcleos de cobre, se conectan a un elemento de medición de voltaje, que puede ser un milivoltímetro o un potenciómetro. Una fuerza electromotriz o voltaje se genera como resultante de la diferencia de temperatura entre los dos extremos y se mide por un instrumento que se calibra a una escala dada de temperatura.

Para un control cerrado de temperatura, el potenciómetro electrónico se prefiere generalmente, ya que responde continuamente a cambios de temperatura con una exactitud de 0.25% respecto a la escala de medición, en contraste al de alguna manera más lenta y respuesta menos sensitiva del pirómetro basado en el milivoltímetro.

Ambos tipos de termómetros, de presión y pirómetro electrónico, se aplican en el control de la temperatura de los hornos. Extendiendo su elemento de sensado dentro de una zona, estos últimos instrumentos se pueden adaptar para responder a la temperatura promedio del área en lugar de a un nivel de calor específico de un lugar restringido.

Los instrumentos para control e indicación tipo termómetro son comparativamente bajos en costo, dan lecturas continuas y separadas para cada zona de calentamiento de hornos multizonas, son relativamente durables, requieren un mínimo de mantenimiento, y, en

caso de instrumentos de grabación, dan una grabación permanente en los cambios de temperatura de cada corrida de producción. De cualquier manera, cuando hay una falla como resultado de un daño, la calibración puede llevar mucho tiempo, ya que incluye calibración y pruebas muy extensas.

Los sistemas de medición y control de temperatura termoeléctrica se han adoptado ampliamente en los últimos años. La mayor ventaja es que cualquier número de termocoples se pueden conectar a un instrumento. Esto permite el control y monitoreo de temperaturas en distintas áreas del horno por un instrumento, aunque es aconsejable generalmente que cada zona de un horno tenga su propio instrumento. Aún más, es una buena práctica dar a cada control indicador su propio instrumento de grabación y graficar los cambios de temperatura de cada zona durante el ciclo de horneado. Los pirómetros electrónicos se pueden adaptar para dar control de calor modulado, para mantener la temperatura del horno dentro de un rango constante y cerrado.

### **2.3 Desmoldeador**

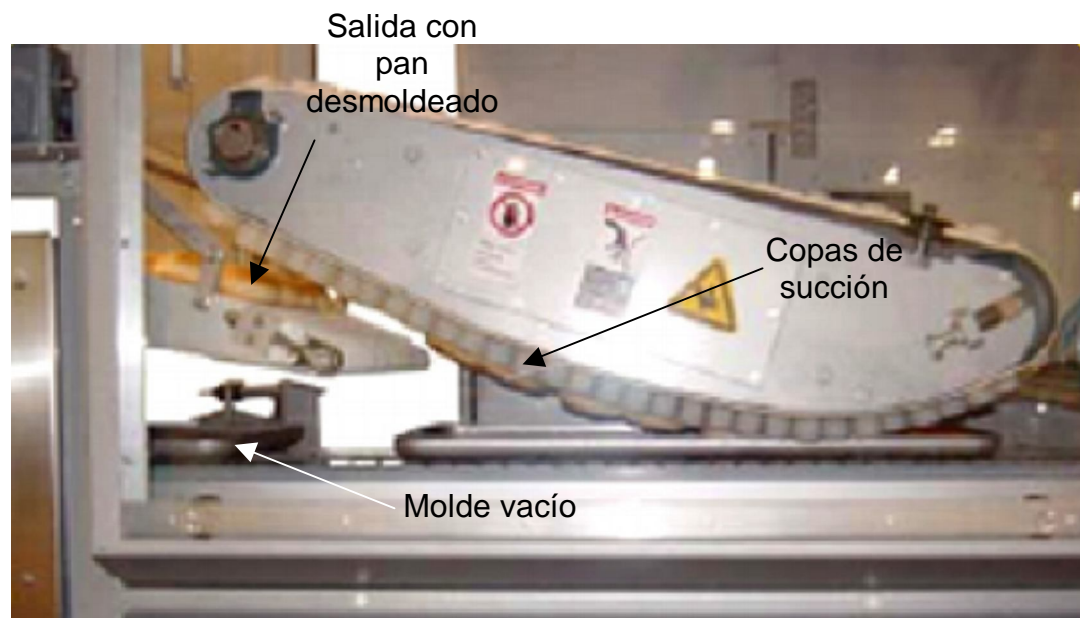
Todo el pan que viene del horno se remueve inmediatamente del molde y se le permite enfriar antes de rebanarse y embolsarse. Inicialmente, el pan se desmoldeaba manualmente, lo cual requería el esfuerzo de varios trabajadores. Mientras algunos levantaban los moldes de la descarga del horno, los invertían y los golpeaban contra una barra situada sobre la mesa de acumulamiento, otros colocaban las hogazas calientes en jaulas para su enfriamiento. Esta operación se tenía que llevar a cabo rápidamente para ir a la velocidad de descarga del horno, esto daba como resultado quemaduras a través del contacto con moldes calientes.

Los primeros desmoldeadores mecánicos de pan se desarrollaron en varias formas hace algunas décadas y últimamente se convirtieron en unidades capaces de desmoldear 20 a 25 moldes por minuto.

Su modo de operación básica era relativamente simple. Los moldes se alimentaban al desmoldeador por medio de un transportador medidor y entraban al brazo volteador. El brazo se balanceaba hacia adelante y tiraba el molde invertido con un abrupto paro en barras ajustables que aflojan y liberan las hogazas. El espaciamiento de las barras era tal que retenían la tira de moldes y desalojaban las hogazas liberadas que caían en una compuerta de descarga. Mientras la estructura se movía hacia adelante para depositar los moldes en el transportador de descarga, la compuerta de descarga se posicionaba verticalmente, mandando las hogazas por gravedad en posición vertical al transportador que las llevará hacia el enfriador.

La velocidad de operación de los desmoldeadores mecánicos probaron ser inadecuados para los márgenes actuales de producción, más aún eran ruidosos, disminuían el tiempo de vida de los moldes y causaban daño frecuente al producto. Por estas desavenencias, los desmoldeadores mecánicos pronto se hicieron obsoletos y eventualmente se reemplazaron por desmoldeadores de vacío. Para vaciar moldes con tapa, se colocaba inmediatamente antes del desmoldeador un levantador magnético o rodillos.

Los desmoldeadores por medio de vacío, como su nombre lo dice, usan vacío para levantar el producto horneado de los moldes, con el menor daño, tanto para el pan como para los moldes. El desmoldeador por medio de vacío tiene una gran número de copas de succión hechas de silicón flexible o látex. Justo antes de que los moldes alcancen la banda de vacío hay aspersores de aire dirigidos hacia las paredes del molde y hacia las hogazas de pan para aflojar y separar las hogazas del molde y levantarlas hacia las copas de succión.(Figura 2.2)



**Figura 2.2 Desmoldeador continuo por medio de vacío.**

Los desmoldeadores se diseñan específicamente para pan o para bollos, o para ambos. La velocidad de desmoldeo puede superar las 260 hogazas por minuto de pan y los 35 moldes por minuto de bollos. El desmoldeo eficiente, además de requerir el ajuste correcto del equipo, presupone que los moldes reciben el trato apropiado con un agente desmoldeante.

Los moldes se remueven del desmoldeador por un transportador que los regresa a la modeladora para volverse a usar o a un área de guardado de moldes. El tiempo adecuado para la transportación de moldes desde el desmoldeador hacia la modeladora debe ser tal que les permita enfriarse de una temperatura de alrededor de 149°C hasta una temperatura de 35°C a la cual están listos para su uso inmediato en la modeladora.

## 2.4 Enfriador

Los productos horneados requieren enfriarse a una temperatura apropiada antes de que se puedan rebanar o empacar. La rapidez con la que se da el enfriamiento tiene un gran efecto en la calidad del producto. Si a un producto como el pan se le disminuye su temperatura muy rápidamente, la condensación resultante de su vapor interno en líquido que ocupa un volumen mucho menor puede causar una reducción proporcional en el volumen del producto y disminuir en calidad.

De acuerdo a un autor, las condiciones de enfriamiento más efectivas se dan por una temperatura de  $23.9 \pm 1.67^{\circ}\text{C}$ , una humedad relativa del 85% y un movimiento de aire suficiente para producir un incremento de temperatura de  $11.1^{\circ}\text{C}$  en el punto de salida. En la práctica general de enfriamiento de pan se incluye el colocar las hogazas en anaqueles de bastidores estacionarios y exponiéndolos al efecto de enfriamiento hasta que su temperatura interna tuviera un nivel aceptable. Este método, utilizado extensivamente en plantas panaderas más pequeñas, demanda tiempo espacio y trabajo, y adicionalmente es ineficiente. No solamente el inevitable cambio de temperatura desde el centro hacia los extremos en el bastidor da como resultado un enfriamiento no uniforme, sino que también la velocidad de enfriamiento puede variar diariamente con condiciones atmosféricas cambiantes.

**Enfriadores de banda continua.** Las mayores mejoras en el enfriamiento de pan vinieron con la introducción de enfriadores de pan en transportadores ya que proveen condiciones idénticas de enfriamiento para cada hogaza y, cuando están suspendidos del techo liberan de espacio de piso.

El más simple de estos enfriadores consiste en un transportador de hileras múltiples, sinfín, aéreo que viaja en línea recta con vueltas de  $180^{\circ}$  al final de cada tramo recto y que transporta el pan a través de un ciclo de enfriamiento de 60 a 90 minutos. Pueden estar abiertos en sus lados, con un ventilador extrayendo el calor que irradian las hogazas hacia el exterior, o pueden estar encerrados en paneles para formar una estructura de túnel y utilizar movimiento de aire en contra corriente para acelerar la acción de enfriamiento.

La banda del transportador puede ser del tipo de malla de alambre o de varillas de metal que es capaz de flexionarse en cualquier dirección.

También hay enfriadores en espiral en varios diseños y con una o dos espirales. El enfriador de doble espiral consiste en dos círculos concéntricos, con la espiral exterior para el ascenso y la interior para el descenso. Estos enfriadores pueden variar en altura desde 4 hasta 28 hileras y tener anchos de banda de 45 a 80 cm. Su forma circular, ahorra el espacio en piso y al mismo tiempo ofrece una amplia gama de longitudes para dar requerimientos de tiempo de enfriamiento potenciales.

## 2.5 Rebanadora

El rebanado del pan y otros productos de panadería contribuye importantemente a su percepción como alimentos de conveniencia. No sólo da al consumidor porciones de productos uniformes, sino que también libra del trabajo y la dificultad de tener que cortar pan muy suave con utensilios de corte que muchas veces son inadecuados para ese propósito.

Las rebanadoras para los productos de panadería se clasifican de acuerdo a su manera de operación en tres distintas categorías (a) rebanadoras de navaja recíprocante, (b) rebanadoras de navaja en banda continua, y (c) rebanadoras de navaja circular o disco. La primera categoría se usa principalmente para rebanar panes varios en panaderías pequeñas, el segundo tipo se aplica casi universalmente para rebanar panes de molde suaves, mientras que las rebanadoras de disco, se usan para rollos, bollería, *English Muffins*, *bagels* y productos similares.

**Rebanadoras de disco.** Los productos como roles y bollería, *English Muffins* y *bagels*, se rebanan por lo general con navajas de disco o circulares que se montan horizontalmente en ejes movidos por motor y montados paralelos a la dirección del viaje del producto. Las navajas circulares están separadas una de otra de tal manera que dejan un espacio reducido en los lados adyacentes de cada par de productos que pasan a través de la zona de rebanado.

Los productos se mueven a través de las navajas en hileras en transportadores ajustables con bandas afianzados que mantienen el producto abajo. Los bollos pueden rebanarse individualmente o, generalmente, en grupos de cuatro, seis y ocho unidades a velocidades de hasta 40,000 unidades por hora.



## 2.6 Embolsadora

En el presente, casi todo el pan llega al consumidor en bolsas de polietileno, incluyendo los panes varios, para los que algunos panaderos aún utilizan preliminarmente una envoltura de papel encerado. El pan empacado en bolsa de polietileno es percibido como que retiene su frescura más tiempo que el pan envuelto convencionalmente; la envoltura es más fácil de abrir y cerrar herméticamente; y su elemento de alambre plastificado hace más conveniente su manejo.

La iniciativa del panadero para adoptar el embolsado de pan y bollos incluye la mayor simplicidad de las máquinas de embolsado en su diseño, operación y mantenimiento en comparación con las máquinas envolventoras de pan más complejas. Otras ventajas que acompañan a las embolsadoras son sus bajos costos de adquisición, operación más económica, velocidades de empaque más altas y una gran dependencia que disminuye la necesidad de equipo de refacción auxiliar.

La embolsadora de paletas usa un concepto diferente para empaquetar el pan, permite la operación continua en velocidades hasta de 150 panes/min. Aquí, el pan se transfiere a la embolsadora desde la rebanadora por un transportador con empujadores. Así como entra al mecanismo de embolsado, la hogaza sigue su transporte por medio de empujadores o paletas superiores que cambian la dirección de su viaje de a lo ancho a lo largo. Las espreas de aire inflan y abren la bolsa antes de que llegue la hogaza, que después es empujada dentro de la bolsa abierta por la paleta superior.

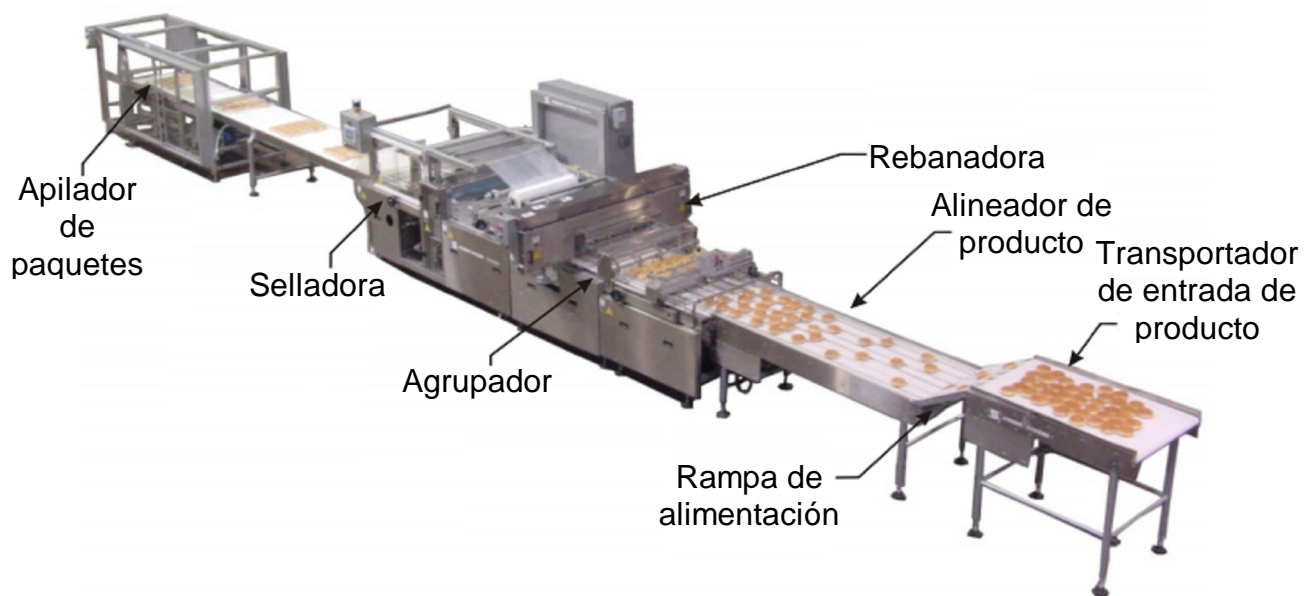
La hogaza embolsada sale en ángulo recto hacia la máquina que cierra la bolsa. Entre las grandes ventajas de las embolsadoras de paleta se encuentra su mayor adaptabilidad a las diferentes necesidades de acomodo de equipo, su mayor velocidad de operación, y su capacidad para manejar la salida de dos rebanadoras, teniendo la alimentación de ellas con empujadores alternos de la embolsadora.

Los modelos más recientes de embolsadoras de pan incluyen control por medio de microprocesadores de sus funciones interrelacionadas y por tiempo. Dan una operación continua cambiando automáticamente paquetes de bolsas cuando el otro se acaba. Algunas se pueden preseleccionar para contar cierta cantidad de productos y más aún se pueden programar para cambiar a otro tipo de bolsa.

Entre los elementos más comunes de cerrado de bolsas en uso se encuentran las de doble alambre cubierto por plástico, pinza de alambre, el amarre torcido y las selladoras de aire caliente para paquete de bollo horizontal largo.

La selección de algún tipo en particular se gobierna por consideraciones como la preferencia del mercado, el costo comparativo del material para cerrar la bolsa, y la complejidad relativa de operación y mantenimiento de la máquina de cerrado. La inclusión de codificadores para imprimir, las en ocasiones mandatorias informaciones de fecha y precio, ya sea directamente en la bolsa o en las grapas de plástico desahogarán al panadero de la necesidad de comprar grapas o bolsas con la información ya impresa en ellas.

Los bollos y otros productos pequeños de panadería son puestos en el mercado en una gran variedad de tamaños de paquetes, número de unidades por paquete y configuraciones, de tal manera que el equipo requerido para este propósito correspondientemente varía.



**Figura 2.3 Envolvedora de bollos para venta al mayoreo.**

En un sistema de embolsado completamente automático, los bollos, ya sea simples o en grupos, se transfieren del transportador de enfriamiento directamente al transportador de alimentación donde son alineados en hileras o grupos e indexados en el arreglo de paquete apropiado.

Después, ya sea rebanado completo o de bisagra, los bollos son depositados y apilados entre los empujadores de un transportador y los lleva hacia la posición donde las paletas

o empujadores los insertan en las bolsas. Para empacar a granel, usualmente en grupos de 12 bollos o más apilados en doble hilera, los productos acumulados se transfieren a una máquina envolvente equipada con sellado de aire caliente.

La capacidad máxima de estos sistemas es de 600 bollos/min, o un equivalente de 25 a 50 paquetes/min., dependiendo de la configuración para el apilado y dependiendo de si se envuelven grupos o bollos individualmente.

El apilado se lleva a cabo automáticamente, ya sea por una unidad de movimiento rotatorio en caso de que los bollos individuales necesitan ser agrupados de 4 por 4, de 6 por 6 o alguna otra configuración de inserción dentro de la bolsa, o por un llenado continuo parecido al de a mano en caso de grupos.

El tamaño de la bolsa que se necesita para acomodar un número dado de unidades de producto se establece simplemente acomodando los productos en la configuración deseada y, con una cinta métrica, determinar la longitud y la periferia del paquete resultante. Al resultado obtenido se le añade 1 y el resultado obtenido se divide entre dos para obtener el ancho requerido de la bolsa. La longitud requerida de la bolsa se obtiene sumando 15 a la longitud del paquete.

## 3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMA Y NECESIDAD

### 3.1 Problema y necesidad

La primera pregunta para poder definir el problema y la definición es: ¿Por qué escoger la mezcladora como el equipo tema de esta tesis?

Como se explicó en el capítulo 1, sección 1.3, cuando se habla del mezclado, la cuarta fase del mezclado, que es llamada etapa de desarrollo, tiene una importancia fundamental en la fabricación del pan, en ella la masa adquiere las propiedades que harán que el producto terminado sea el adecuado e influirá en el producto final de manera determinante.

La mezcladora es un equipo que es crítico en el proceso, ya que si la masa se mezcla con los ingredientes, en los tiempos y se descarga de este proceso con la temperatura adecuada, todos los procesos subsecuentes no tendrán problema para obtener un producto adecuado.

La masa puede presentar dos problemas: Si la masa está subdesarrollada o también sobre desarrollada.

Una masa subdesarrollada es aquella a la que no se le dio el suficiente trabajo mecánico y por consecuencia no adquiere las propiedades de flujo viscoso, con lo que los futuros procesos de la fabricación del pan se harán problemáticos. Ejemplo de esto es el que la masa no llene por completo la cavidad del molde y queden entonces hoyos ya sea en la base o en la tapa del molde. Normalmente este problema se presenta en las esquinas que son más difíciles de llenar por la mezcla si ésta carece de fluidez por la falta de trabajo en la masa.

Otro problema que provoca una masa con estas características es la falta de crecimiento en la etapa del fermentado, generado por la rigidez de las partículas de la masa, evitando que el gas que se desarrolla dentro de la masa (provocado por la fermentación), pueda expandirse y, por lo tanto, la masa no llegue al tamaño adecuado y no llene el molde utilizado para su fabricación.

Una masa sobredesarrollada es aquella a la cual se le dio demasiado trabajo y por lo mismo comenzó a perder sus propiedades de plasticidad y elasticidad.

Una masa pierde sus propiedades de plasticidad, por poner un ejemplo, al ser depositada en el molde, no va a conservar la forma que se le dio y va a ser muy fluida. Esto es fácilmente detectable en el bollo (pan para hamburguesa), en donde se pretende que el producto final permanezca con una forma redonda, si tiene demasiado trabajo, entonces tenderá a quedar plano en la parte superior.

Al perder las propiedades de elasticidad, la masa no recuperará su forma después de ejercerse una fuerza que la deforme.

Todos estos problemas en las características de la masa, se reflejan en una calidad deficiente del pan, el cual tiene unos estándares de calidad preestablecidos en cuanto a su forma, su tamaño, su peso, su textura, su cantidad de humedad contenida, su color, su sabor, su migaja, etcétera, que hacen que el producto se tenga que reprocesar (si el producto lo permite) o de otra manera desechar, con las consecuentes pérdidas directas económicas que esto conlleva y también por las posibles pérdidas de oportunidad en el mercado, que por falta de producto de venta o por incumplimiento de promesas de pedidos se pueden dar.

Con base en lo anterior se propone definir como necesidad: Contar con un control en la mezcladora, que ayude a los operadores a asegurar la calidad del producto terminado.

### **3.2 Propuesta de solución**

Partiendo de que en el proceso actual se cuenta con una mezcladora que está controlada con un circuito eléctrico convencional se tienen los siguientes inconvenientes: falta de consistencia entre lote y lote, equivocación en labores repetitivas que provocan la necesidad de retrabajo y por consecuencia altos costos. Se evalúa la siguiente opción para solucionar este problema:

La solución se basa en la sustitución de los circuitos eléctricos convencionales por un PLC. Con lo cual se logran varios objetivos: El primero es estandarizar el proceso, una vez hecho esto, el siguiente punto es controlarlo. Para la estandarización del proceso se definen los parámetros con los que trabaja la mezcladora y se aplican en cada uno de los lotes. La ventaja de tener la secuencia en el PLC radica en que los parámetros serán los mismos en cada lote y también la adición de ingredientes automáticos y manuales se hace cuando el equipo lo solicita, ayudando a prevenir que el operador olvide dicho paso.

Otro objetivo es dar al operador la capacidad de registrar datos del proceso, los cuales son indispensables para lograr un buen producto terminado y eliminar algunas de las

labores repetitivas que acaban por crear fastidio y provocan que algún paso sea omitido en la preparación de la masa.

Al lograr trabajar con los mismos parámetros sin saltarse pasos en la secuencia de operación u omitir ingredientes que se añaden automática y manualmente, se procede a utilizar las mismas variables en todos los lotes, de esta manera tiempos, cantidades y temperaturas, quedarán establecidos en su punto adecuado, todo esto basado en la funcionalidad de los ingredientes y la teoría de la elaboración del pan.

El monitoreo de las variables importantes que en el caso del mezclado son: la temperatura inicial y su incremento durante el mezclado, el consumo de corriente del motor que mueve los brazos que dan el trabajo a la masa.

### 3.3 Ventajas y desventajas

Las ventajas de la opción mencionada son las siguientes:

- Ayuda a prevenir errores de omisión o doble descarga de ingredientes (manuales y automáticos).
- Ambiente laboral más sano. Ya que el operador de la máquina, se dedica a hacer labores en las que puede tomar decisiones con la información proporcionada y no desperdicia el tiempo en labores repetitivas.
- Versatilidad. Ya que instalado el equipo es muy sencillo hacer modificaciones a su secuencia o lógica de operación.
- Control estadístico.
- Ahorro de costo a largo plazo. Como se menciona en el punto anterior, el programa es susceptible a modificarse y añadir, temporizadores, contadores o condiciones que de otra manera serían posibles sólo con la compra de equipo complementario (temporizadores, relevadores, etcétera), el cambio de cableado y más largos tiempos para la implementación.
- Mantenimiento. Al evitar los elementos electromecánicos de control, se ahorra en tiempo de personal de mantenimiento y los elementos mismos que de otra manera se tienen que mantener en almacén de refacciones.
- En caso de problema con algún elemento del PLC, es posible contar con un programa de asistencia y refaccionamiento, sin necesidad de tener almacenado el equipo sin utilizar y la carga del programa se lleva a cabo con una memoria EEPROM que se tiene almacenada con el programa.

Las desventajas de la opción propuesta son las siguientes:

- Costo por inversión inicial.
- Tiempo para cambio. Aunque bien planeado el proyecto de sustitución tecnológica es mínimo.
- Costo de refacciones. Aunque bien es cierto que no se tienen tantos elementos en almacén de refacciones, el costo de los procesadores y tarjetas es más alto y es conveniente tener procesadores y tarjetas de control disponibles para cualquier contingencia o pagar por iguala para que el proveedor cuente en su almacén con el equipo en caso necesario.

## 4 CASO DE ESTUDIO

### 4.1 Descripción de la mezcladora

De la figura 1.1, Capítulo 1 se observa que la mezcladora en estudio se encuentra al final del área de esponjas líquidas y al inicio del área de formado, dicha mezcladora trabaja en tres turnos y cada lote debe estar preparado en 15 minutos, lo que da un total de 4 lotes por hora o 32 lotes por turno de 8 horas, considerando un total de 24 horas de producción por día y en 26 días hábiles al mes, se tiene un total de 2496 lotes por mes.

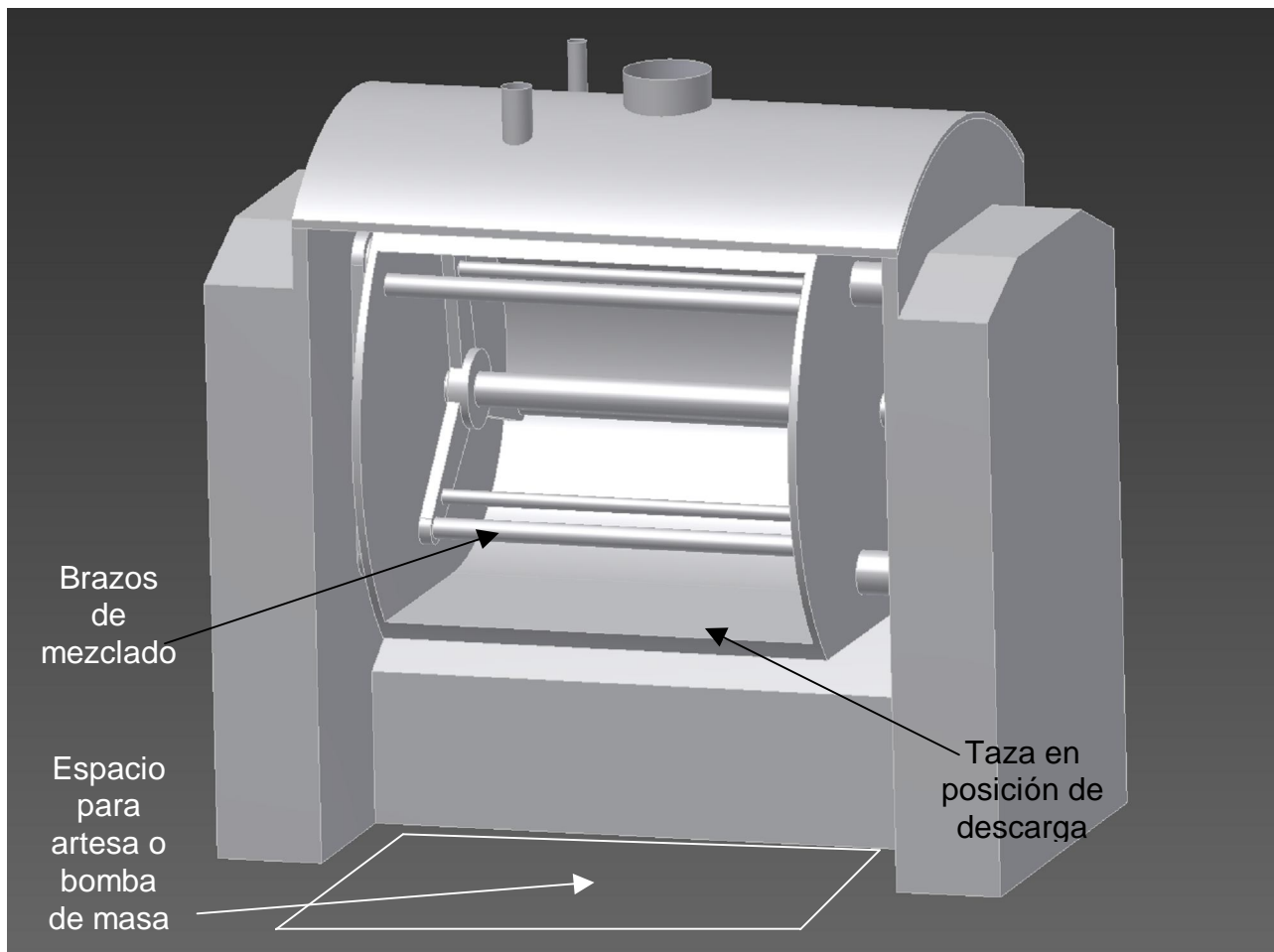
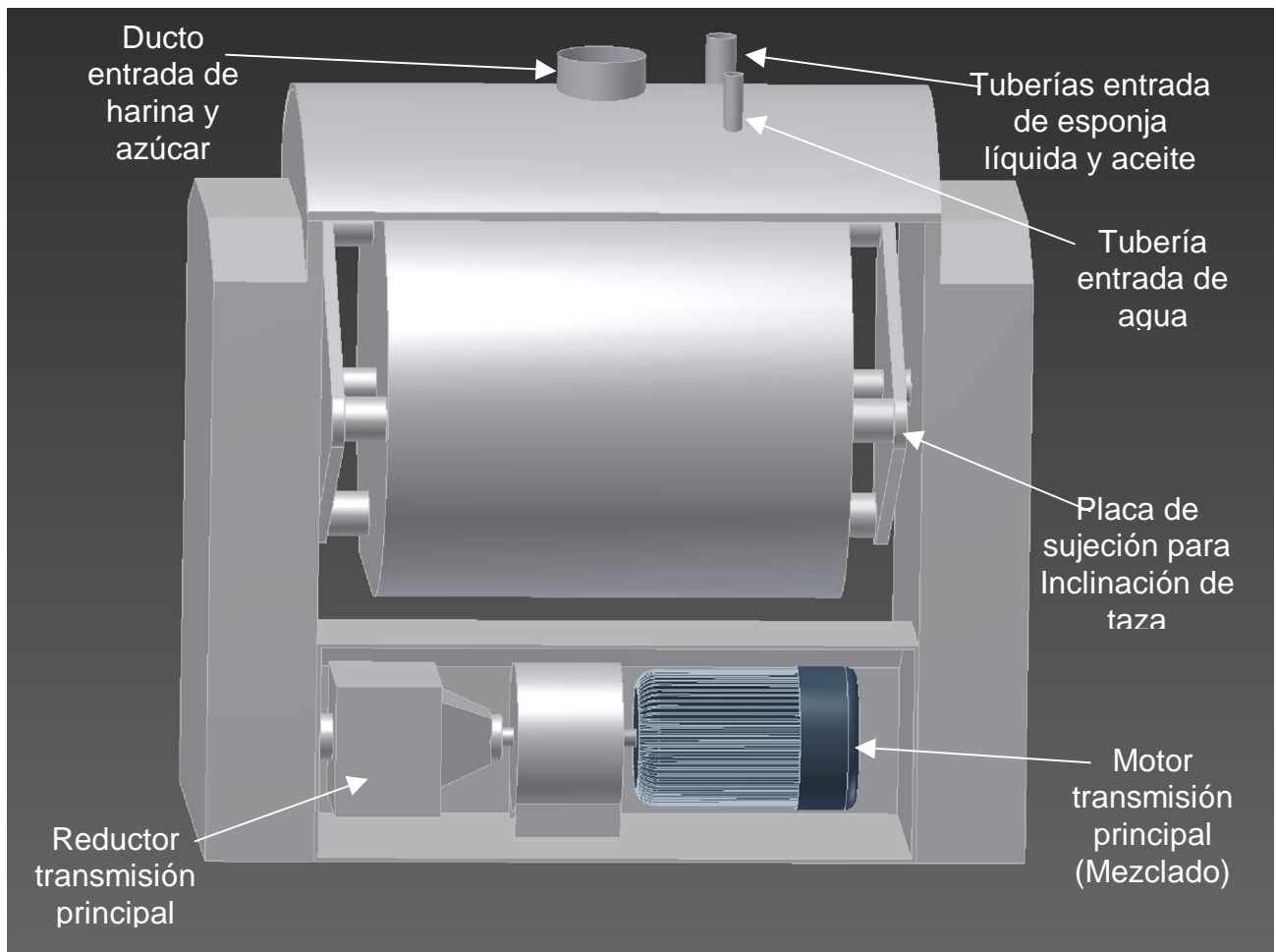


Figura 4.1 Esquema gráfico frontal de mezcladora



La mezcladora es un equipo que tiene la función de recibir los distintos ingredientes que componen la masa con la que se fabricará el pan, entre ellos se encuentran los ingredientes en polvo y los líquidos.

La mezcladora se compone principalmente de una taza, en la que se reciben los ingredientes y los brazos de mezclado, que normalmente son barras dispuestas de manera horizontal que se encuentran dentro de la taza (Fig 4.1).

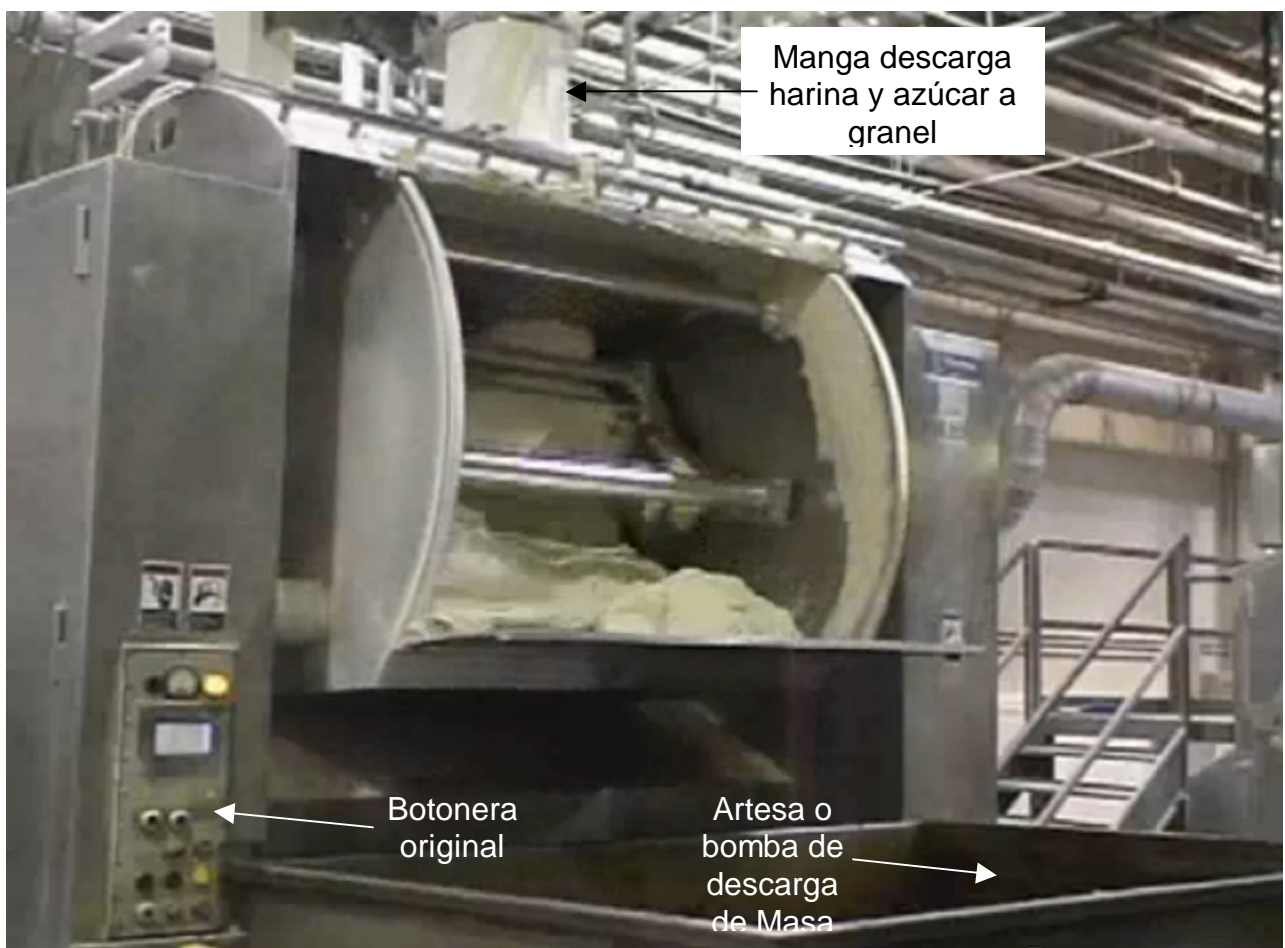


**Figura 4.2 Esquema gráfico posterior de mezcladora**

Esta taza tiene movimiento de inclinación hacia el frente de la mezcladora, con su eje localizado en el centro y con transmisión por medio de un motor o un pistón hidráulico, con este movimiento es posible el vaciado de la taza (Fig 4.3).

Los brazos a su vez tienen movimiento de rotación y su eje se encuentra localizado en el mismo punto que el de la inclinación de la taza. El tamaño de los motores depende de la cantidad de masa que va a ser procesada y la cantidad de masa depende del tamaño de la línea, considerando que cada masa no puede estar sentada por más de 20 minutos ya que el producto que es procesado en los equipos posteriores a la mezcladora no tendrá las características adecuadas de densidad y de humedad, cuando el producto tiene una diferencia de tiempo mayor a 20 minutos provoca que se fermente y se deshidrate cambiando las características intrínsecas de la materia viva (masa).

La transmisión de los brazos se hace por medio de un motor de dos velocidades y por lo mismo cuenta con tres contactores que hacen posible el cambio de las conexiones



**Figura 4.3 Mezcladora en la fase de vaciado de masa**

internas del motor. En ocasiones se ocupa un inversor, que sirve para evitar picos de corriente que aumenten el consumo eléctrico y también se obtiene un trabajo más suave del motor.

Una parte muy importante de la mezcladora son las tuberías por las que se recibirán los ingredientes. Éstas se encuentran localizadas en la parte superior de la mezcladora y normalmente son tres tuberías: alimentación de agua, aceite y esponja líquida (Fig 4.2). También para la recepción de ingredientes en polvo a granel se considera una compuerta que va de las 8 a 12 pulgadas (20 cm a 30 cm) de diámetro con la que se separa y se impide la salida de producto hacia la tubería por la que se alimentan dichos ingredientes desde la tolva localizada en la parte superior de la mezcladora. (Fig 4.2).

Otra parte de la mezcladora es el enchaquetado de la taza, por la cual circula agua helada o algún refrigerante, con el fin de contrarrestar el aumento de temperatura que se da por la fricción y la hidratación de la harina en el proceso de mezclado. La circulación del refrigerante se controla por un control de temperatura, cuyo sensor tiene contacto con la masa que está siendo procesada.

Para finalizar el proceso de mezclado, es necesario contar con alguna artesa, bomba o bandas que harán posible la transportación de la masa de manera paulatina hacia el siguiente equipo en el proceso.

## 4.2 Sustitución por PLC (diagrama de flujo)

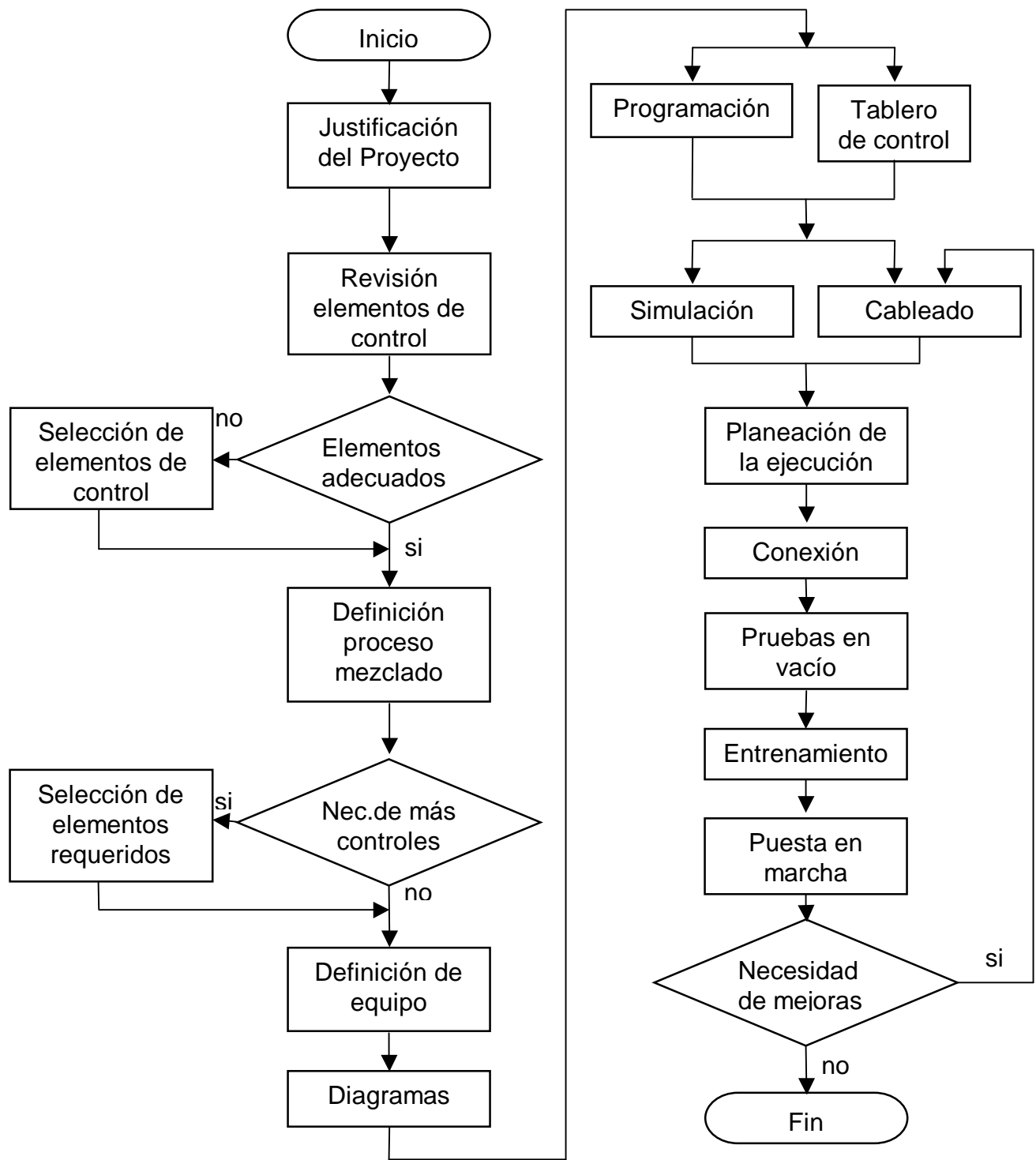
La secuencia de pasos que se propone en el presente trabajo para la implementación del proyecto, se muestra en el diagrama de flujo (Fig. 4.4).

Para que el proyecto sea viable en su realización es de suma importancia saber que existirá el sustento económico para llevarlo a cabo. Es importante destacar que en la justificación del proyecto se cuenta con datos generales, y que con estos datos se pretende tener una idea bastante aproximada del tiempo en que se recuperará la inversión para, de esta manera, tomar una decisión de si será realizado el proyecto tal cual o es necesario hacerle modificaciones o es mejor realizar otro proyecto que tenga un tiempo de retorno de inversión más rápido.

Los pasos subsecuentes, de acuerdo al diagrama de flujo, se realizan a partir de que se justifica la necesidad de llevar a cabo este proyecto. El diagrama de flujo complementado con el gráfico de Gantt, nos muestra la ejecución del proyecto desde el principio hasta el fin de una manera sencilla y gráfica en la que se puede identificar cada una de las fases,

Capítulo **4**

cuellos de botella, actividades que necesitan ser cambiadas en su esencia o en el tiempo óptimo de su realización.



**Figura 4.4. Diagrama de flujo (Implementación PLC)**

### **4.3 Calendario de actividades**

Con base en el diagrama de flujo y para determinar si el orden de actividades es el correcto, se elabora un gráfico de Gantt (Fig. 4.7).

El gráfico o diagrama de Gantt representa la herramienta tradicional para la representación de las actividades o tareas que conforman la totalidad del proyecto. Estos gráficos fueron diseñados por el ingeniero norteamericano Henry L. Gantt, utilizándose desde la 1ª guerra mundial hasta nuestros días.

El proyecto de implementación de PLC está compuesto por una serie de actividades o tareas, ordenadas e interrelacionadas que deben realizarse durante un tiempo determinado para alcanzar el objetivo previsto. Las actividades o tareas consumen tiempos y recursos y tienen por tanto un costo asociado.

El gráfico de Gantt contiene cada actividad con su duración, según una escala de tiempo. Se visualiza también el avance del proyecto, observando los retrasos y adelantos del proyecto y costos parciales y totales del proyecto. Esta herramienta permitió comparar el avance teórico con el real del proyecto.

4.4

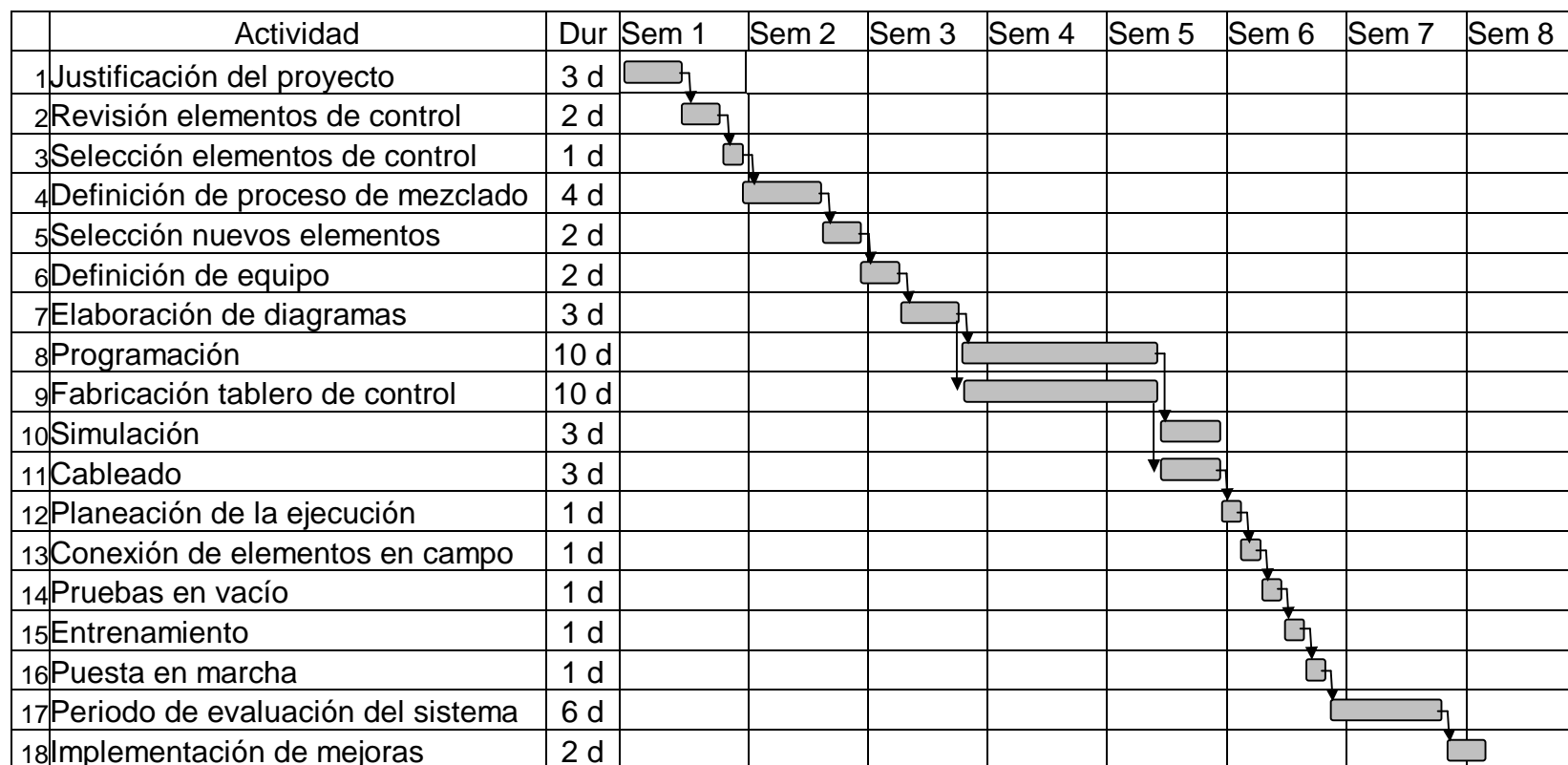


Figura 4.7. Gráfico de Gantt

#### 4.5 Justificación del proyecto.

Dentro de los principales problemas descritos en el Capítulo 3, sección 1 y que se presentaban cuando se tenía el proceso de mezclado controlado con circuito eléctrico convencional (no automatizado) se pueden calificar de acuerdo a su impacto económico en el producto terminado y esto se basa en la severidad del problema que se presente.

Los problemas de masa subdesarrollada, sobredesarrollada y de falta de alguno de los ingredientes, pueden solucionarse por medio de reproceso o, en su caso, el desperdicio total del lote.

Los ingredientes utilizados en la elaboración de bollos, se muestran en la Tabla 4.1. Los porcentajes de los ingredientes listados en la Tabla 4.1 están cuantificados en lo que se conoce el porcentaje panadero.

**Tabla 4.1 Porcentajes panaderos en receta de bollería**

	<b>Porcentaje promedio en la receta de bollería</b>
<b>Espanja</b>	
Harina	40
Agua	40
Levadura	2.5
Alimento para levadura	0.5
Acondicionadores	1
Enzimas	2 tabletas
Gluten	1
<b>Masa</b>	
Harina	60
Agua	20
Levadura	1.5
Sal	2.0
Azúcar	10
Aceite de soya	3
Propionato de calcio	0.35
Peróxido de calcio	30 ppm
Oxidantes	20 ppm



El porcentaje panadero representa la cantidad de cada uno de los ingredientes, tomando en cuenta el 100% como el peso de la harina que se encuentra en la receta. El total de harina de la receta es la suma de la harina utilizada en la esponja más la harina utilizada en la masa.

Para mostrar el impacto económico que existía cuando una masa era reprocesada o desperdiciada totalmente se describen a continuación las dos situaciones.

**Recuperación del lote.** El equipo con el que se trabajó tiene una capacidad de mezclado de 900 Kg/lote, por lo que el lote que se prepara es del 97% de la capacidad del equipo. Para poder recuperar la masa en su totalidad se utiliza una técnica, en la que se divide la masa en pequeñas porciones, de otra manera se desperdiciaría en su totalidad.

Es una práctica usual dividirla en diez partes y de esta manera recuperar el total de la masa en los diez lotes subsecuentes a la masa en donde se tuvo el error y no afectar la calidad de la misma. En este caso, la masa a la cual se agregará la décima parte de la masa defectuosa se tiene que calcular para que su peso no exceda el total de peso permitido para el equipo de mezclado.

Al llevar al cabo esta práctica o la del desperdicio de la masa, es necesario evaluar los factores que pueden afectar la calidad del producto terminado.

El primero y más importante es la falta de continuidad del proceso, ya que los equipos que se encuentran adelante del proceso de mezclado tendrán una falta de producto y en consecuencia la cámara de vapor y el horno, que son equipos donde las temperaturas y humedades deben ser controladas y al estar parcialmente ocupados, fácilmente se saldrán de los parámetros a que fueron ajustados.

Este lapso en que se deja de producir también provoca la falta de producto en el mercado, como es el caso de la línea de producción en la que la ocupación es cercana al 100%, sobretodo en las temporadas de alta demanda. Aún cuando la demanda es inferior, este producto que es perecedero debe estar en tiempo para su distribución y entrega al consumidor final.

**Desperdicio total del lote.** Para hacer más simple y representativo el cálculo del impacto económico de la masa defectuosa, se consideran únicamente los ingredientes de la Tabla 4.2, que son los que se utilizan en mayor cantidad (sin considerar el agua).

**Tabla 4.2 Ingredientes considerados para el cálculo**

Ingrediente	%	Peso (Kg)	Precio/Kg	Subtotal M.N.
Harina	100	480	6.52	\$3,129.6
Sal	2	9.6	5.45	\$52.32
Azúcar	10	48	11.04	\$529.92
Levadura	4	19.2	62.81	\$1,205.95
Aceite de soya	3	14.4	23.45	\$337.68
		571		<b>\$5,255.47</b>

Como se da a conocer en la tabla 4.2, la suma de los ingredientes tomados en cuenta para el cálculo es de 571.2 Kg; además si se considera el agua y los demás ingredientes menores la cantidad de la mezcla es de 872.88 Kg más los microingredientes.

En la suma total de los ingredientes calculados para obtener la masa, en la cual ya se incluyen los ingredientes de la esponja, arroja la cantidad de \$5,255.47 M.N que es el costo aproximado del desperdicio total de la masa.

En la Tabla 4.3, se muestran los lotes que se producen en los días hábiles del mes.

**Tabla 4.3 Lotes de masa producidos**

Lotes/Hora	Horas/Turno	Turnos/Día	Días/Mes	Lotes/Mes
4	8	3	26	2496

Teniendo un porcentaje de bajas del 0.1% sobre el total de la producción, se tiene un total de alrededor de 2.5 lotes por mes por lo que la cantidad de dinero erogada por este motivo al mes en promedio es de:

$$2.496 \times \$5,255.47 = \$13,117.66 \text{ M.N.}$$

Se pidieron cotizaciones de los elementos que tenían que ser adquiridos para la implementación del proyecto. Se obtuvo un estimado de \$102,000.00 M.N.

Este cálculo representa una aproximación de los recursos necesarios para efectuar el proyecto; pero se advirtió que se debían tomar en cuenta elementos que fuera necesario

sustituir o necesidades que salieran en el momento. Por lo que se consideró un 20% extra en presupuesto.

Utilizando este aproximado para calcular el tiempo de retorno de la inversión que se tendría, dio lo siguiente:

Tiempo de recuperación inversión = Costo de inversión / Costo promedio problema/mes

Tiempo de recuperación inversión = \$102,000.00 X 1.2/\$13,117.66/Mes

Tiempo de recuperación inversión = \$122,400.00 / \$13,117.66/Mes

Tiempo de recuperación inversión = 9.33 Meses

Con estos datos se decidió proseguir con el desarrollo del proyecto hasta su finalización, con la única condición de que no se excediera el presupuesto.

#### **4.6 Revisión y selección de elementos de control**

Se efectuó la revisión en campo y con base en los diagramas de control con el fin de detectar voltajes de trabajo y posibles problemas en cada uno de los elementos existentes, para así seleccionar anticipadamente los elementos que fuera necesario sustituir por las causas ya mencionadas y también poder definir el voltaje para el que será diseñado el sistema de control, PLC y HMI (interfase hombre – máquina).

En la Figura 4.4 se muestra el tablero de fuerza y control existente antes de la separación de los elementos y de su modificación. En la tabla 4.4 se muestra un listado de los elementos (entradas y salidas).en la que aparece el estado y la acción a tomar con cada uno de los elementos de control que se encontraron funcionando en el equipo antes de la sustitución tecnológica.

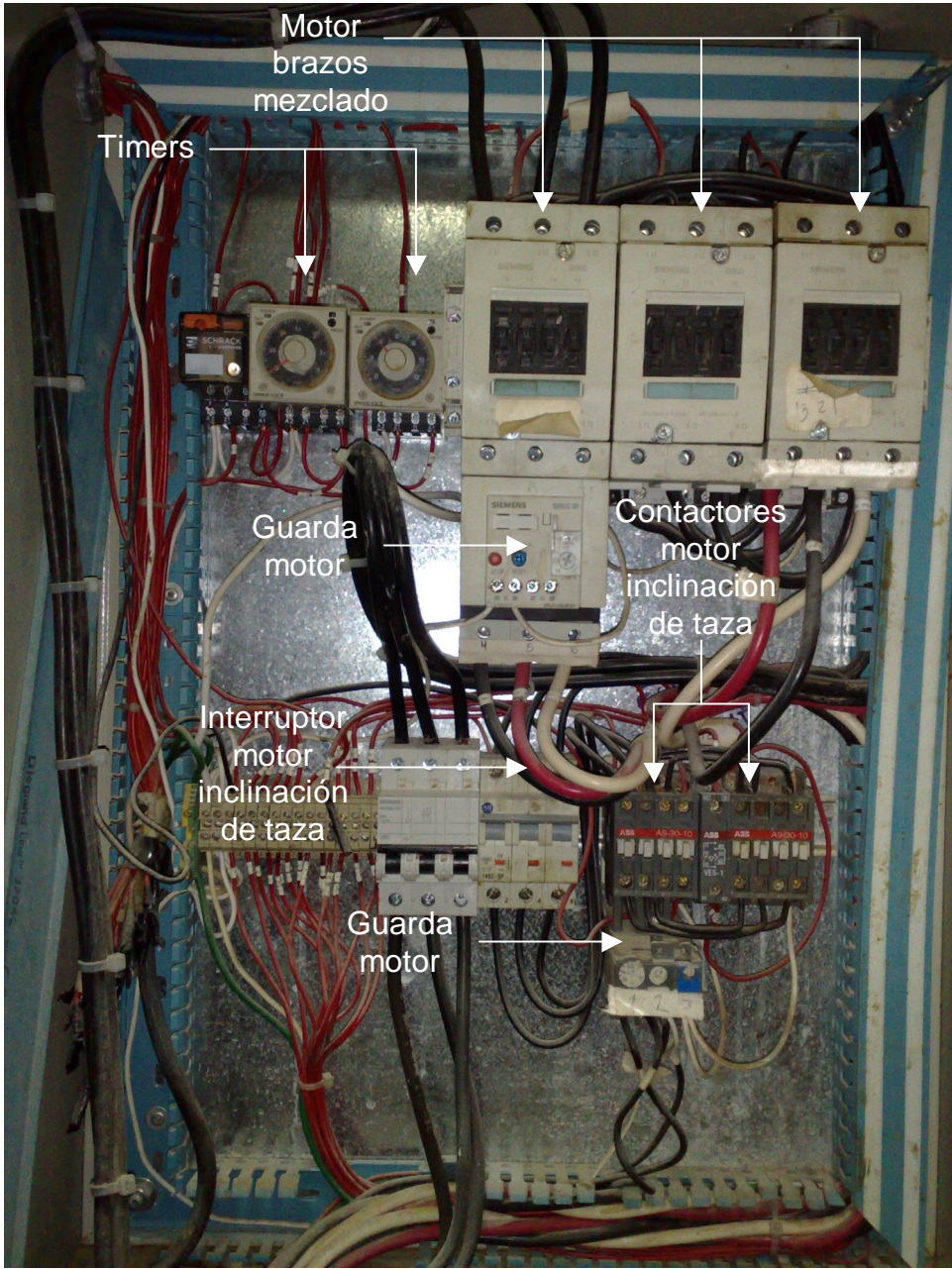


Figura 4.4 Tablero de fuerza y control antes de cambio

Tabla 4.4. Elementos de control existentes

Elemento	Entrada/ salida	Estado Actual	Acción
Botón de paro mezcladora	E	Bueno	Se reutiliza
Botón elevador de taza	E	Bueno	Se reutiliza
Botón para bajar taza	E	Bueno	Se reutiliza
Botón de trabajo momentáneo de agitador	E	Roto	Nuevo botón momentáneo 22mm
Timers para el trabajo del agitador			
Botón de restablecimiento de timer	E	Bueno	Checar necesidad
Bobina Inhibición timer velocidad baja	S	Bueno	Checar necesidad
Bobina Inhibición timer velocidad alta	S	Bueno	Checar necesidad
Restablecimiento de timers de mezclado	S	Bueno	Checar necesidad
Contacto timer velocidad baja	E	Bueno	Checar necesidad
Contacto timer velocidad alta	E	Bueno	Checar necesidad
Botón Apertura compuerta de harina	E	Bueno	Se reutiliza
Sensor compuerta de harina abierta	E	-----	Adquisición
Selector de velocidad trabajo momentáneo del agitador	E	Bueno	Se reutiliza
Sensor de taza en posición superior	E	Bueno	Se reutiliza
Sensor de taza en posición inferior	E	Bueno	Se reutiliza
Control velocidad motor agitador			
Bobina velocidad baja	S	Bueno	Se reutiliza
Bobina velocidad alta	S	Bueno	Se reutiliza
Contactador principal	E	Bueno	Se reutiliza
Sobre carga térmica motor	E	Bueno	Se reutiliza
Motor de inclinación de taza			
Bobina contactor bajar taza	S	Bueno	Se reutiliza
Bobina contactor subir taza	S	Bueno	Se reutiliza
Sobrecarga Térmica Motor	E	Bueno	Se reutiliza
Lámpara compuerta harina abierta	S	Bueno	Se reutiliza
Solenoide compuerta harina abierta	S	Bueno	Se reutiliza
Solenoide compuerta harina cerrada	S	Bueno	Se reutiliza
Alarma de fallas	S	Bueno	Se reutiliza
Solenoide refrigeración	S	Bueno	Se reutiliza
Termopar y control de temperatura enchaquetado	-----	No funciona	Sustitución

En la Figura 4.4 se muestra el tablero de fuerza y control existente antes de la separación de los elementos y de su modificación. En la tabla 4.4 se muestra un listado de los elementos (Entradas y salidas).en el que aparece el estado y la acción a tomar con cada uno de los elementos de control que se encontraron funcionando en el equipo antes de la sustitución tecnológica.

**Seguridad del personal.** Se encontró que hay una razón de suma importancia para realizar la reconversión de la mezcladora. Y esto es los equipos de mezclado son maquinaria que tiene la capacidad de incorporar y homogenizar una mezcla de hasta 900 Kg, lo que podría provocar accidentes en el caso no contar con los elementos de seguridad para su funcionamiento.

**Tabla 4.5. Elementos de control opcionales**

Elemento	Entrada/Salida (E/S)
Seguridad puertas de mezcladora	E
Fotoceldas de inclinación	E
Botón de paro de emergencia	E
Botón seguridad a dos manos	E

**Seguridad de puertas de mezcladora.** La mezcladora en sus costados cuenta con puertas que cubren los mecanismos para hacer posible el movimiento de inclinación de la taza y también el movimiento de rotación de los brazos de mezclado. Las catarinas y cadenas de ambos mecanismos deben estar cubiertos en el momento en que la mezcladora se encuentra en movimiento. Para asegurar esto, las puertas debían contar con interruptores que detengan o no permitan el trabajo de la mezcladora cuando las puertas se encuentran abiertas.

**Fotoceldas de inclinación.** Para que el trabajo de la mezcladora sea más sencillo para el operador, en el momento en que la secuencia con que trabaja la mezcladora requiere la adición de ingredientes a mano, la mezcladora deberá bajar a un punto tal que no caiga la mezcla que se encuentra a medio proceso en el interior de la taza; pero que a su vez haya el suficiente espacio para que el operador pueda vaciar dichos ingredientes.

De la misma manera, cuando la masa se encuentra totalmente mezclada, la taza descenderá para poder vaciar su contenido.

En estas operaciones es necesario contar con sensores para evitar que alguna persona esté en el área y de esta manera poder continuar con la operación de descenso automático de manera segura.

**Botones de paro de emergencia.** Es necesario contar con elementos de seguridad que no dependan del procesador para hacer que el equipo pueda ser detenido en su operación. Esta función la llevan a cabo los Botones de Paro de Emergencia. Además de hacer la desconexión de los elementos que estuvieran actuando, los paros de Emergencia envían una señal al procesador para alertar al operador de la razón por la cual el equipo no trabaja.

**Botón seguridad dos manos.** En una maquinaria de tal magnitud, es de suma importancia que el operador, en el momento de hacer el trabajo de inclinación de taza, hacia arriba, hacia abajo y sobre todo al presionar los botones en los que se mueven los brazos de la mezcladora, no se vea comprometida la seguridad del operador.

Para esto, es imprescindible que las botoneras cuenten con un botón de seguridad. La localización de este botón debe ser tal, que el operador únicamente pueda poner a trabajar el equipo, presionando el botón encargado de tal o cual función; pero además otro botón que estará separado del primero a una distancia tal, que ambos botones no puedan ser accionados con una sola mano; es decir, es necesario utilizar ambas manos para hacer trabajar el equipo, con lo que se logra que el operador no pueda tener una de ellas en el interior del equipo y con ello salvaguardar la integridad física del trabajador.

El tema de la seguridad del personal por sí sólo es de tal importancia que justifica la modificación del equipo. En su momento se presentó la tabla 4.5 en la que se contempló lo referente a seguridad, que deberá ponerse a consideración para añadirse al proyecto.

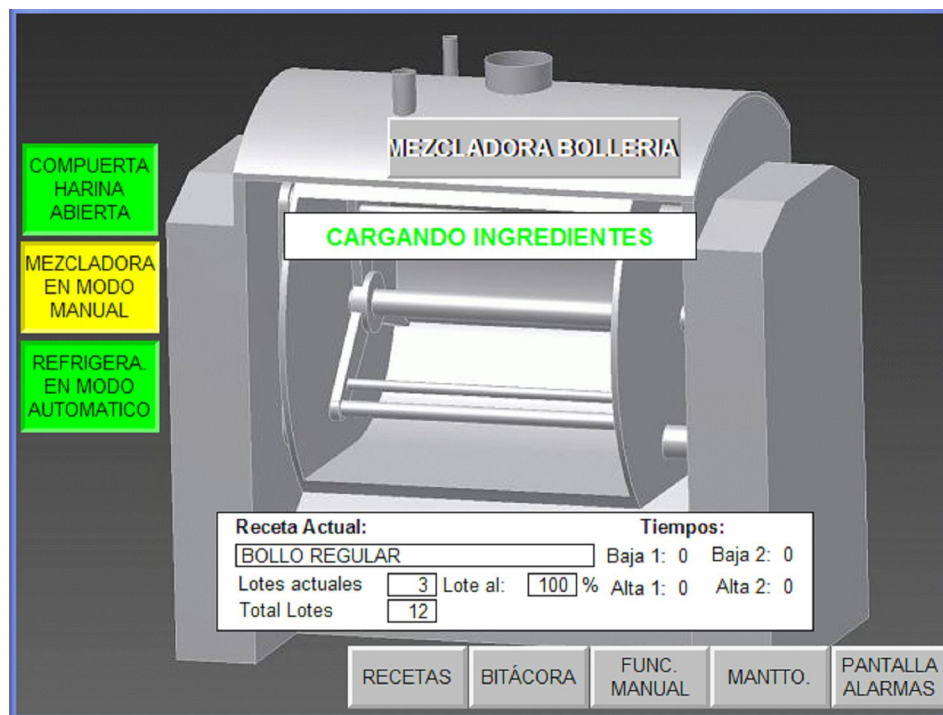
#### **4.7 Definición proceso de mezclado y selección de elementos nuevas necesidades**

Con base en el conocimiento del proceso y platicando con operadores y supervisores para escuchar sus ideas y necesidades respecto a su experiencia en la operación de mezclado que llevan a cabo todos los días, se elabora la descripción del proceso de mezclado, en el que se plantea en una forma descriptiva la forma en la que funcionaría el equipo una vez efectuada la reconversión:

**Trabajo automático de mezclado.** El ciclo comienza cuando la taza se encuentra en la posición de adición de ingredientes menores (arriba de la posición intermedia) y el operador después de vaciar los ingredientes, presiona el botón de arranque. La taza de la mezcladora subirá para cerrar completamente y el programa pedirá vía Ethernet el vaciado de los ingredientes (agua, harina y azúcar) a un sistema alterno y no continuará con su secuencia de operación hasta obtener la señal de retroalimentación (Fig. 4.5).

Con los ingredientes cargados en la taza, el programa arranca el motor de mezclado en velocidad baja y comienza a contar 3 minutos. Al finalizar los 3 minutos, el programa cambia de contactor para trabajar en velocidad alta de mezclado por 6 minutos más.

Finalizado este tiempo, la taza desciende (con las fotoceldas de seguridad no obstruidas) a la posición de carga de ingredientes menores y permite al operador la carga manual de la sal.



**Figura 4.5 Pantalla principal trabajo mezcladora**

Cuando la sal ya se vertió dentro de la taza, el operador presiona el botón de arranque, y la taza se vuelve a elevar para el arranque de mezclado por tres segundos en baja velocidad y posteriormente cambiar a velocidad alta por un total de 4 minutos.

Finalizado el mezclado, el agitador se detiene y después de 3 segundos (para detener el agitador que por inercia sigue girando), el agitador arranca de nuevo y la taza comienza a descender y a los 6 segundos la taza detiene su descenso por 4 segundos. Esta misma secuencia la hace una vez más y después continúa el descenso de la taza hasta llegar a posición inferior, ahí espera 6 segundos y detiene el trabajo del agitador y comienza a subir de nuevo (con seguridad de fotoceldas) por 12 segundos hasta llegar a la posición inicial de carga de ingredientes.



Cada vez que la taza sube o baja en automático y si las fotoceldas se obstruyeran, se detiene el movimiento de la taza inmediatamente y después de 3 segundos de ser desobstruidas continúa subiendo o bajando la taza.

La alarma sonora de la mezcladora se habilita cada vez que el programa indique que existe una falla. Las condiciones de falla se resumen de la siguiente manera:

- Alguna de las salidas se está actuando por programa y la señal de retroalimentación no llega de regreso por 5 segundos.
- La taza está efectuando su ascenso o descenso y al mismo tiempo las fotoceldas están obstruidas.

**Historial de alarmas.** La pantalla del historial de alarmas ayuda a saber la condición que está provocando que el sistema se encuentre en falla y de esta manera poder llevar a cabo la corrección del mismo.

En esta pantalla aparece la hora en que sucedió la alarma y la hora en que la alarma se restableció, este restablecimiento no indica que la falla deje de estar presente,

19/08/2012 02:11:30 p.m.		<b>HISTORIAL DE ALARMAS</b>	
Hora de Alarma	Reconocida	Mensaje	
19/08/2012 02:03:38 p.m.	02:03:38 p.m.	PARO DE EMERGENCIA ACTUADO	
18/08/2012 11:30:10 p.m.	11:45:00 p.m.	SENSOR AREA TAZA OBSTRUIDO	

RECONOCER ALARMA   RECONOCER TODAS   RECETAS   EQUIPO   FUNC. MANUAL   MANTTO.   BITÁCORA

**Figura 4.6** Pantalla de historial de alarmas

únicamente nos dice que el operador está conciente de la falla (Fig. 4.6).

**Pantalla de recetas.** La pantalla de edición y selección de recetas tiene el objetivo de almacenar las recetas que se utilizan en el sistema para la preparación de los diferentes productos. Desde esta pantalla se puede cambiar las recetas, seleccionar la receta con que se trabajará o cambiar el número de lotes que se elaborarán. El número de productos que se utilizan actualmente es de 3 y por lo tanto el máximo número quedó limitado a 10 (Fig. 4.7).

**EDICIÓN Y SELECCIÓN DE RECETAS**

<small>CÓDIGO PRODUCTO:</small> <b>12</b>	<b>BOLLO CHICO</b> <input style="width: 90%;" type="text" value="BOLLO REGULAR"/> <b>BOLLO GRANDE</b>	▲ ▼	←
<b>VEL. BAJA 1:</b>	<small>MIN</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="3"/> <small>SEG</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>	<b>VEL. BAJA 2:</b>	<small>MIN</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/> <small>SEG</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>
<b>VEL. ALTA 1:</b>	<small>MIN</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="6"/> <small>SEG</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>	<b>VEL. ALTA 2:</b>	<small>MIN</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="4"/> <small>SEG</small> <input style="width: 30px;" type="text" value="0"/>

---

**PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

SEQ.	COD.	PRODUCTO	LOTES REQ.:	% LOTE
1	11	BOLLO CHICO	<input style="width: 30px;" type="text" value="12"/>	100
2	13	BOLLO GRANDE	<input style="width: 30px;" type="text" value="12"/>	100
3	12	BOLLO REGULAR	<input style="width: 30px;" type="text" value="12"/>	100

GUARDA RECETA
PROGR. RECETA
DESPR. RECETA
BITÁCORA
EQUIPO
FUNC. MANUAL
MANTTO.
PANTALLA ALARMAS

**Figura 4.7 Pantalla de edición y cambio de recetas**

En esta pantalla también se hace la programación de la producción, y la cantidad de lotes requeridos con su porcentaje. Al presionar el botón para desprogramar una receta aparece una ventana alterna que solicita el número de secuencia de la receta que se desprogramará.

**Pantalla de mantenimiento.** La pantalla de mantenimiento contiene un timer que deberá ser restablecido cada que se realiza el mantenimiento especificado, para inicializarse y volver a contar el tiempo en que se hará ese mantenimiento. Ya que este timer cuenta el tiempo de trabajo efectivo de la mezcladora, esto nos puede ayudar a determinar el

momento en que se harán algunas otras rutinas que se quieran realizar y de esta manera mantener el equipo en buenas condiciones (Fig. 4.8).

**MANTENIMIENTO**

**ENGRASAR BUJES CADA 48 HORAS Y RESTABLECER CONTADOR**

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO:	HORAS	MIN
	857	46

ÚLTIMO RESTABLECIMIENTO:	HORAS	MIN
	6	20

RESET CONTADOR    RECETAS    EQUIPO    FUNC. MANUAL    BITÁCORA    PANTALLA ALARMAS

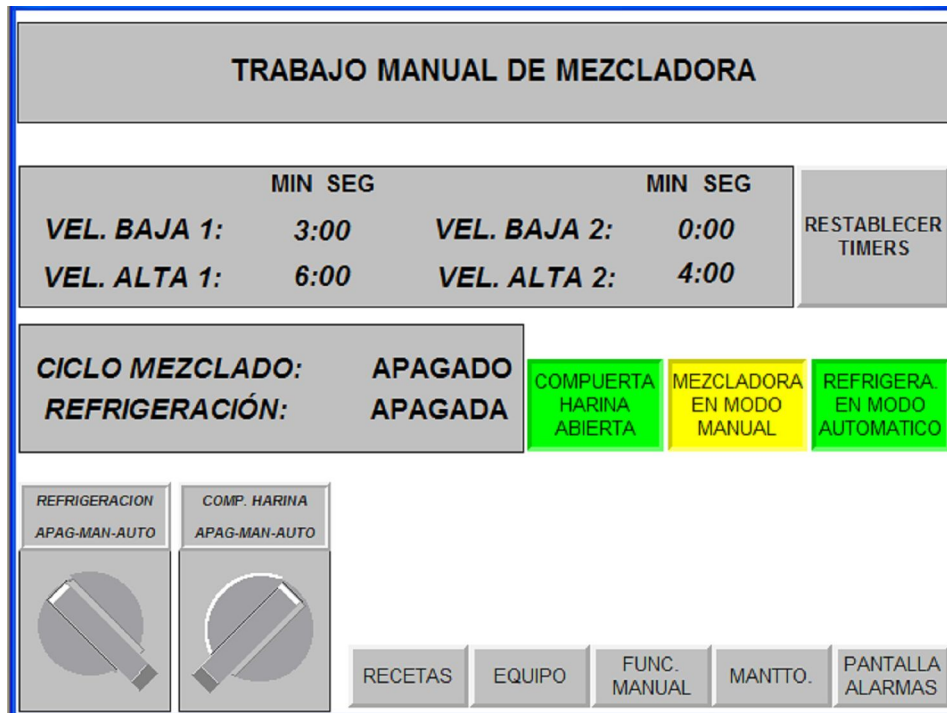
**Figura 4.8 Pantalla de mantenimiento de mezcladora**

**Trabajo manual de mezclado.** El trabajo manual es una forma de trabajo que se requiere para poder tener el control completo de la secuencia en que el trabajo de mezclado se realiza.

Cuando se trabaja la mezcladora en manual, opera la seguridad a dos manos para ascenso y descenso de la taza y el trabajo de la mezcladora en baja y alta velocidad; pero no opera la seguridad de las fotoceldas de inclinación de taza.

La idea es hacer el trabajo de mezclado de manera manual, de manera parecida a como lo venían haciendo anteriormente al cambio, para poder realizar pruebas de tiempo de mezclado cuando se tiene pensado fabricar nuevos productos o por cambios en las especificaciones en la materia prima.

Se determina que el temporizador que estaba localizado en el tablero existente necesitaba puntos de entrada y salida y por lo tanto nos restaba puntos de conexión para poder hacer otras funciones que eran más importantes. Con respecto a estos tiempos utilizados en el funcionamiento manual de la mezcladora existen tres opciones:



**Figura 4.9 Pantalla de trabajo manual de mezcladora**

- Comprar tarjetas extra para así utilizar estos elementos y los propuestos para la seguridad.
- No llevar a cabo las mejoras de la seguridad planteadas.
- Utilizar tiempos en el programa para el trabajo manual de la mezcladora y así tener puntos disponibles para las seguridades.

La opción elegida fue la última, con lo que no se gasta más dinero en tarjetas y se ocupan los beneficios que da el contar con un procesador. El trabajo de programación es similar por lo que no aumenta dicho costo.

En la pantalla manual se puede establecer el trabajo de la compuerta de harina y la refrigeración en manual, apagada o en automático (Fig. 4.9).

**Pantalla de bitácora.** La Pantalla mostrada en la figura 4.10 muestra la bitácora. Esta Bitácora es la herramienta que tiene como fin, el mostrar cada lote que fue terminado en la mezcladora y marcar la hora en que la taza de la mezcladora descargó el lote. Los datos que se tienen en esta pantalla ayudan a saber el horario efectivo de la descarga de

<b>BITÁCORA DE LA PRODUCCIÓN</b>						
	Código de Receta	Fecha y Hora	Nombre Receta	Lote	Porcentaje	
1	11	18/08/2012 11:35:10 p.m.	BOLLO CHICO	11/12	100.00	
2	11	18/08/2012 11:20:02 p.m.	BOLLO CHICO	10/12	100.00	
3	11	18/08/2012 11:05:35 a.m.	BOLLO CHICO	09/12	100.00	
4	11	18/08/2012 10:50:44 a.m.	BOLLO CHICO	08/12	100.00	
5	11	18/08/2012 10:35:19 a.m.	BOLLO CHICO	07/12	100.00	
6	11	18/08/2012 10:20:42 a.m.	BOLLO CHICO	06/12	100.00	
7	11	18/08/2012 10:05:18 a.m.	BOLLO CHICO	05/12	100.00	
8	11	18/08/2012 09:50:13 p.m.	BOLLO CHICO	04/12	100.00	
9	11	18/08/2012 09:35:01 p.m.	BOLLO CHICO	03/12	100.00	
10	11	18/08/2012 09:20:59 p.m.	BOLLO CHICO	02/12	100.00	
11	11	18/08/2012 09:05:55 p.m.	BOLLO CHICO	01/12	100.00	
12	13	18/08/2012 08:50:18 p.m.	BOLLO GRANDE	12/12	100.00	
13	13	18/08/2012 08:35:21 p.m.	BOLLO GRANDE	11/12	100.00	
14	13	18/08/2012 08:20:33 p.m.	BOLLO GRANDE	10/12	100.00	
15	13	18/08/2012 08:05:50 p.m.	BOLLO GRANDE	09/12	100.00	

RECETAS EQUIPO FUNC. MANUAL MANTTO. PANTALLA ALARMAS

**Figura 4.10** Pantalla de bitácora de la mezcladora

la masa y tener conocimiento de si hubo un retraso o adelanto en la masa. Ayuda a mantener la producción conforme al programa.

**Control de temperatura.** Como se describe en la Tabla 4.4 el termopar y el controlador de temperatura se necesitan sustituir, además de la adquisición del termopar, es necesaria la compra de una tarjeta para recibir la señal analógica de entrada de la temperatura y de esta manera controlar todo desde el PLC. Las posibles opciones se muestran a continuación:

- El controlador y el termopar, que ya instalados y cableados tienen un costo de \$8,300.00 M.N.

- El termopar y la tarjeta analógica instalados y cableados, un costo de \$14,500.00 M.N.
- El cambio del procesador por uno que ya cuente con la tarjeta incluida más el termopar, la instalación y el cableado tienen un costo de \$7,000 M.N.
- Trabajar la refrigeración de la mezcladora mientras se ocupa la mezcladora.

Por cuestiones de costo, se decide implementar la última opción, en la que no se necesitaba equipo extra.

#### **4.8 Definición de equipo**

Se hace la determinación del costo del equipo y el equipo que es necesario adquirir y de esta manera complementar la justificación del proyecto.

Con la información de los elementos de control que intervienen en el proceso y la descripción de la operación, se definen las características del PLC y la Interface hombre – máquina (HMI), que se utilizará para el control del proceso de la mezcladora.

Para la elección de la marca y el modelo de procesador que se utilizó, se tomaron en cuenta varios factores, dentro de los más importantes se encuentran los siguientes:

- Que el usuario tuviera los programas necesarios para poder hacer modificaciones o diagnósticos en dado caso que se requirieran.
- Que el usuario tuviera la capacitación necesaria en el manejo de esta marca de equipo.
- Que el fabricante (distribuidor) tuviera en almacén el equipo necesario y soporte en caso de ser necesario.

Tomando en cuenta los requerimientos ya mencionados, se cotiza el siguiente equipo:

- Procesador con comunicación Ethernet con 16 entradas y 16 salidas (expandibles ya sea local o remotamente) de la marca Allen-Bradley.
- El paquete de programación de gráficos de Rockwell Software.
- Switch de 8 puertos de la marca 3com.
- Fuente de poder con alimentación de 100 – 240 VCA y salida de 24VCD

- PC con Windows XP Professional Edition.
- Interruptores de protección para el sistema.
- Programación para el sistema
- Tablero de acero inoxidable de 60cm X 80cm
- Accesorios faltantes o necesarios de sustituir (Tablas 4.4 y 4.5)

Todo lo anterior con un costo de \$96,100.00 M.N..

La Instalación del tablero, el cableado y la conexión en campo (determinada por la cantidad de elementos a conectar y la distancia del tablero de control con respecto a la mezcladora que es de 20 metros) y el tablero que contenía los elementos de fuerza (localizado a 2 metros del tablero de control) incluidos con cable, tubería y condulets, fue de \$18,400.00 M.N.

Por lo que la suma de la sustitución del equipo tiene un costo de \$114,500.00 M.N..

Para poder recuperar el valor de lo invertido en la instalación y puesta en marcha del equipo de control se tomaron los datos obtenidos en el capítulo 4 sección 3 para cuantificar las pérdidas por mes y los de esta sección para los datos del costo por el cambio. Lo que resultó que el tiempo de recuperación de la inversión es de:

Tiempo de recuperación inversión = Costo de inversión/Costo promedio problema x Mes

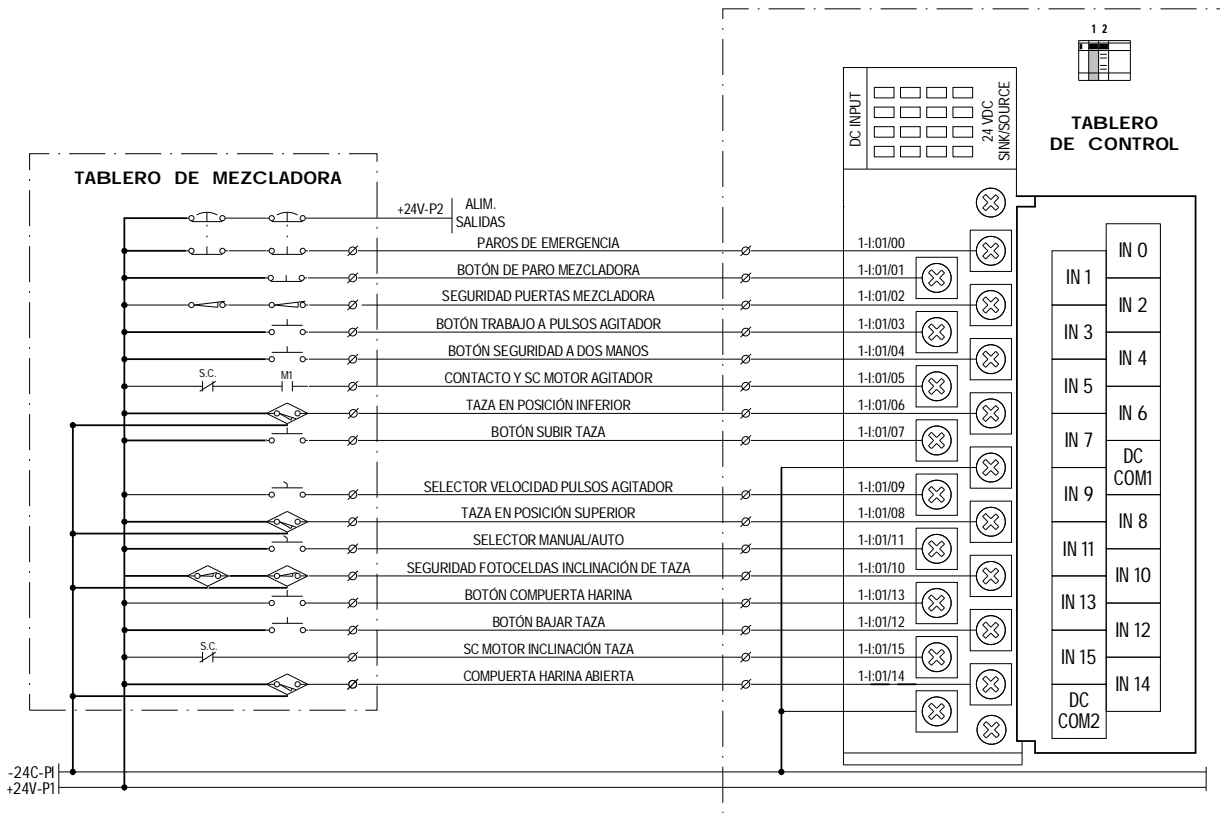
Tiempo de recuperación inversión = \$114,500.00 / \$13,117.66 x Mes

Tiempo de recuperación inversión = 8.73 Meses

Con el cálculo anterior se demuestra que el tiempo de recuperación de la Inversión real y la cantidad de dinero ejercidos del presupuesto fueron del 93.6% de lo asignado para el proyecto.

### 4.9 Diagramas

Los diagramas llamados de punto a punto son la representación eléctrica para la conexión de los elementos de control que serán conectados a las tarjetas de entradas y de salidas del PLC.



**Figura 4.11 Entradas digitales de control mezcladora**

El PLC que se utilizó tiene una tarjeta de entradas y una de salidas, conteniendo 16 puntos de entrada y 16 puntos de salida, es posible expandir la cantidad de E/S, localmente o si fuera necesario remotamente por medio de comunicación Ethernet. En este proyecto no se incrementaron la cantidad de señales, para que de esta manera se mantuviera el presupuesto con el que se había calculado el retorno de la inversión.

Los elementos de control trabajan a 24 VCD, esto se decidió hacer de esta manera para mejorar la seguridad.

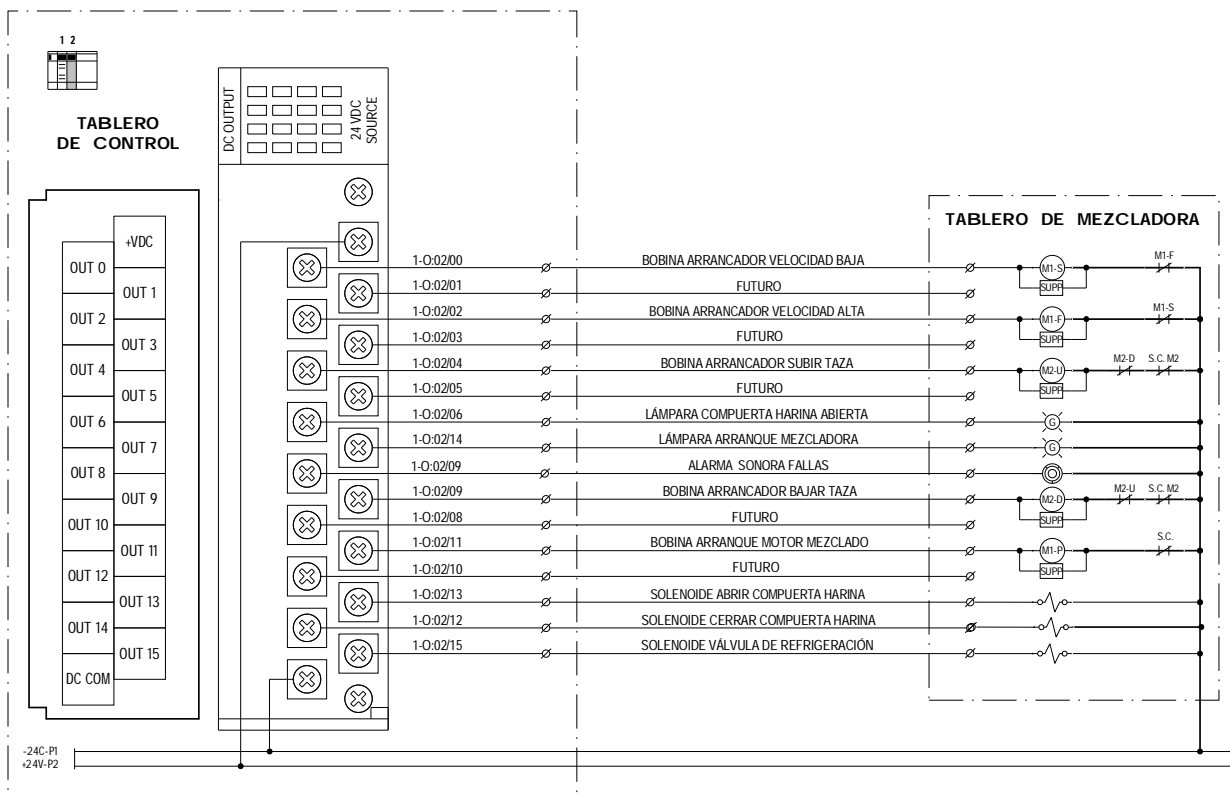


En la figura 4.11 se representa el diagrama punto a punto de las condiciones de entrada para el programa de operación de la mezcladora.

En la figura 4.12 se representa el diagrama punto a punto de las condiciones de salida para el programa de operación de la mezcladora.

Una de las ventajas de los PLCs es que la lógica de control se hace dentro del programa, por lo que el procesador obtiene las condiciones de entrada que llegan desde elementos tales como sensores, fotoceldas y contactos, procesa estos datos con la lógica existente en el programa (temporizadores, contadores, condicionantes en serie o en paralelo, etc.) para entonces determinar cuál de los elementos de salida estará actuado y cual no.

Esto representa grandes ventajas para posibles cambios que se deseen realizar en la manera en que el equipo funcionará en el futuro. La mezcladora fue programada en diagrama de escalera, por ser la manera de programación conocida por el personal de mantenimiento, que es el que se hace cargo de arreglar el equipo en caso necesario y



**Figura 4.12 Salidas digitales de control mezcladora**

que también dadas las necesidades futuras de la producción, podrá hacer modificaciones al equipo y la forma en que éste opera.

#### **4.10 Programación y tablero de control**

Estas dos actividades se planearon y realizaron en paralelo para poder acortar el tiempo de la implementación. También se hizo de esta manera ya que cualquier necesidad de elementos o cambio en el cableado que surja al hacer la programación podía ser solucionada de inmediato, de igual manera, cualquier requerimiento de modificación en la programación se pudo solucionar.

#### **4.11 Simulación y cableado**

Una vez elaborado el programa lógico y los gráficos, se hizo la simulación del proceso por medio del programa del PLC y las pantallas de gráficos, para verificar que el programa estuviera funcionando de manera adecuada y para garantizar, en lo posible el trabajo correcto del sistema. También se utilizó este desarrollo para dar capacitación de forma teórica al personal que iba a estar encargado de la operación del equipo.

De manera paralela a la simulación y capacitación preliminar del personal se hizo el cableado de alimentación de voltaje hacia el tablero de control, y también el cableado desde el tablero de control hasta cada uno de los elementos en campo de acuerdo al diagrama punto a punto.

En este paso se efectúa únicamente el cableado, sin hacer la conexión física de los elementos de campo, ya que esta fase es de preparación del equipo para su modificación y se fue haciendo en los días en que no hay producción (días de mantenimiento). Tampoco se conecta la alimentación de Voltaje al sistema, se dejó hasta el final para evitar posibles contratiempos, como son cortos, que se tienen en la instalación.

#### **4.12 Planeación de la ejecución**

Se platicó con el departamento de producción para la definición de fecha y hora en la que se haría el cambio, así como del tiempo que se tendría disponible el equipo, para poder programar la asistencia de la gente que conectará los elementos y también del personal que operará el equipo.

#### **4.13 Conexión**

Se conectaron cada uno de los elementos de control en campo y se verificaron las entradas y salidas desde y hacia el procesador. Los elementos de fuerza y control de este tablero son los mismos y continuaron en su misma disposición, por lo que se identificaron las puntas existentes y se conectaron las nuevas, esto se hizo con el fin de asegurar el trabajo correcto del sistema antes de desecharlo por completo por solicitud del personal de producción y la necesidad de elaborar producción cuanto antes.

#### **4.14 Pruebas en vacío**

Se trabajó el sistema sin producto. Únicamente se prueba el funcionamiento del equipo y la secuencia del proceso (estas pruebas se hicieron sin materiales y con el fin de que cuando se hiciera con producto, ya estuviera totalmente probado el sistema y garantizado el funcionamiento).

Se alinearon las fotoceldas de seguridad de inclinación para que detectaran a una persona que estuviera en la zona en que la mezcladora se inclina. Se probó el funcionamiento de los botones de paro de emergencia y la visualización de la alarma de falla que provocan. Se verifica que los tiempos en los que el motor de inclinación de la taza en su movimiento hacia arriba y hacia abajo trabaja fueran los adecuados para quedar en posición de carga de ingredientes menores.

#### **4.15 Entrenamiento**

Ya con todos los elementos conectados y el sistema probado sin producto, se explicó al personal encargado de la operación, la manera en que el equipo iba a funcionar y también se dio un entrenamiento práctico de la operación del mismo.

#### **4.16 Puesta en marcha y mejoras**

Se comenzó a operar el equipo con producto y a preparar la masa para la elaboración de la producción que se tenía programada y con el fin último de sacar el producto al mercado.

Una vez que ya operó el equipo por un tiempo considerable, se platicó con los operadores y supervisores para verificar el buen funcionamiento del equipo, así como para detectar posibles necesidades. La Tabla 4.6 muestra la lista de oportunidades que se detectan después de una semana de trabajo:

**Tabla 4.6. Lista de oportunidades**

Oportunidad	Actividad
Esporádicamente no opera el cambio entre velocidad baja y alta del mezclado.	Se da un tiempo en el programa para permitir la salida del contactor de baja antes de que entre el de alta.
La temperatura de la masa sale debajo de la deseada.	Se modifica el programa para que la solenoide que permite el paso de agua helada al enchaquetado abra únicamente cuando el agitador de la mezcladora trabaje en alta velocidad

#### 4.17 CONCLUSIONES.

El presente trabajo cumplió su objetivo ya que con la reconversión de la mezcladora hasta el momento no se han desechado los 2.5 lotes de masa mensuales que se solían desperdiciar en la planta.

Se propuso una secuencia de implementación para el control vía PLC, la cual ayudó en 100% en la implementación de la solución y a cumplir con los tiempos planeados en el calendario de actividades.

Con la reconversión el trabajo para los operadores no es tan estresante y por ende hay un mejor desempeño en las labores repetitivas. En lo que se refiere al equipo, se logró optimizar el proceso, evitando los problemas que se presentaban anteriormente por la falta de algún ingrediente o paso en el mezclado de la masa y que afectaban la calidad en la fabricación del producto.

Durante la implantación del trabajo se tuvieron algunos problemas, de los más importantes fueron el llegar a un acuerdo acerca de la necesidad de los temporizadores (timers) externos al programa y la conveniencia de la implementación de los elementos de seguridad, además de la manera en que se controlaría el sistema de refrigeración debido a que se optó por no comprar nuevos sensores y controlador de temperatura, con el fin de mantener el proyecto dentro de presupuesto. Todo esto iba de la mano con el incremento de los puntos de control que se encontraban limitados por el equipo presupuestado.

Cuando se trabaja tres turnos diferentes en un proceso de control manual, cada operador tiene una manera particular de realizar las tareas, por lo que adoptar una secuencia

estandarizada de trabajo es complicado, en la implantación de este trabajo se logró elaborar un método y secuencia de trabajo que fueron adoptados por todos los operadores, ya que se les involucró en la aportación de ideas, lo que enriqueció el proyecto.

En lo personal la implantación del proyecto me aportó el poder hacer el trabajo de otra forma, llevando a cabo los pasos necesarios, primero para darme cuenta si el proyecto era viable o no y después visualizar de manera gráfica todas las actividades que se realizarían en el proyecto y de esta manera priorizar actividades y determinar el mejor momento para la ejecución de cada una de ellas.

Las herramientas que recibí por parte de la Universidad para el desarrollo del presente trabajo fueron: El conocimiento del funcionamiento de elementos de máquinas, la enseñanza que tuve para buscar y encontrar información y datos de distintas fuentes para soportar las ideas que en la práctica hacen posible el desarrollo de un proyecto de ingeniería, los principios de programación que aprendí, aunque la tecnología constantemente va cambiando se rigen por la misma lógica y pensamiento ordenado y repetible.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Pylar, Ernest John. Baking science & technology. Sosland Publishing Company., 1988.
- Berryman D. Michael. Retrofitting PLC's to existing Equipment. American Society of Bakery Engineers., 1994.
- Robert T. Lund & John A. Hansen. Keeping America at Work. Strategies for Employing the New Technologies. John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- Enríquez Harper, Gilberto. El ABC de las instalaciones eléctricas industriales. Editorial Limusa, 1989.
- Allen -Bradley Company, Inc. CompactLogix Controllers. User Manual, Mayo 2005.
- CompactLogix Packaged Controllers Installation Instructions, Julio 2008.
- CompactLogix Selection Guide. Enero, 2010.
- O'Donnell, Kirk. Bread and Roll Production. American Institute of Baking, 1992.