

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de una línea continua de envasado automático de un
preparado vegetal procesado para una industria alimenticia
guatemalteca

Trabajo de graduación presentado por Carlos Guillermo Paniagua Ferrari
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,
2010

Diseño de una línea continua de envasado automático de un
preparado vegetal procesado para una industria alimenticia
guatemalteca

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



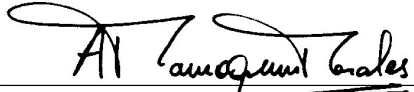
Diseño de una línea continua de envasado automático de un
preparado vegetal procesado para una industria alimenticia
guatemalteca

Trabajo de graduación presentado por Carlos Guillermo Paniagua Ferrari
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

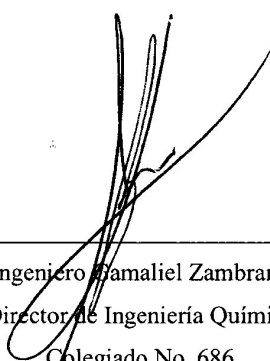
Guatemala,

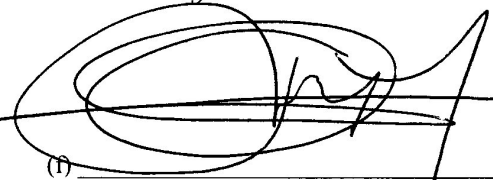
2010

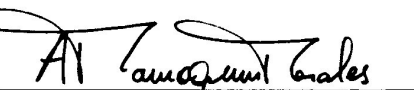
Vo.Bo.

(f) 
Ingeniero Alejandro Marroquín
Colegiado No. 1502
Asesor

Tribunal:

(f) 
Ingeniero Gamaliel Zambrano
Director de Ingeniería Química
Colegiado No. 686

(f) 
Ingeniero Cristian Rossi
X Colegiado No. 471

(f) 
Ingeniero Alejandro Marroquín
Colegiado No. 1502

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de diciembre de 2010

Índice

	Página
Lista de cuadros	vi
Lista de figuras	ix
Lista de gráficos	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	2
A. Procesos de producción.....	2
B. Manipulación de sustancias alimenticias	3
C. Limpieza	3
D. Integración de áreas de trabajo.....	4
E. Diseño de equipos para procesado de alimentos	7
F. Materiales de construcción.....	8
G. Diseño del equipo para industria alimenticia.....	10
H. Factores de seguridad de sobredimensionamiento	19
I. Diseño de una línea de llenado.....	20
J. Control de operaciones.....	22
K. Diseño de la línea de envasado automático del preparado vegetal	27
III. Justificación.....	34
IV. Objetivos	35
V. Problema a resolver	36
VI. Metodología	37
VII. Resultados	39
VIII. Discusión.....	46
IX. Conclusiones	56
X. Recomendaciones	57
XI. Bibliografía	58

XII.	Anexos.....	60
A.	Bases de diseño	60
B.	Datos originales.....	61
C.	Cálculos de muestra	66
D.	Datos calculados	78
E.	Análisis de error	88
F.	Análisis estadístico.....	89
G.	Análisis microbiológicos.....	91
H.	Diagramas del proceso	94
I.	Puntos críticos de control.....	97
J.	Puntos de control de proceso	98
K.	Cronograma de actividades.....	99
L.	Curva característica de consumo de aire bomba	100

Lista de cuadros

Cuadro	Página
Cuadro No. 1: Clasificación tamaño muestra AQL de calidad por tamaño de lote producido	27
Cuadro No. 2: Límites de calidad aceptable para AQL 1.0	29
Cuadro No. 3: Especificaciones de materias primas del preparado vegetal	30
Cuadro No. 4: Nomenclatura de equipo de la línea de producción y envasado de preparado vegetal.....	39
Cuadro No. 5: Equipo seleccionado para la línea continua y automática de envasado del preparado vegetal	41
Cuadro No. 6: Costos de la línea continua y automática de envasado del preparado vegetal	44
Cuadro No. 7: Costo de insumos de la línea de envasado del preparado vegetal	44
Cuadro No. 8: Análisis económico de la línea de envasado del preparado vegetal	44
Cuadro No. 9: Análisis de vida útil sensorial del preparado vegetal por pruebas discriminativas triangulares	44
Cuadro No. 10: Análisis de vida útil microbiológica del preparado vegetal	44
Cuadro No. 11: Bases de diseño para la línea de envasado del preparado vegetal	60
Cuadro No. 12: Composición del preparado vegetal y descripción de ingredientes	61
Cuadro No. 13: Propiedades fisicoquímicas del preparado vegetal final a envasar	61
Cuadro No. 14: Propiedades microbiológicas estipuladas en la especificación del preparado vegetal, siguiendo norma COGUANOR para productos vegetales alimenticios mínimamente procesado	61
Cuadro No. 15: Pesos y tiempos por etapa del proceso de producción para un lote de 150kg de preparado vegetal	62
Cuadro No. 16: Tiempos totales de producción del preparado vegetal	62
Cuadro No. 17: Demanda mensual promedio de preparado vegetal (kg/mes) según proyecciones de venta de la empresa.....	63
Cuadro No. 18: Consumo energético (amperios) de equipos de la línea de producción y envasado del preparado vegetal	63
Cuadro No. 19: Salarios mano de obra directa de la línea actual (manual) de producción y envasado.....	64
Cuadro No. 20: Consumo anual preparado vegetal y empaque actual con proceso de envasado manual	64
Cuadro No. 21: Consumo anual preparado vegetal y empaque en nueva línea de envasada automático	65
Cuadro No. 22: Costo de mano de obra por envasado manual de preparado vegetal en puntos de venta de bolsa de 10kg a envases de 0.113kg	65
Cuadro No. 23: Prestaciones para balance de personal	75

Cuadro No. 24: Tasa depreciación por año SMARC.....	77
Cuadro No. 25: Rendimientos y tiempos por etapa del proceso de producción para un lote de 150kg de producto final	78
Cuadro No. 26: Flujos de la producción de preparado vegetal.....	78
Cuadro No. 27: Balance de masa de la línea de producción y envasado por lote de 150 kg de preparado vegetal	78
Cuadro No. 28: Balance de energía de la línea de producción para cada lote de preparado vegetal	79
Cuadro No. 29: Índice promedio requerido e índice instantáneo de llenadora seleccionada.....	79
Cuadro No. 30: Velocidad lineal, flujo volumétrico y másico para bomba de alimentación a llenadora.....	79
Cuadro No. 31: Características y propiedades de flujo de la bomba de alimentación a llenadora	79
Cuadro No. 32: Potencia de la bomba para alimentación de preparado vegetal a llenadora	79
Cuadro No. 33: Carga neta de succión positiva de bomba para alimentación de llenadora	80
Cuadro No. 34: Cálculos del flujo de aire comprimido requerido por bomba de alimentación de llenadora	80
Cuadro No. 35: Dimensionamiento de compresor rotatorio para uso con llenadora	80
Cuadro No. 36: Especificaciones de llenadora de carrusel seleccionada para línea automática de envasado	81
Cuadro No. 37: Especificaciones de bomba de diafragma y compresor de tornillo seleccionados para la línea automática de envasado	82
Cuadro No. 38: Costos de equipo e inversión inicial de la línea de envasado de preparado vegetal.....	82
Cuadro No. 39: Costo de operación de equipos de línea de producción y línea de envasado automático para un lote de 150 kg de preparado vegetal	83
Cuadro No. 40: Costo total y por envase del consumo de energía eléctrica de la nueva línea de envasado automático, considerando lotes de 150kg de preparado vegetal.....	83
Cuadro No. 41: Balance de personal de línea actual de producción y envasado de preparado vegetal (sistema manual).....	84
Cuadro No. 42: Balance de personal de la nueva línea de producción y envasado de preparado vegetal (llenado automático).....	85
Cuadro No. 43: Costos variables línea actual y nueva línea de preparado vegetal.....	86
Cuadro No. 44: Costos fijos incrementales de nueva línea de envasado continua y automático.....	86
Cuadro No. 45: Depreciación de equipo línea envasado automático de preparado vegetal, según método SMARC	86
Cuadro No. 46: Criterios para flujo de caja incremental de línea de envasado automático de preparado vegetal	86

Cuadro No. 47: Flujo de caja incremental por implementación de nueva línea de envasado automático del preparado vegetal	87
Cuadro No. 48: Evaluación económica de la implementación de línea de envasado del preparado vegetal	87
Cuadro No. 49: Análisis discriminativo triangular con un 95% de nivel de confianza	89
Cuadro No. 50: Resultados de pruebas sensoriales	90
Cuadro No. 51: Criterios para análisis de nivel de calidad aceptable (AQL)	90
Cuadro No. 52: Clasificación de subniveles AQL y tamaño de muestra para los diferentes niveles de ensayo	91
Cuadro No. 53: Límites de calidad aceptable para el preparado vegetal	91
Cuadro No. 54: Control microbiológico mensual de producto final en planta de producción	92
Cuadro No. 55: Resultados de análisis microbiológicos a lotes de producto con reclamos en puestos de venta (2010).....	92
Cuadro No. 56: Análisis de vida útil microbiológica de producto envasado automáticamente (nuevo diseño)	92
Cuadro No. 57: Análisis de vida útil microbiológica de producto envasado manualmente en punto de venta	93
Cuadro No. 58: Identificación de puntos críticos de control del proceso de producción y envasado	97
Cuadro No. 59: Identificación de puntos de control de proceso	98

Lista de figuras

Figura	Página
Figura No. 1: Sistema de flujo con bomba	11
Figura No. 2: Llenado superior con un llenador de tiempo de flujo	15
Figura No. 3: Llenadora de líquidos de pistón volumétrico	18
Figura No. 4: Llenadora de nivel durante el proceso de llenado	19
Figura No. 5: Balance de masa y energía de la línea de producción con la nueva línea de envasado continuo y automático del preparado vegetal	40
Figura No. 6: Diagrama de distribución de la línea de producción y de la línea de envasado del preparado vegetal	42
Figura No. 7: Dimensiones en metros de la línea de producción y de envasado del preparado vegetal	43
Figura No. 8: Diagrama de bloques línea actual de producción y envasado de preparado vegetal	94
Figura No. 9: Diagrama de proceso de la línea de producción y envasado manual del preparado vegetal (actual).....	95
Figura No. 10: Diagrama de proceso y equipos de la línea de producción y la nueva línea de envasado automático del preparado vegetal	96

Lista de gráficos

Gráfico	Página
Gráfico No. 1: Resultados análisis vida útil microbiológica del preparado vegetal	45
Gráfico No. 2: Curva de consumo de aire (SCFM) de bomba de diafragma.....	100

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo diseñar una línea continua de envasado automático de un preparado vegetal, obtenido de una línea previa de producción. Actualmente, el envasado se realiza de forma manual en presentación de 4.54kg. Este proceso aumenta el riesgo de contaminación y acorta la vida útil del producto. El proceso de diseño implicó la elaboración del diagrama de flujo, balance de masa y energía, el dimensionamiento y selección de equipos para la nueva línea de envasado.

Se estableció que la línea de envasado se conforma por una llenadora de carrusel, una bomba de diafragma y un compresor de tornillo. Estos equipos permiten envasar el producto en presentaciones de 0.113kg, sellados y etiquetados automáticamente. A través de pruebas microbiológicas y sensoriales de producto, se determinó que la implementación del envasado automático permite ampliar de la vida útil de 4 a 7 días.

Adicional, se realizó un análisis económico del proyecto y se determinó una inversión inicial de Q633,617.72, que incluye inversiones en equipo y materiales. Para un horizonte de 5 años, se estableció que el valor presente neto del proyecto es de Q438,221.16, con una tasa interna de retorno de 40.99% y un período de recuperación de la inversión de 1.64 años.

De esta manera, se concluye que la implementación de la línea continua de envasado automático es rentable y, a la vez, presenta ventajas en la inocuidad, manejo y vida útil del preparado vegetal.

Abstract

The purpose of this project was the design of a continuous and automatic bottling assembly line for a vegetable-based product, obtained from a previous manufacturing line. Currently, the bottling process is performed manually in 4.54kg bags. This process increases the cross-contamination risks and reduces the product's shelf life. The project implied the definition of the mass and energy balance, general process structure, equipment design and selection for the new bottling assembly line.

It was established that the bottling line would consist of a carousel filler, a diaphragm pump and a compressor. This assembly line will pack the product in 0.113kg portions, which will be sealed and labeled automatically. Sensory and microbiological analysis proved that, through the automatic bottling of the product, its shelf life increases from 4 to 7 days.

Additionally, a financial analysis was performed and an initial investment of Q633,617.72 was determined. This investment includes the acquisition of new equipment and set up materials. Considering a 5-year horizon, it was established that the project's net present value is Q438,221.16, with a return on investment of 40.99% and a payback period of 1.64 years.

As a result, it was possible to conclude that the implementation of a continuous and automatic bottling assembly line is profitable and, at the same time, it improves the product's handling and shelf life.

I. Introducción

La industria alimenticia en Guatemala se encuentra en constante fortalecimiento y expansión. Esto se atribuye al aumento de competidores locales, un consumidor más exigente e informado, al ingreso de competidores y marcas extranjeras, entre otras causas. Ante una mayor disponibilidad de propuestas de valor, el consumidor es cada vez más cuidadoso al escoger productos y marcas. La calidad de los productos, sus propiedades de sabor y estabilidad son elementos que permiten cumplir con la promesa de marca planteadas por los diferentes competidores en el mercado.

Un ambiente altamente competitivo ejerce una presión importante para controlar y reducir costos en toda la cadena de valor, de manera que las empresas puedan mantenerse rentables en el tiempo. Como consecuencia, las empresas dedicadas a la industria alimenticia buscan, constantemente, estandarizar, mejorar e innovar sus procesos de producción. Esto les permite reducir ineficiencias en sus procesos, minimizar desperdicios de materias primas, reducir inventarios y gastos administrativos.

Este trabajo tiene como objetivo principal el diseño de una línea continua de envasado automático de un preparado vegetal. Actualmente, este producto se envasa de forma manual lo que aumenta significativamente los riesgos de contaminación. La presencia de procesos manuales limita la vida útil de los productos como resultado de un aumento de la carga microbiológica por arriba de los límites establecidos ($<100\text{UFC/g}$ para alimentos) por las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Esto se traduce en aumentos de costos por desecho de lotes de producto que no cumplen con especificaciones sensoriales o microbiológicas. Considerando la corta vida útil del producto (4 días), para poder satisfacer la demanda del preparado vegetal la empresa recurre al aumento de turnos de producción. Esto tiene un impacto negativo en la rentabilidad derivado de los aumentos en costos de mano de obra implícitos en esta medida. Por otro lado, las inconsistencias del producto tienen un impacto a nivel comercial dado que han aumentado el número de reclamos por parte de los clientes. Esto causa pérdida de ventas, de clientes y erosionar el valor de marca para la empresa.

Con la implementación de una línea continua de envasado automático se busca eliminar cualquier contacto directo por operarios con el producto. Esta línea envasa el producto en recipientes de 0.113kg, presentación para venta a consumidor final. De esta forma, se asegura al consumidor que el producto cumple con las características sensoriales y con las normas establecidas por COGUANOR para alimentos. Este trabajo busca también, con ayuda de un panel entrenado y análisis microbiológicos, determinar si es posible aumentar la vida útil del producto y confirmar que el nuevo proceso no tiene efecto alguno en las propiedades organolépticas.

II. Antecedentes

A. Procesos de producción

Los procesos de producción tienen como objetivo convertir materias primas en productos. Un proceso de producción abarca desde el diseño del producto, la selección de materias primas o insumos y, finalmente, la secuencia de procesos a través del cual es manufacturado un producto. La producción o manufactura de productos involucra la fabricación de artículos a partir de materias primas mediante varios procesos, maquinarias y operaciones, a través de una secuencia determinada para un producto específico. Un proceso de producción puede visualizarse como un gran sistema con varios procesos interrelacionados entre sí. (Kalpakjan, 2002)

Los procesos de producción involucran y determinan una variedad de recursos y actividades dentro de una empresa, tales como diseño, maquinaria, planificación, compras, marketing, ventas, logística, servicio al cliente, entre otros. Es necesario que los procesos de producción cumplan con ciertos parámetros o estipulaciones de modo que se obtenga el producto deseado y cumpliendo con las expectativas de los clientes que estarán haciendo uso de dicho producto. De esta manera, todos estos procesos involucran la definición y cumplimiento de requerimientos de diseño, especificaciones de producto y estándares de calidad. (Kalpakjan, 2002)

El aseguramiento de calidad debe incorporarse en todas las etapas del proceso de manera que se puedan identificar desviaciones en etapas tempranas de los procesos y, como consecuencia, aplicar las acciones correctivas de ser necesario. Por otro lado, estos procesos también deben ser lo suficientemente flexibles para responder a cambios en la demanda del mercado, en tipos de producto, en cantidades de producción y tiempos de entrega. Asimismo, los procesos de producción también deben alcanzar altos niveles de productividad, entendiendo como productividad el uso óptimo de los recursos: materiales, máquinas, energía, capital, mano de obra, entre otros. (Kalpakjan, 2002)

Los procesos de producción se pueden clasificar según la continuidad en el tiempo, según la finalidad de estos y según la configuración del proceso productivo. Según la continuidad en el tiempo hay procesos de producción continuos e intermitentes. En la producción continua, la conversión de materias primas se realiza en un flujo ininterrumpido en el tiempo. En este caso, parar el proceso implica un costo significativo. Por otro lado, se incluyen los procesos productivos masivos de fabricación en línea. Los insumos y secuencia de procedimientos en este tipo de procesos deben ser homogéneos ya que se desea obtener un volumen considerable de producto estandarizado. (ITLP, 2006)

En la producción intermitente no se requiere de la continuidad del proceso. En este caso es posible interrumpir el proceso sin problemas de orden técnico. No obstante, estas interrupciones poseen un impacto económico. En este caso se maneja una gran variedad de productos y se utiliza cuando la demanda de un producto es bastante baja. En este sistema los volúmenes de venta y los lotes de fabricación son pequeños. Generalmente se necesita de mano de obra especializada lo que implica un costo total relativamente alto. (ITLP, 2006)

B. Manipulación de sustancias alimenticias

La manipulación de los materiales implica esencialmente el estudio de los problemas relacionados con su flujo desde la recepción hasta la distribución final. Cuanto más suave sea el flujo de las materias alimenticias y menor manipulación reciban, mejor será el producto final en términos microbiológicos. La introducción reciente de sistemas de manipulación totalmente automáticos, desde la materia prima hasta el almacenamiento del producto final, ha sido bien recibida. (Forsythe, 1999)

La eficacia de la manipulación depende de muchos factores. El primer factor es el efecto que ejerce un mal diseño de los edificios de una industria alimenticia, en cuestiones de la disposición de los equipos. En condiciones ideales el sistema de manipulación empleado, así como la disposición de las zonas de trabajo, vendrán dispuestos por las necesidades de producción, modificadas cuando sea necesario, para cumplir los principios de la higiene. (Forsythe, 1999)

La sección de recepción de materias primas debe tener una capacidad de almacenamiento capaz de descargar y mantener los alimentos en las condiciones fisicoquímicas establecidas. En términos económicos el transporte que no permite una rápida descarga es desastroso. Además, los alimentos perecederos iniciarán su deterioro si no se transfieren rápidamente a sus almacenes o las líneas de procesado. Las materias primas también deben llegar en las mejores condiciones para su manejo. Generalmente los pesos y volúmenes de los alimentos y la frecuencia de abastecimiento deben ajustarse para una mayor eficiencia. (Forsythe, 1999)

Los mismos principios se aplican a los alimentos cuando se sacan del almacén para su procesado. Conviene asegurarse de que las materias primas no se sacan del almacén en cantidades que excedan las necesidades de procesado, especialmente si se trata de productos perecederos. (Forsythe, 1999)

En esencia la secuencia de operaciones de procesado debe ser tan directa como sea posible y el llamado flujo de procesado en línea resta se considera el más eficaz. Este término significa que la disposición o directriz del procesado es literalmente una línea recta pero el término se aplica igualmente a varios tipos de disposiciones. Estas disposiciones deben minimizar las posibilidades de contaminación de un semiprocado o procesado por otro crudo, es decir, se evita eficazmente la contaminación cruzada. Las materias alimenticias crudas y las procesadas se mantienen tan separadas unas de otras como sea posible y, como seguridad adicional, conviene colocar paneles separadores en diferentes partes de la línea de procesado para limitar el movimiento del personal de una zona a otra. (Forsythe, 1999)

La contaminación cruzada es uno de los mayores peligros de la producción de alimentos. Esta consiste en la contaminación de un producto ya procesado por contacto con productos crudos. De esta forma se originan a menudo brotes de infecciones alimentarias cuya prevención sólo necesita en este caso un poco de sentido común. (Forsythe, 1999)

C. Limpieza

La limpieza constituye uno de los aspectos más importantes en el procesamiento y manipulación de alimentos, por lo que deberán existir procedimientos para su ejecución, así como parámetros adecuados para su control. Los procedimientos deben contemplar todas las superficies que entran en contacto con los alimentos. El objetivo de la limpieza de superficies de contacto con

alimentos es la remoción de nutriente que las bacterias necesitan para crecer y para eliminar aquellas bacterias que puedan estar presentes. Los utensilios también deben limpiarse y almacenarse de manera sanitaria. Los procedimientos para la limpieza deben tener una adecuada evaluación mediante inspecciones. (Shmidt, 1997)

La limpieza también incluye la remoción completa de restos de alimentos usando detergentes químicos apropiados bajo condiciones recomendadas. Es importante que el personal conozca la naturaleza de los diversos tipos de residuos de alimentos y la química involucrada en su remoción. (Shmidt, 1997)

Existen tres métodos de limpieza, la limpieza mecánica, fuera de sitio y manual. La limpieza mecánica normalmente se denomina también limpieza en el lugar. Este método no requiere el desmontaje de la línea de producción. La limpieza fuera del sitio es aquella en la que se desmonta parcialmente la línea y se puede utilizar tanques presurizados. La limpieza manual requiere desmontaje total para limpieza e inspección. (Shmidt, 1997)

El primer paso en el lavado de cualquier pieza del equipo es el enjuague con agua templada (27-43°C) para remover remanente de materias primas en las superficies. Luego, se debe realizar un restregado vigoroso de las superficies o limpieza con agua a presión alta. En esta etapa se puede utilizar agua caliente o algún químico especial. Es imprescindible que todas las esquinas y uniones se limpien de forma correcta y completa ya que la acumulación de materias puede causar contaminación al producto nuevo. Finalmente se recomienda enjuagar con agua a temperatura ambiente para eliminar cualquier resto de solución de lavado. La parte externa del equipo también deberá recibir un tratamiento cuidadoso de lavado. (Shmidt, 1997)

En el caso de la limpieza existen dos tipos generales que incluyen la limpieza térmica y la química. La limpieza térmica involucra el uso de agua caliente o vapor, con una temperatura y tiempo de contacto específicos. La limpieza química involucra el uso de un desinfectante químico aprobado, con una concentración y tiempo de contacto estipulado y estandarizado. Dentro de los desinfectantes más comunes se puede mencionar a los hipocloritos, cloro aminas, compuestos de amonio cuaternario y los yodos. Estas sustancias no poseen ningún tipo de olor que pueda trasladarse a los alimentos. (Shmidt, 1997)

El secado es el último paso en el proceso de desinfección ya que debe llevarse a cabo por medio de calor y ventilación, nunca con telas o toallas. El secado es esencial para reducir el deterioro y corrosión del equipo. Además, se inhibe el crecimiento de organismos que pueden encontrar acceso en las superficies limpias, enjuagadas y esterilizadas. (Shmidt, 1997)

D. Integración de áreas de trabajo

1. Materias primas: recepción.

Las áreas de la fábrica, destinadas a la recepción de materias primas deben situarse en lugares de acceso directo y fácil para el transporte por cualquier medio. Los terrenos de los muelles de descarga deben ser suficientemente amplios para facilitar el estacionamiento y maniobras de camiones articulados y de otros tipos. Los muelles serán amplios y cuando el volumen lo demande, permitirán la descarga de varios camiones al mismo tiempo. Los camiones ideales son los de carga posterior y los muelles de descarga dispondrán de almohadas de aire que excluyan otros elementos y protejan el producto. Las cubiertas de la zona de descarga serán de doble pared con las estructuras de soporte situadas de forma que impidan que sirvan de refugio a los pájaros. (Forsythe, 1999)

Una descarga eficiente es importante ya que los retrasos originan pérdidas de calidad en las materias primas recibidas. Generalmente se necesitan métodos rápidos de envío de una gran diversidad de materiales al almacén y a las líneas de procesado. Los líquidos, por ejemplo, leche y aceites, llegan a la fábrica en camiones cisterna y deben bombearse a los tanques de almacenamiento. Los productos secos y particulados pueden transportarse en sacos y a granel en cuyo caso se necesitan medios mecánicos o neumáticos para su almacenamiento. Las hortalizas cosechadas normalmente llegan a la fábrica, sucias con tierra, y con hojas y tallos adheridos. El lavado inicial, previo al almacenamiento de estos alimentos, disminuirá la cantidad de suciedad que llevan a la fábrica. El exceso de suciedad crea a menudo problemas microbiológicos durante el procesado, afectando a la posterior vida útil del producto. (Forsythe, 1999)

Los locales de almacenamiento de materias primas deben situarse siempre de tal forma que se mantenga un flujo eficiente de materiales a las áreas de procesado. El espacio de almacenamiento insuficiente da lugar a un envío excesivo de materia prima a la zona de producción y a otras áreas. (Forsythe, 1999)

2. Materias primas: almacenamiento.

Los locales de almacenamiento deben proporcionar ambiente limpio, espacio adecuado para inspección y limpieza, buena circulación de aire y la temperatura y humedad requeridas. Las necesidades de almacenamiento de diferentes categorías de alimentos varían, pero es importante considerar la protección frente al polvo, insectos, roedores y otras plagas. (Forsythe, 1999)

Los alimentos no deben colocarse directamente en el suelo, sino que deben situarse en bandejas o estantes. Las pilas deben disponerse de forma que se facilite la inspección de las capas superiores. Las zonas de almacenamiento deberán marcarse claramente con líneas de tráfico separadas suficientemente a intervalos regulares. Los alimentos no deben apilarse contra las paredes y en las grandes zonas de almacenamiento habrá un vacío entre la pared y las pilas, suficiente para inspeccionar. Debe existir un espacio entre las estanterías y el suelo y con las paredes de, al menos, 30 cm para facilitar la circulación del aire y permitir una fácil limpieza. (Forsythe, 1999)

Cuando se almacene en frío, los locales funcionarán con una desviación de la temperatura de 1°C y es imprescindible que la capacidad refrigerante sea suficiente para mantener la temperatura de refrigeración requerida (2°C - 4.4°C). Cualquier método que disminuya la carga del equipo de refrigeración será ventajoso desde el punto de vista económico. Por lo tanto, se necesita de un aislamiento eficiente. (Forsythe, 1999)

Los almacenes de refrigerados deben tener forma cúbica para que la relación superficie-volumen sea mínima y que se posea el máximo espacio de almacenamiento. La fluctuación de las temperaturas disminuye la vida útil de los alimentos tanto en calidad como en peso. La circulación eficiente del aire disminuye las fluctuaciones de temperatura y por ello los alimentos deben almacenarse de forma que se favorezca y no se impida la circulación de aquel. (Forsythe, 1999)

3. Área de procesado.

La disposición general y el funcionamiento de la línea de procesado deben facilitar el flujo del material parcialmente procesado de una operación a la siguiente sin el mínimo retraso. Los retrasos también deben minimizarse cuando los distintos componentes de un producto alimenticio se preparan separadamente y después se encajan o mezclan juntos. Para ayudar a este objetivo es esencial disponer de suficiente espacio para todas las operaciones de procesado y para la limpieza,

mantenimiento e inspección de todo el equipo y del área general de producción. Los alimentos que pueden contaminarse con bacterias causante de toxiinfecciones alimentarias deben procesarse en zonas que se mantienen frías para evitar el crecimiento de tales bacterias. (Forsythe, 1999)

Todas las entradas a las áreas de procesado deberán disponer de lugares de aseo personal que tendrán que utilizarlas todos los empleados al entrar en ellas. Los lavabos, accionados con la rodilla o el pie, deben situarse de tal forma que sea fácil comprobar que se utilizan convenientemente. (Forsythe, 1999)

4. Situación del equipo.

El equipo debe situarse de manera que sea fácil de funcionar, de lavar, de inspeccionar y de conservar. Dispondrá de fácil acceso a todas sus superficies y partes internas y externas y las últimas serán fáciles de montar y de desmontar. De aquí que no debe situarse muy próximo a las paredes, al techo ni a otros equipos, debiendo haber una separación o espacio de unos 100cm. Además, entre el equipo y el suelo habrá espacio suficiente para facilitar la limpieza. Las tuberías y canaletas deben situarse de manera que faciliten su limpieza inspección y mantenimiento, mientras que debe dejarse espacio suficiente entre el equipo y los suelos y paredes. (Forsythe, 1999)

5. Almacenamiento de producto terminado.

La mayoría de los criterios y características establecidas para el almacenamiento de materia prima también son aplicables a salones de almacenamiento de producto terminado. Es importante mantener un ambiente limpio y constante. También se necesita de suficiente espacio para facilitar la inspección y la limpieza e igualmente debe disponerse de líneas de tráfico adecuadas. (Forsythe, 1999)

6. Laboratorios.

En la mayoría de los casos los laboratorios se emplearán principalmente para el aseguramiento de calidad. Ello supone una comprobación rutinaria microbiológica, bioquímica y física de las materias primas, de los alimentos en diferentes fases de procesado y de los productos terminados y también la comprobación de la eficacia de la desinfección. (Forsythe, 1999)

7. Transporte.

Todos los alimentos procesados deben transportarse de forma que estén protegidos de cualquier tipo de contaminación. El recipiente o medio de transporte dependerá de la naturaleza del alimento y de las condiciones requeridas. Es importante que en todo medio de transporte se mantenga la temperatura, humedad y condiciones de la atmósfera para evitar el crecimiento de microorganismos patógenos o de deterioro. Los productos que necesiten ser refrigerados deben ser transportados a 4°C o menos y deberán ser controlados durante el transporte. Los productos congelados deberán ser mantenidos a -18°C. (Forsythe, 1999)

8. Transporte refrigerado.

Uno de los factores más importantes en el manejo de productos fríos es el mantenimiento de la cadena de frío, es decir, que la temperatura adecuada de manejo del producto se mantenga durante todo el proceso de manipulación de este. El que se rompa la cadena de frío de un producto puede implicar un cambio organoléptico del producto final, reducción de vida útil y hasta descomposición

de este. Dentro de los sistemas de transporte que permiten mantener la cadena de frío se puede mencionar la refrigeración mecánica y con placas eutécticas. (Forsythe, 1999)

La refrigeración mecánica utiliza un sistema de expansión de refrigerantes dentro de área empacadas. Estos empaques son muy parecidos a los de los cuartos de almacenamiento. Se utilizan camiones con gran capacidad de volumen y producto, manteniéndolo en buenas condiciones por períodos largos de tiempo. Las bajas temperaturas se obtienen con el uso de unidades de control equipados con compresores de diésel. (Forsythe, 1999)

En la refrigeración con placas eutécticas los camiones están provistos con placas eutécticas que permiten mayor autonomía y riesgo controlado. Estos vehículos están divididos en varias cámaras individuales lo que permite que, al sacar un producto de una de las cámaras, el resto de producto no se vea afectada por el ingreso de aire a temperatura ambiente. (Forsythe, 1999)

E. Diseño de equipos para procesamiento de alimentos

Existen siete principios básicos de diseño de procesos de alimentos, definidos por el comité técnico conjunto de la federación de productores de alimentos (Food Manufacturers Federation, FMF), que constituyen un punto de partida para cualquier línea de producción. Los principios son:

1. Todas las superficies en contacto con los alimentos serán inertes en las condiciones de empleo y no poseerán sustancias que emigren o sean absorbidas los alimentos. (Forsythe, 1999)

2. Todas las superficies serán lisas y sin poros, de forma que ni las partículas minúsculas de alimentos, ni las bacterias, ni los huevos de insectos puedan depositarse en las grietas microscópicas de las primeras, de donde son difíciles de desprender, convirtiéndose, por lo tanto, en fuente potencial de contaminación. (Forsythe, 1999)

3. Todas las superficies serán visibles para su inspección, o en otro caso, deberá demostrarse que los procedimientos rutinarios de limpieza eliminan toda posibilidad de contaminación con bacterias o insectos. (Forsythe, 1999)

4. Todas las superficies en contacto con los alimentos serán accesibles para la limpieza manual, o si no son fácilmente accesibles serán fáciles de dismantelar para realizar la limpieza manual, o si se emplea la limpieza in situ, debe demostrarse que los resultados alcanzados sin dismantelarla equivalen a los conseguidos con dismantelamiento y limpieza manual. (Forsythe, 1999)

5. Todas las superficies interiores en contacto con los alimentos deben estar dispuestas de tal forma que el equipo se auto vacíe y auto escurra. (Forsythe, 1999)

6. El equipo debe estar diseñado de tal forma que proteja sus contenidos de la contaminación exterior. (Forsythe, 1999)

7. El exterior o las superficies que no contactan con los alimentos deben disponerse de forma que, ni en ellas mismas, ni en sus superficies de contacto con otra maquinaria, suelos, paredes y soportes puedan albergarse tierra, bacterias ni otras pestes. (Forsythe, 1999)

Además, se recomienda que las uniones de equipos estén diseñadas de tal forma que se reduzcan al mínimo los salientes, crestas y rebordes. Se realizarán preferentemente por soldadura a presión o imbricación continua. No se utilizarán pernos, tornillos ni ribetes salvo que sean

técnicamente imprescindibles. Es importante que ningún lubricante, salvo los de carácter comestible, contacte con los alimentos. (Forsythe, 1999)

F. Materiales de construcción

Es necesario asegurarse de que bajo las normas corrientes de uso todas las superficies en contacto con los alimentos sean inertes, tanto frente a los alimentos como a los agentes de limpieza y desinfectantes. Los componentes de las superficies serán inocuos, no migrarán, ni serán absorbidos por los alimentos. Las superficies en contacto con los alimentos serán lisas, duras, continuas y carentes de fisuras y grietas. Debe tenerse presente que cuanto más lisa es la superficie más fácil resulta su limpieza. (Forsythe, 1999)

Los materiales de construcción empleados para las superficies en contacto con alimentos permitirán que se mantenga el terminado final y que no se desarrollen poros, además serán resistentes a la deformación, abolladura, astillado y descortezado. (Forsythe, 1999)

Las superficies que normalmente no contactan con los alimentos serán también lisas, fácilmente lavables y de material anticorrosivo o convertido en anticorrosivo. La pintura de la maquinaria debe limitarse a las superficies que no contactan con los alimentos y no se situará por encima de los alimentos expuestos. (Forsythe, 1999)

1. Acero inoxidable.

Los aceros austeníticos o inoxidables son los preferidos y los más corrientemente utilizados de todos los materiales de las superficies que han de contactar con los alimentos. Se trata de aceros con altos porcentajes de ciertos elementos como cromo y níquel, pero de muy bajo contenido de carbono. Son muchos los aceros inoxidables disponibles pero los más utilizados son los del llamado grupo 18-8, es decir, con aproximadamente 18% de cromo y 8% de níquel. De este grupo las aleaciones de grado 300, entre los que se encuentran el 304 y 316, satisfacen la mayoría de las necesidades. El grado 304 es resistente a la corrosión originada por la mayoría de los alimentos y agentes de limpieza, no da coloraciones, es fácil de limpiar y relativamente barato. Cuando son de esperar problemas de corrosión más intensos, como en el caso de salmueras, alimentos ácidos, lácteos, entre otros, debe emplearse el de grado 316. La diferencia entre el 316 y el 304 radica en que el 316 es un acero en el que hay más níquel (sobre un 10%) y que contiene también molibdeno (2-3%). El tipo Hastelloy, que contiene Níquel (56%), cromo y molibdeno (16% de cada uno), hierro (5%) y tungsteno (4%) es resistente a la corrosión, pero su alto precio limita mucho su empleo. (Forsythe, 1999)

Los aceros inoxidables varían también en el acabado de sus superficies, desde el basto o sin pulimentar al de espejo. Para las técnicas de limpieza in situ de tuberías se necesitan superficies lisas, pero cuando se emplea la limpieza con mangueras a presión, la finura o pulimentado de la superficie tiene menos importancia. (Forsythe, 1999)

La resistencia del acero inoxidable a la corrosión se debe a la película protectora de óxido de cromo que se forma en presencia de oxígeno. Sin embargo, hasta los grados más resistentes se corroen si no se conservan convenientemente. Los tipos de corrosión más frecuentemente encontrados en la industria alimentaria son el picado, la corrosión electrolítica, la corrosión intergranular, la corrosión general. Cualquier lesión de la película de óxido de cromo puede evolucionar en corrosión. (Forsythe, 1999)

2. Hierro y acero blando.

El hierro corriente, el colado y el acero blando se han empleado mucho en la construcción de maquinaria, especialmente para carcasas y para aquel equipo que no contacta directamente con los alimentos. Estos materiales son muy sensibles a la corrosión, lo que puede evitarse pintando las superficies expuestas. Los apoyos deben estar protegidos por una placa de níquel si es que existe alguna posibilidad de que contacten con los alimentos o las soluciones de limpieza. (Forsythe, 1999)

El hierro galvanizado, que es hierro recubierto de cinc, no debe emplearse en la industria alimentaria ya que el cinc desaparece con el uso dejando expuesto al aire el hierro que entonces se corroe. Además, el cinc es tóxico y puesto que es soluble en las frutas ácidas y tanto en los detergentes ácidos como alcalinos, su empleo debe restringirse mucho en las áreas de procesamiento de alimentos. No obstante, el hierro galvanizado todavía se emplea en la construcción de las carcasas que soportan bandejas e incluso en la fabricación de las últimas. (Forsythe, 1999)

3. Cobre y sus aleaciones.

Con ciertas excepciones, como en la industria cervecera, el cobre generalmente es un pésimo material de construcción de equipos para la industria alimentaria. Como sus aleaciones, latón y bronce, el cobre es bastante resistente a la corrosión y sobre todo un buen conductor de calor. Sin embargo, las hortalizas, como los guisantes, se decoloran en contacto con él, sobre todo en presencia de salmuera. Este elemento forma también fácilmente óxidos que no sólo destruyen la vitamina C, sino que también oxidan grasas y aceites comestibles causando rancidez. Si en el equipo de procesamiento de los alimentos se emplean recipientes de cobre o de latón, deberán cubrirse con una capa de estaño. (Forsythe, 1999)

4. Metales diversos.

El cinc, cadmio, antimonio, mercurio y plomo no deben utilizarse ya que son tóxicos. El plomo puede formar parte de soldaduras en proporción de una parte por 20. El empleo de soldadura debe limitarse exclusivamente a la unión de metales y estará unida de tal forma al metal que no pueda resquebrajarse ni agrietarse. (Forsythe, 1999)

El aluminio se emplea corrientemente para tarteras, sartenes y utensilios semejantes, su baja densidad permite una fácil fabricación y su buena transmisión del calor también constituye una ventaja. El empleo del aluminio se ve limitado por su corrosión por ácidos y álcalis. Es también un metal muy activo y a menudo, cuando está presente, está implicado en la corrosión galvánica. (Forsythe, 1999)

El titanio posee ventajas, pero su alto costo convierte en prohibitivo su empleo a gran escala. Es más resistente a la corrosión que el acero inoxidable de gran calidad, se limpia fácilmente y es mucho más ligero que el acero. (Forsythe, 1999)

5. Plásticos.

Los plásticos se están empleando mucho últimamente en la industria alimentaria. Tienen muchas ventajas pues son baratos, ligeros, transparentes cuando es necesario, atóxicos, no causan coloraciones, son relativamente resistentes a la corrosión y pueden ser resistentes a los ácidos, a los álcalis y a los detergentes. Además, se pueden seleccionar plásticos para su empleo en un amplio rango de temperaturas. Sin embargo, en los plásticos se evidencia la abrasión antes que los metales con lo que su limpieza se ve dificultada. (Forsythe, 1999)

Las propiedades de los plásticos varían dependiendo de la materia prima utilizada, de los aditivos que se incorporan y del método de fabricación. Los plásticos usados en la industria de los alimentos son los termoplásticos y los termoestables. Los primeros se ablandan al calentarlos y se endurecen al enfriarlos, proceso que puede repetirse cualquier número de veces sin cambio químico apreciable. Muchos de estos termoplásticos se basan en el etileno, por ejemplo, polietilenos, polipropilenos, cloruro de polivinilo, entre otros. Estos son resistentes a ácidos y álcalis, toleran variaciones de temperatura, pero deben incorporarse termo estabilizantes. Muchos de estos termoplásticos se han utilizado en la construcción de tanques, tuberías, accesorios y cintas transportadoras. (Forsythe, 1999)

Los termoestables difieren de los anteriores en que se endurecen la primera vez que se calientan por si se recalientan pueden experimentar degradación química. Los termoestables que se utilizan como material de construcción del equipo alimentario pueden ser poliésteres, resinas epoxi y poliuretanos. Generalmente, se emplean en un intervalo de temperaturas más amplio que en el caso de los termoplásticos, pero son más sensibles a ácidos y álcalis. (Forsythe, 1999)

G. Diseño del equipo para industria alimenticia

1. Tanques.

Los tanques y otros elementos parecidos se construirán de forma que sus drenajes se sitúen en su punto más bajo. Por ello, si hay un drenaje central la base debe presentar una inclinación hacia dicho punto y si el drenaje fuera lateral la base estaría inclinada en el sentido de este. Bajo ningún concepto se permitirá que los tubos que llegan o parten de tanques sobresalgan en su interior ya que esto constituye la posible aparición de depósitos de crecimiento microbiano. Deben disponer de tapas o cubiertas del mismo material que los depósitos. Las tapas cerrarán bien y serán fáciles de separar para realizar su limpieza en recipientes menores. (Forsythe, 1999)

2. Bombas.

Las bombas se emplean sobre todo en la industria alimentaria para el transporte de líquidos por las tuberías y por lo tanto son corrientemente una parte integral del sistema CIP. Si se instala, es sistema de diseño asegurará el contacto entre líquido de limpieza y todas las superficies expuestas al producto. Cuando se emplea la limpieza manual, las bombas se diseñan para facilitar su rápido desmantelamiento, con el mínimo de instrumentos y habilidad y con fácil acceso a todas las superficies de contacto con el producto para facilitar la limpieza. Todas estas superficies serán de acero inoxidable o de otros materiales resistentes a la corrosión y no reactivos. (Forsythe, 1999)

Las formas de luz de paso serán lisas, evitándose cambios bruscos en la forma de la sección transversal y se evitarán espacios muertos. Deben evitarse tornillos de paso de rosca en contacto con el alimento. La sujeción de los componentes móviles se hará con engatillados planos. Para sujetar los cuerpos de las bombas se prefieren a los tornillos, los acoplamientos en bayoneta y las abrazaderas lisas. (Forsythe, 1999)

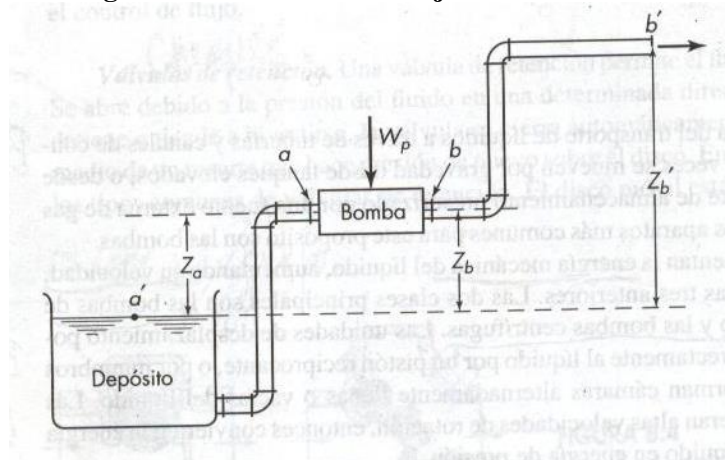
Los tipos de bomba más corrientemente utilizadas en la industria son las rotatorias y las centrífugas. En el caso de las bombas rotatorias, las de rotores trilobulados son las más utilizadas. Las ventajas de estos tipos de bombas es que carecen de válvulas, si bien en las centrífugas la velocidad de flujo se controla con válvulas situadas en la línea de descarga. Además, son relativamente baratas, siendo las rotatorias un poco más caras. Asimismo, se pueden tratar mezclas

de líquidos y sólidos. Las bombas más higiénicas son las de diafragma puesto que los productos sólo contactan con la superficie de una estructura flexible. (Forsythe, 1999)

Un tipo importante de bomba para la industria alimenticia es la bomba de diafragma. Esta, a diferencia de los otros tipos, reduce el contacto del alimento con superficies metálicas y elimina las probabilidades de contaminación del alimento por efecto de lubricantes o metales. En este tipo de bombas una pieza mecánica, que puede ser maniobrada de forma neumática o mecánica, permite que el diafragma se mueva y permita el acceso de producto por un extremo y la salida por el otro extremo. Cuando el pistón se mueve hacia arriba se crea vacío en el interior de la bomba y se abre la válvula en la entrada del producto. Estas bombas poseen otra válvula en la salida que se cierra mientras ingresa el producto. Al llenar el espacio en la bomba con el producto, el pistón baja y el diafragma ejerce una presión sobre el producto. De esta forma, la válvula de entrada se cierra y se abre la válvula de salida, produciendo la salida del producto a una mayor presión. (Sinnott, 2008)

El procedimiento para calcular las dimensiones de una bomba es independiente del tipo de bomba que se desee o deba utilizar. La siguiente figura muestra un diagrama de forma esquemática de la aplicación de una bomba típica. La bomba se instala en una tubería de conducción y suministra la energía necesaria para succionar el líquido de un tanque de almacenamiento y descargarlo con una velocidad volumétrica constante a la salida de la tubería, situada en Z_b metros o pies arriba del nivel del líquido en el tanque. El líquido entra a la bomba por una conexión de descarga. Es posible aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos a y b . La única fricción que existe en una bomba es la que se produce en la bomba misma y esta se incluye en la eficiencia mecánica. (McCabe, 2007)

Figura No. 1: Sistema de flujo con bomba



(McCabe, 2007)

La carga de una bomba se calcula aplicando la ecuación de Bernoulli y se obtiene lo siguiente:

$$\text{Ecuación No. 1 } \eta W_p = \left(\frac{P_b}{\rho} + \frac{\alpha_b u_b^2}{2g_c} + h_f + \frac{gZ_b}{g_c} \right) - \left(\frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha_a u_a^2}{2g_c} + \frac{gZ_a}{g_c} \right) \quad (\text{McCabe, 2007})$$

3. Tuberías.

Las tuberías deben diseñarse higiénicamente y cumpliendo las normas requeridas a nivel nacional o internacional. Su resistencia al flujo será mínima y por lo tanto no presentarán cambios bruscos en su sección transversal, ni abrasiones, ni obstrucciones que puedan impedir o alterar la corriente. Idealmente la limpieza de las tuberías debería hacerse con un sistema CIP y deberían

tener una inclinación que permitiera su auto drenaje. Con este fin se requiere una inclinación de aproximadamente de 1%. Las tuberías deben sujetarse para evitar que se curven y en donde lleven válvulas deberá fortalecerse la sujeción. Debe mencionarse que cuando se utilice plástico como superficie de contacto con los alimentos deberá estar autorizado en el país donde se pretenda usar. Cuando no existan normas nacionales los plásticos cumplirán las reconocidas internacionalmente. Todas las tuberías se montarán a unos 4-10 cm de las paredes para facilitar su limpieza, dependiendo la distancia del diámetro de la tubería. (Forsythe, 1999)

Cuando se utilizan tuberías de vidrio o de plástico deben aplicarse los principios de diseño generales. Las tuberías y accesorios de vidrio se fabrican corrientemente con borosilicatos y generalmente se usan con sistemas CIP. Sin embargo, en la actualidad debido a los problemas originados por el empleo del vidrio en las zonas de procesado de los alimentos, su empleo se limita a ciertos productos especiales y a ventanas de observación montadas directamente en las tuberías. Se entiende que las tuberías de plástico sean más populares ya que son bastante baratas y más ligeras. No obstante, los plásticos no pueden usarse a temperaturas superiores a los 70-90°C, dependiendo de la temperatura máxima del material que constituye el plástico. (Forsythe, 1999)

4. Líneas de vapor y de aire.

Aunque el vapor fluente se emplea, a veces, directamente para calentar los alimentos, por ejemplo, inyección de vapor en la leche en ciertos tipos de procesado UHT, lo más común es proteger al alimento con una barrera impermeable. Si se emplea directamente vapor, deben incorporarse sifones-trampas y filtros para evitar su condensación y la suciedad de las tuberías lleguen al producto. Además, los aditivos del agua de las calderas de calentamiento deben estar autorizados para contacto con alimentos. (Forsythe, 1999)

El aire introducido mecánicamente en la fábrica debe filtrarse antes de penetrar en el área de producto. Los filtros deben ser fáciles de sustituir y de limpiar. Se pondrá especial cuidado en que el aire sea seco, libre de lubricantes e inodoro. (Forsythe, 1999)

5. Equipo de reducción de tamaño.

La reducción del tamaño es una operación del procesado de los alimentos en la que adquieren una forma relativamente constante y menor que la de los materiales básicos crudos, operación que conviene al fabricante y al consumidor. En ciertas operaciones de disminución de tamaño el producto no se trata hasta su forma granular última, tal ocurre con el picado, cortado, formación de cubitos y trituración. Cualquiera que sea el alimento tratado, las superficies de corte o de picado constituyen una fuente importante de contaminación, ya que en estas superficies las bacterias se desarrollan rápidamente debido a que crecen bien en los jugos que exudan las superficies de corte de las materias tratadas. El aumento de la carga microbiana se favorece si la materia prima contiene un gran número de bacterias. Las bacterias que proliferan son transferidas, posteriormente, de las superficies de corte a los alimentos, cuya calidad bacteriológica se va deteriorando con el transcurso del procesado. En los alimentos crudos que recibirán después algún tratamiento térmico el problema es menos grave. (Forsythe, 1999)

Una solución más práctica de este problema es mantener el alimento lo más frío posible, durante su reducción de tamaño para retrasar así el crecimiento bacteriano. Muchos de los procesos de disminución de tamaño aumentan la temperatura del alimento. Pero en estos procesos con frecuencia se añade agua por lo que si se adiciona hielo se consigue cierto control de la temperatura. Siempre se requiere más cuidado con alimentos ricos en humedad, los equipos como cortadoras, molinos y desintegradores exigen un diseño muy bien pensado. (Forsythe, 1999)

6. Mezcladoras.

En la industria alimentaria las mezclas más corrientes son sólidos con sólidos, sólidos con líquidos y líquidos con gas. El mezclado también suele dar lugar a un aumento de la temperatura, por lo que la refrigeración de los ingredientes o el empleo de hielo se emplean a menudo para restringir el crecimiento microbiano. El mezclado de alimentos sólidos se realiza en tambores o mezcladoras giratorias que, debido a su naturaleza seca inherente de los componentes no constituye un problema microbiológico. La mezcla de sólidos con líquidos se lleva a cabo en tambores o tinas con agitadores. Los agitadores deben ser fácilmente separables para su limpieza y estar diseñados con superficies lisas, libres de depresiones y de superficies fáciles de limpiar. Las mezcladoras dispondrán también de tapas adecuadas antes de iniciar el proceso de mezclado. (Forsythe, 1999)

7. Transporte de alimentos.

Los métodos empleados para la transferencia de alimentos sólidos dependen del tamaño del material a transferir. Para alimentos secos y ligeros se utilizan transportes neumáticos. Otros tipos de manejo y transferencia son tornillos sin fin, tolvas, montacargas y cintas transportadoras. (Forsythe, 1999)

Las cintas transportadoras se fabrican de acero inoxidable, de plásticos no absorbentes o de goma de calidad alimentaria. Toda la superficie de un transportador debe ser accesible a la limpieza. La limpieza de los transportadores de cinta ha constituido en el pasado en ciertas ocasiones un problema para la industria alimentaria. Se recomienda la limpieza y el secado continuos de la cinta con lavadoras de aspersión o aire ya que así se controla la contaminación microbiana. (Forsythe, 1999)

El elevador de cangilones es otro ejemplo de maquinaria transportadora. El elevador de cangilones tradicional es difícil de limpiar. Por ello se debe recurrir a diseños higiénicos, fáciles de separar cuando se necesario y no se construirán de madera. (Forsythe, 1999)

8. Compresores.

Los procesos de compresión dan como resultado aumentos en la presión de un fluido. Los compresores, bombas, ventiladores y bombas de vacío son dispositivos diseñados para este propósito. Son importantes para el transporte de fluidos, la fluidización de partículas sólidas, llevar a los fluidos a la presión apropiada para la reacción o el procesamiento. (Smith, 2007)

La compresión de los gases se logra en equipos con aspas giratorias. El equipo giratorio se usa para el flujo de volúmenes considerables, donde la presión de descarga es moderada. Para presiones altas se requieren compresores oscilantes. Las ecuaciones de diseño son independientes del tipo de equipo a utilizar. En el diseño de estos equipos se supone que los cambios en las energías cinética y potencial son insignificantes. (McCabe, 2007)

Existen tres clases principales de compresores: centrífugos, rotatorios de desplazamiento positivo y reciprocantes de desplazamiento positivo. La eficiencia de los compresores reciprocantes depende de la razón de compresión. Así, para una razón de 1.5 estos tienen una eficiencia de 65%, para razones de 2.0 la eficiencia es de 75% y se ubica entre 80 y 85% para razones de 3 a 6. En el caso de los compresores centrífugos se presentan eficiencias entre 76% y 78%. Los compresores rotatorios tienen eficiencias de 80%. (Sinnott, 2008)

a. Compresores de desplazamiento positivo.

Los compresores rotatorios de desplazamiento positivo se utilizan para presiones de descarga mayores a 6 atmósferas. Estos equipos incluyen espas móviles, tipo tornillo. Para presiones de elevadas a muy elevadas y velocidades de flujo moderadas, los compresores recíprocos son el tipo más común. Los compresores recíprocos operan mecánicamente de la misma manera que lo hacen las bombas recíprocas, con la diferencia de que la prevención de fugas es más difícil y el aumento de la temperatura es importante. Las paredes y cabezales del cilindro están provistos de chaquetas para enfriamiento mediante agua o refrigerante. Los compresores recíprocos son accionados generalmente por un motor y casi siempre son de doble acción. (McCabe, 2007)

Cuando la relación de compresión que se requiere es mayor que la que se alcanza en un solo cilindro se utilizan compresores de etapa múltiple. Entre cada etapa hay enfriadores, los cuales son intercambiadores de calor tubulares enfriados por agua o refrigerante. Los sistemas de enfriamiento entre las etapas tienen suficiente capacidad de transferencia de calor para llevar las corrientes gaseosas a la temperatura inicial de succión. Con frecuencia se utiliza un enfriador terminal para enfriar el gas a presión elevada que sale de la última etapa. (McCabe, 2007)

b. Compresores centrífugos.

Los compresores centrífugos son unidades de múltiple etapa que contienen una serie de impulsores en un solo eje que gira a velocidades altas en una coraza maciza. Los canales interiores conducen al fluido desde la descarga de un impulsor hasta la entrada del siguiente. Estas máquinas comprimen volúmenes enormes de aire o gas procesado y hasta una presión de salida de 20 atmósferas. Las unidades que operan a alta presión requieren de enfriamiento entre las etapas.

c. Trabajo de un compresor.

En un proceso de compresión, el trabajo isentrópico es el trabajo de flecha mínimo que se requiere para la compresión de un gas desde un estado inicial dado hasta una presión de descarga determinada. De esta manera, la eficiencia de un compresor se define como:

$$\text{Ecuación No. 2 } \eta = \frac{W_{s(\text{isentrópico})}}{W_s}. \text{ (Smith, 2007)}$$

El trabajo isentrópico de un compresor está dado por la ecuación siguiente:

$$\text{Ecuación No. 3 } W_{s(\text{isentrópico})} = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}} T_1 \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right] \text{ (Smith, 2007)}$$

9. Llenadoras.

a. Llenadoras de flujo volumétrico.

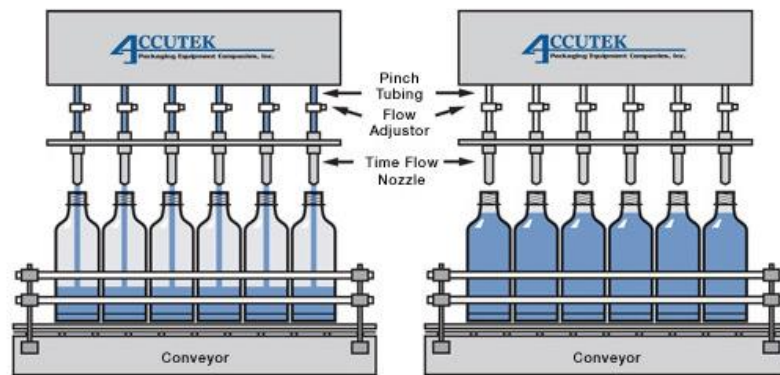
Las llenadoras de flujo volumétrico entregan una dosis exacta de un producto cuando se consideran tres factores: presión de salida del producto en la bomba, diámetro interior de la manguera de producto de la máquina de llenado, velocidad de flujo de producto que pasa por el tubo de dosificación y la boquilla. (Accutek, 2010)

El volumen de productos en cada relleno o dosis se puede regular mediante el control de la cantidad de tiempo que el producto fluye a un ritmo constante a través de un tubo de tamaño estándar en el contenedor. (Accutek, 2010)

Cuando se conoce la presión de salida y dado que la velocidad de la bomba a la que viaja el producto a través de una tubería de diámetro interior conocido es constante, el valor de tiempo de una cantidad específica de producto o dosis se puede calcular. Cuando el tiempo se calcula, un Controlador Lógico Programable (PLC) o un microprocesador controla el valor de tiempo programado para la dosis mediante la apertura de la barra. Por ejemplo, si 1mL fluye a través de un tubo en 1/10 de segundo, 2mL fluirán a través del mismo tubo en 2/10 de segundo y de 3 mL fluirán a través del tubo en 3/10 de segundo. En estas operaciones, la exactitud del relleno está determinada por la suavidad del flujo y la exactitud de los mecanismos de tiempo. (Accutek, 2010)

Cuando se utilice una llenadora de flujo volumétrico, el producto se bombea de un tanque o depósito de aumento utilizando una bomba que corresponda con el producto por la viscosidad, temperatura de llenado, la compatibilidad química, el tamaño de las partículas y el caudal requerido. La bomba mueve el producto hacia el colector y desde este hacia puertos de salida. Luego, desde los puertos de salida múltiple, el producto se moviliza al entubado de producto. El entubado del producto corre a través de un área emergente y de los inyectores de la dispensación. Una vez que la máquina se ponga en funcionamiento, la presión de la bomba se mantiene constante en el colector. El flujo de salida del colector, a través de la tubería, está controlada por el PLC. El PLC o microprocesador controla la cantidad de tiempo que la barra dosificadora permanece abierta permitiendo que el producto fluya. Después que se alcance el tiempo calculado para la dosis adecuada, la barra se cierra y se detiene el flujo de producto a través de la tubería. (Accutek, 2010)

Figura No. 2: Llenado superior con un llenador de tiempo de flujo



(Accutek, 2010)

La mayoría de los fabricantes de maquinaria de llenado utilizan válvulas de control neumáticas o electrónicas. Las piezas de contacto son la bomba, el colector, tubos, y los inyectores. La bomba se puede actualizar a una bomba de acero inoxidable sanitario. El colector y boquillas son de acero inoxidable. La tubería estándar es de silicio y se pueden actualizar a fluoroelastómeros. El fluoroelastómero y el silicio pueden meterse a la autoclave. No hay puntos "muertos" en la trayectoria del flujo para las bacterias o partículas para que se estanquen o crezcan. Si las técnicas de limpieza y desinfección utilizadas en la máquina son adecuadas, hay pocas posibilidades de exposición a las bacterias no deseadas o contaminantes. (Accutek, 2010)

El operador puede controlar los cambios en el producto como la viscosidad, temperatura y otras variables que afectarán a la velocidad de flujo y hacer los ajustes para compensar dichos cambios. (Accutek, 2010)

Diferentes tipos de productos requieren diferentes diseños y tamaños de boquilla. Cuando el diámetro de la boquilla coincide con la tensión superficial del producto, una película o burbuja se forma en la punta de la boquilla al final de cada llenado. Esto evita que cualquier material que queda en la boquilla gotee. Si el diámetro de la boquilla es demasiado grande, la película no se puede formar y puede haber algún goteo al final de cada rellenado. (Accutek, 2010)

Las especificaciones de la bomba también deben ser consideradas. Los dos tipos de bombas usadas generalmente con este tipo de llenadoras son las de desplazamiento positivo y centrífugas. (Accutek, 2010)

Las bombas centrífugas pueden utilizarse cuando un mayor grado de desinfección es necesario mediante el uso de una cabeza de acero inoxidable de la bomba. Las altas temperaturas también pueden requerir el uso de una cabeza de bronce o de acero inoxidable de la bomba. Las bombas centrífugas no por lo general deben tener una actualización de kit de baipás de presión añadido, pero generalmente tienen que ser cebadas y no puede funcionar en seco. (Accutek, 2010)

Las bombas de desplazamiento positivo (PD) se utilizan cuando no se requiere de altas temperaturas o desinfección de alto grado. Las bombas PD también se pueden configurar para accionamiento neumático con mucha facilidad. Las bombas PD generalmente no tienen que ser cebadas y pueden funcionar en seco durante cortos períodos de tiempo y algunos modelos tienen un kit de baipás de presión interno. (Accutek, 2010)

Los modelos automáticos vienen de forma estándar con una base de acero inoxidable de alta resistencia, un transportador de 10 pies de velocidad variable, una bomba, un colector múltiple de seis cabezas de acero inoxidable, y una unidad automática de indexación de botellas. (Accutek, 2010)

La cinta transportadora de 10 pies de velocidad variable se puede actualizar a una de 15 o 20 pies para permitir equipos auxiliares como tapadoras, etiquetadoras, colocadores de manga segura, túneles de calor o selladores de inducción para compartir el transporte con la llenadora. Esto resuelve el problema de los equipos que no vienen de serie con su propia cinta transportadora, igualando las velocidades de numerosas cintas o la transferencia de una a otra. (Accutek, 2010)

A veces es necesario utilizar un tanque de compensación para mantener los niveles exactos de llenado. Si el tanque de producto a granel no se encuentra cerca o la presión de la gravedad afecta al rendimiento de la bomba y su caudal, será necesario un tanque de compensación. Un tanque de compensación suele incluir un sensor de nivel con un kit lógico neumático o electrónico. El kit lógico neumático o electrónico es el encargado de controlar la válvula responsable de permitir que la bomba auxiliar llene el tanque de compensación. La bomba auxiliar es también una opción de actualización. El tanque de compensación permite que la bomba de la máquina de llenado se mantenga a una presión estable y constante, maximizando su precisión. (Accutek, 2010)

Algunos productos que las máquinas de llenado de tiempo de flujo que pueden usarse para llenar son el agua, jugos, leche, perfumes, jabones líquidos, sangre, orina, alcohol, yodo, medicamentos, acondicionadores, entre otros. (Accutek, 2010)

b. Llenadoras de desplazamiento positivo.

Las llenadoras de desplazamiento positivo usan una bomba de desplazamiento positivo para llenar cada cabeza. Utilizando un sistema de control, como un PLC, el operario puede controlar cada cabeza de forma individual, sin comprometer la exactitud del volumen. Para garantizar la integridad del producto, las cabezas de las bombas son construidas de acero inoxidable grado alimenticio. Estas llenadoras pueden llenar desde 4 hasta 10 galones por minuto. Estas llenadoras están diseñadas para productos de mayor viscosidad o cuando se requiere mayor precisión. Además, son lo suficientemente versátiles para manejar diferentes envases y diferentes volúmenes de llenado. (Accutek, 2010)

Algunas llenadoras de desplazamiento positivo se basan en un llenado volumétrico. Es decir, existe un volumen previamente fijado que se llena en cada envase. De esta forma, se mantiene constante el volumen de llenado. (Accutek, 2010)

Las ventajas de este tipo de llenadoras incluyen su exactitud, flexibilidad, así como su fiabilidad. Además, son relativamente fáciles de limpiar. Por otro lado, la posibilidad de llenar con poca variación de volumen entre un envase y otro da a la empresa ventajas económicas ya que se maximiza el rendimiento del proceso. (Accutek, 2010)

La flexibilidad de estos sistemas de llenado permite adaptarse a una gran variedad de productos, desde alcohol hasta compuestos muy viscosos. Además, puede utilizarse para llenar contenedores rígidos o ligeros, sin que estos últimos se deformen por fuerzas de vacío o presión que se utilizan en las llenadoras de desplazamiento positivo. (Accutek, 2010)

Estos sistemas son confiables y su mantenimiento es muy sencillo ya que constan de un diseño bastante simple. El proceso de limpieza de los sistemas de llenado volumétricos es bastante sencillo ya que no poseen secciones estrechas, ni dispositivos muy sensibles que podrían dañarse al utilizar agua o aire a presión. (Accutek, 2010)

La cabeza de la bomba se selecciona en base a dos características: el flujo volumétrico de llenado (4 o 10 galones por minuto), dependiendo de la velocidad de llenado deseada. Las bombas reciprocantes se utilizan para líquidos de alta viscosidad tales como detergentes, grasas y productos que se manejen a altas o muy bajas temperaturas. Las bombas rotatorias se utilizan para sustancias de viscosidades mucho más bajas y que no requieren de cuidados sanitarios exigentes o sustancias abrasivas. Todas las bombas son fabricadas en diferentes materiales según las necesidades del proceso. (Accutek, 2010)

c. Llenadora de pistón volumétrico.

Una llenadora de pistón mide y llena el envase con producto por acción de un pistón sencillo unido a cada cabeza llenadora. El movimiento de dicho pistón tiene una fase de llenado, en la cual succiona producto del tanque de almacenamiento a través de una válvula de cheque hacia el cilindro del pistón. A continuación, el pistón se vacía, haciendo que el producto fluya a través de otra válvula cheque y hacia el envase. (Accutek, 2010)

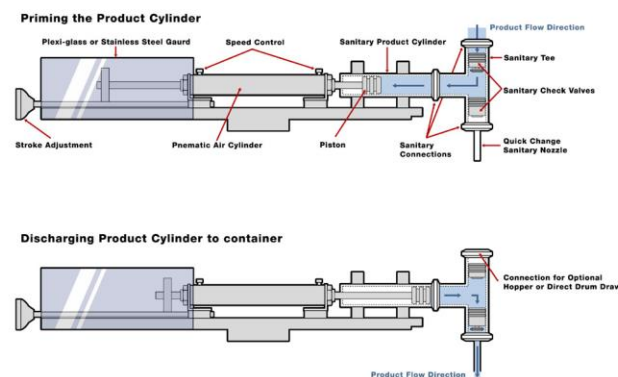
El volumen del cilindro dentro del cual opera el pistón determina el volumen a traspasar al envase. Entre mayor sea dicho cilindro, mayor volumen se podrá transferir. De igual manera, se puede ajustar la carrera del pistón para variar este volumen. De esta cuenta, un pistón de mayor capacidad se puede ajustar de manera que se satisfagan diferentes necesidades de llenado. (Accutek, 2010)

La precisión de llenado de cada equipo depende del volumen al que se ajusta el pistón. Entre mayor sea el volumen de llenado, mayor exactitud tendrá la medida. Existen algunos equipos cuya precisión llega a ser del $\pm 0.5\%$ cuando son usadas en el volumen recomendado para el tamaño específico del cilindro de llenado. (Accutek, 2010)

El método usado para evitar fugas de líquido durante la corrida del pistón consiste en colocar un empaque u O-ring. Estos empaques redondos se sitúan alrededor de la cabeza del pistón. Estos aros pueden fabricarse de una gran gama de materiales para elegir aquel que se adapte mejor a las condiciones de llenado y características del líquido a trasvasar. Entre lo necesario a tomar en cuenta está la temperatura y características abrasivas o corrosivas del líquido que se llena. (Accutek, 2010)

Entre los productos que se pueden llenar con este tipo de llenadora son jugos de vegetales y frutas, salsas viscosas, pastas de dientes, pintura, cremas, jabones, entre otros productos. (Accutek, 2010)

Figura No. 3: Llenadora de líquidos de pistón volumétrico



(Accutek, 2010)

d. Llenadoras por nivel.

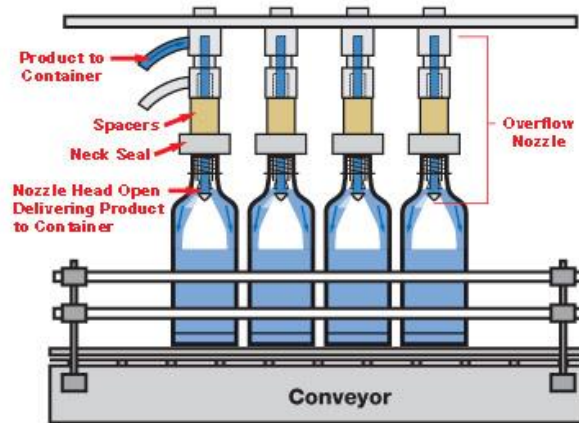
Llenadoras por nivel o gravedad pueden ser usadas para la mayoría de los líquidos y semi sólidos. Productos cuya consistencia tan pesada, como salsa de tomate o mostaza, pueden ser llenadas de esta forma, pero se debe tener mucho cuidado con productos más pesados para asegurarse que la temperatura y consistencia de ellos es mantenida a un nivel en el cual el producto fluye libremente. Aunque las llenadoras de nivel constante puedan ser ajustadas para que automáticamente operen a velocidades bajas cuando el producto fluye más despacio, este cambio en la rapidez de llenado puede afectar el tiempo del sistema y de otras líneas de empaque en la línea. (Accutek, 2010)

El flujo de producto es producido en el sistema de llenado por gravedad, posicionando el tanque de entrega del producto lo suficientemente alto para que la fuerza de gravedad pueda ser usada para mover el producto a través de los mecanismos de alimentación en la línea de llenado. (Accutek, 2010)

El flujo es iniciado y detenido por la acción de una válvula la cual es abierta por la fuerza de contacto que hay entre ella y el contenedor. Este es el logro que se obtiene al bajar la cabeza de llenado en la parte superior del contenedor con una cabeza neumática. Cuando la presión en el contenedor es suficiente, la válvula se abre y el producto fluye desde el tanque de suministro hasta

el contenedor. El aire y cualquier gas que sea formado por la turbulencia en el llenado del contenedor son forzados a salir a través de un tubo de ventilación. El producto continuará llenando el contenedor y sobre llenará hasta que la cabeza suba y la válvula se cierre. Cuando el contacto con la cabeza de llenado y el contenedor se rompe, el resorte cierra la válvula de llenado y previene el desperdicio de producto mientras que la cabeza es removida desde el contenedor y es posicionada en el siguiente contenedor. La cantidad de tiempo en el cual la cabeza es bajada y la válvula se mantiene abierta, así como la viscosidad del producto son las características que determinan la cantidad de producto que es dispensado dentro del contenedor. (Accutek, 2010)

Figura No. 4: Llenadora de nivel durante el proceso de llenado



(Accutek, 2010)

El nivel de llenado del contenedor es determinado por la localización del puerto de sobre llenado en el tubo sin el cuello del contenedor. Cuando el producto alcanza el puerto de sobrelleñado, el llenado es completo, pero el flujo continúa a través del tubo de sobre llenado hasta que el sello en el contenedor es roto y la válvula cubre el puerto en la boquilla de llenado y detiene el flujo. (Accutek, 2010)

Los requerimientos de mantenimiento de las llenadoras por gravedad son relativamente simples. Los componentes de llenado deben de mantenerse limpios y bien lubricados. Igualmente, los empaques y los resortes deben de ser remplazados cuando su uso es excesivo. La consistencia del producto y el libre movimiento de todas las partes movibles son críticos para una operación suave. (Accutek, 2010)

Entre los productos que se pueden llenar utilizando este equipo se puede mencionar detergentes y aromatizantes, medicamentos, urea, jarabes, solución salina, repelentes, colorantes, entre otros. (Accutek, 2010)

H. Factores de seguridad de sobredimensionamiento

Un factor de seguridad de sobredimensionamiento es un factor que indica la proporción en la que se debe sobredimensionar un equipo para cumplir con cambios o variaciones en las operaciones de una industria, a lo largo del tiempo. (Peters, 1991)

La aplicación al azar de factores de seguridad puede ser desastroso para un diseño. Cada equipo debe ser diseñado de modo que cumpla con una actividad y función específica. Por ello, si se tiene

incertidumbre sobre si el equipo es adecuado o no, un factor de seguridad razonable puede ser aplicado. Aumentos potenciales en la capacidad de una línea son usados como excusa para aplicar factores de seguridad muy altos. Esto puede resultar en un sobredimensionamiento tal que implique que la planta posea equipo ocioso y, además, esto afecta la oportunidad de los equipos de demostrar su valor económico. (Peters, 1991)

Las magnitudes de los factores de seguridad son estimadas por consideraciones económicas y del mercado, la precisión de los datos y cálculos usados para el diseño, cambios potenciales en la capacidad. Generalmente, el factor de seguridad para las bombas varía entre 10% y 20%. Para compresores rotatorios y reciprocantes un 10% y para equipos tales como intercambiadores, ciclones y envasadoras se puede utilizar un factor de 10% a 15%, dependiendo de certeza de los datos disponibles para el diseño. (Peters, 1991)

I. Diseño de una línea de llenado

1. Envasado.

El envasado provee de protección química, física y biológica al producto procesado. Desde el punto de vista químico el envase puede impedir el paso del vapor de agua, oxígeno y de otros gases que puedan afectar al alimento. Por otro lado, el envase puede proteger de la luz, el polvo y la suciedad, así como de la pérdida de peso. El envase impide el acceso al alimento de microorganismos e insectos. Por otro lado, tiene una influencia considerable en la forma y velocidad de la alteración, supervivencia y crecimiento de patógenos que pudieran estar presentes en el alimento. La elección del material dependerá de las condiciones de almacenamiento, transporte y resistencia de estos materiales. Los materiales plásticos más recomendados para envasar son polietileno de alta y baja densidad, polipropileno y cloruro de polivinilideno. (Ho, 2003)

Los contenedores son principalmente bidones, cubos y latas de acero, plástico o vidrio. La industria química a menudo utiliza todos estos contenedores, pero la mayoría de los envases que se usan para productos químicos son bidones y cubos metálicos. (Perry, 2001)

Una vez que se ha determinado el embalaje apropiado de acuerdo con las normas gubernamentales y de las empresas transportadoras, es necesario determinar el tipo de material, este debe ser compatible con el producto que se manejará. Cuando no se cuenta con información previa, es posible determinar la compatibilidad mediante pruebas de laboratorio. Es recomendable realizar esta clase de pruebas antes que las pruebas de campo. (Perry, 2001)

En algunas ocasiones sucede que el producto no es compatible con el metal. Esta circunstancia ha conducido a un contenedor importante, el bidón de plástico. Hecho de polietileno de alta densidad moldeado por soplado, este contenedor es especialmente útil para productos que podrían reaccionar con el acero al carbón o cuyo valor no justifica emplear acero inoxidable. Se pueden dar tratamientos especiales con objeto de que la superficie interna sea impermeable a la penetración de muchos productos. La sulfonación y la fluorización son los métodos más destacables. (Perry, 2001)

2. Línea de llenado.

Entre las consideraciones para la línea de llenado se encuentran las referentes al equipo de llenado y pesado, el manejo mecánico de recipientes vacíos y llenos, la carga de recipientes llenos en vehículos de transporte, diseño de estaciones de trabajo para uso eficiente y seguro del personal,

la aprobación de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y de otros códigos. (Perry, 2001)

El proceso de llenado y pesado de recipientes está dividido en dos partes: envío del líquido al recipiente y pesado de la cantidad deseada. Una práctica conveniente para el llenado es contar con un sistema de bombeo del producto líquido a través de una serie de tuberías de dosificación hasta el sitio de llenado, esto es recomendable siempre y cuando se mantengan pérdidas razonables de velocidad y de presión. El punto terminal de la línea de llenado es una válvula de control que se acciona por una señal enviada desde una unidad de pesado o una báscula. (Perry, 2001)

Las válvulas pueden operarse hidráulica, neumática o eléctricamente si su mecanismo cuenta con un sistema eléctrico, neumático o manual. El sistema puede ser de boquilla de llenado en cabeza o manual. El sistema puede ser de boquilla de llenado en cabeza o en fondo. El llenado en cabeza se emplea habitualmente para la mayor parte de los productos, en especial de materiales viscoso o suspensiones, mientras que el llenado al fondo se aplica para productos de baja viscosidad, para los productos cuyo punto de inflamación es menor de 37.8 °C (100°F) o en lugares donde la electricidad estática es importante. También se emplea cuando se trata de productos que tienden a formar espuma. Cuando se use el sistema de llenado en fondo es necesario considerar el espacio que permita la fácil extracción de la boquilla del recipiente. Deben tomarse las precauciones necesarias en ambos sistemas de llenado para recolectar el producto que gotea de la boquilla cuando ya se ha completado el llenado. (Perry, 2001)

En la selección de equipos de envasado de entre la gran variedad disponible y su combinación con el sistema total, tiene especial interés la relación del equipo con las producciones instantáneas, promedio y personal. El sometimiento a métodos, la subdivisión en elementos de trabajo y la predicción del tiempo necesario para cada función operacional, permiten la identificación precisa de los trabajos y su contenido. De ese modo, se puede calcular la producción real promedio y, a partir de ese valor, la producción instantánea. (Perry, 2001)

El índice instantáneo es la velocidad que incluyen los fabricantes de equipos en sus garantías de funcionamiento, se define como el número de embalajes producidos por minuto, cuando el equipo funciona en condiciones de estado estacionario. El índice promedio es la medida que necesita el usuario para planear la producción y sus compromisos. Este se puede definir como el promedio aritmético (embalajes por minuto) producidos en un turno (por lo común 8 horas). Es preciso tomar en consideración la seguridad del equipo al determinar los índices promedio, puesto que los fallos de funcionamiento pueden tener efectos importantes sobre los valores de los índices. También es necesario considerar el efecto de programar la producción sobre el equipo, el tiempo de paro y el cambio de un producto a otro. Es de interés de quien desea adquirir un equipo de envasado que el índice instantáneo sea mayor al índice promedio requerido para que el equipo cumpla con las condiciones de producción. (Perry, 2001)

Los aparatos de pesado pueden ser tan simples como una plataforma en la que el operador cierra la boquilla de llenado cuando se alcanza el peso deseado. El pesado automático puede emplear una celda de carga que activa el mecanismo de corte de flujo a través de un microprocesador. La llegada de los microprocesadores, del reconocimiento de imágenes y el control del motor por pasos, junto con la precisión en el pesado, ha conducido a sistemas hechos a medida del cliente que permiten llenar cualquier recipiente secuencialmente sin que el operador tenga que introducir la boquilla de llenado en cada contenedor. (Perry, 2001)

Es necesario hacer consideraciones críticas en el diseño de las estaciones de trabajo, de tal manera que los operarios de envasado trabajen en un ambiente de seguridad y sean lo más

productivo posible. El diseño de los métodos, los estudios de tiempos y movimientos y los datos predeterminados de elementos de trabajo son útiles para determinar la cantidad de trabajo involucrada en cada tarea y la adecuada secuencia de operaciones que permitan una buena productividad. Es de especial importancia (y a menudo se ignora) el hecho de tener a un operario realizando labores de servicio en un bidón mientras otro está siendo llenado. Lo anterior es aún más significativo cuando el sistema de llenado es automático y no requiere atención por parte del operador. Las siguientes actividades pueden realizarse mientras se está llenando un bidón: quitar tapones de cierre de bidones vacíos que esperan ser llenados; reemplazar y ajustar los cierres o tapones de bidones que ya han sido llenados; marcar y etiquetar los bidones de acuerdo con un código preestablecido; iniciar el llenado, sellado y etiquetado, de acuerdo con el sistema de manejo, para enviarlo al almacén o para su transporte. (Perry, 2001)

El envasado de líquidos en recipientes pequeños es un campo especializado. Los llenadores de botellas y latas a alta velocidad son típicamente de un diseño volumétrico más que gravimétrico. Los llenadores volumétricos y de pistón de hasta 3.8 L (1 galón) se usan casi universalmente cuando la velocidad de llenado es superior a 10 contenedores por minuto. Por debajo de esta velocidad, el llenado se controla manualmente por pesado e incluso volumétricamente mediante un operador que activa controles manuales. (Perry, 2001)

Los transportadores utilizados en líneas de empaque pueden ser de banda sin fin, articulada o de rodillos motorizados (o locos). Las dos primeras se utilizan para movilizar envases para el llenado, taponado y etiquetado. Cuando se manejan empaques secundarios es común utilizar rodillos locos o motorizados, ya que la base de los empaques, como las cajas, puede deslizarse fácilmente sobre los rodillos. (Ho, 2003)

Los materiales de construcción de la estructura del transportador suelen ser de hierro galvanizado o acero inoxidable. Las bandas comúnmente son de polímeros, ya sean continuas o articuladas, aunque se pueden cotizar de acero inoxidable. El tipo de material depende del proceso y el producto a empacar. Los rodillos comúnmente son de plástico o hierro galvanizado. Para guiar los empaques se utilizan guardas laterales y para controlar las velocidades se pueden utilizar variadores eléctricos de velocidades. (Ho, 2003)

Los transportadores pueden tener varias funciones adicionales al simple hecho de transportar un empaque de un lugar a otro. Hay transportadores que acumulan los empaques, o que los agilizan. También hay algunos que desvían los empaques de una dirección a otra. Actualmente se pueden controlar los transportadores utilizando sensores y controladores, permitiendo así un mejor flujo del material a transportar. (Ho, 2003)

J. Control de operaciones

Las industrias de alimentos deben controlar los peligros alimentarios a través de algún sistema que permita analizar peligros y puntos críticos del proceso. Para controlar los peligros es necesario identificar todas las etapas de la operación que sean críticas para la inocuidad de un producto. Además, se debe implementar procedimientos de control efectivos en las etapas estipuladas, vigilar las etapas para garantizar la eficiencia continua. (Moreas, 2001)

Dentro de los procedimientos de control más comunes se puede mencionar la revisión de la fórmula del producto que provee una base para evaluación de los aditivos alimentarios, las exigencias nutricionales, los alérgenos alimentarios. Adicional, se debe contar con un proceso exacto de etiquetado del producto en el que se posea la información de composición, número de

lote, fecha de producción y fecha de vencimiento. Asimismo, es importante colocar las especificaciones en cuanto al tratamiento que se le debe dar al producto. (Moreas, 2001)

1. Contaminación microbiológica.

Los microorganismos patógenos pueden ser transferidos de un alimento a otro, ya sea por contacto directo por manipulación, por las superficies en contacto con los alimentos o por el aire. Los alimentos crudos, no procesados, deben estar efectivamente separados de los alimentos procesados listos para consumo. Esto se logra a través de medios físicos o por lapsos adecuados de desinfección. El acceso a las áreas de producción puede ser restringido o controlado. Los empleados deben usar ropa protectora y mantener un lavado de manos constante para reducir las probabilidades de contaminación por manipulación. El calzado debe ser cerrado y se debe utilizar redcecilla, mascarilla para poder ingresar al área de proceso. (Silliker, 1980)

Es recomendable realizar controles y análisis microbiológicos periódicos que permitan determinar las condiciones de los alimentos procesados, materias primas o productos intermedios. Dentro de los parámetros que se analizan se puede mencionar la presencia de microorganismos tales como staphylococcus aureus, escherichia coli, clostridium perfringens, listeria monocytogenes y salmonela. (Silliker, 1980)

La presencia de estos microorganismos puede darse desde las materias primas. Por ello, la empresa no debe aceptar ninguna materia prima o ingrediente si éste contiene parásitos o microorganismos indeseables. Las materias primas deben ser inspeccionadas y clasificadas antes del procesamiento. En caso necesario deben realizarse análisis de laboratorio para establecer las condiciones en las que se encuentran los productos. Todos los análisis que se realicen a un producto o materia prima deben estar dentro de un rango determinado por lo que se debe contar con una especificación aprobada por la empresa. El productor debe contar con un certificado de análisis para cada lote o calidad garantizada por el proveedor. Se debe establecer un historial de cumplimiento de las especificaciones siempre que haya un cambio en el proveedor o en el producto. En el caso de alimentos frescos como frutas y verduras se debe revisar minuciosamente para verificar el buen estado del alimento, la ausencia total de contaminantes o alguna señal que indique que el alimento no está en buen estado (mal olor, presencia de moho). (Silliker, 1980)

2. Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP).

La industria alimentaria normalmente trata de establecer nuevos sistemas de control. Uno de los programas para eliminar los peligros del consumo de alimentos y consecuentemente reducir el número creciente de brotes de toxiinfecciones alimentarias declarados, es el Análisis de peligros y puntos críticos de control (Hazard Analysis Critical Control Points, HACCP). (Moreas, 2001)

Antes bajo el término de control de calidad se incluían todos los factores controlables que determinaban la calidad del producto hasta que llegaba a las manos del consumidor. Después, en la jerga de la mayoría de las compañías alimentarias se popularizó el término aseguramiento de calidad. Más recientemente se han incorporado los términos de análisis de puntos críticos de control. (Forsythe, 1999)

El control de calidad se ocupa del control del procesado de los alimentos, las materias primas y de los productos finales para asegurar que cumplen las normas o estándares establecidos y la higiene de la línea de procesados. Por otro lado, el aseguramiento de calidad trata de aspectos más generales como la evaluación de las materias primas y los estándares del producto final, diseño de

la planta, disposición de la línea de procesado, diseño de la maquinaria, envasado, almacenamiento y distribución. (Forsythe, 1999)

El análisis de peligros y puntos críticos de control HACCP, es una forma de conseguir una producción higiénica de alimentos previniendo sus problemas. No incluye la calidad del producto. Se evalúan los peligros del proceso de producción y sus riesgos relativos. Después se establecen los procedimientos de control y verificación para mantener la elaboración de un producto aceptable higiénicamente, controlando para ello las etapas claves del proceso de producción en las que se hayan identificado peligros. La implementación del plan HACCP constituye un mecanismo que asegura que se mantiene en todo momento la seguridad del producto. (Forsythe, 1999)

HACCP se inició como una iniciativa de la NASA para que la comida elaborada para los astronautas fuera completamente segura y sin riesgo de contaminación en su proceso, evitando así la aplicación de proceso de control de calidad destructivo al producto final. HACCP se introdujo en los Estados Unidos en 1971 en la conferencia sobre protección alimentaria. (Forsythe, 1999)

La producción de alimentos y la distribución de comidas preparadas necesitan estándares de higiene altos tanto en los países exportadores como en los consumidores. El sistema HACCP se ha convertido en el medio de asegurar la calidad de la producción alimentaria aceptado internacionalmente. Este análisis se ha incorporado a las buenas prácticas de manufactura. Si bien no garantiza que el alimento tiene una calidad aceptable, HACCP asegura un estándar de higiene aceptable. Se ha propuesto que el HACCP sustituya a los análisis del producto final debido a que del último sólo se muestrea una pequeña porción que puede no ser representativa. El HACCP ayuda a identificar los aspectos clave de sus procesos de elaboración y controlar la carga microbiana del producto final, mediante una técnica preventiva y no mediante el procedimiento tradicional de análisis del producto final. La adopción del HACCP puede ser específica del producto o bien, de carácter general. (Forsythe, 1999)

3. Principios del HACCP.

Para obtener un producto alimenticio seguro con recuentos microbianos y concentraciones de toxinas despreciables deben establecerse tres principios de control fundamentalmente. El primero es prevenir la contaminación microbiana de los alimentos con medidas de protección higiénicas, entre las que se incluyen el examen de los ingredientes, de los locales, del equipo y los protocolos de limpieza y desinfección general y del personal. (Forsythe, 1999)

El segundo principio es evitar el desarrollo microbiano y la formación de toxinas en los alimentos. Esto se consigue con la refrigeración y congelación o con otros procesos, como disminución de la actividad del agua y del pH. Sin embargo, estos procedimientos no destruyen los microorganismos. (Forsythe, 1999)

El tercer y último principio es eliminar cualquier microorganismo productor de toxiinfecciones alimentarias. Por ejemplo, mediante el empleo de los tiempos y temperaturas de procesado necesarios, o adicionando a los alimentos los conservantes adecuados. (Forsythe, 1999)

Estos controles son fundamentales para el HACCP y se alcanzan en siete fases o principios:

a. Principio 1.

Establecimiento del análisis de peligros. Se prepara una lista de las fases del proceso en las que hay peligros significativos y se describen las medidas preventivas. (Forsythe, 1999)

b. Principio 2.

Identificar los puntos críticos de control del proceso (CCP). (Forsythe, 1999)

c. Principio 3.

Establecer los límites críticos de las medidas preventivas que corresponden a cada CCP identificado. (Forsythe, 1999)

d. Principio 4.

Establecer las necesidades de control de los CCP. Indicar los procedimientos basándose en los resultados del control para ajustar el proceso y mantener el control. (Forsythe, 1999)

e. Principio 5.

Establecer las acciones correctoras que deben tomarse cuando el control indique una desviación del límite crítico establecido. (Forsythe, 1999)

f. Principio 6.

Establecer procedimientos eficaces de conservación de los registros e informes que apoyen el sistema HACCP. (Forsythe, 1999)

g. Principio 7.

Establecer procedimientos para verificar que el sistema HACCP funciona correctamente. (Forsythe, 1999)

4. Sistema de aseguramiento de calidad

El nivel de calidad aceptable (AQL, Acceptable Quality Level) es un método estadístico de control de la calidad que, a partir de un número limitado de muestras, permite inferir sobre la calidad del total de la producción con una fiabilidad inicialmente definida. Este es un sistema de muestreo por variables que puede aplicarse a una única característica de calidad, medida en una escala continua. (Semperit, 2004)

La demanda de productos para uso o consumo diario crece continuamente. La invención de la máquina de vapor a principios del siglo XIX constituyó la base de la era industrial. Los métodos artesanales se fueron sustituyendo por la producción en serie. Esto inició un desarrollo de la producción y de la economía en Europa y en los Estados Unidos. A través de la producción en masa, muchos productos han podido fabricarse a costos considerablemente más bajos. Esto permitió bajar los precios de los productos lo que a su vez aumentaba la demanda de estos. No obstante, también fue necesario tomar medidas nuevas para establecer niveles de calidad en la fabricación de productos en masa. (Semperit, 2004)

El progreso técnico, así como el empleo de tecnologías modernas como la electrónica, garantizan hoy en día unos niveles de calidad muy altos y, sobre todo, constantes. No obstante, cada proceso de fabricación tiene su porcentaje de defectos, aunque sea mínimo. Ningún fabricante

puede garantizar una producción sin defecto alguno. Debido a que la producción se realiza en masa, no es posible controlar completamente el funcionamiento de cada producto, ya que muchos métodos de ensayo destruyen el producto. Este tipo de control de calidad se llama ensayo destructivo. Por tanto, estos procedimientos de ensayo se aplican a una parte pequeña pero representativa de la producción. (Semperit, 2004)

El ejército estadounidense desarrolló ya antes de la Segunda Guerra Mundial un sistema que permite ofrecer una calidad constante, también en productos que se pueden controlar solamente mediante ensayos destructivos. Este método fue denominado Estándar Militar 105-d. Estos fueron los inicios del sistema AQL, utilizado actualmente. La implementación de dicho sistema implicó un ahorro considerable en el tamaño de la muestra y la preservación de las unidades medidas. (Department of Defense, 1957)

El método AQL consiste en tomar una cantidad parcial del lote de producción total por muestreo, según un procedimiento bien definido. Estas muestras se controlan según las normas y especificaciones determinadas. El resultado permite sacar deducciones sobre la calidad del lote total. Es lógico que cuanto más se exige de un producto, tanto más rígidas son las normas de control prescritas. Por tanto, el AQL es un procedimiento estadístico para determinar la calidad. (Semperit, 2004)

El valor AQL de un plan de muestreo es una medida del nivel de calidad que será aceptado. El AQL se define como el porcentaje de unidades defectuosas (por cada 100 unidades producidas) que se aceptan en el plan de muestreo. Los valores más comunes de AQL van desde 0.04% hasta 15.00%. El AQL para la industria alimenticia, farmacéutica y de artículos utilizados en la medicina regularmente tiene un valor de 1.0%, es decir, se espera que el 1.0%, como máximo, de cada 100 unidades presente defectos significativos. Para dichas industrias se recomienda utilizar valores de AQL de hasta 2.5%. (Hubbard, 2003)

Existen tres niveles diferentes de ensayo, el normal, el riguroso y el reducido. La decisión de la clasificación entre los tipos de ensayo dependerá de los criterios de calidad de la empresa y de cuán crítico o propenso a defectos sea un proceso o producto. Es posible que las empresas escojan un nivel de ensayo y mantengan dicho nivel indefinidamente o puede moverse de un nivel a otro según el desempeño de su línea. Regularmente, las empresas pueden iniciar con un nivel riguroso, el cual implica un rango menor de aceptación de unidades defectuosas y conforme se muestra una consistencia en los resultados, las empresas pueden tomar la decisión de pasar a un nivel menos estricto. Para poder pasar de un nivel riguroso al normal se deben obtener 5 lotes aceptables de forma consecutiva. Asimismo, se puede pasar de un nivel de inspección normal a un nivel reducido después de que 10 lotes consecutivos hayan sido aceptados. (Department of Defense, 1957)

No obstante, el proceso deberá regresar a los niveles más estrictos de control al momento en el que un lote incumpla con el criterio establecido. Se debe pasar de nivel reducido a nivel normal al momento en el que 1 lote sea rechazado. Por otro lado, se pasa de nivel normal a riguroso cuando 2 lotes consecutivos sean rechazados. (Hubbard, 2003)

Para determinar el número máximo de muestras que pueden presentar defectos, se establece como primer paso, el fabricante determina la cantidad total del género producido. Después se determina el nivel de ensayo o inspección: normal, riguroso o reducido. Para cada nivel, según el tamaño del lote, se clasifica el tamaño de la muestra con letras indicadoras de A-R. En el Cuadro 1, que se muestra a continuación, se puede determinar el código al que pertenece el proceso, basado en el tamaño del lote y el tipo de ensayo a realizar. (Semperit, 2004)

A partir de la clasificación obtenida para el tamaño de muestra se deberá determinar el número máximo de unidades defectuosas para poder aceptar un lote y el número mínimo de unidades defectuosas para poder rechazar un lote. (Semperit, 2004)

Utilizando el Cuadro No. 2 y con el valor de AQL definido por la empresa (1.0 para industria alimenticia), es posible determinar el número de unidades defectuosas para aceptar o rechazar un lote. En dicho cuadro, el tamaño de la muestra y el número de unidades defectuosas para la aceptación o rechazo, según el nivel de inspección a realizar (normal, riguroso o reducido). El primer número es el número de muestras defectuosas que se pueden encontrar y, con el cual, aún se puede aceptar el lote de unidades producidas. Así, si el número de unidades defectuosas encontradas es igual o menor a este número, se podrá aceptar el lote. El segundo número es el número mínimo de muestras defectuosas que deben presentarse para rechazar el lote. Si se encuentra un número de unidades defectuosas igual o mayor a dicho número, el lote se considerará como rechazado. (Semperit, 2004)

Cuadro No. 1: Clasificación tamaño muestra AQL de calidad por tamaño de lote producido

Tamaño de lote	Código de muestra
2 hasta 8	A
9 hasta 15	B
16 hasta 25	C
26 hasta 50	D
51 hasta 90	E
91 hasta 150	F
151 hasta 280	G
281 hasta 500	H
501 hasta 1200	J
1201 hasta 3200	K
3201 hasta 10000	L
10001 hasta 35000	M

(Semperit, 2004)

K. Diseño de la línea de envasado automático del preparado vegetal

1. Descripción de línea de producción de preparado vegetal.

Actualmente la empresa en cuestión cuenta con la línea semiautomática para la producción de este preparado vegetal. En dicha línea semiautomática se han establecido ciertos procesos de control buscando asegurar la inocuidad del producto final. No obstante, el manejo y manipulación de las materias primas y del producto final, las variaciones de temperatura y la naturaleza de los ingredientes (vegetales y lácteos), ponen en riesgo la calidad e inocuidad del producto. El objetivo de este proyecto es diseñar la línea de llenado de forma que se reduzcan los riesgos de contaminación, cambios de temperatura, reduzca el crecimiento microbiano y aumente la vida útil. Asimismo, se busca una reducción en los costos de mano de obra directa e indirecta implicadas en el proceso actual.

El área de producción cuenta con un área de recepción y evaluación de materias primas, área de limpieza y preparación de materias primas, área de producción, área de llenado, área de almacenamiento y despacho de producto terminado. Se cuentan con puntos de control en las diferentes partes del proceso para asegurar el cumplimiento de variables y propiedad clave del producto.

2. Localización de la línea producción y de envasado.

La industria alimenticia en cuestión se encuentra ubicada en una zona industrial de la Ciudad de Guatemala. Esta ubicación proporciona a la empresa una ventaja logística ya que se encuentra cerca de sus proveedores y de las principales carreteras lo que facilita el transporte de producto terminado a los diferentes puntos de venta. La línea de envasado se ubicará en el área donde actualmente se produce el preparado de forma manual, reubicando los equipos bajo el diseño presentado en el presente trabajo. Esto permitirá aprovechar que ya se cuenta con las medidas de aislamiento de esta área con relación a otras donde se manejan otros tipos de productos, tanto a través de barreras físicas como por cortinas de aire. De esta forma, se reducen los riesgos de contaminación biológica o química de las materias primas y productos finales. Esta área ya cuenta con la disponibilidad de servicios tales como agua, ventilación, refrigeración, electricidad y aire comprimido.

Cuadro No. 2: Límites de calidad aceptable para AQL 1.0

Subnivel	Reducido		Normal		Riguroso	
	Tamaño muestra	Rango unidades	Tamaño muestra	Rango unidades	Tamaño muestra	Rango unidades
A	2	0 1	2	0 1	2	0 1
B	2	0 1	3	0 1	3	0 1
C	2	0 1	5	0 1	5	0 1
D	3	0 1	8	0 1	8	0 1
E	5	0 1	13	0 1	13	0 1
F	8	0 1	20	0 1	20	0 1
G	13	0 2	32	1 2	32	1 2
H	20	0 2	50	1 2	50	1 2
J	32	1 2	80	2 3	80	1 2
K	50	1 2	125	3 4	125	2 3
L	80	2 5	200	5 6	200	3 4
M	125	3 6	315	7 8	315	5 6
N	200	5 8	500	10 11	500	8 9
P	315	7 10	800	14 15	800	12 13
Q	500	10 13	1250	21 22	1250	18 19
R	800	10 13	2000	21 22	2000	18 19

(Department of Defense, 1957)

3. Descripción del producto.

El preparado vegetal está compuesto de cuatro ingredientes principales, dos vegetales en fase sólida (V101 y V102) y dos aditivos que se utilizarán en fase líquida (A103 y A104). Por razones de confidencialidad de la empresa todos los ingredientes y fórmula del producto serán codificados. El ingrediente vegetal V101 es el que está presente en una mayor proporción con un 75%, seguido del ingrediente V102 con un 10%. El aditivo A103 y A104 se encuentran en un 10% y en un 5%, respectivamente. Se desea que la presentación de venta final del producto sea en envases de 0.113kg (4 onzas).

4. Materias primas.

Todas las materias primas se almacenan en una cámara fría con temperatura de 0°C a 4°C. Los ingredientes V101 y V102 se manejan en bolsas de 15kg y 18kg, respectivamente. Ambos se recibirán limpios y desinfectados para uso inmediato en la producción del preparado. El aditivo A103 se recibirá en bolsas de 10kg y el aditivo A104 en bolsas de 5 kg, ambos expuestos previamente a tratamiento térmico para uso a temperatura ambiente. Para el uso de las materias primas se seguirá el método de rotación PEPS (Primero que entra, primero que sale) para evitar acumulaciones y pérdidas de materias primas. El envase actual se discontinuará en sustitución del nuevo empaque dispuesto para la línea de llenado automático. No se manejarán ambos empaques al mismo tiempo ya que la implementación del nuevo empaque se realizará al finalizar inventarios del empaque actual.

Las materias primas necesarias para el proceso son:

Cuadro No. 3: Especificaciones de materias primas del preparado vegetal

Nombre	Especificaciones		Origen
V101	Color	Característicos	Guatemala
	Olor		
	Apariencia y sabor		
	Recuento total	<1x10 ⁴ UFC/g	
	E. Coli	Negativo	
	Coliformes totales	<1000 UFC/g	
	Presentación	Bolsa 15kg	
V102	Color	Característicos	Guatemala
	Olor		
	Apariencia y sabor		
	Recuento total	<1x10 ⁴ UFC/g	
	E. Coli	Negativo	
	Coliformes totales	<1000 UFC/g	
	Presentación	Bolsa 18kg	
A103	Color	Característicos	Guatemala
	Olor		
	Apariencia y sabor		
	Recuento total	<100 UFC/mL	
	E. Coli	Negativo	
	Coliformes totales	<10 UFC/g	
	Grasa	35%	
	Acidez	0.38%	
	Consistencia de Bostwick	6.7cm/30s	
	Presentación	Bolsa 10kg	
A104	Color	Característicos	Costa Rica
	Olor		
	Apariencia y sabor		
	Recuento total	<100 UFC/mL	
	E. Coli	Negativo	
	Coliformes totales	<10 UFC/g	
	Grasa	15%	
	Acidez	0.15%	
	Consistencia de Bostwick	10.8cm/30s	
	Presentación	Bolsa 5kg	

5. Descripción del proceso.

El proceso de producción para el preparado vegetal consiste en las siguientes áreas y procesos:

a. Área de limpieza primaria y pre corte.

En esta área se realiza la limpieza primaria y corte del ingrediente V101 y V102. Estos ingredientes son pesados antes y después de realizar el proceso de limpieza. La limpieza primaria consiste en eliminar impurezas y materiales extraños de la materia prima. Ambos ingredientes son colocados en una banda transportadora de suelo móvil grado alimenticio hacia un tanque de desinfección que contiene una solución de agua y cloro con una concentración de 50ppm. Toda el agua disponible dentro de la planta para usos productivos es filtrada y suavizada a través de una resina catiónica previo al uso en la producción de alimentos. La solución a 50ppm se prepara en el tanque de desinfección, adicionando cloro previamente dosificado por el área de aseguramiento de calidad. El cloro se agrega al tanque con agua y se mezcla manualmente. La concentración es verificada por un gestor de calidad, previo a autorizarse para iniciar producción. La solución se enfría, a través de la introducción de hielo en cubos, hasta que alcance una temperatura entre 0°C y 4°C. El tiempo de residencia de los ingredientes en la solución de cloro a 50ppm es de 5 minutos a partir de que toda la materia prima haya ingresado al tanque.

b. Área de recepción de materias primas.

Esta se encuentra fuera del área de producción y es dónde aseguramiento de calidad realiza las pruebas necesarias para determinar si las mismas cumplen con sus especificaciones. De cumplir con sus especificaciones, las materias primas son liberadas y colocadas en canastas plásticas de 20kg de capacidad. Las materias primas liberadas son trasladadas a la cámara fría dedicada exclusivamente para la producción del preparado vegetal en cuestión, evitando así cualquier tipo de contaminación con otros productos. Las materias primas se almacenan a una temperatura entre 0°C y 4°C.

c. Cámara fría para almacenamiento de materias primas.

Las materias primas liberadas dentro de las canastas plásticas se colocan después en estanterías de acero inoxidable con separaciones de 6 pulgadas de todas las paredes y el suelo de la cámara. La temperatura de la cámara se debe mantener entre los 0°C y los 4°C. El almacenamiento se debe realizar de modo que se siga el método PEPS, es decir, colocando las materias primas con la fecha de vencimiento más próxima al frente para que se utilicen primero. Se realizan revisiones periódicas por parte del departamento de gestión de calidad para corroborar el cumplimiento de dicho sistema y la temperatura de la cámara. La cámara fría cuenta dos puertas separadas y contrarias donde una sirve para el ingreso de materias primas y otra como salida para el traslado al área de producción. Esto reduce la probabilidad de contaminación cruzada de un área a otra.

d. Área de picado.

Los trozos limpios y desinfectados de los ingredientes V101 y V102 son transportados a través de una segunda banda transportadora rodillos, grado alimenticio, hacia una mesa calada para drenar todo el residual de la solución de cloro a 50ppm. Una vez drenados, los ingredientes son transportados a través de una banda transportadora de suelo móvil hacia la tolva de alimentación a la picadora. La picadora corta los ingredientes en pequeños trozos de máximo 0.25cm². Los

fragmentos de los ingredientes V101 y V102 son descargados hacia una banda transportadora de suelo móvil que dirige éstos hacia una mezcladora.

e. Área de mezclado.

En el área de mezclado se cuenta con una mezcladora con capacidad de 170kg. En este equipo se mezcla los ingredientes V101 y V102, cortados en pequeños trozos de 0.25cm², con los aditivos A103 y A104. Los aditivos en cuestión están empacados en bolsas plásticas, las cuales se abren y vierten directamente dentro de la mezcladora. La mezcladora opera sin vacío y con velocidad de giro de 20 RPM. El proceso de mezclado tarda 5 minutos por lote.

f. Área de llenado.

Una vez finalizado el proceso de mezclado, el producto final se descarga a un tanque de almacenamiento de 5.0m³ de capacidad de donde se toma el producto para empacarlo en la presentación deseada. Actualmente el proceso de llenado se hace de forma manual en presentación de bolsas de 4.5kg (10 libras). Para la nueva línea de llenado se posee en inventario una bomba de diafragma, grado alimenticio, para transportar el producto final desde los tanques de almacenamiento hacia la llenadora automática.

g. Área de almacenamiento.

En el proceso actual con empaque en bolsas plásticas de 10 libras, las bolsas se sellan con una selladora térmica y se colocan en canastas caladas de polietileno con hielo. En cada canasta se coloca un máximo de cuatro unidades y se coloca hielo sobre las cuatro bolsas. Las canastas con producto final son trasladadas a través de una banda transportadora de rodillos hacia una cámara fría para el almacenamiento de producto final con una temperatura entre 0°C y 4°C.

6. Operación de la línea.

La línea de producción y envasado opera 5 días a la semana para poder satisfacer la demanda del producto. La línea operará por 6 horas al día. El proceso de producción es de tipo por lotes y semiautomático. El proceso de envasado actualmente es manual, pero a través de la nueva línea de llenado se busca que sea de tipo continuo y automático. Se tendrán contempladas 2 horas extras por turno para la limpieza al inicio y al final de la producción. En épocas de alta demanda se considerará adicionar un segundo turno de producción.

7. Aseguramiento de calidad.

Para asegurar la calidad del preparado vegetal se aplicarán pruebas de consistencia (Consistómetro de Bostwick), acidez (potenciómetro), temperatura (termómetro), pruebas Sensoriales (panel sensorial entrenado) y pruebas microbiológicas. Las pruebas microbiológicas se realizarán a través de un laboratorio microbiológico externo.

8. Buenas prácticas de manufactura.

Todo el personal dispuesto para la línea de producción deberá seguir los reglamentos y procedimientos de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) definidos por la empresa. Todo el personal de producción es sometido a un curso instructivo en BPM y la planta cuenta con ayudas visuales como recordatorio de procedimientos básicas y reglamentarios. Para la línea a diseñar se

supondrá que todo el personal está capacitado y ha aprobado el curso de buenas prácticas de manufactura, por lo que no se incluirá el detalle del procedimiento ya establecido.

Entre las principales prácticas cabe mencionar el uso permanente de redecilla, no portar joyas ni relojes. Además, el personal debe utilizar uniforme blanco proporcionado por la empresa y botas blancas de hule. Los operarios deben lavarse las manos cada 30 minutos y sumergir las botas de trabajo en pilas de desinfección al ingresar al área de producción.

9. Tratamiento de desechos.

La producción del preparado vegetal tiene dos tipos de desechos: materia orgánica y agua de desecho. Se cuenta con un sistema de tratamiento de agua de modo que se cumpla con las disposiciones legales correspondientes para el desecho de agua de proceso. Los desechos orgánicos se colocan en bolsas plásticas de color verde y cinta amarilla para diferenciarlo de cualquier otro tipo de desecho. Dichas bolsas son colocadas en áreas y recipientes especiales afuera del área de preparación de alimentos para luego ser transportadas a granjas de crianzas de cerdos como alimento para animales.

III. Justificación

La inocuidad en los procesos de producción, transporte y venta de productos es muy importante en la industria alimenticia. La naturaleza de los productos para consumo humano los hace particularmente susceptibles a contaminaciones. Ciertos ingredientes como los lácteos, vegetales y proteínas son, incluso, más susceptibles que otros. Tanto el manejo, la naturaleza y composición de un producto son factores que permiten establecer la vida útil y condiciones microbiológicas requeridas para que los productos sean aptos para consumo humano. Además, el manejo adecuado permite conservar las características organolépticas y garantizar al consumidor que el alimento no causará daño alguno a su salud.

Actualmente, la empresa que comercializa un preparado vegetal cuenta con un proceso de producción semiautomático. La empresa ha realizado mejoras al proceso de producción y ha introducido protocolos de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Sin embargo, el producto no cumple consistentemente con los parámetros microbiológicos y sensoriales establecidos por la empresa. Estas desviaciones implican aumentos en costos derivados de reclamos y devoluciones de producto por parte de clientes, reposiciones de producto con descuentos, vidas útiles cortas que implican el desecho de inventario de producto que no cumple con la especificación estipulada o por vencimiento. La empresa ha identificado que el envasado del preparado vegetal, único proceso que aún se realiza de forma manual, es la causa de la contaminación y desviaciones en cuestión. Esto se debe a que el proceso manual implica pérdidas de la cadena de frío del producto y por manipulación con utensilios o en ambientes contaminados.

Con la implementación de una línea continua y automática de envasado del preparado vegetal se espera eliminar la manipulación del producto y, por consiguiente, minimizar las desviaciones microbiológicas y sensoriales del producto. Este proceso permitirá asegurar la calidad del alimento en todas las fases del proceso. Por otro lado, se espera que con esta implementación se logre un aumento en la vida útil del preparado vegetal, reducción de costos por reducción de mano de obra y ahorros por la reducción de reclamos y desecho de producto.

IV. Objetivos

A. General

1. Diseñar una línea continua de envasado automático de un preparado vegetal que cumpla con los estándares de calidad establecidos por la empresa y que conserve las características organolépticas del producto.

B. Específicos

1. Realizar el balance de masa de la línea de producción y envasado del preparado vegetal.
2. Dimensionar y seleccionar el equipo y accesorios necesarios para implementar una línea continua de envasado automático en lotes de 150kg de un preparado vegetal, acorde a la demanda estimada.
3. Realizar el diagrama de distribución de la línea de envasado.
4. Determinar el costo de la línea de envasado.
5. Estimar el costo de insumos del proceso de envasado.
6. Determinar el efecto del envasado, a nivel laboratorio, en las propiedades microbiológicas y organolépticas del producto, comparado con el producto envasado de forma manual.
7. Elaborar un análisis económico para la inversión en la línea de envasado, incluyendo la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el tiempo de recuperación de capital.

V. Problema a resolver

Actualmente, se cuenta con un proceso manual de envasado de un preparado vegetal. La pérdida de cadena de frío y la manipulación del producto aumenta el riesgo de contaminación y el número de incumplimientos del producto a nivel sensorial y microbiológico. El manejo manual también acorta la vida útil del producto debido a que acelera el crecimiento microbiano. Esto se traduce en pérdidas para la empresa por producto desechado y reposiciones a clientes.

Con el diseño y posterior implementación de la línea continua y automática de envasado se busca eliminar contacto y manipulación del producto por parte de operarios y empleados, reduciendo significativamente los riesgos de contaminación. Esta línea debe fusionarse con la actual línea de producción y, dado que se cuenta con el espacio adecuado, no implica inversión en expansión o readecuación del área de producción. El envasado continuo y automático permitirá cumplir con los parámetros de temperatura (0°C - 4°C) en todas las fases del proceso, manteniendo al mínimo el crecimiento microbiano. Asimismo, se espera que dicha línea se traduzca en un aumento en la vida útil del producto, reducción de tiempos de envasado, ahorros en mano de obra, mejor rotación inventarios y reducción de pérdidas por desecho de producto.

VI. Metodología

A. Etapa preliminar

Se realizaron visitas a la planta con el fin de conocer la línea actual de procesamiento, el preparado vegetal, empaque actual y propiedades del producto. Se determinaron las operaciones unitarias involucradas en el proceso. Luego, se definieron los objetivos del proyecto en conjunto con las autoridades de la empresa. Una vez identificadas las operaciones unitarias que participan en el proceso, se realizó una revisión bibliográfica sobre estas operaciones. Dicha revisión bibliográfica tuvo como objetivo principal determinar los equipos utilizados comúnmente en este tipo de procesos, accesorios, materiales, criterios de prácticas de manufactura, manejo de alimentos, entre otros. Por otro lado, se estudiaron las metodologías y criterios importantes para realizar un diseño adecuado de líneas de producción.

B. Etapa análisis del proceso

Después de la revisión bibliográfica de las operaciones involucradas en el proceso, se realizó el diagrama de bloques del proceso de producción, identificando sus etapas principales. Se llevó a cabo un análisis del proceso y mediciones experimentales de la línea de producción con el fin de determinar los datos necesarios para realizar el balance de masa de la línea en cuestión.

C. Etapa de diseño

Se definieron las bases de diseño para el diseño de la línea continua y automática de envasado del preparado vegetal. El diseño se desarrolló para lotes de 150 kg de producto final. Adicionalmente, se realizó el esquema general del proceso actual y del nuevo esquema del área incluyendo la línea de envasado continuo y automático. Se hizo el dimensionamiento y selección del equipo necesario para llevar a cabo el envasado del preparado vegetal en presentaciones 0.113 kg (4 onzas). En conjunto con el departamento de compras, se solicitaron las cotizaciones de dichos equipos, según las especificaciones definidas. Fue necesario considerar el espacio disponible en el área de producción y que los equipos cumplieran con los estándares de manejo de productos alimenticios. Como resultado, fue posible determinar el costo general de la línea de envasado y el costo de los insumos necesarios para implementar y operar la línea, incluyendo el costo de servicios auxiliares y mano de obra.

D. Etapa de análisis sensorial y microbiológico

En esta etapa se realizaron análisis microbiológicos muestras del preparado vegetal para determinar el comportamiento de la carga microbiológica del producto con respecto al tiempo y para establecer la vida útil del producto. Dichas pruebas se enviaron a un laboratorio de análisis microbiológico externo. Además, se realizaron pruebas con un panel entrenado para establecer la vida útil del producto desde una perspectiva sensorial. Para esto, se llevaron a cabo pruebas triangulares con el panel sensorial. En estas pruebas sensoriales integrantes del panel realizaron una comparación entre el producto actual como referencia y una muestra envasada justo al terminar de ser producida. En estas pruebas los evaluadores recibieron tres muestras: dos muestras iguales y una muestra diferente.

El objetivo de la prueba fue determinar si los miembros del panel podían identificar cuál de las muestras recibidas era la muestra diferente. Las muestras fueron codificadas con tres dígitos para que no pudieran identificar a qué lote pertenecía cada muestra y, así, mantener la transparencia de la prueba. Al finalizar cada prueba se determinó estadísticamente, con un 95% de nivel de significancia, si se existía diferencia significativa entre las muestras evaluadas. Se llevaron a cabo pruebas diariamente con los mismos lotes hasta encontrar una diferencia significativa entre las muestras. Esto permitió establecer la vida útil del producto envasado tomando en consideración los resultados sensoriales y microbiológicos obtenidos.

E. Etapa análisis financiero e informe final

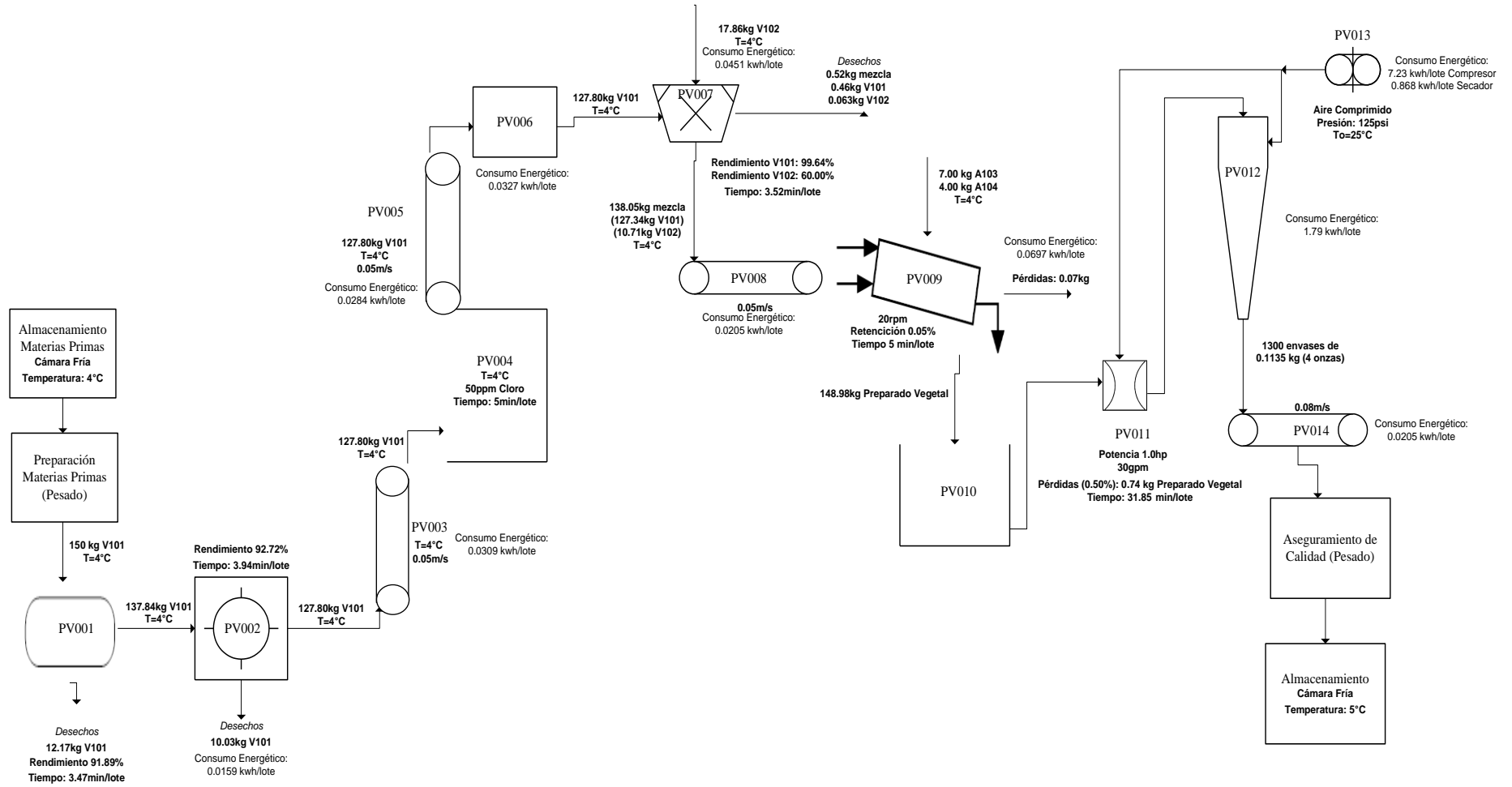
En esta etapa se realizó el análisis económico del proyecto para determinar la factibilidad de este y el tiempo de retorno de la inversión para la empresa. Dicho análisis financiero se complementó con los análisis sensoriales y microbiológicos de la etapa anterior para, luego, proceder a redactar el informe final y las recomendaciones para la implementación de la línea continua y automática de envasado.

VII. Resultados

Cuadro No. 4: Nomenclatura de equipo de la línea de producción y envasado de preparado vegetal

Código	Equipo
PV001	Mesa de acero inoxidable para limpieza primaria
PV002	Cortadora de cuchillas de acero inoxidable y estructura de aluminio
PV003	Banda transportadora de rodillos
PV004	Tanque de desinfección de acero inoxidable
PV005	Banda transportadora de suelo móvil 1
PV006	Mesa calada de acero inoxidable
PV007	Picadora de cuchillas de acero inoxidable y estructura de aluminio
PV008	Banda transportadora de suelo móvil 2
PV009	Mezcladora rotativa
PV010	Tanque producto terminado de acero inoxidable
PV011	Bomba de diafragma (2"x2") de acero inoxidable 316 y diafragma de Ultra-Flex
PV012	Llenadora de carrusel de plato ajustable
PV013	Compresor de tornillo de 15hp
PV014	Banda transportadora de suelo móvil 3

Figura No. 5: Balance de masa y energía de la línea de producción con la nueva línea de envasado continuo y automático del preparado vegetal



Cuadro No. 5: Equipo seleccionado para la línea continua y automática de envasado del preparado vegetal

Equipo	Especificaciones
Llenadora	<p>Llenadora de carrusel de plato ajustable. Estaciones disponibles para alimentación de envases, dosificación, colocación tapa, sellado, fechado y expulsión (6 estaciones máximo). Flujo máximo de envasado: 3000 envases por hora con capacidad de regulación de dosis y una variabilidad de dosis de 0.002 kg, según especificación de fábrica. Flujo alimentación requerido: 30gpm. Presión y consumo neumático: 30CFM, 80 a 110 psi promedio para utilización de aire seco. Alimentación neumática ½” NPT. Sistema neumático con regulación de caudal y silenciadores. Banda transportadora para descarga de acero inoxidable 316, banda de PVC alimentario.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 1.56m, Ancho: 0.30m. • Velocidad de avance: 0.08m/s. • Potencia: 0.745kW (1.0hp), 220V. <p>Materiales: acero inoxidable 316 y termoplásticos (aprobada por FDA). Panel de control electrónico y panel neumático. Tanque de contingencia con electroválvula para llenado automático. Alimentación de 2”. Control eléctrico de temperatura, presurización y dosificación.</p>
Bomba de diafragma	<p>Bomba de diafragma (2”X2”); acero inoxidable 316 y diafragma de Ultra-Flex. Potencia: 0.745kW (1.0hp). NPSHR: 4.7m. Temperatura de operación: -28.9°C a 104.4°C. Dimensiones: 0.429m alto, 0.368m ancho, 0.315m profundidad. Alimentación aire (neumática): ½” NPT. Flujo máximo: 80gpm.</p>
Compresor	<p>Compresión de tornillo. Presión operacional: 125psig, capacidad a presión operacional: 64 CFM. Motor: 15hp, Motor 220V, Trifásico 60Hz. Secador refrigerativo integrado. Depósito aire comprimido, hierro galvanizado. Filtro separador de condensado. Drenaje de condensados, filtro para aerosoles extrafinos.</p>
Tubería	<p>Plástica flexible. Diámetro de 0.0508m (2 pulgadas). No tóxica, transparente. Largo de 4 metros.</p>

Figura No. 6: Diagrama de distribución de la línea de producción y de la línea de envasado del preparado vegetal

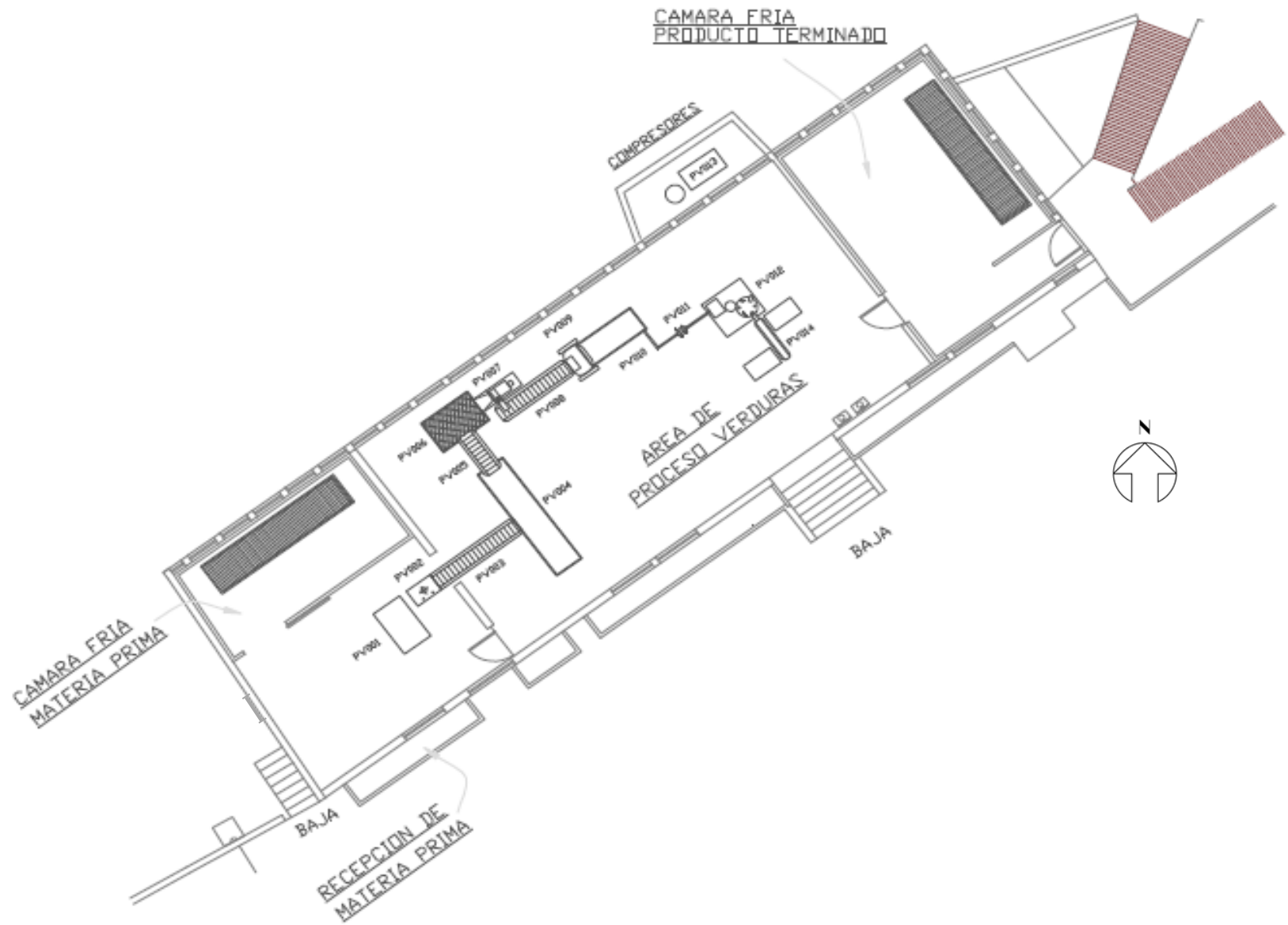
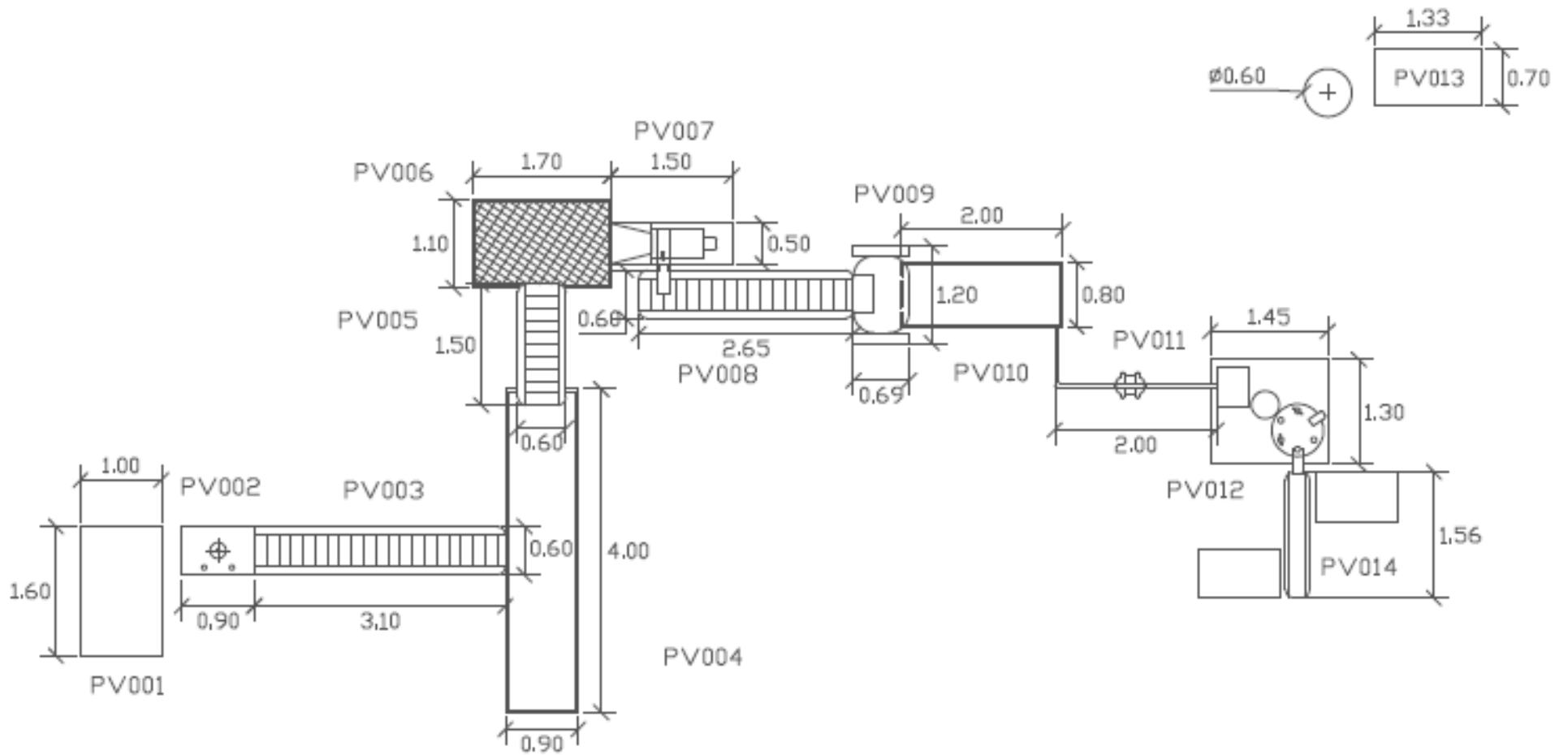


Figura No. 7: Dimensiones en metros de la línea de producción y de envasado del preparado vegetal



Cuadro No. 6: Costos de la línea continua y automática de envasado del preparado vegetal

Inversión inicial
Q 633,617.72

Cuadro No. 7: Costo de insumos de la línea de envasado del preparado vegetal

Costo energético anual (Q/año)
48,076.30

Cuadro No. 8: Análisis económico de la línea de envasado del preparado vegetal

Valor actual neto de la nueva línea	Tasa interna de retorno (TIR)	Período de recuperación de inversión
Q 402,961.99	40.99%	1.64 años

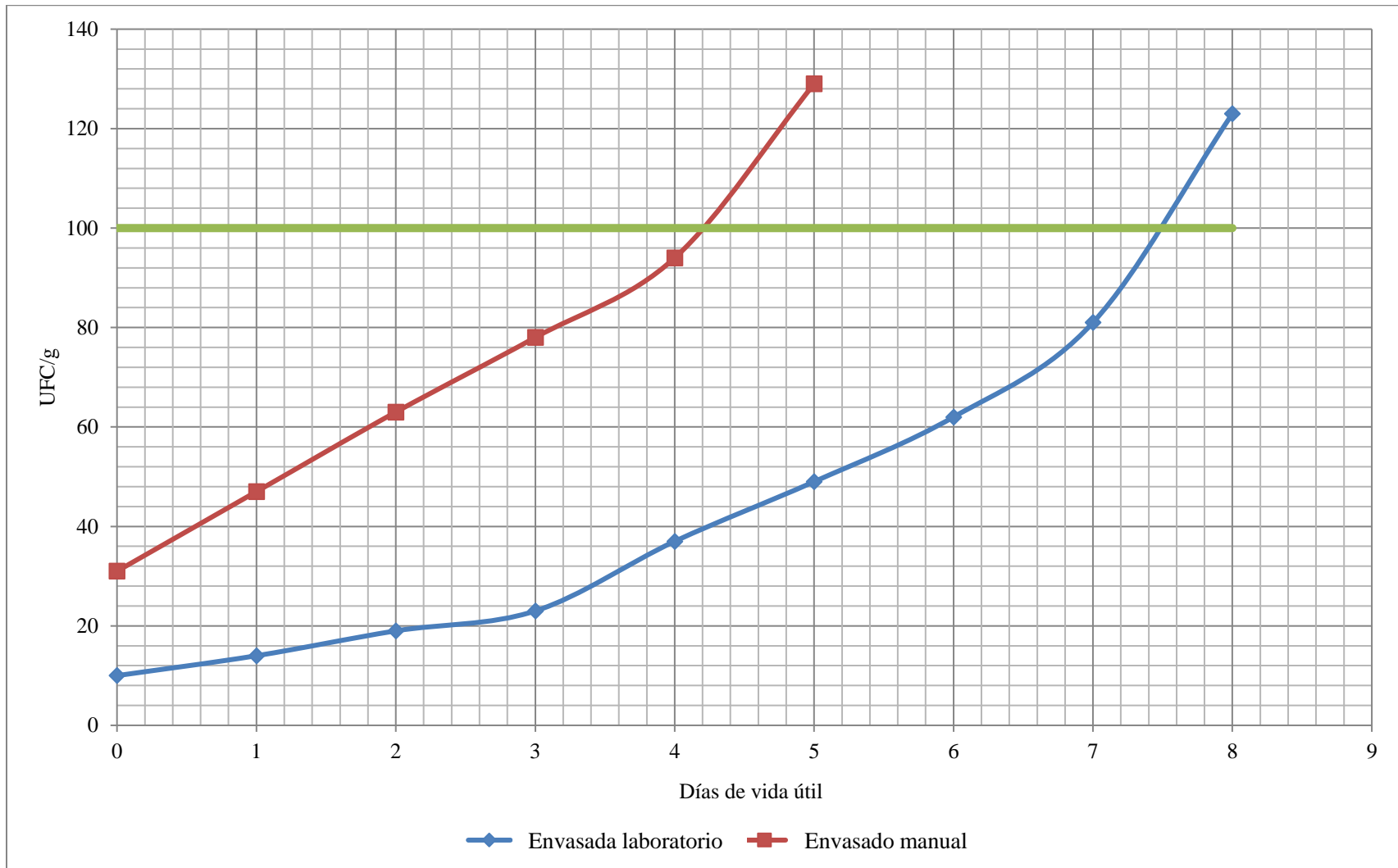
Cuadro No. 9: Análisis de vida útil sensorial del preparado vegetal por pruebas discriminativas triangulares

Días de vida útil	Resultado de prueba discriminativa	Vida útil sensorial recomendada
7	No diferencia significativa	7 días
8	Hay diferencia significativa	

Cuadro No. 10: Análisis de vida útil microbiológica del preparado vegetal

Vida útil microbiológica envasado en laboratorio	Vida útil microbiológica procedimiento manual
7 días	4 días

Gráfico No. 1: Resultados análisis vida útil microbiológica del preparado vegetal



VIII. Discusión

Uno de los retos más importantes para la industria alimenticia es garantizar a sus consumidores la inocuidad y calidad de los productos que ofrece. De esta forma, las empresas aseguran un lugar importante en la mente del consumidor, agregan valor a sus marcas y aumenta su competitividad en los mercados donde están presentes.

El objetivo de este trabajo de tesis fue diseñar una línea continua de envasado automático de un preparado vegetal para una empresa de alimentos guatemalteca. Dicha línea de envasado sustituye un proceso de envasado manual y debía cumplir con los estándares de calidad estipulados por la empresa. Adicional, la migración a esta nueva línea de envasado no podía modificar las características organolépticas del producto. Debido a políticas de confidencialidad de la empresa, se codificaron los datos de la empresa, detalles de equipos, ingredientes y fórmulas del producto en cuestión.

Actualmente, el preparado vegetal se produce en una línea semiautomática por lotes y se envasa de forma manual en bolsas de polietileno de alta densidad. El producto se empaca en presentación de 4.54kg (10 libras) para su respectiva distribución en frío a diferentes puntos de venta del territorio nacional. Según se puede observar en la Figura No. 8, el proceso de producción está compuesto por ocho etapas. El producto está compuesto por dos vegetales (V101 y V102) y dos aditivos (A103 y A104). El ingrediente V102 se recibe limpio por lo que se alimenta a la línea de producción hasta en la etapa de picado. La fórmula del producto final se puede observar en el Cuadro No. 12.

La empresa distribuye el producto a sus puntos de venta donde el producto se envasa, para su venta final, en envases de polietileno de 0.113 kg (4 onzas). Este segundo envasado también se realiza de forma manual con un utensilio dosificador. Ambos procesos de envasado manual aumentan el riesgo de contaminación del preparado vegetal ya que implican un contacto directo del producto con operarios y contacto con utensilios que pueden estar contaminados. Asimismo, estos procesos implican tiempos de envasados extensos que, en muchas ocasiones, causan la pérdida de la cadena de frío. Esto favorece el crecimiento de microorganismos en el producto. En el Cuadro No. 54 se pueden observar los resultados de los análisis microbiológicos realizados a lotes rechazados o con reclamos presentados por clientes. En todos estos casos, el recuento aeróbico total se encontró fuera de rango de aceptación.

La empresa ha definido e implementado protocolos en la línea de producción con el fin de asegurar la inocuidad y calidad del producto. Con el fin de establecer una línea base de las propiedades microbiológicas del producto, la empresa envía mensualmente muestras de producto a un laboratorio externo para realizar análisis de recuento total de bacterias, presencia de E. Coli, salmonella y estafilococos. Estas mediciones se utilizan como referencia para comparar resultados de otros lotes, especialmente aquellos con reclamos de calidad por parte de clientes. Los parámetros aceptables para el producto, desde la perspectiva microbiológica, se muestran en el Cuadro No. 14.

Según se puede observar en el Cuadro No. 53, los registros mensuales de análisis microbiológicos muestran una tendencia de reducción de la carga microbiológica del preparado vegetal. Esto permitió concluir que el producto en planta aún cumple con los rangos de aceptación establecidos y que cualquier contaminación se produce durante en segundo envasado en los puntos de venta. A través de la introducción del proceso automático de envasado se pretende reducir la manipulación del preparado vegetal y mantener la inocuidad del producto hasta que éste sea entregado al consumidor. De esta forma, se decidió que el producto fuese envasado en recipientes de polietileno de alta densidad con capacidad de 0.113kg (4 onzas).

Como primer paso del proceso de diseño de la línea en cuestión, se realizó el balance de masa y energía de la línea de producción del preparado vegetal, como muestra la Figura No. 5. Para esto se realizaron cinco visitas de reconocimiento a la planta en las que se determinó el rendimiento y tiempo de duración promedio de cada etapa del proceso. Para el cálculo del rendimiento se midieron los pesos iniciales y finales en cada etapa del proceso con una balanza digital. Los tiempos por etapa se midieron con un cronómetro digital. Los resultados de las mediciones se muestran el Cuadro No. 15. El tiempo y rendimiento promedio obtenido para cada etapa se muestran en el Cuadro No. 25. A partir de estas mediciones y la suma de los tiempos de cada etapa del proceso, se determinó que el tiempo total de producción para un lote de 150kg de preparado vegetal es de 21.43 minutos. El balance de masa y energía mostrado en la muestra la masa inicial y final en cada etapa del proceso de producción, así como la cantidad de desechos o pérdidas implicadas. Dicho balance de masa permitió determinar que en cada lote se producen 148.98 kg de preparado vegetal, considerando los rendimientos en cada etapa del proceso de manufactura.

El proceso de producción del preparado vegetal conlleva la transformación física y mezclado de los cuatro ingredientes. Por consiguiente, para el balance de energía únicamente se consideró el consumo energético de cada uno de los equipos implicados en el proceso. Para ello, se realizaron medidas utilizando un amperímetro de gancho. Dichas mediciones permitieron determinar la corriente, en amperios, necesaria para la operación de cada equipo. En el Cuadro No. 18 se muestra el consumo en amperios de cada uno de los equipos en cuestión. Considerando que todos los equipos operan con una corriente de 220V, fue posible determinar la potencia consumida por cada equipo. Utilizando el tiempo de operación por cada lote y la potencia obtenida, se determinó el consumo energético en kWh por cada lote, lo cual se puede observar en el Cuadro No. 28.

En la Figura No. 10 se muestra el flujo completo del proceso, incluyendo la línea actual de producción y la nueva línea de envasado continuo y automático. El producto final se descarga del mezclador hacia un tanque. Desde dicho tanque se alimenta el producto hacia la llenadora, con la ayuda de una bomba de diafragma. La llenadora y la bomba son accionadas de forma neumática. Los envases de 0.113kg (4 onzas) son llenados, sellados y etiquetados con su fecha de caducidad de forma automática. Al salir los envases de la llenadora se realiza un proceso de inspección física de las condiciones del envase. Como empaque secundario se utilizan cajas de cartón corrugado con capacidad de 50 unidades por caja.

Para el diseño de la línea de envasado se tomó como base la demanda mensual promedio de preparado vegetal. Dicha demanda mensual promedio fue proporcionada por el departamento comercial de la empresa y se muestra en el Cuadro No. 17. La demanda mensual promedio de preparado vegetal es de 44,322kg como se indica en el Cuadro No. 26. Considerando 20 días laborales al mes y que se dosificarán 0.113kg en cada envase, es necesario que la nueva línea de envasado continuo y automático produzca un promedio de 19,525 envases por día. En total, se debe producir 4,482,200 envases al año en presentación de 0.113kg.

Según la demanda mensual promedio y tomando en cuenta que se desea operar durante ocho horas diarias por 5 días a la semana, se calculó el flujo de envasado por minuto (índice promedio) requerido. Dicho índice se utilizó para dimensionar y seleccionar la llenadora, considerando un factor de seguridad de sobredimensionamiento de 10%. Este factor de sobredimensionamiento fue requerido por la empresa, de acuerdo con sus políticas establecidas y considerando un crecimiento anual promedio en la demanda de este producto de 3%. El índice promedio correspondiente para la línea, considerando el sobredimensionamiento, fue de 45 envases por minuto. Considerando el índice promedio, las propiedades del preparado vegetal, la demanda y espacio disponible en la planta, el departamento de compras de la empresa llevó a cabo un proceso de subasta inversa para la cotización del equipo. Las variables mencionadas anteriormente se incluyeron en la solicitud de cotizaciones enviadas a tres proveedores de equipos. Las propuestas fueron evaluadas por un comité interno integrado por miembros del departamento de abastecimiento y procesamiento. Dicho comité evaluó las propuestas a través de una matriz de evaluación con base a precio, consumo energético, soporte, servicio y disponibilidad de repuestos.

Como resultado del proceso de subasta inversa se seleccionó una llenadora de carrusel, de plato ajustable con 6 estaciones. El Cuadro No. 36 muestra las especificaciones técnicas de la llenadora seleccionada. La llenadora está hecha de acero inoxidable 316 y de termoplásticos, ambos materiales aprobados por la FDA para uso alimenticio. Desde la perspectiva técnica se consideraron tres aspectos principales para la selección del equipo: índice instantáneo del equipo, espacio requerido y estaciones disponibles en la llenadora.

Según la ficha técnica de la llenadora, el flujo máximo de envasado de este equipo es de 3,000 envases por hora, lo cual implica un índice instantáneo de la llenadora de 50 envases por minuto. Como se mencionó anteriormente, el índice promedio requerido es de 45 envases por minuto (flujo mínimo de envasado) para el preparado vegetal. Siendo el índice promedio menor al índice instantáneo de la llenadora considerada, se confirmó que la llenadora cumple con los requisitos para el proceso.

En el caso de la variable de espacio requerido para el equipo, las llenadoras de carrusel requieren menos espacio que una llenadora lineal. Por consiguiente, se consideró que este tipo de equipo permite aprovechar mejor el espacio disponible en el área de producción.

En cuanto a las estaciones disponibles en la llenadora, el equipo seleccionado posee seis estaciones con diferentes funciones cada una. En la primera estación se dispensa el envase vacío al carrusel. La llenadora cuenta con un sensor óptico que permite el abastecimiento automático de envases vacíos al carrusel. En la segunda estación se realiza la dosificación del producto. La llenadora cuenta con una tolva que se alimenta de producto desde el tanque de almacenamiento de producto terminado. Para asegurar la disponibilidad constante de producto durante el proceso de llenado, el equipo cuenta con un tanque de contingencia que, a través de una electroválvula, alimenta el preparado vegetal desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de contingencia. Esto permitirá que el flujo de envasado sea continuo durante el tiempo de operación. Adicional, alerta a los operarios cuando no se cuenta con producto necesario en el tanque de almacenamiento para continuar con el envasado de producto. Esta estación cuenta con un pistón ajustable que se programa para dosificar la cantidad de preparado vegetal deseado (0.113kg) con una variabilidad de dosis de 0.002kg.

En la tercera estación se coloca una tapa extruida de papel de aluminio sobre el envase. En la cuarta estación la llenadora cuenta con un sistema térmico que permite sellar el producto herméticamente. En la quinta estación se imprime, sobre la tapa de aluminio, la fecha de caducidad y el número de lote correspondiente. Finalmente, en la sexta estación los recipientes se expulsan

automáticamente hacia un tobogán. Los envases llenos y sellados llegan luego a una banda transportadora de suelo móvil. Conforme los envases pasan por la banda se realiza una revisión física de los envases y se empaquetan en cajas de cartón corrugado con capacidad de 50 envases por caja. Este proceso se realiza manualmente por dos operarios asignados a esta estación en cada turno.

Posterior a la selección de la llenadora, se realizó el dimensionamiento y selección de los equipos auxiliares. Para la bomba de diafragma, que alimenta la llenadora de carrusel, se consideró que la empresa contaba con una bomba de diafragma en inventario. Este equipo posee una potencia equivalente de 0.746kW (1hp). Por lo tanto, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar si dicha bomba era adecuada para el proceso. De acuerdo con las especificaciones de la llenadora, se necesita un flujo volumétrico de 0.00189 m³/s (30 galones por minuto). Utilizando las características fisicoquímicas del producto, mostradas en el Cuadro No. 13, y el flujo volumétrico mencionado, se obtuvo el flujo másico necesario de 1.88 kg/s. La tubería utilizada es flexible con diámetro interno de 0.0508 m.

A partir del flujo volumétrico y el área de flujo, se determinó una velocidad lineal del producto de 0.932 metros por segundo. Dichas propiedades de flujo fueron utilizadas para determinar el número de Reynolds del proceso. Como se puede observar en el Cuadro No. 31, el número de Reynolds fue 1,143.22. Dado que el número de Reynolds para este proceso es menor a 2,100, se clasificó el flujo como laminar. Utilizando la Ecuación No. 13 se determinó el factor de Fanning. Considerando un largo de tubería de 4.0 metros se determinó un factor de fricción de superficie de 1.915m²/s², mostrado en el Cuadro No. 31.

Tomando como referencia la Figura No. 1 y aplicando la ecuación de Bernoulli al sistema en cuestión, se determinó la carga a desarrollar por la bomba. Para ello, se utilizó un factor de corrección de la energía cinética (α) para el flujo laminar con valor de 2.0. La altura desde el nivel del producto en el tanque de almacenamiento hasta la bomba fue estimada en 1.0 metro. Para la fricción total se consideró únicamente la fricción de superficie debido a que el flujo se comporta como laminar. Esto permite desprestigiar las pérdidas por fricción derivadas de contracciones y expansiones. Por otro lado, no se consideró ningún accesorio o válvula además de la tubería flexible. Así, tampoco se consideraron pérdidas por fricción adicionales por presentación de accesorios o válvulas. La carga obtenida de 12.59m²/s² implica una caída de presión de 12,469.06Pa. Para el cálculo de la potencia nominal necesaria en la bomba (17.99m²/s²), mostrada en el Cuadro No. 32, se utilizó una eficiencia de 70.0%. Dicha eficiencia se tomó de la ficha técnica de la bomba disponible en planta.

De esta manera, se obtuvo que la potencia requerida para la bomba de diafragma es de 33.67W (0.050 hp). Considerando que la potencia de la bomba en planta es mayor a la potencia requerida, dicha bomba permitió cumplir con las exigencias del proceso. A pesar de la diferencia significativa entre las potencias, no se consideró adquirir una bomba nueva para no incurrir en una inversión adicional. Por otro lado, el cambio a una bomba de menor potencia implicaría la migración a corriente 110V, causando pérdidas de eficiencia de consumo y un potencial incremento en los costos de operación de la línea, comparado con los costos actuales utilizando 220V.

Se calculó la carga neta de succión positiva (NPSH) para asegurar que no existiría problemas de cavitación y que la capacidad y vida útil de la bomba no se reduzcan. Para ello, se consideró la presión atmosférica como la presión en la superficie del depósito y se desprestigió la presión de vapor al ser un fluido no volátil. El NPSH obtenido fue de 9.24 metros. El NPSHR especificado por el fabricante para el equipo en cuestión es de 4.7 metros. Dado que el NPSH disponible es mayor al valor mínimo requerido (NPSHR), la bomba es adecuada para la línea de envasado y no se producirá cavitación. Esto permitirá preservar la capacidad y vida útil de la bomba de diafragma en la línea.

La bomba por utilizar presenta la ventaja que el diámetro de descarga es igual al diámetro de alimentación del tanque de contingencia (0.0508m). Esto permite adaptarse fácilmente al resto del proceso y equipos en la línea. El diafragma de la bomba está hecho de un material llamado ultraflex, el cual está aprobado para el uso en la industria alimenticia. Este material también evita la contaminación del alimento ya que elimina el contacto con piezas mecánicas. Según reglamentos de gestión de calidad de la empresa, se realizará un proceso de limpieza de la bomba de diafragma, junto con el resto de la línea de envasado, cada seis horas y al finalizar cada turno con una solución de agua y cloro a una concentración de 50ppm. Una implicación importante de la selección de esta bomba es que, por ser de tipo neumática, es necesario considerar un compresor que permita generar la presión y flujo determinado anteriormente.

Como consecuencia de las necesidades de la bomba de diafragma y la llenadora, se dimensionó el compresor a utilizar. La especificación de la llenadora seleccionada indica que se necesitan $0.0142\text{m}^3/\text{s}$ (30CFM) de aire comprimido y una presión promedio de operación de 551.58kPa. Con el fin de utilizar una única presión de aire comprimido, se tomó la decisión de operar la bomba a la misma presión que la llenadora ($0.0142\text{m}^3/\text{s}$). El flujo de aire comprimido requerido por la bomba de diafragma se obtuvo a partir de la curva característica mostrada en el Gráfico No. 2 y considerando el flujo requerido de $0.00189\text{m}^3/\text{s}$. Debido a que la curva característica proporciona el flujo de aire estándar, dicho flujo fue corregido a una temperatura de 25°C para obtener el flujo efectivo. De esta forma, se obtuvo un flujo corregido total de aire de $0.0260\text{m}^3/\text{s}$ (55.1CFM). Considerando un factor de seguridad de sobredimensionamiento de 10%, se determinó que el requerimiento de flujo de aire comprimido es de $0.0286\text{m}^3/\text{s}$ (60.62CFM).

Considerando el volumen específico del aire a 25.0°C , se determinó un flujo molar de aire de $0.00117\text{kmol}/\text{s}$ (Ver Cuadro No. 34). Como presión de salida se utilizó 861.84kPa (125psi) y, considerando un 10% de sobredimensionamiento, la razón de compresión necesaria fue de 8.51. Dicha razón de compresión se muestra en el Cuadro No. 35. Suponiendo una razón de capacidades caloríficas de 1.4 para el aire y una temperatura de alimentación de aire de 25.0°C , en el Cuadro No. 35 se muestra que el trabajo isentrópico del compresor fue de 7,317.97kJ/kmol.

Según Smith (2007), para flujos de aire considerables y presiones de descargas moderadas, se recomienda utilizar un compresor rotatorio de desplazamiento positivo. Por otro lado, para este tipo de compresores (Walas, 1990) afirma que la eficiencia es, generalmente, de 80.0%. A partir de estos parámetros, se obtuvo un trabajo real del compresor de 9,147.46 kJ/kmol. Como se muestra en el Cuadro No. 35, la potencia requerida por el compresor para la línea de envasado es de 10.70kW (14.35hp).

Basado en estas variables, se seleccionó un compresor de tipo tornillo con una presión operacional máxima de 861.84kPa (125psig) y un flujo máximo de $0.0302\text{m}^3/\text{s}$ (64 CFM), ambas condiciones mayores al dimensionamiento requerido y descrito anteriormente. El Cuadro No. 37 muestra las especificaciones del equipo en cuestión. Es importante notar que el equipo seleccionado cuenta con un secador refrigerativo integrado. Esto permite obtener aire comprimido seco y a una temperatura estable. Asimismo, el equipo cuenta con un depósito de aire que facilita la disponibilidad de aire al momento de operar de forma continua. El área de producción actual del preparado vegetal ya cuenta con la instalación necesaria para aire comprimido. Esto redujo los costos de instalación de este equipo a, únicamente, costos por la adaptación necesaria de la línea en cuestión.

Después de seleccionar el equipo para la línea de envasado continuo y automático, se realizó el balance de masa y energía para dicho proceso. Dicho balance se incluye en la y muestra que las

pérdidas de producto por acumulación en los equipos y tubería es de 0.50% en promedio. Además, se muestran los consumos energéticos para cada uno de los equipos de la línea de envasado. Considerando una velocidad de operación de 2,400 unidades por hora, se determinó que el proceso de envasado tendrá una duración de 31.85 minutos por lote de 150kg de producto final. Por cada lote se obtienen 1,306 envases de 0.113kg (4 onzas). Suponiendo un desecho máximo de 6 envases por lote, se obtienen 1,300 envases por lote producido. El consumo energético derivado de la línea de envasado (llenadora, compresor y banda transportadora) es de 9.908kWh por lote de 150kg de preparado vegetal.

Al finalizar el proceso de dimensionamiento y selección de los equipos, se procedió a determinar la distribución de la línea continua de envasado automático en el área de producción de la empresa. La distribución sugerida se puede observar en la Figura No. 6 y las dimensiones de la línea de producción con la línea de envasado se pueden observar en la Figura No. 7. Según se muestra en ambas figuras, la línea completa se diseñó de modo que el producto siga un curso lineal. Esto permite evitar retrocesos del producto al pasar de una etapa a otra. Las áreas de recepción, pesado y limpieza primaria de materia prima se encuentran fuera del área de procesamiento. Con esto se mitigan los riesgos de contaminación por presencia de producto que no ha sido lavado. Una vez gestión de calidad aprueba la recepción de la materia prima, se traslada a la cámara fría donde es almacenada a una temperatura entre 0°C a 4°C y se gestionan inventarios de acuerdo con el método PEPS. Las figuras en cuestión también muestran que las etapas de limpieza primaria y corte se encuentran físicamente separadas del resto del proceso. Esto se debe a que en dichas etapas la carga microbiológica del ingrediente V101 es máxima. La separación física evita la contaminación de las superficies y equipos del resto del proceso. La materia prima limpia y cortada es transportada al área de proceso a través de una banda de rodillos, continuando con el proceso de producción estipulado.

En la distribución de la planta se puede observar que la línea de envasado se ubicó de tal forma que se respetara la configuración lineal del proceso. Todos los equipos se colocaron a una distancia de, por lo menos, un metro con respecto a las paredes y del suelo del área. Asimismo, todos los equipos fueron diseñados de modo que puedan separarse fácilmente entre ellos. Esto facilita la limpieza del área y los equipos. El compresor se ubicó fuera del área de producción, en el cuarto de compresores. El equipo se instaló a la altura de la llenadora para reducir la inversión en extensiones la línea de aire comprimido.

La Figura No. 7 también muestra que, al salir de la llenadora de carrusel, los envases llenos, sellados y etiquetados se dirigirán a la banda transportadora de suelo móvil PV014. Dos operarios asignados al área se encargan de revisar cada envase, asegurando que estén etiquetados y sellados correctamente. Estos operarios empacan los envases en cajas de cartón corrugado de 50 envases. Las cajas de producto son trasladadas a la cámara fría de producto terminado (0-4°C). La migración hacia el nuevo envasado y empaque en cajas no implicó un aumento en el espacio para almacenaje. Únicamente fue necesario realizar una adecuación de las estanterías dentro de dicha cámara fría. Con esta readecuación se tiene una capacidad en cámara fría de hasta 500 cajas de producto terminado. Para una producción diaria proyectada de 19,525 envases por día, se requiere espacio diario promedio para 390 cajas. Dado que este producto se despacha diariamente a los puntos de venta, se estimó un inventario promedio de seguridad de 40 cajas. Esto implica que no se supera el 80% de la capacidad de almacenamiento de la cámara fría.

La planta cuenta con un departamento de mantenimiento que se encarga de realizar reparaciones de equipos de forma interna. A excepción de los casos donde se requiere algún tipo de asesoría especializada, el mantenimiento preventivo de la línea de envasado se realiza por el departamento en cuestión, de forma planificada y durante los fines de semana. Esto evita que se

deban realizar interrupciones por mantenimiento durante los días de operación de la línea de envasado y reduce las probabilidades de recurrir a mantenimiento correctivo.

El departamento de aseguramiento de calidad realiza rutinariamente análisis fisicoquímicos de lotes de producto. Adicional, los operarios asignados al proceso de empaclado secundario realizar una revisión física de los envases para evitar el envío de producto dañado o sin etiquetar. No obstante, con la implementación de la línea en cuestión es necesario llevar un control del peso que se dosifica en cada envase. Esto permite llevar un registro del comportamiento de la llenadora y sus equipos auxiliares. El rango de aceptación establecido para el envase con producto final es de 0.132 ± 0.002 kg, tal como se muestra en el Cuadro No. 13. Este rango fue requerido por la empresa.

Para el control de la variable de peso de envase con producto se diseñó un programa de control basado en el sistema de Nivel Aceptable de Calidad (AQL). Para ello, se estableció un tamaño de lote de 1300 envases (26 cajas de 50 envases cada una). Según (Semperit, 2004), para el sistema AQL en la industria de alimentos se utiliza un valor de AQL de 1.0, con un 95.0% de nivel de confianza. El diseño de este sistema implicó la definición del tamaño de la muestra a tomar para que sea estadísticamente significativa. Asimismo, se definió el número de unidades defectuosas necesarias para aceptar y rechazar un lote. Se acordó con el equipo de aseguramiento de calidad que se iniciará implementando este sistema en el nivel riguroso de aceptación. Este nivel puede modificarse en el futuro, con previa autorización del equipo de calidad, conforme se observen resultados consistentes en el peso del producto final.

En el sistema AQL establecido, para pasar del nivel riguroso al nivel normal de aceptación se deben obtener 5 lotes aceptables de forma consecutiva por 5 días consecutivos. Luego, para pasar del nivel normal al reducido de aceptación, es necesario obtener 10 lotes aceptables por 10 días consecutivos. Al migrar al nivel reducido, de obtenerse un lote rechazado se debe regresar al nivel normal de aceptación, siguiendo el criterio de número de lotes aceptables descrito anteriormente. Cuando se emplee el nivel normal y se obtengan dos lotes rechazados de forma consecutiva se debe aplicar el nivel riguroso nuevamente.

Este sistema de muestreo y aprobación será coordinado por el departamento de aseguramiento de calidad. Utilizando el Cuadro No. 1 y el Cuadro No. 2, se determinó que el proceso en cuestión se clasifica dentro del subnivel K, bajo las proyecciones de demanda actual. Los tamaños de muestras necesarias para cada uno de los niveles de control se muestran en el Cuadro No. 2. Como se puede observar en dicho cuadro, el tamaño de la muestra para el nivel reducido es considerablemente menor al tamaño de la muestra en los niveles normal y riguroso. En el Cuadro No. 52 se pueden observar las unidades defectuosas que permite aceptar un lote y las unidades necesarias para rechazar dicho lote. El departamento de aseguramiento de calidad mantiene un registro del comportamiento de la línea según el sistema propuesto.

La llenadora de carrusel y el compresor de tornillo son los principales costos de inversión de la línea de envasado automático. No fue necesario invertir en la bomba de diafragma ya que se encontraba en inventario en planta, sin valor en libros contables. Para determinar el monto de la inversión inicial se tomó en consideración que la planta ya se encuentra en funcionamiento. Por consiguiente, no se incluyeron inversiones en infraestructura, terreno, construcción, mobiliario ni capital de trabajo.

Asimismo, el área disponible para la línea de envasado poseía instalación de servicios. Por ello, únicamente se consideró un 3.0% de inversión para la instalación de tubería y cableado eléctrico. Esto incluye las adaptaciones que se necesite realizar a las líneas actuales. Además, siguiendo políticas de la empresa, se consideró un 5.0% para cualquier gasto imprevisto. Estos

porcentajes fueron estimados en conjunto con la gerencia de planta y el departamento de operaciones. Los costos, negociados por el departamento de abastecimiento, de la llenadora y del compresor ya incluyen costos de instalación de los equipos. De esta forma, la inversión inicial establecida es de un total de Q633, 617.72.

Con el fin de estimar el costo de insumos de la línea de envasado, se consideró el costo anual derivado del consumo de energía eléctrica de la línea. Este costo se determinó a partir del consumo por lote (150kg) de cada uno de los equipos y la tarifa promedio establecida por la empresa. El costo de energía eléctrica de la línea de envasado, por cada lote de 150kg de producto final, fue de Q13.65. A partir de la proyección anual de envases, se estableció un costo anual por consumo de energía eléctrica de Q48,076.30. Este valor es el correspondiente al costo anual de insumos de la línea de envasado continuo.

La rentabilidad de la implementación de la línea continua de envasado automático se evaluó por un período de 5 años. Este horizonte fue establecido por la empresa para la cual se realizó el diseño. Para ello, fue necesario realizar un flujo de caja incremental, considerando las diferencias en el flujo de caja antes y el flujo de caja proyectado después de implementar la nueva línea de envasado.

En el caso del balance de personal, fue necesario tomar en consideración el impacto en la mano de obra por la introducción de la línea de envasado. Al comparar el balance de personal antes del proyecto en el Cuadro No. 41 con el balance después de implementar el proyecto en el Cuadro No. 42, se observa que, con la línea de envasado automático, es posible reducir de 12 operarios a 10 operarios. Previo a la implementación de la línea, en el proceso manual se estipulaban 4 operarios dedicados al proceso de llenado. No obstante, con la nueva línea únicamente se contará con 2 operarios en esta estación. Se asignó un operario a la llenadora quien se encarga de supervisar el buen funcionamiento del equipo. Esta reducción de mano de obra implicará un ahorro anual de Q81,720.80.

Para el cálculo del flujo incremental, como costo variable se consideró un costo de producción del preparado vegetal de Q8.25 por 4.54kg (1lb). Este costo fue proporcionado por la empresa e incluye el costo de materias primas, con su respectivo rendimiento. En el caso del empaque del producto, para la línea actual se incluyó la bolsa de polietileno virgen y los envases finales del producto que se utilizan en los puntos de venta. Para el nuevo proceso de envasado automático se consideró el costo del nuevo envase, la tapa de papel de aluminio extruido, la caja de cartón corrugado (empaque secundario) y un cartón separador que se colocará en el empaque secundario. Según se puede observar en el Cuadro No. 43, tomando en consideración los costos anuales de empaque, de materia prima (constante) y el costo de personal, la implementación de la línea de llenado automático implicó un aumento en el costo variable de Q0.136 por envases producido.

En el caso de los costos fijos anuales incrementales, se incluyó el costo por consumo de energía y el costo anual por limpieza de la línea nueva. Asimismo, se incluyó una proyección de costo de mantenimiento anual. Dicho costo fue equivalente al 5.0% de la inversión inicial y el porcentaje fue proporcionado por la empresa. Por otro lado, se consideró que la implementación de la línea automática de envasado implica la eliminación de los pagos de mano de obra indirecta. Esto se refiere al personal que, actualmente, realiza el envasado de forma manual en los puntos de venta en porciones de 0.113kg. Para dicha mano de obra indirecta, se determinó un promedio de 2.0h diarias invertidas por punto de venta para el envasado. El costo por hora actual en esta operación es de Q13.00.

De esta manera, la eliminación de este proceso manual de envasado en los puntos de venta representó un ahorro de Q1,262,170.00. Dichas horas se pagan como bonificación extraordinaria por lo que no se toman en cuenta para el cálculo de prestaciones. Considerando el costo incremental de energía eléctrica, mantenimiento y el ahorro por eliminación de la mano de obra indirecta, se determinó que con la implementación se obtienen ahorros en los costos fijos anuales Q1,182,412.81.

Para la construcción del flujo de caja se utilizó una depreciación del equipo de la línea de envasado por un período de 5 años. Se utilizó el sistema modificado acelerado de recuperación de costos (SMARC) para determinar la depreciación anual de los equipos. Las tasas de depreciación por año se pueden observar en el Cuadro No. 24. En el Cuadro No. 45 se pueden observar los valores de depreciación del equipo para los cinco años estipulados, calculados a partir del método SMARC y los datos del Cuadro No. 24. No se tomó en consideración la depreciación de los equipos existentes en la línea actual debido a que estos ya no poseen valor en libros contables.

En el Cuadro No. 46 se pueden observar los criterios utilizados para la construcción del flujo de caja incremental de la línea de envasado continuo y automático. Se consideró un aumento anual de la demanda de preparado vegetal de 3.0%. Asimismo, se consideró un aumento anual en los costos fijos de 10%. Debido a que se realizó un flujo de caja incremental, para determinar el monto de ahorro en los costos fijos de cada año se estimó una reducción del 10.0% del ahorro del año anterior. La inversión inicial se realizará con capital propio por lo que no se consideró la adquisición de un préstamo o cualquier otro tipo de financiamiento.

En el Cuadro No. 46 se muestra el flujo de caja incremental para la implementación de la línea continua de envasado automático del preparado vegetal. A partir de dicho flujo de caja, se obtuvo una tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto de 40.99%. Actualmente, la empresa en cuestión utiliza una tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR) de 8.75%. Con esta tasa la empresa determina si procede con los proyectos, basados en la rentabilidad de estos. Considerando la TMAR asignada, se obtuvo un valor presente neto de Q438,221.16 y un período de recuperación de la inversión de 1.64 años (aproximadamente 1 año con 7 meses). Los resultados obtenidos del análisis económico permitieron concluir que el proyecto es rentable y, por consiguiente, se recomendó proceder con el proyecto.

Para determinar el efecto del envasado automático en el preparado vegetal se realizaron pruebas a nivel laboratorio del envasado. Con estas muestras de producto se llevaron a cabo análisis microbiológicos y sensoriales. En el Cuadro No. 55 se muestran los resultados de los análisis de vida útil microbiológica realizados al producto envasado automáticamente. Todos los análisis microbiológicos fueron realizados por un laboratorio externo a la empresa.

Como se observa en el Gráfico No. 1, el análisis de vida útil para el producto envasado automáticamente finalizó a los 8 días. Esto se debió a que a los 8 días de prueba se presentó un resultado de recuento aeróbico total mayor a 100 UFC/g. Este límite de aceptación establecido por la empresa y la norma COGUANOR, está representado por la línea horizontal. A partir de estos resultados, el laboratorio microbiológico recomendó una vida útil máxima para este producto de 7 días a partir del envasado.

Con el fin de comparar la vida útil del producto envasado automáticamente contra el procedimiento actual, se realizaron análisis microbiológicos a muestras de producto envasado en los puntos de venta (forma manual). El Cuadro No. 56 y el Gráfico No. 1 muestran que, para este producto envasado manualmente, se obtuvo un recuento aeróbico total superior a las 100 UFC/g

desde el día 5. Por consiguiente, la vida útil máxima microbiológica de dicho producto se estableció en 4 días.

Es importante notar el Cuadro No. 56 y Cuadro No. 57 muestran que la carga microbiológica del producto envasado manualmente, comparada con la carga microbiológica del producto envasado automáticamente, fue superior desde el primer día de análisis. Esto permitió inferir que el proceso de transporte y envasado manual en el punto de venta tienen un efecto significativo en las condiciones microbiológicas del producto. Es así como resultados descritos anteriormente permiten concluir que el envasado automático tiene un efecto positivo de 3 días adicionales en la vida útil del producto final. Esto se debe a que dicho proceso eliminó la manipulación del producto en el punto de venta.

A partir de los resultados microbiológicos, se realizó un análisis sensorial con panel entrenado a través de pruebas discriminativas de tipo triangular. El Anexo F. Análisis Estadístico, describe el procedimiento completo seguido para las pruebas en cuestión, así como su base estadística e hipótesis correspondientes. El propósito de realizar las pruebas sensoriales fue determinar, a través de un panel entrenado, si el envasado automático impactó el perfil sensorial del producto. Como se mencionó anteriormente, con el envasado automático se buscó que no tuviese ningún efecto sensorial.

El panel entrenado cuenta con 14 expertos en el perfil sensorial del preparado vegetal. Se analizaron muestras de producto envasado automáticamente a los 7 días y 8 días de vida útil. En ambas pruebas se compararon muestras de producto envasado automáticamente contra producto con un día de vida útil. Para las pruebas se utilizó un nivel de significancia de 95.0%. Por ello, como mínimo 9 de 14 evaluadores debían identificar la muestra diferente. El cumplimiento de este número de evaluadores permitió rechazar la hipótesis nula y concluir que existía diferencia significativa entre las muestras.

Según se puede observar en el Cuadro No. 49, en la prueba de producto con 7 días de vida útil se obtuvieron 5 juicios correctos. Debido a que se obtuvo menos de 9 juicios correctos se concluyó, con un 95.0% de nivel de confianza, que no existió diferencia significativa entre la muestra con 7 días de vida útil y la muestra con un día de vida útil. En el caso de la prueba de producto con 8 días de vida útil, se obtuvo 11 juicios correctos. Siendo los juicios correctos obtenidos en este caso mayores a los 9 juicios correctos mínimos, se concluyó, con un 95.0% de nivel de confianza, que existe diferencia significativa entre la muestra con 8 días y la muestra con un día de vida útil. Así, desde el punto de vista sensorial, la vida útil del producto envasado automáticamente es de 7 días.

De esta forma, se estableció que la vida útil para el producto envasado automáticamente es de 7 días, tanto por criterios microbiológicos como por criterios sensoriales. Con estos resultados se confirmó el aumento de 3 días de la vida útil actual (4 días) para el preparado vegetal. Dado que las pruebas se realizaron con producto envasado automáticamente a nivel laboratorio, al instalar la línea de envasado automático y realizar pruebas de escalamiento industrial del producto, se recomienda repetir el procedimiento anterior de análisis microbiológicos y análisis sensorial con panel entrenado. Esto permitirá confirmar la vida útil del producto obtenido con las pruebas a nivel laboratorio.

IX. Conclusiones

A. La migración de un proceso de envasado manual a un proceso de envasado continuo y automático permitiría aumentar la vida útil de 4 días (actual) a 7 días, de acuerdo con resultados microbiológicos y sensoriales en pruebas de laboratorio.

B. Se propone una línea continua de envasado automático del preparado vegetal utilizando una llenadora de carrusel de plato ajustable de acero inoxidable 316, una bomba de diafragma (0.745kW), una banda transportadora de suelo móvil y un compresor de tornillo (11.17kW).

C. La inversión inicial de la línea continua de envasado automático asciende a Q633, 617.72, correspondiente al costo de equipos e insumos para instalación.

D. El costo operativo anual promedio, correspondiente a insumos, de la línea de envasado automático es de Q48, 076.30, con un incremental anual proyectado de 10%.

E. Para un período de evaluación de 5 años, el valor presente neto del proyecto es de Q438,221.16, con una tasa interna de retorno de 40.99% y un período de recuperación de inversión de 1.64 años, lo que confirma que el proyecto es rentable.

F. La línea de envasado automático posee la capacidad de envasar 1,300 envases de 0.113kg, por cada lote de 150kg de preparado vegetal.

G. El consumo energético de la línea de envasado es de 9.908 kWh por lote de 150kg de preparado vegetal.

H. El tiempo de producción promedio para un lote de 150kg de preparado vegetal fue de 21.43 minutos y el tiempo de envasado para un lote fue de 31.85 minutos.

X. Recomendaciones

A. Implementar un sistema de limpieza con aire comprimido para la línea de producción y la línea de envasado automático.

B. Establecer los registros y métodos de supervisión para el sistema de aseguramiento de calidad (AQL) de la línea de envasado automático.

C. Elaborar los procedimientos estándar de operación para la línea de envasado, incluyendo limpieza, mantenimiento y programación básica.

D. Confirmar el costo de limpieza y desinfección de la línea de envasado automático al finalizar la instalación de esta.

E. Evaluar el proceso de producción con la metodología HACCP y establecer los procedimientos de control respectivos.

F. Realizar el estudio de impacto ambiental de la línea de envasado automático.

G. Realizar análisis de vida útil microbiológica y sensorial al realizar escalamiento industrial para determinar con exactitud la vida útil del producto envasado.

H. Comparar resultados obtenidos en pruebas con panel entrenado con pruebas con consumidores finales del producto.

XI. Bibliografía

1. Accutek. 2010. *Volumetric piston*. <https://www.accutekpackaging.com/> [21 Agosto 2010]
2. Adam, Everett y Ronald Ebert. 1994. *Administración de la producción y las operaciones*. 4ª ed. México, D.F.: Prentice Hall. 739 págs.
3. Department of Defense, 1957. *Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent defective*. Estados Unidos. Departamento de Defensa de los Estados Unidos. 33 págs.
4. Durini, Manuel. 2004. «Manual de buenas prácticas de manufactura para una planta de fabricación de helado». Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 123 págs.
5. Forsythe, Stephen. 2002. *Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP*. 2ª ed. España: Editorial Acribia. 512 págs.
6. Ho, Paulo. 2003. «Diseño de una línea de empaque para una fábrica de productos líquidos de limpieza». Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 141 págs.
7. Hubbard, Merton. 2003. *Statistical Quality Control for the Food Industry*. 3ª ed. Estados Unidos: Springer. 343 págs.
8. Instituto Tecnológico de la Paz. 2006. *Introducción a la administración de la producción*. México. Unidad de administración. 124 págs.
9. Kalpakjan, Serope y Steven Schmid. 2002. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 5ª ed. México: Pearson Educación. 1176 págs.
10. McCabe, Warren; J. Cleveland y P. Harriott. 2007. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 7ª. ed. México D.F.: McGraw-Hill. 1,152 págs.
11. Meilgaard, Morten; G. Civille y B. Carr. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. 7ª ed. Estados Unidos: CRC Press. 377 págs.
12. Moreas, Sergio. 2001. *Buenas Prácticas de Manufactura y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)*. 1ª ed. Argentina: OMS. 135 págs.
13. Perry, R. y Don Green. 2001. *Manual del Ingeniero Químico*. 7ª ed. España: McGraw-Hill. 2640 págs.
14. Peters, M y Klaus Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineering*. 4ª ed. Estados Unidos: McGraw-Hill. 897 págs

15. Robertson, Gordon. 1993. *Food Packaging, Principles and Practice*. 1ª ed. Estados Unidos: CRC Press. 675 págs.
16. Schroeder, R; S. Meyer y M. Rungtusanatham. 1992. *Administración de operaciones*. 3ª ed. México D.F.: McGraw-Hill. 535 págs.
17. Shmidt, Ronald. 1997. *Elementos Básicos en la limpieza en procesamiento y operaciones de manipulación de alimentos*. Tesis Universidad de Florida. Estados Unidos: IFAS. 14 págs.
18. Silliker, J. 1980. *Ecología Microbiana de los alimentos*. 1ª ed. España: Editorial Acribia. 737 págs.
19. Sinnott, R. y Gavin Towler. 2008. *Ingeniería Química: diseño, principios, prácticas y economía de plantas*. 2ª ed. Estados Unidos: Butterworth-Heinemann. 1265 págs.
20. Smith, Otto; H. Van Ness y M. Abbott. 2007. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. 7ª ed. México D.F.: McGraw-Hill. 845 págs.
21. Walas, Stanley. 1990. *Equipo de procesos químicos: selección y diseño*. 2ª ed. Estados Unidos: Butterworth-Heinemann. 747 págs.

XII. Anexos

A. Bases de diseño

En la siguiente sección se presentan las bases de diseño que permitieron establecer los parámetros y lineamientos generales para el diseño de la línea de envasado automático.

Cuadro No. 11: Bases de diseño para la línea de envasado del preparado vegetal

No.	Descriptor	Detalles
1	Descripción proyecto	Diseñar una línea continua de llenado automático del preparado vegetal dentro de la línea de producción ya instalada y en funcionamiento.
2	Descripción producto	Producto a base de 4 ingredientes, dos vegetales y dos aditivos líquidos.
3		Se desea envasar el producto en porciones de 0.1135 gramos (4 onzas).
4		Vida útil actual del producto: 4 días.
5		Lotes de 150 kg de producto final para ser envasado (base de diseño)
6	Capacidad de producción	Demanda mensual promedio requerida de 97,625 envases de producto, según proyecciones de venta de la empresa (Ver Cuadro No. 17)
7		Proyección de crecimiento de ventas anuales del producto de 3.0%.
8	Operación de línea	Establecer un método de control del peso de producto por envase.
9		El proceso de sellado y fechado de envases se realizará de forma automática.
10		Se cuenta con una línea semiautomática, por lotes, para la producción del alimento
11		Empresa cuenta con sistema de aseguramiento de calidad y buenas prácticas de manufactura implementadas en sus líneas actuales.
12		Temperatura reglamentaria (ingredientes y producto final) de 0°C a 4°C. Se cuenta con capacidad de refrigeración para 500 cajas de producto terminado.
13		El área de producción cuenta con servicios de agua, electricidad y aire comprimido.
14		Utilizar instalaciones y equipos ya existentes en la planta para reducir inversión.
15		Determinar el efecto en vida útil del preparado vegetal
16		Se cuenta con 12 operarios en línea actual. Pueden ser reasignados al implementar la nueva línea de envasado.

B. Datos originales

Cuadro No. 12: Composición del preparado vegetal y descripción de ingredientes

Ingrediente	Porcentaje en peso (%)	Descripción
V101	75.0	Vegetal de color blanco, olor y sabor característicos.
V102	10.0	Vegetal de color verde, olor y sabor característicos.
A103	10.0	Líquido blanco, contenido grasa 35%, acidez 0.38% y consistencia Bostwick 6.7cm/30s
A104	5.0	Líquido amarillo, contenido grasa 15%, acidez 0.15% y consistencia de Bostwick 10.8cm/30s

Cuadro No. 13: Propiedades fisicoquímicas del preparado vegetal final a envasar

Propiedad	Intervalo de aceptación	
Dimensiones de partículas	Ancho	4.00 mm
	Largo	5.00-10.00 mm
Acidez (pH)	4.0	
Color	Blanco con tonos verdes	
Textura	Crujiente	
Densidad del producto final (kg/m^3)	990.00±2.00	
Viscosidad del producto final ($kg/m \cdot s$)	0.0410±0.005	
Peso preparado vegetal en envase (kg)	0.113 ± 0.002kg	
Peso envase con preparado vegetal (kg)	0.132±0.002kg	

Cuadro No. 14: Propiedades microbiológicas estipuladas en la especificación del preparado vegetal, siguiendo norma COGUANOR para productos vegetales alimenticios mínimamente procesado

Recuento total de bacterias UFC/g	E. Coli UFC/g	Salmonella sp. en 25 g	S. Aureus UFC/g
<100	<10	Negativo	<10

Cuadro No. 15: Pesos y tiempos por etapa del proceso de producción para un lote de 150kg de preparado vegetal

Etapa del proceso de producción	Pesos (kg)		Tiempo por lote (min)
	Inicial	Final	
Limpieza primaria	149.95	137.83	3.51
	150.03	137.75	3.47
	150.05	137.91	3.45
	149.96	137.44	3.44
	150.01	138.24	3.46
Cortado	137.83	127.70	3.92
	137.75	128.10	3.91
	137.91	127.63	3.97
	137.44	127.68	3.99
	138.24	127.89	3.92
Picado	145.80	145.30	3.52
	145.78	145.24	3.47
	145.93	145.42	3.52
	145.10	144.58	3.53
	145.71	145.17	3.52
Mezclado	149.07	148.95	4.98
	149.33	149.01	5.03
	149.01	148.93	5.1
	148.96	148.87	4.93
	148.89	149.15	4.97
Llenado	148.95	148.14	31.78
	149.01	148.17	31.88
	148.93	148.12	32.12
	148.87	148.13	31.34
	149.15	148.63	32.14

Cuadro No. 16: Tiempos totales de producción del preparado vegetal

Tiempo de producción por lote	21.43 min
Horas de producción por día	8 horas
Días de producción por semana	5 días

Cuadro No. 17: Demanda mensual promedio de preparado vegetal (kg/mes) según proyecciones de venta de la empresa

Mes	Demanda promedio (kg/mes de preparado vegetal)
Enero	43,091
Febrero	39,689
Marzo	39,916
Abril	51,709
Mayo	43,545
Junio	35,834
Julio	42,638
Agosto	43,998
Septiembre	38,102
Octubre	43,091
Noviembre	48,988
Diciembre	60,781
Ventas totales anuales	531,383

Cuadro No. 18: Consumo energético (amperios) de equipos de la línea de producción y envasado del preparado vegetal

Equipo	Consumo energético (A)
Cortadora (PV002)	1.10
Banda transportadora 1 (PV003)	2.50
Banda transportadora 2 (PV005)	2.30
Mesa calada (PV006)	2.50
Picadora (PV010)	3.50
Banda transportadora 3 (PV011)	1.70
Mezcladora (PV012)	3.80
Compresor (PV013)	60.00
Secador compresor (PV013)	7.20
Llenadora (PV012)	10.5
Banda transportadora 4 (PV014)	1.70

Para cumplir con la demanda diaria de producto de 97,625 envases por día, según se muestra en el Cuadro No. 11, es necesario operar la línea de producción durante 8 horas al día. Considerando una hora de almuerzo y una hora para limpieza del equipo adicionales a las horas de operación, el turno de los operarios es de 10 horas laborales. Por lo tanto, para los cálculos de salarios se consideraron 2 horas extras por operario al día. Esto implica un total de 40 horas extras por operario al mes. La tarifa definida por la empresa es de Q13.00 por cada hora extra. Con estas consideraciones se calcularon los sueldos totales mensuales por mano de obra directa.

Cuadro No. 19: Salarios mano de obra directa de la línea actual (manual) de producción y envasado

No.	Puesto	Base	Bono	Horas extras	Sueldo mensual
1	Pesado MP	Q 1,849.00	Q 298.00	Q 520.00	Q2,667.00
2	Limpieza primaria	Q 2,402.50	Q 347.50	Q 520.00	Q3,270.00
3	Corte	Q 2,147.00	Q 298.00	Q 520.00	Q2,965.00
4	Limpieza secundaria	Q1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
5	Picado	Q 1,714.00	Q 298.00	Q 520.00	Q2,532.00
6	Mezclado	Q 1,714.00	Q 298.00	Q 520.00	Q2,532.00
7	Producto terminado	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
8	Llenador 1	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
9	Llenador 2	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
10	Llenador 3	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
11	Llenador 4	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33
12	Empacador	Q 1,703.33	Q 250.00	Q 520.00	Q2,473.33

Cuadro No. 20: Consumo anual preparado vegetal y empaque actual con proceso de envasado manual

Rubro	Producto	Cantidad anual	Costo
Producto	Preparado vegetal	508,729.70	8.25 Q/kg
Empaque	Envase y tapa	4,482,200.00	0.35 Q/unidad
	Bolsas polietileno	120,000.00	0.05 Q/unidad

Cuadro No. 21: Consumo anual preparado vegetal y empaque en nueva línea de envasada automático

Rubro	Producto	Cantidad anual	Costo
Producto	Preparado vegetal	508,729.70	8.25 Q/kg
Empaque	Envase 4 onzas	4,482,200.00	0.28 Q/unidad
	Tapa térmica y tinta para impresión de fecha de caducidad	4,482,200.00	0.16 Q/unidad
	Caja cartón corrugado (45 u/caja)	100,000	2.50 Q/unidad
	Cartón separador	100,000	0.376 Q/unidad

Cuadro No. 22: Costo de mano de obra por envasado manual de preparado vegetal en puntos de venta de bolsa de 10kg a envases de 0.113kg

Horas de envasado al día	2.0
Puntos de venta	133
Valor bonificación extraordinario por envasado (Q/hora)	13.00

C. Cálculos de muestra

A continuación, se presentan los cálculos realizados para la elaboración del balance de masa de la línea de producción de preparado vegetal. Se tomó como base de cálculo la preparación de un lote de producto de 150kg, como se indicó en el Cuadro No. 11.

1. Cálculo del balance de masa para la línea de producción y llenado.

Para el cálculo del balance de masa de cada etapa se consideró el rendimiento correspondiente que se muestra en el Cuadro No. 25.

$$\text{Ecuación No. 4 } m_s = \eta \times m_e$$

Donde:

m_s : Masa en la salida

m_e : Masa en la entrada

η : Eficiencia o rendimiento del proceso

Para la etapa de limpieza primaria del ingrediente V101:

$$\begin{aligned} m_s &= 0.9189 \times 150\text{kg V101} \\ m_s &= 137.84\text{kg V101} \end{aligned}$$

2. Cálculo de las pérdidas para la línea de producción y llenado.

$$\text{Ecuación No. 5 } p = (1 - \eta) \times m_e$$

Donde:

p : Masa de pérdidas

m_e : Flujo másico en la entrada

η : Eficiencia o rendimiento del proceso

Para la etapa de limpieza primaria del ingrediente V101:

$$\begin{aligned} p &= 0.0811 \times 150\text{kg V101} \\ p &= 12.17\text{kg V101} \end{aligned}$$

A continuación, se presentan los cálculos realizados para la elaboración del balance de energía de la línea de producción de preparado vegetal. Todos los equipos funcionan con un voltaje de 220V.

3. Cálculo de la potencia (kW) consumida de energía para la línea de producción.

$$\text{Ecuación No. 6 } P = \frac{A \times V}{1000}$$

Para la potencia de la cortadora (PV002):

$$P = \frac{1.10A \times 220V}{1000} = 0.242kW$$

4. Cálculo de la potencia consumida (kWh) por lote de 150 kg de preparado vegetal.

$$\text{Ecuación No. 7. Potencia consumida } \left(\frac{kWh}{\text{lote}}\right) = \text{Potencia} \times t$$

Donde t es el tiempo (horas) de funcionamiento por lote.

Para la potencia consumida de la cortadora (PV002):

$$\text{Potencia consumida (kWh)} = 0.242kW \times \frac{3.94\text{min}}{\text{lote}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{min}}$$

$$\text{Potencia consumida (kWh)} = 0.0159 \frac{kWh}{\text{lote}}$$

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar el flujo necesario de envasado de preparado vegetal, basado en la demanda promedio proyectadas para dicho producto por la empresa.

5. Cálculo del flujo de envasado por turno de 8 horas de operación.

$$\text{Ecuación No. 8 Preparado vegetal por día} = \frac{\text{Ventas promedio mensuales}}{\text{Días laborales mensuales}}$$

$$\text{Preparado vegetal por día} = \frac{44,322 \frac{\text{lb}}{\text{mes}}}{20 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = 2,216.0 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El número de envases a producir por día laboral se calculó como sigue:

$$\text{Flujo envasado por día} = 2,216.0 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ envase}}{0.1135 \text{ kg}} = 19,525 \frac{\text{envases}}{\text{día}}$$

6. Volumen anual de producción de envases de preparado vegetal.

$$\text{Volumen anual} = 19,525 \frac{\text{envases}}{\text{día}} \times \frac{248 \text{ días laborales}}{1 \text{ año}} = 4,822,200 \frac{\text{envases}}{\text{año}}$$

A continuación, se presentan los cálculos realizados para el diseño de los equipos necesarios para la línea de envasado del preparado vegetal.

7. Cálculo del flujo de envasado (envases por minuto).

Tomando en consideración que la producción se realizará durante 8 horas por día laboral y por 5 días a la semana.

$$\text{Flujo de envasado por minuto} = 19,525 \frac{\text{envases}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 41 \frac{\text{envases}}{\text{min}}$$

8. Índice promedio requerido para la llenadora de preparado vegetal.

Considerando un flujo de envasado de 41 envases por minuto y un factor de seguridad de sobredimensionamiento de 10% (Peters, 1991) para el flujo de envasado requerido se obtiene:

$$\text{Flujo mínimo de envasado por minuto} = 41 \frac{\text{envases}}{\text{min}} \times 1.10 = 45 \frac{\text{envases}}{\text{min}}$$

9. Índice instantáneo de la llenadora de carrusel seleccionada.

El índice de producción, proporcionado por el fabricante, para la llenadora seleccionada es de 3,000 envases por hora de operación.

$$\text{Índice instantáneo} = 3,000 \frac{\text{envases}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 50 \frac{\text{envases}}{\text{min}}$$

10. Cálculo flujo volumétrico (m³/s) de alimentación a llenadora.

Partiendo del flujo volumétrico de 30.0 galones por minuto, requerido según especificaciones de la llenadora:

$$\dot{v} = 30.0 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.00189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

11. Cálculo del flujo másico para alimentación de preparado vegetal.

Para una densidad promedio de 990.00 kg/m³:

$$\text{Ecuación No. 9. } \dot{m} = \rho \times \dot{v}$$

$$\dot{m} = 990.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.00189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.88 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

12. Cálculo del área de flujo en tubería del preparado vegetal.

$$\text{Ecuación No. 10. } A = \frac{\pi}{4} d^2$$

Donde:

A: Área de flujo en tubería

d: Diámetro de tubería

Considerando que la tubería a utilizar posee un diámetro de 0.0508 m (2 pulgadas).

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0508\text{m})^2 = 0.00203\text{m}^2$$

13. Cálculo de la velocidad lineal de flujo.

$$\text{Ecuación No. 11. } u = \frac{\dot{V}}{A} \text{ (McCabe, 2007)}$$

Donde:

u: Velocidad lineal de flujo en tubería

\dot{V} : Flujo volumétrico (m^3/s)

A: Área de flujo

$$u = \frac{0.00189 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.00203\text{m}^2} = 0.932 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

14. Cálculo del número de Reynolds (NRe).

$$\text{Ecuación No. 12. } NRe = \frac{\rho D u}{\mu} \text{ (McCabe, 2007)}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

u: Velocidad lineal (m/s)

D: Diámetro de tubería (m)

μ : Viscosidad de fluido (kg/ms)

$$NRe = \frac{\left(990.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 0.0508\text{m} \times 0.932 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.0410 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1,143.22$$

15. Cálculo del factor de Fanning (f).

Debido a que el número de Reynolds (NRe) es menor a 2,100, se supone un flujo laminar del preparado vegetal. Así, el factor de fanning estará dado por:

$$\text{Ecuación No. 13. } f = \frac{16}{NRe} \text{ (McCabe, 2007)}$$

Para $NRe = 1,143.22$:

$$f = \frac{16}{1,143.22} = 0.01399$$

16. Cálculo de la fricción de superficie (h_{fs}).

$$\text{Ecuación No. 14. } h_{fs} = 4f \frac{L \cdot u^2}{D^2} \text{ (McCabe, 2007)}$$

Donde:

f: Factor de fanning

L: Largo de tubería (*m*)

u: Velocidad lineal (*m/s*)

D: Diámetro de tubería (*m*)

$$h_{fs} = 4(0.01399) \frac{(4\text{m}) \cdot (0.932 \text{ m/s})^2}{0.0508\text{m} \cdot 2} = 1.915 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

17. Cálculo de la carga desarrollada por la bomba.

Tomando como referencia la Ecuación No. 1 y la Figura No. 1, para aplicar la ecuación de Bernoulli, la carga desarrollada del sistema en cuestión se obtiene a través de la Ecuación No. 15. Suponiendo un comportamiento de flujo laminar, se desprecian las pérdidas por fricción por contracciones y expansiones. Asimismo, dado que la tubería utilizada es flexible se desprecia la pérdida por fricción de válvulas y accesorios.

$$\text{Ecuación No. 15. } \eta W_p = \frac{\alpha_b u_b^2}{2} + h_f + \frac{g Z_b}{g_c} \text{ (McCabe, 2007)}$$

Donde:

$\alpha_b = 2.0$, para flujo laminar (McCabe, 2007, Página 94)

$g_c = 1.0$

$Z_b = 1.0$ metros

$h_f = h_{fs}$

$$\eta W_p = \frac{2 \cdot (0.932 \text{ m/s})^2}{2} + 1.915 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times 1.0\text{m} = 12.59 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

18. Cálculo de la caída de presión.

Aplicando la ecuación de Bernoulli en los extremos de la bomba se obtiene la Ecuación No. 16.

$$\text{Ecuación No. 16. } \eta W_p = \frac{P_b - P_a}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$\Delta P = \eta W_p \times \rho$$

$$\Delta P = 12.59 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \times 990.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 12,469.06\text{Pa}$$

19. Cálculo de la potencia de la bomba para la alimentación del preparado vegetal a la llenadora.

A partir de la ficha técnica de la bomba de diafragma disponible, la cual indica que dicha bomba posee una eficiencia de 70.0%. Por lo tanto, se supuso esta eficiencia para los siguientes cálculos.

$$\text{Ecuación No. 17. } W_{p_{\text{nominal}}} = \frac{\Delta H}{\eta} \text{ (McCabe, 2007)}$$

$$W_p = \frac{12.59 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0.70} = 17.99 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\text{Ecuación No. 18. } P_B = \dot{m} \times W_p \text{ (McCabe, 2007)}$$

$$P_B = 1.88 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 17.99 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 33.67\text{W}$$

$$P_B = 33.67\text{W} \times \frac{1\text{hp}}{745.7\text{W}} = 0.050\text{hp}$$

20. Cálculo del NPSH disponible para el proceso.

Considerando que el preparado vegetal es una mezcla no homogénea de sólidos y líquidos no volátiles, se supuso que la presión de vapor del preparado vegetal es despreciable.

$$\text{Ecuación No. 19. } \text{NPSH} = \frac{g_c}{g} \left(\frac{p'_a - p_v}{\rho} - h_{fs} \right) - Z_a \text{ (McCabe, 2007)}$$

Donde:

p'_a = Presión absoluta en superficie de depósito

p_v = Presión de vapor

Z_a = Altura de superficie de depósito a succión

$$\text{NPSH} = \frac{1}{9.81 \text{ m/s}} \left(\frac{101325 \text{ N/m}^2}{990.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} - 1.915 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) - 1.0\text{m} = 9.24\text{m}$$

El valor de NPSH disponible es mayor que NPSHR proporcionado por el fabricante (4.7m). Por consiguiente, la bomba es adecuada para los propósitos de servicio.

21. Cálculo de flujo de aire comprimido necesario.

Según especificación de la llenadora, se necesita un flujo de aire comprimido para su funcionamiento de 0.014m³/s y una presión promedio de 551.58kPa (110psi). En el caso del flujo de aire comprimido en bomba, de la curva característica se obtuvo un flujo de aire estándar de 0.011m³/s. Corrigiendo para una temperatura de 25°C, se obtuvo el flujo de aire efectivo de la siguiente manera:

$$0.011\text{m}^3/\text{s} \times \frac{298\text{K}}{273\text{K}} = 0.012\text{m}^3/\text{s}$$

De esta forma, se obtuvo un flujo de aire a comprimir total de $0.012\text{m}^3/\text{s}$ para la bomba y la llenadora. Se consideró un factor de seguridad de sobredimensionamiento de 10%, según (Peters, 1991), para el flujo de aire.

$$0.012\text{m}^3/\text{s} \times 1.10 = 0.029\text{m}^3/\text{s}$$

El flujo de aire comprimido en metros cúbicos por segundo se obtuvo de:

$$60.62\text{CFM} = 60.62 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \times \frac{1\text{m}^3}{35.315\text{ft}^3} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 0.029 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ Aire}$$

22. Cálculo de Flujo molar de aire comprimido requerido.

$$\text{Ecuación No. 20. } \dot{n} = \frac{\dot{v}}{V} \text{ (Sinnott, 2008)}$$

Donde:

\dot{v} : Flujo volumétrico de aire

V : Volumen específico del aire a 25°C

$$V_{25^\circ\text{C}} = 22.4 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \times \frac{298\text{K}}{273\text{K}} = 24.45 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

$$\dot{n} = \frac{0.0286 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{24.45 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}} = 0.00117 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

23. Cálculo de la razón de compresión necesaria.

Para la presión de salida, se consideró la presión promedio requerida por la llenadora (551.58kPa máximo). Además, se tomó en consideración un 10% de factor de seguridad de sobredimensionamiento. (Peters, 1991)

$$\text{Ecuación No. 21. Razón de compresión} = \frac{P_2}{P_1}$$

Donde:

P_2 = Presión de salida

P_1 = Presión de alimentación.

Presión alimentación = 101.325kPa (14.7psi)

Presión de salida = 861.841kPa (125psi)

$$\text{Razón de compresión} = \frac{861.841\text{kPa}}{101.325\text{kPa}} = 8.51$$

24. Cálculo del trabajo isentrópico del compresor.

Para este cálculo se utilizará la Ecuación No. 3. Tomando en consideración las siguientes condiciones:

- Temperatura alimentación = 25.0°C (298.15K)
- Presión alimentación = 101.325kPa (14.7psi)

- c. Suponiendo para el aire: $\frac{C_p}{C_v} = \gamma = 1.4$
 d. Presión de salida = 861.841kPa (125psi)

$$W_{s(\text{isentrópico})} = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}} \times 298\text{K} \times \frac{1.4}{1.4 - 1} \left[(8.51)^{(1.4-1)/1.4} - 1 \right] = 7,317.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

25. Cálculo del trabajo real del compresor.

$$\text{Ecuación No. 22. } W_s = \frac{W_{s(\text{isentrópico})}}{\eta} \text{ (Smith, 2007)}$$

Suponiendo una eficiencia de 80.0% para compresores rotatorios con razones de compresión mayores a 3.0. (Walas, 1990)

$$W_s = \frac{7317.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}}{0.80} = 9147.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

26. Cálculo de la potencia requerido por el compresor.

$$\text{Ecuación No. 23. } P = W_s \times \dot{n} \text{ (Sinnott, 2008)}$$

$$P = 9147.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \times 0.00117 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} = 10.70\text{kW}$$

$$P = 10.70\text{kW} \times \frac{1\text{hp}}{0.7457\text{kW}} = 14.35\text{hp}$$

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar los costos de la línea de envasado de preparado vegetal, la estimación de sus insumos y el flujo de caja correspondiente. Para el consumo de energía eléctrica se tomó como base una operación diaria por equipo de 8 horas, operando 5 días a la semana. Todos los equipos funcionan con un voltaje de 220V.

27. Costo total equipo de línea de envasado de preparado vegetal.

Para el costo total del equipo se tomó en consideración el costo de la llenadora de carrusel a utilizar y el costo del compresor seleccionado.

$$\text{Ecuación No. 24. Costos equipo} = \text{Costo llenadora} + \text{Costo compresor}$$

$$\text{Costos equipo} = \text{Q. } 440,491.07 + \text{Q}146,192.00 = \text{Q. } 586,683.07$$

28. Cálculo de la inversión inicial de la línea de envasado del preparado vegetal.

Según directrices del equipo de mantenimiento de la empresa, se consideró un 3.0% de costo de instalación de tubería e instalación eléctrica. Asimismo, la empresa solicitó considerar en este cálculo un 5.0% de costos imprevistos. Ambos porcentajes se calculan sobre el monto de inversión de equipo.

$$\text{Costo instalación tubería y eléctrica} = \text{Q}586,683.07 \times 0.03 = \text{Q}17,600.43$$

$$\text{Imprevistos} = Q586,683.07 \times 0.05 = Q29,334.15$$

$$\text{Inversión inicial} = Q586,683.07 + Q17,600.49 + Q29,334.15 = Q633,617.72$$

29. Costo de consumo de energía eléctrica para la operación de equipos de la línea de producción y línea de envasado.

Para el cálculo de costo por consumo de energía eléctrica por equipo, se utilizó la tarifa por kWh definida por la empresa como costo promedio para todos sus equipos. Así, el costo por kWh utilizado fue de Q1.3773. El cálculo se realizó para un lote de 150kg de preparado vegetal y el cálculo se repitió para todos los equipos de la línea. Los resultados se muestran en el Cuadro No. 39.

$$\text{Ecuación No. 25. Costo operación por lote} = \text{Potencia consumida} \times \text{tarifa}$$

Utilizando el costo de operación de la Cortadora (PV002) como ejemplo, se obtiene que el costo de consumo de energía eléctrica de:

$$\text{Costo operación por lote} = 0.0159 \frac{\text{kWh}}{\text{lote}} \times 1.3773 \frac{\text{Q}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo operación por lote} = 0.0219 \frac{\text{Q}}{\text{lote}}$$

30. Costo de consumo total de energía eléctrica de la línea de envasado de preparado vegetal.

Para el cálculo del consumo total de energía eléctrica de la línea de envasado se suman todos los consumos de energía eléctrica de los diferentes equipos, según los resultados del Cuadro No. 39.

$$\text{Ecuación No. 26. Costo total} = \sum \text{Costos equipos de línea envasado}$$

$$\text{Costo total} = (9.9564 + 1.1948 + 2.4689 + 0.0283) \frac{\text{Q}}{\text{lote}}$$

$$\text{Costo total} = 13.6483 \frac{\text{Q}}{\text{lote}}$$

31. Costo de consumo de energía eléctrica adjudicable a cada envase de preparado vegetal.

A partir del balance de masa, se determinó que, en cada lote de 150kg de producto, se producen 1,300 envases.

$$\text{Ecuación No. 27. Costo energético envase} = \frac{\text{Costo energético por lote}}{\text{Envases por lote}}$$

$$\text{Costo energético envase} = \frac{13.6483 \frac{\text{Q}}{\text{lote}}}{1,300 \frac{\text{envases}}{\text{lote}}} = 0.01073 \frac{\text{Q}}{\text{envase}}$$

32. Costo de energía eléctrica anual por operación de línea de envasado de preparado vegetal.

$$\text{Costo energético anual} = 0.01073 \frac{\text{Q}}{\text{envase}} \times 4,482,200 \frac{\text{envases}}{\text{año}} = 48,076.30 \frac{\text{Q}}{\text{año}}$$

33. Balance de personal antes y después del proyecto de la línea de envasado de preparado vegetal.

Para el balance de personal se consideraron las prestaciones indicadas en el Cuadro No. 23.

Cuadro No. 23: Prestaciones para balance de personal

Prestación	Valor
IGSS	10.67%
IRTRA	1.00%
INTECAP	1.00%
Bono 14	8.33%
Aguinaldo	8.33%
Pasivo laboral	8.33%
Valor hora extra	Q 13.00

El salario anual por operario se calculó con la Ecuación No. 28.

$$\text{Ecuación No. 28. Salario anual total} = \text{Salario mensual} \times 12 \text{ meses}$$

El salario anual para el operario en la estación de pesado de materia prima será:

$$\text{Salario anual total} = 2,667.00 \frac{\text{Q}}{\text{mes}} \times 12 \text{ meses} = \text{Q}32,004.00$$

Para el cálculo del costo anual de prestaciones por operario se utilizó la Ecuación No. 29.

Ecuación No. 29.

$$\text{Costo prestaciones} = \text{Sueldo anual} \times (\% \text{IGSS} + \% \text{IRTRA} + \% \text{Intecap} + \% \text{Bono14} + \% \text{Aguinaldo} + \% \text{Pasivo laboral})$$

El costo anual de prestaciones para el operario en pesado de materia prima será:

$$\text{Costo anual prestaciones} = \text{Q}32,004.00 \times (37.67\%) = \text{Q}12,055.91$$

El costo total anual por operario se calculó con la Ecuación No. 30.

$$\text{Ecuación No. 30. Costo total anual} = \text{Sueldo total anual} + \text{Costo anual prestaciones}$$

El costo total anual para el operario en pesado de materia prima será:

$$\text{Costo total anual} = \text{Q}32,004.00 + \text{Q}12,055.91 = \text{Q}44,059.91$$

El costo del resto de operarios fue determinado siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Los resultados se muestran en el Cuadro No. 41 y Cuadro No. 42.

34. Cálculo de costos variables de preparado vegetal línea actual y nueva línea.

Para el cálculo de costos variables se tomaron en cuenta los datos del Cuadro No. 17 y se obtuvieron con la Ecuación No. 31.

$$\text{Ecuación No. 31. Costo anual} = \text{Cantidad anual} \times \text{Costo unitario}$$

Así, el costo anual del preparado vegetal es:

$$\text{Costo anual preparado} = 508,729.70 \times 8.25 \frac{\text{Q}}{\text{kg}} = \text{Q}4,202,062.50$$

Los costos variables por unidad se calcularon tomando en cuenta los costos anuales de materia prima, empaque y el costo anual de la mano de obra directa con la Ecuación No. 32.

$$\text{Ecuación No. 32. Costo variable} = \frac{\text{Costo materia prima} + \text{Costo empaque} + \text{Costo mano de obra}}{\text{Envases anuales}}$$

$$\text{Costo variable} = \frac{\text{Q}4,202,062.50 + \text{Q}1,568,770.00 + \text{Q}516,746.71}{4,482,200 \text{ envases}}$$

$$\text{Costo variable} = 1.403 \frac{\text{Q}}{\text{envase}}$$

35. Cálculo del ahorro en costo variable por implementación de la nueva línea de envasado automático.

$$\text{Ecuación No. 33. Ahorro} = \text{Costo actual} - \text{Costo nueva línea}$$

$$\text{Ahorro} = 1.403 \frac{\text{Q}}{\text{envase}} - \text{Q} 1.539 \frac{\text{Q}}{\text{envase}} = -\text{Q}0.136 \frac{\text{Q}}{\text{envase}}$$

36. Cálculo de costo de mantenimiento anual de línea envasado automático.

Para el costo de mantenimiento anual de la línea de envasado se estimó un 5.0% sobre la inversión inicial calculada, lo cual fue una directriz de la gerencia de procesamiento y operaciones de la planta.

$$\text{Costo mantenimiento anual} = \text{Q}633,617.72 \times 0.05 = \text{Q}31,680.89$$

37. Cálculo de ahorro anual mano de obra indirecta por implementación de nueva línea de envasado.

Se utilizaron los datos en el Cuadro No. 22 para los siguientes cálculos. Adicional, se consideró que el proceso de llenado manual en los puntos de venta se realiza los 365 días del año.

$$\text{Ecuación No. 34. Costo anual MOI} = \text{Puntos neta} \times (\text{Horas día} \times \text{Costo hora} \times \text{Días al año})$$

$$\text{Costo anual MOI} = 133 \times \left(2.00 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 13.00 \frac{\text{Q}}{\text{h}} \times 365 \text{ días} \right) = \text{Q}1,262,170.00$$

38. Cálculo de ahorro en costos fijos anuales por implementación de nueva línea de envasado automático.

$$\text{Ecuación No. 35. Ahorro} = \text{Costo mantenimiento} + \text{Costo energía} + \text{ahorro MOI}$$

Donde:

Costo mantenimiento: costo mantenimiento de nuevos equipos

Costo energía: costo energía nuevos equipos

Ahorro MOI: ahorro mano de obra indirecta que se eliminará

$$\text{Ahorro} = -Q31,680,89 + (-Q48,076.30) + Q1,262,170.00 = Q1,182,412.81$$

39. Cálculo depreciación equipo nuevo de la línea de envasado automático de preparado vegetal.

Para el cálculo de la depreciación del equipo de la línea de envasado de preparado vegetal, se utilizó el sistema modificado acelerado de recuperación de costos (SMARC). Siguiendo las políticas establecidas por la empresa para depreciaciones de equipo, se utilizó un período de depreciación de 5 años. Las tasas de depreciación por año utilizadas se muestran en el Cuadro No. 24.

Cuadro No. 24: Tasa depreciación por año SMARC

Año	Tasa depreciación
1	20.0%
2	32.0%
3	19.20%
4	11.52%
5	17.28%

Para el cálculo del valor en libros del equipo por año se utilizó la Ecuación No. 36.

$$\text{Ecuación No. 36. Valor libros} = \text{Valor año anterior} - (\text{Valor inicial} \times \text{Tasa depreciación})$$

$$\text{Valor libros año 1} = Q633,617.72 - (Q633,617.72 \times 0.20) = Q506,894.17$$

D. Datos calculados

Cuadro No. 25: Rendimientos y tiempos por etapa del proceso de producción para un lote de 150kg de producto final

Etapa del proceso de producción	Rendimiento		Tiempo por lote (min)
Limpieza primaria	91.89%		3.47
Cortado	92.72%		3.94
Banda transportadora de rodillos	N/A		3.37
Tanque desinfección	N/A		5.00
Banda transportadora 2	N/A		1.37
Mesa calada (drenado)	N/A		3.57
Picadora	V101	99.64%	3.51
	V102	60.00%	
Banda transportadora 3	100%		3.30
Mezcladora	99.95%		5.00
Llenadora	99.50%*		31.85

Cuadro No. 26: Flujos de la producción de preparado vegetal

Producción mensual promedio	Producción diaria promedio	Flujo de envasado por día	Flujo de envasado	Volumen producción envases anual
44,322 kg	2,216 kg	19,525 $\frac{\text{envases}}{\text{día}}$	41 $\frac{\text{envases}}{\text{min}}$	4,482,200 $\frac{\text{envases}}{\text{año}}$

Cuadro No. 27: Balance de masa de la línea de producción y envasado por lote de 150 kg de preparado vegetal

Etapa	Masa entrada (kg)	Masa salida (kg)	Pérdidas (kg)
Limpieza primaria	150.00	137.83	12.17
Cortado	137.83	127.80	10.03
Picado	145.66	145.14	0.52
Mezclado	149.05	148.98	0.07
Llenado	148.98	148.24 (1306 envases)	0.74

Cuadro No. 28: Balance de energía de la línea de producción para cada lote de preparado vegetal

Equipo	Potencia (kW)	Potencia ($\frac{kWh}{lote}$)
Cortadora (PV002)	0.242	0.0159
Banda transportadora de rodillos (PV003)	0.550	0.0309
Banda transportadora suelo móvil 1 (PV005)	0.506	0.0284
Mesa calada (PV006)	0.550	0.0327
Picadora (PV007)	0.770	0.0451
Banda transportadora suelo móvil 2 (PV008)	0.374	0.0205
Mezcladora (PV009)	0.836	0.0697
Compresor (PV013)	13.20	7.23
Secador compresor (PV013)	1.58	0.868
Llenadora (PV012)	2.31	1.79
Banda transportadora suelo móvil 3 (PV014)	0.374	0.0205

Cuadro No. 29: Índice promedio requerido e índice instantáneo de llenadora seleccionada

Índice promedio (envases/min)	Índice instantáneo (envases/min)
45.0	50.0

Cuadro No. 30: Velocidad lineal, flujo volumétrico y másico para bomba de alimentación a llenadora

Flujo volumétrico (m^3/s)	Flujo másico (kg/s)	Área de flujo (m^2)	Velocidad lineal (m/s)
0.00189	1.88	0.00203	0.932

Cuadro No. 31: Características y propiedades de flujo de la bomba de alimentación a llenadora

Número de Reynolds (NRe)	Factor de Fanning	Fricción de superficie (m^2/s^2)	Carga de bomba (m^2/s^2)	Caída de presión (Pa)
1,143.22	0.01399	1.915	12.59	12,469.06

Cuadro No. 32: Potencia de la bomba para alimentación de preparado vegetal a llenadora

Potencia nominal (m^2/s^2)	Potencia entrada (W)	Potencia entrada (hp)
17.99	33.67	0.050

Cuadro No. 33: Carga neta de succión positiva de bomba para alimentación de llenadora

NPSH	NPSHR	Decisión
9.24m	4.7m	Bomba adecuada

Cuadro No. 34: Cálculos del flujo de aire comprimido requerido por bomba de alimentación de llenadora

Flujo de aire bomba (m ³ /s)	Flujo de aire llenadora (m ³ /s)	Flujo de aire total (m ³ /s)	Flujo molar de aire (kmol/s)
0.011	0.014	0.0286	0.00117

Cuadro No. 35: Dimensionamiento de compresor rotatorio para uso con llenadora

Razón de compresión	Trabajo isentrópico (kJ/kmol)	Trabajo real (kJ/kmol)	Potencia compresor (kW)	Potencia compresor (hp)
8.51	7,317.97	9,147.46	10.70	14.35

Cuadro No. 36: Especificaciones de llenadora de carrusel seleccionada para línea automática de envasado

Equipo	Estado	Especificaciones	Costo (Sin IVA)
Llenadora	Nueva inversión	<p>Llenadora de carrusel de plato ajustable Estaciones disponibles para alimentación de envases, para dosificación, colocación tapa, sellado, fechado y expulsión. (6 estaciones máximo) Flujo máximo de envasado: 3,000 envases por hora Regulación de dosis a administrar Variabilidad de dosis de 0.01 libras Flujo alimentación requerido: 30gpm Presión y consumo neumático: 30CFM, promedio de 80 a 110 psi de aire seco. Alimentación neumática ½” NPT Sistema neumático con regulación de caudal y silenciadores Banda transportadora para descarga de PVC alimentario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 1.56m • Ancho: 0.30m • Velocidad de avance: 0.08m/s • Potencia: 1.0hp, 220V <p>Materiales: acero inoxidable 316 y termoplásticos (aprobada por FDA) Panel de control electrónico y panel neumático Tanque de contingencia con electroválvula para llenado automático. Alimentación de 2”. Control eléctrico de temperatura, presurización y dosificación Costo incluye instalación y capacitación de personal</p>	Q. 440,491.07

Cuadro No. 37: Especificaciones de bomba de diafragma y compresor de tornillo seleccionados para la línea automática de envasado

Equipo	Estado	Especificaciones	Costo (Sin IVA)
Bomba de diafragma	En inventario en planta	Bomba de diafragma (2"X2"). Diafragma de ultra-flex Potencia: 1.0hp NPSHR: 4.7m Temperatura de operación: -28.9°C a 104.4°C Dimensiones: 0.429m alto, 0.368m ancho, 0.320m profundidad Alimentación aire (neumática): ½" NPT Acero inoxidable 316 Flujo máximo: 80gpm	No aplica
Compresor	Inversión	Compresión de tornillo Presión operacional: 125psig Capacidad a presión operacional: 64 CFM Motor: 15hp Motor 220V, trifásico. 60Hz Secador refrigerativo integrado Depósito aire comprimido, hierro galvanizado Filtro separador de condensado Drenaje de condensados Filtro para aerosoles extrafinos Costo incluye instalación	Q. 146,192.00

Cuadro No. 38: Costos de equipo e inversión inicial de la línea de envasado de preparado vegetal

Costo total equipo	Costo tubería e instalación eléctrica	Costos imprevistos (5% de costo equipo)	Inversión inicial
Q 586,683.07	Q 17,600.43	Q 29,334.15	Q 633,617.72

Cuadro No. 39: Costo de operación de equipos de línea de producción y línea de envasado automático para un lote de 150 kg de preparado vegetal

Equipo	Costo de operación ($\frac{Q}{lote}$)
Cortadora (PV002)	0.0219
Banda transportadora 1 (PV003)	0.0425
Banda transportadora 2 (PV005)	0.0391
Mesa calada (PV006)	0.0450
Picadora (PV010)	0.0621
Banda transportadora 3 (PV011)	0.0283
Mezcladora (PV012)	0.0960
Compresor (PV013)	9.9564
Secador compresor (PV013)	1.1948
Llenadora (PV012)	2.4689
Banda transportadora 4 (PV014)	0.0283

Cuadro No. 40: Costo total y por envase del consumo de energía eléctrica de la nueva línea de envasado automático, considerando lotes de 150kg de preparado vegetal

Costo total consumo energía por lote (Q/lote)	Costo consumo de energía adjudicable por envase (Q/envase)	Costo energético anual (Q/año)
13.65	0.011	48,076.30

Cuadro No. 41: Balance de personal de línea actual de producción y envasado de preparado vegetal (sistema manual)

No.	Puesto	Sueldo Mensual	Sueldo total anual	IGSS	IRTRA	INTECAP	Bono 14	Aguinaldo	Pasivo laboral	Costo total anual
1	Pesado materia prima	Q2,667.00	Q32,004.00	Q3,414.83	Q320.04	Q320.04	Q2,667.00	Q2,667.00	Q2,667.00	Q44,059.91
2	Limpieza primaria	Q3,270.00	Q39,240.00	Q4,186.91	Q392.40	Q392.40	Q3,270.00	Q3,270.00	Q3,270.00	Q54,021.71
3	Corte	Q2,965.00	Q35,580.00	Q3,796.39	Q355.80	Q355.80	Q2,965.00	Q2,965.00	Q2,965.00	Q48,982.99
4	Desinfección/limpieza	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
5	Picado	Q2,532.00	Q30,384.00	Q3,241.97	Q303.84	Q303.84	Q2,532.00	Q2,532.00	Q2,532.00	Q41,829.65
6	Mezclado	Q2,532.00	Q30,384.00	Q3,241.97	Q303.84	Q303.84	Q2,532.00	Q2,532.00	Q2,532.00	Q41,829.65
7	Producto terminado	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
8	Llenador 1	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
9	Llenador 2	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
10	Llenador 3	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
11	Llenador 4	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
12	Empacador	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
									Total anual	Q516,746.71

Cuadro No. 42: Balance de personal de la nueva línea de producción y envasado de preparado vegetal (llenado automático)

No.	Puesto	Sueldo mensual	Sueldo total anual	IGSS	IRTRA	INTECAP	Bono 14	Aguinaldo	Pasivo laboral	Costo total anual
1	Pesado materia prima	Q2,667.00	Q32,004.00	Q3,414.83	Q320.04	Q320.04	Q2,667.00	Q2,667.00	Q2,667.00	Q44,059.91
2	Limpieza primaria	Q3,270.00	Q39,240.00	Q4,186.91	Q392.40	Q392.40	Q3,270.00	Q3,270.00	Q3,270.00	Q54,021.71
3	Corte	Q2,965.00	Q35,580.00	Q3,796.39	Q355.80	Q355.80	Q2,965.00	Q2,965.00	Q2,965.00	Q48,982.99
4	Desinfección/limpieza	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
5	Picado	Q2,532.00	Q30,384.00	Q3,241.97	Q303.84	Q303.84	Q2,532.00	Q2,532.00	Q2,532.00	Q41,829.65
6	Mezclado	Q2,532.00	Q30,384.00	Q3,241.97	Q303.84	Q303.84	Q2,532.00	Q2,532.00	Q2,532.00	Q41,829.65
7	Producto terminado	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
8	Llenadora	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
9	Empacador 1	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
10	Empacador 2	Q2,473.33	Q29,679.96	Q3,166.85	Q296.80	Q296.80	Q2,473.33	Q2,473.33	Q2,473.33	Q40,860.40
									Total anual	Q435,025.91

Cuadro No. 43: Costos variables línea actual y nueva línea de preparado vegetal

Línea	Costo anual materia prima	Costo anual empaque	Costo variable por envase	Ahorro costo variable por envase
Actual	Q4,202,062.50	Q1,568,770.00	Q1.403	-Q0.136
Nueva		Q2,259,768.00	Q1.539	

Cuadro No. 44: Costos fijos incrementales de nueva línea de envasado continua y automático

Costo anual mantenimiento	Ahorro anual mano de obra indirecta	Ahorro en costos fijos anuales
Q 31,680.89	Q1,262,170.00	Q1,182,412.81

Los resultados mostrados a continuación, en el Cuadro No. 45, se obtuvieron a partir de las tasas definidas por el método SMARC que se muestran en el Cuadro No. 24.

Cuadro No. 45: Depreciación de equipo línea envasado automático de preparado vegetal, según método SMARC

Año	0	1	2	3	4	5
Valor depreciado	Q0.00	-Q126,723.54	-Q202,757.67	-Q 121,654.60	-Q72,992.76	- Q109,489.14
Valor libros	Q633,617.72	Q506,894.17	Q304,136.50	Q182,481.90	Q109,489.14	Q0.00

Cuadro No. 46: Criterios para flujo de caja incremental de línea de envasado automático de preparado vegetal

Flujo incremental costos variables (año 1)	-0.136 Q/envase
Flujo incremental costos fijos (año 1)	Q1,182,412.81
Aumento anual de producción	3.0%
Aumento anual costos fijos	10.0%
Impuesto sobre la renta (ISR)	31.0%
Impuesto de solidaridad	1.0%
Unidades producidas año 1 (envases)	4,482,200
Tasa marginal de retorno (TMAR)	8.75%

Cuadro No. 47: Flujo de caja incremental por implementación de nueva línea de envasado automático del preparado vegetal

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos	-	-	-	-	-	-
Costos fijos		Q1,182,412.81	Q1,064,171.53	Q957,754.38	Q861,978.94	Q775,781.05
Costos variables		-Q609,277.20	-Q627,555.51	-Q646,382.18	-Q665,773.64	-Q685,746.85
Depreciación		-Q126,723.54	-Q202,757.67	-Q121,654.60	-Q72,992.76	-Q109,489.14
Utilidad antes de impuesto		Q446,412.07	Q233,858.35	Q189,717.60	Q123,212.54	-Q19,454.95
Impuestos		-Q142,851.86	-Q74,834.67	-Q60,709.63	-Q39,428.01	Q6,225.58
Utilidad neta		Q303,560.21	Q159,023.68	Q129,007.97	Q83,784.52	-Q13,229.36
Depreciación		Q126,723.54	Q202,757.67	Q121,654.60	Q72,992.76	Q109,489.14
Inversión inicial	-Q633,617.72					
Flujo de caja incremental	-Q633,617.72	Q430,283.75	Q361,781.35	Q250,662.57	Q156,777.29	Q96,259.78

Cuadro No. 48: Evaluación económica de la implementación de línea de envasado del preparado vegetal

Valor presente neto	Tasa interna de retorno (TIR)	Período de recuperación de inversión
Q 438,221.16	40.99%	1.64 años

E. Análisis de error

1. Cálculo de la media

$$\text{Ecuación No. 37. } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Donde:

x_i : valor *i-ésimo* de una serie de datos.

n : número de datos en la serie

Ejemplo para la media de la demanda mensual de preparado vegetal (kg/mes), según datos en Cuadro No. 17.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{12} \frac{(43,091 + 39,689 + 39,916 + 51,709 + 43,545 + 35,834 + 42,638 + 43,998 + 38,102 + 43,091 + 48,988 + 60,781)}{12}$$
$$\bar{X} = 44,322 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

2. Desviación estándar

$$\text{Ecuación No. 38 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

Donde:

x_i : valor *i-ésimo* de una serie de datos.

\bar{x} : media.

$N - 1$: grados de libertad.

Ejemplo para la demanda mensual de preparado vegetal (kg/mes), según datos en Cuadro No. 17.

$$s = \sqrt{\frac{(43,091 - 44,322)^2 + (39,689 - 44,322)^2 + (39,916 - 44,322)^2 + (51,709 - 44,322)^2 + (43,545 - 44,322)^2}{11}}$$
$$s = 6,489.91 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

F. Análisis estadístico

1. Prueba sensorial discriminativa triangular

A continuación, se presentan los resultados y conclusión obtenida del estudio sensorial de vida útil del preparado vegetal envasado a nivel laboratorio. Para dicho análisis se trabajó con un panel entrenado de 14 expertos. Considerando que los análisis de vida útil microbiológica indicaron que la vida útil del producto envasado automáticamente fue de 7 días, se realizaron pruebas sensoriales discriminativas triangulares.

En la primera prueba se comparó una muestra con 7 días de vida útil contra producto de 1 día de vida útil. En la segunda prueba se comparó una muestra con 8 días de vida útil contra producto de 1 día de vida útil. Para ambas pruebas se manejó una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.

La hipótesis nula de la prueba fue:

$$H_0 = \text{No existe diferencia entre las muestras}$$

La hipótesis alternativa de la prueba fue:

$$H_a = \text{Existe diferencia entre las muestras}$$

Para determinar la significancia de la diferencia entre estos productos se utilizó el Cuadro No. 49 (Meilgaard, 1999).

Cuadro No. 49: Análisis discriminativo triangular con un 95% de nivel de confianza

Evaluadores	Juicios mínimos correctos necesarios para indicar diferencia significativa
14	9

El valor de los juicios mínimos correctos para indicar una diferencia significativa entre las muestras proviene de la ecuación:

$$\text{Ecuación No. 39. } z = \frac{k - \left(1 \times \frac{1}{3} \times n\right)}{\sqrt{\frac{2}{9} \times n}} \quad (\text{Meilgaard, 1999})$$

Donde:

z: Valor de α de desviación estándar

k: Número de respuestas necesarias para que haya diferencia significativa

n: Número de evaluadores

Cuadro No. 50: Resultados de pruebas sensoriales

Vida útil de muestra	Juicios correctos
7 días	5
8 días	11

En la prueba con producto con 7 días de vida útil, del total de los evaluadores en la prueba se obtuvo 5 juicios correctos. Esto implica que cinco evaluadores fueron capaces de identificar cuál era la muestra diferente. El número de juicios correctos obtenidos (5 juicios) es menor al número de juicios mínimos requeridos (9 juicios) para afirmar que existe diferencia entre las muestras, con un nivel de confianza de 95%. Por lo tanto, se puede afirmar, con un 95% de confianza, que la diferencia entre la muestra con 7 días de vida útil y la muestra con 1 día de vida útil no es significativa. Como consecuencia, se acepta la hipótesis nula presentada y rechazando la hipótesis alternativa.

En la prueba con producto con 8 días de vida útil, del total de evaluadores se obtuvo 11 juicios correctos. Debido a que se obtuvo un mayor número de juicios correctos (11 juicios) que el número de juicios mínimos (9 juicios), fue rechazada la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto implica que, con un 95% de nivel de confianza, existe una diferencia significativa entre dichas muestras.

A partir de estos resultados, se concluye que la vida útil sensorial del producto envasado automáticamente tiene un máximo de 7 días.

2. Nivel aceptable de calidad (AQL).

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado para determinar el tamaño de la muestra que se necesita evaluar para determinar si un lote de envases (150 kg) puede ser liberado y distribuido a los puntos de venta. Para esto, se utilizó el método estadístico del nivel de calidad aceptable (AQL).

Cuadro No. 51: Criterios para análisis de nivel de calidad aceptable (AQL)

Tamaño del lote	1300 envases
Nivel de confianza	95.0%
Valor AQL	1.0

Utilizando el Cuadro No. 1, el Cuadro No. 2 y los criterios presentados en el Cuadro No. 51, se obtuvo los siguientes tamaños de muestra para los tres subniveles de ensayo de calidad.

Cuadro No. 52: Clasificación de subniveles AQL y tamaño de muestra para los diferentes niveles de ensayo

Nivel de ensayo	Subnivel ensayo	Tamaño de muestra
Reducido	K	50
Normal		125
Riguroso		125

A partir de los criterios en el Cuadro No. 52, se determinaron los siguientes límites de calidad aceptable por muestra.

Cuadro No. 53: Límites de calidad aceptable para el preparado vegetal

Nivel de ensayo	Unidades para aceptación	Unidades para rechazo
Reducido	1	2
Normal	3	4
Riguroso	2	3

Debido a que el departamento de aseguramiento de calidad realiza análisis al preparado vegetal antes de envasarse, se adicionarán pruebas de verificación del peso del envase con preparado vegetal. Como rango de peso se utilizará el rango proporcionado por la empresa en el Cuadro No. 13, con una variabilidad de 0.002kg.

El departamento de gestión de calidad se encarga del muestreo de cada lote de envases y de las pruebas a las unidades de la muestra. El producto envasado en cajas de cartón se traslada a la cámara fría destinada para retenciones. Cuando el gestor de calidad libere el lote, el producto es trasladado a la cámara fría de almacenamiento. Es desde esta cámara que se despacha a los puntos de venta de acuerdo con los pedidos establecidos.

Se lleva un registro de los resultados AQL de los diferentes lotes evaluados. El departamento de operaciones y aseguramiento de calidad han acordado iniciar en el nivel riguroso del sistema de monitoreo.

G. Análisis microbiológicos

A continuación, se presentan los registros de análisis microbiológicos del producto final en planta. Asimismo, se presentan resultados de análisis microbiológicos realizados a muestras de producto tomadas en puntos de ventas, posterior al segundo proceso de envasado manual. Adicional, se muestran los resultados del análisis de vida útil realizados a muestras de producto envasado automáticamente a nivel laboratorio.

Los límites para cada uno de los criterios microbiológicos han sido establecidos por la empresa, basándose en la norma COGUANOR para productos vegetales procesados. Todos los análisis

fueron realizados por un laboratorio externo a la empresa, quién fue el encargado de tomar las muestras respectivas directamente de la planta de producción.

Cuadro No. 54: Control microbiológico mensual de producto final en planta de producción

Mes	Recuento aeróbico total (<100UFC/g)	E. Coli (<10UFC/g)
Enero	960 UFC/g	0 UFC/g
Febrero	550 UFC/g	0 UFC/g
Marzo	35 UFC/g	0 UFC/g
Abril	18 UFC/g	0 UFC/g
Mayo	6 UFC/g	0 UFC/g
Junio	3 UFC/g	0 UFC/g
Julio	21 UFC/g	0 UFC/g
Agosto	19 UFC/g	0 UFC/g

Cuadro No. 55: Resultados de análisis microbiológicos a lotes de producto con reclamos en puestos de venta (2010)

Mes	Recuento aeróbico total (<100 UFC/g)	E. Coli (<10UFC/g)
Enero	140 UFC/g	9 UFC/g
Febrero	260 UFC/g	5 UFC/g
Abril	120 UFC/g	3 UFC/g
Junio	280 UFC/g	1 UFC/g

Cuadro No. 56: Análisis de vida útil microbiológica de producto envasado automáticamente (nuevo diseño)

Días de vida útil	Recuento aeróbico total (<100UFC/g)
Día de producción (24 agosto 2010)	10 UFC/g
1	14 UFC/g
2	19 UFC/g
3	23 UFC/g
4	37 UFC/g
5	49 UFC/g
6	62 UFC/g
7	81 UFC/g
8	123 UFC/g

Cuadro No. 57: Análisis de vida útil microbiológica de producto envasado manualmente en punto de venta

Días de vida útil	Recuento aeróbico total (<100UFC/g)
Día de producción (24 agosto 2010)	31 UFC/g
1	47 UFC/g
2	63 UFC/g
3	78 UFC/g
4	94 UFC/g
5	129 UFC/g

H. Diagramas del proceso

Figura No. 8: Diagrama de bloques línea actual de producción y envasado de preparado vegetal

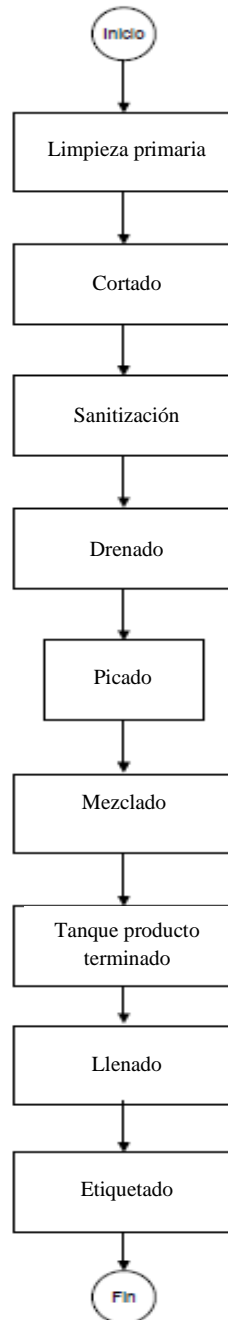


Figura No. 9: Diagrama de proceso de la línea de producción y envasado manual del preparado vegetal (actual)

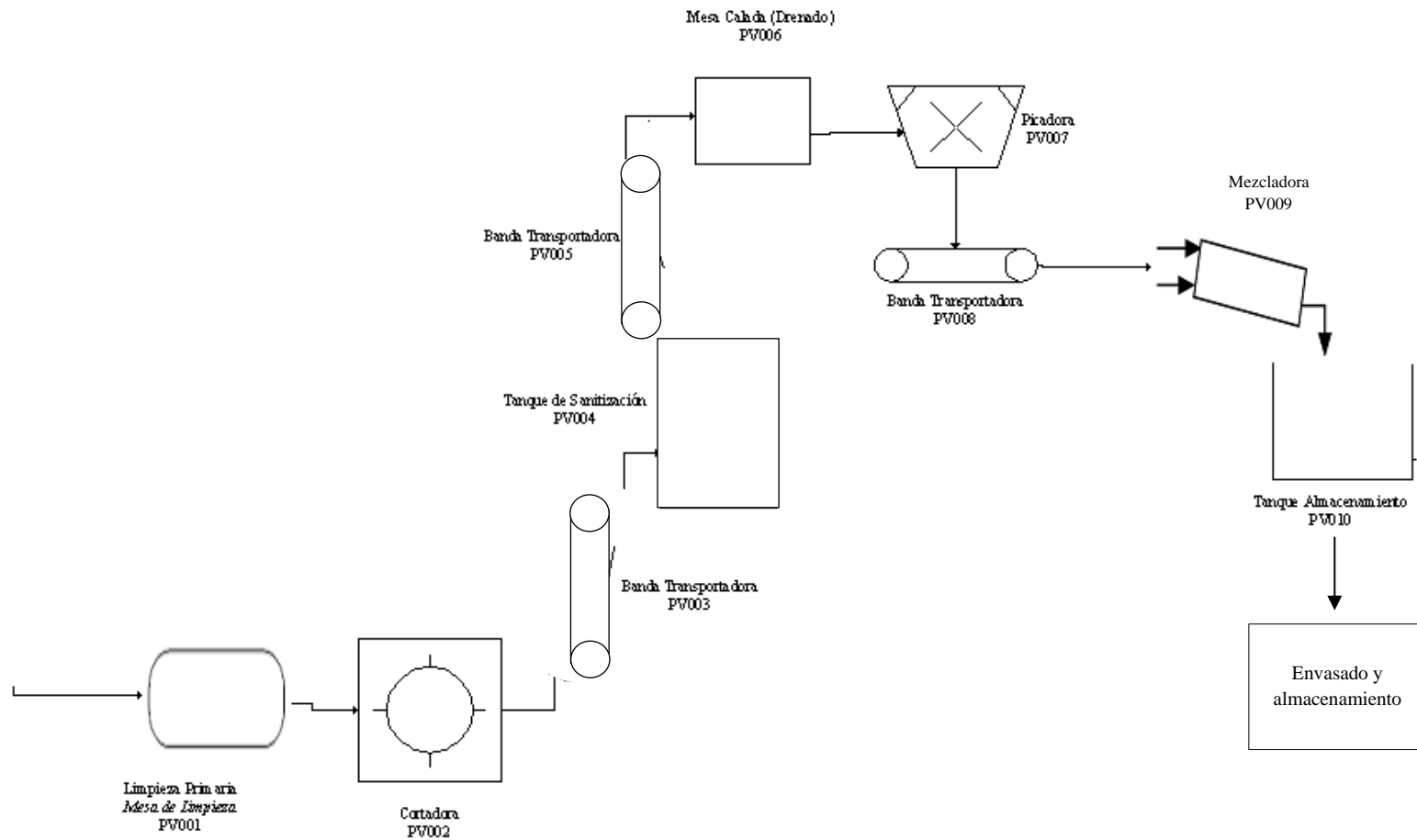
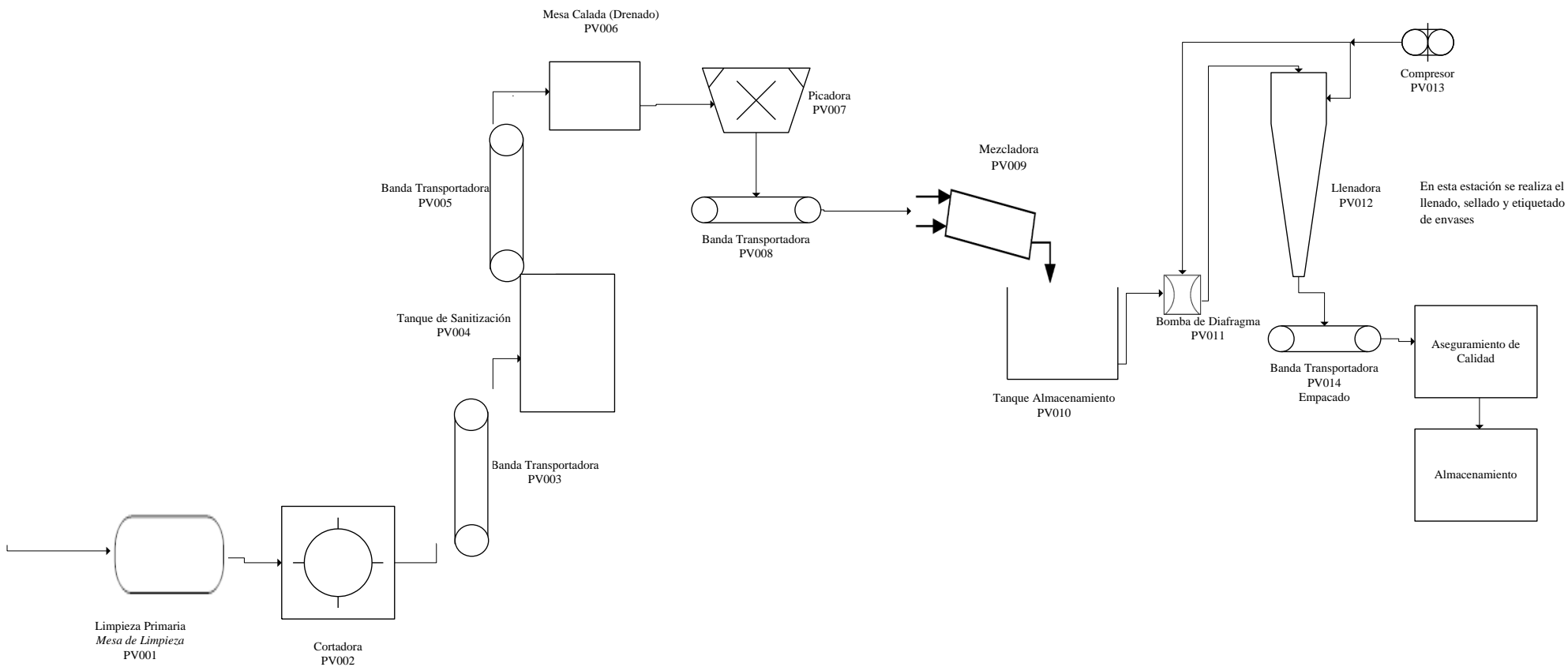


Figura No. 10: Diagrama de proceso y equipos de la línea de producción y la nueva línea de envasado automático del preparado vegetal



El Cuadro No. 5 indica que la llenadora tiene la capacidad de sellar y etiquetar envases automáticamente por lo que no se incluyen en el diagrama anterior.

I. Puntos críticos de control

Cuadro No. 58: Identificación de puntos críticos de control del proceso de producción y envasado

Punto crítico de control	Posible problema	Solución propuesta
Desinfección	Crecimiento microbiológico por alza en temperatura de solución.	Monitoreo de temperatura de solución (<5°C) cada hora. Cambio de solución para desinfección cada 5 lotes.
	No poseer una concentración adecuada de la solución para desinfección en la solución.	Mantener un control de la concentración de la solución con el kit correspondiente (Cloro).
Mezclado	Contaminación por agentes externos (Bacterias en aditivos)	Contar con proveedores aprobados por gestión de calidad. Monitoreo de especificaciones de materia prima.
Envasado y sellado	Contaminación por manipulación.	Monitoreo de hábitos de higiene de personal.
	Contaminación por mala limpieza de equipo.	Control de cantidad de agente desinfectante a utilizar para limpieza. Rotación de agentes desinfectantes.

J. Puntos de control de proceso

Cuadro No. 59: Identificación de puntos de control de proceso

Punto de control de proceso	Posible problema	Solución
Pesado de materia	Fluctuaciones en proporciones de ingredientes en producto final	Doble revisión de peso de materias primas a utilizar. Monitoreo de exactitud de equipo para pesado.
Picado	Desviaciones de tamaño de partículas de ingredientes V101 y V102	Monitoreo de tamaño de partícula saliente. Monitoreo de condición y vida útil de cuchillas.
Mezclado	Mala homogenización del producto	Monitoreo de velocidad de rotación (20rpm) y tiempo de residencia en el mezclador (5 minutos). Llenar el mezclador a un máximo de 75% de su capacidad.
Pesado de producto final	Fluctuaciones en peso de producto final en envase (variaciones en carrera del pistón de llenadora)	Monitoreo de peso de producto final en envases al salir de llenadora. (sistema de muestreo AQL)
Almacenaje	Fluctuación de temperatura de cámara fría.	Monitoreo de temperatura de cámaras frías cada hora.

K. Cronograma de actividades

Etapa	Actividad	Mes					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Preliminar	Visitas de reconocimiento a planta	■	■				
	Definición de objetivos del proyecto		■				
	Visitas a sección de producción de preparado vegetal		■				
	Revisión bibliográfica del proceso		■	■			
Análisis del proceso	Diagrama de bloques del proceso			■			
	Mediciones experimentales en línea actual de producción.			■			
	Balance de masa y energía de línea actual			■			
	Análisis de puntos críticos del proceso			■	■		
Diseño	Definición de bases de diseño				■		
	Esquema general de la línea				■		
	Investigación y selección de equipo a utilizar				■		
	Selección de accesorios				■		
	Determinación de costo general				■		
	Análisis económico del proyecto				■	■	
Análisis sensorial y microbiológico	Pruebas sensoriales de producto				■	■	
	Análisis microbiológico del producto				■	■	
	Validación de vida útil de preparado vegetal					■	
Final	Redacción de informe final					■	■

L. Curva característica de consumo de aire bomba

Gráfico No. 2: Curva de consumo de aire (SCFM) de bomba de diafragma

