

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



Diseño de una línea de envasado de herbicida en presentación líquida para futuras instalaciones de planta nacional formuladora de agroquímicos

Guatemala

2011

Diseño de una línea de envasado de herbicida en presentación líquida para futuras instalaciones de planta nacional formuladora de agroquímicos

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



Diseño de una línea de envasado de herbicida en presentación líquida para futuras instalaciones de planta nacional formuladora de agroquímicos

Trabajo de graduación presentado por

Ana Laura Salguero Furlán

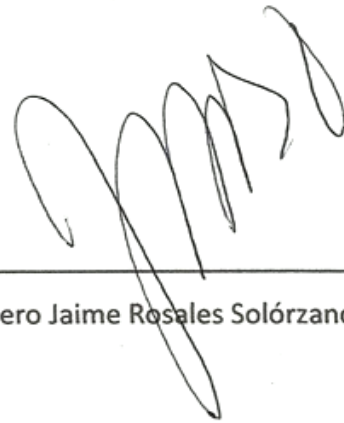
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2011

Vo. Bo. :

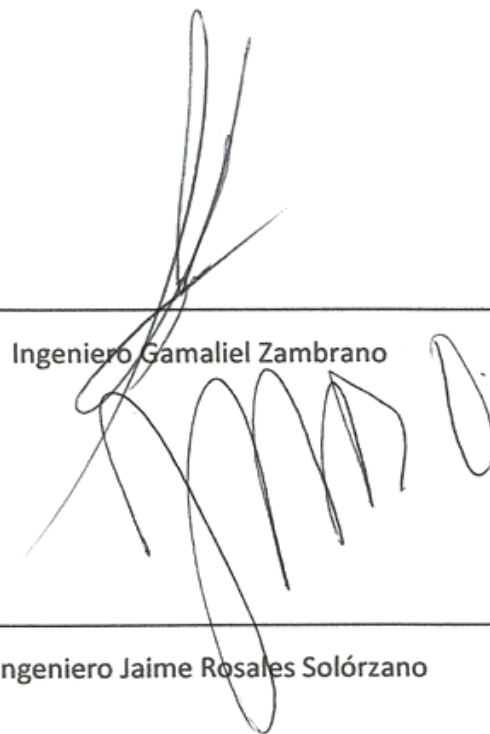
(f)



Ingeniero Jaime Rosales Solórzano

Tribunal Examinador:

(f)

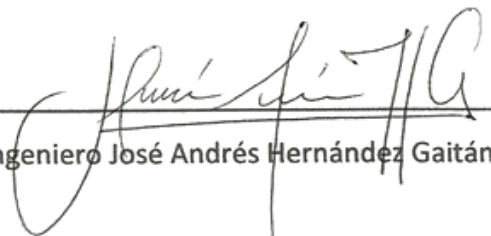


Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f)

Ingeniero Jaime Rosales Solórzano

(f)



Ingeniero José Andrés Hernández Gaitán

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de enero del 2012

En primer lugar, agradezco a Dios por la fortaleza brindada, la sabiduría otorgada, porque me acompañó en este camino para alcanzar una meta más. Gracias por la oportunidad de realizar mis estudios y vivir esta experiencia.

Gracias a mis padres, por la confianza, apoyo y paciencia. Son lo máximo. Los quiero mucho.

Gracias a mis hermanos por acompañarme en desvelos y ser un gran apoyo.

Gracias a toda mi familia: tíos, tías, primos, primas, abuelita por su cariño.

Gracias a los amigos y amigas que me acompañaron en este camino, me escucharon y apoyaron cuando lo necesitaba y creyeron que podía lograrlo. Gracias por sus palabras de ánimo.

Gracias a la empresa que abrió sus puertas para realizar mis practicas y me dio la gran oportunidad de trabajar con ellos.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	50
IV. OBJETIVOS.....	51
A. Generales.....	51
B. Específicos.....	51
V. PROBLEMA A RESOLVER	52
VI. METODOLOGÍA	53
VII. RESULTADOS	55
A. Equipo seleccionado.....	55
B. Diagrama de flujo.....	61
C. Diagrama de distribución de línea de envasado	62
D. Estudio económico	63
VIII. DISCUSIÓN	64
IX. CONCLUSIONES	75
X. RECOMENDACIONES	76
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	77
XII. APÉNDICE.....	81
A. Bases de diseño de línea de envasado	81
B. Especificaciones de material de empaque	82
C. Especificaciones del herbicida	84
D. Diagrama del proceso propuesto.....	85

E.	Datos originales.....	86
F.	Cálculo de muestra.....	87
G.	Análisis de error	104
H.	Datos calculados.....	104
I.	Diagramas	116
J.	Análisis de la situación actual	118
K.	Toma de tiempos para el análisis de la situación actual	120
L.	Cronograma	124

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Operaciones más frecuentes realizadas en formulaciones líquidas</i>	8
<i>Tabla 2: Pasos típicos para el diseño de procesos químicos y bioquímicos</i>	19
<i>Tabla 3: Productos con los que pueden trabajar las llenadoras por desbordamiento</i>	26
<i>Tabla 4: Productos que pueden ser envasados en llenadora de líquidos por tiempo de flujo</i>	31
<i>Tabla 5: Productos que pueden ser envasados con llenadoras de desplazamiento positivo</i>	34
<i>Tabla 6: Productos que pueden envasarse en una llenadora de pistón volumétrico</i>	36
<i>Tabla 7: Sistemas de etiquetado que se trabajan comúnmente en la industria.</i>	41
<i>Tabla 8: Intervalos representativos de velocidades en tuberías de acero</i>	47
<i>Tabla 9: Tanque de almacenamiento seleccionado para nueva línea de producción</i>	55
<i>Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro</i>	56
<i>Tabla 11: Nomenclatura del equipo de línea de envasado propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos</i>	63
<i>Tabla 12: Costo total requerido para el montaje de nueva línea de envasado de herbicida líquido en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos</i>	63
<i>Tabla 13: Evaluación económica por implementación de nueva línea de envasado de herbicida</i>	63
<i>Tabla 14: Bases de diseño de línea de empaque de herbicida en presentación líquida.</i>	81
<i>Tabla 15: Especificaciones del envase cilíndrico de un litro usado para envasado del herbicida</i>	82
<i>Tabla 16: Especificaciones del tapón empleado con el envase de un litro del herbicida</i>	82
<i>Tabla 17: Especificaciones de etiqueta utilizada con el envase del herbicida</i>	83
<i>Tabla 18: Especificaciones de la caja empleada para el embalaje del producto</i>	83
<i>Tabla 19: Especificaciones del herbicida en presentación líquida a envasar</i>	84
<i>Tabla 20: Valores medidos para la determinación de la potencia y energía consumida por cada equipo en la línea de envasado actual.</i>	86
<i>Tabla 21: Costo Ex Works (Puesto en fábrica) de los equipos seleccionados para nueva línea de envasado, con el respectivo país de fabricación</i>	86
<i>Tabla 22: Parámetros empleados para obtención del flujo de caja</i>	87
<i>Tabla 23: Porcentajes empleados para el cálculo de las prestaciones de los empleados de línea de envasado</i>	101

<i>Tabla 24: Tasa de depreciación por año para el Método SMARC</i>	103
<i>Tabla 25: Determinación de la capacidad del tanque en base a las dimensiones dadas por el proveedor.</i>	104
<i>Tabla 26: Determinación del diámetro de tubería para el transporte del herbicida líquido a línea de producción</i>	105
<i>Tabla 27: Velocidad mínima requerida para nueva línea de envasado</i>	105
<i>Tabla 28: Balance de masa realizado para una producción diaria estimada de 1800 cajas en nueva línea de envasado</i>	105
<i>Tabla 29: Balance de masa del herbicida formulado y envasado por 9 de horas de operación (día de trabajo) en nueva línea de producción</i>	105
<i>Tabla 30: Consumo diario energético por equipo de nueva línea de envasado.</i>	106
<i>Tabla 31: Balance de masa realizado a 9 lotes de producción envasados del herbicida líquido en línea de producción actual.</i>	107
<i>Tabla 32: Balance de masa realizado para la operación de envasado y porcentaje promedio de pérdidas</i>	108
<i>Tabla 33: Balance de masa realizado para la operación de etiquetado y porcentaje promedio de pérdidas.</i>	108
<i>Tabla 34: Balance de masa realizado para la operación de sellado (por conducción) y porcentaje promedio de pérdidas.</i>	109
<i>Tabla 35: Balance de masa realizado para la operación de colocación de instructivos y porcentaje promedio de pérdidas.</i>	109
<i>Tabla 36: Balance de masa realizado para la operación de taponado y porcentaje promedio de pérdidas.</i>	110
<i>Tabla 37: Balance de masa realizado para la operación de encajado y sellado de cajas, con el respectivo porcentaje promedio de pérdidas.</i>	110
<i>Tabla 38: Balance de energía de cada uno de los equipos de la línea de producción actual por día de operación</i>	111
<i>Tabla 39: Costos de los equipos seleccionados para nueva línea de envasado de herbicida líquido</i>	111
<i>Tabla 40: Determinación de costo total de nueva línea de envasado de herbicida líquido</i>	112
<i>Tabla 41: Determinación de inversión inicial necesaria para el montaje de nueva línea de envasado de herbicida líquido</i>	112

<i>Tabla 42: Determinación del costo unitario por consumo eléctrico en líneas de envasado.</i>	112
<i>Tabla 43: Costo unitario del material empaque utilizado en línea de envasado de herbicida</i>	112
<i>Tabla 44: Diferencia anual en costos por concepto de material de empaque</i>	113
<i>Tabla 45: Costo anual de personal para dos líneas actuales de envasado</i>	113
<i>Tabla 46: Costo anual estimado de mano de obra para línea de envasado propuesta</i>	114
<i>Tabla 47: Determinación de otros ahorros obtenidos al cambiar a línea de envasado propuesta</i>	114
<i>Tabla 48: Determinación de la depreciación del equipo por el método SMARC (Sistema Modificado Acelerado de Recuperación de Costos)</i>	114
<i>Tabla 49: Evaluación económica por implementación de nueva línea de envasado de herbicida</i>	114
<i>Tabla 50: Flujo de caja diferencial obtenido por sustitución de dos líneas de producción por una única línea de envasado</i>	115
<i>Tabla 51: Descripción de las 6 operaciones trabajadas en la línea de envasado actual</i>	119
<i>Tabla 52: Análisis de tiempos determinado para cada una de las operaciones de la línea actual</i>	119
<i>Tabla 53: Comparación entre operaciones para determinar el cuello de botella del proceso</i>	120
<i>Tabla 54: Análisis de tiempos realizado al llenado de envases en la línea actual trabajada.</i>	120
<i>Tabla 55: Análisis de tiempo realizado a la operación de sellado por conducción en la línea actual trabajada (Cada sellada corresponde a 9 envases)</i>	121
<i>Tabla 56: Análisis de tiempos realizado a la operación de etiquetado en la línea actual.</i>	121
<i>Tabla 57: Análisis de tiempos realizado para la operación de colocar el instructivo al envase</i>	122
<i>Tabla 58: Análisis de tiempos realizado a la operación de taponeo en la línea actual.</i>	122
<i>Tabla 59: Análisis de tiempos determinado a la operación de encajado.</i>	123

LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS

<i>Figura 1: Cadena de producción y comercialización de plaguicidas</i>	5
<i>Figura 2: Formulación húmeda de plaguicidas</i>	7
<i>Figura 3: Principio de funcionamiento de llenadoras por desbordamiento</i>	26
<i>Figura 4: Cabezal de llenado en llenadoras de líquido por desbordamiento.</i>	27
<i>Figura 5: Llenado de contenedores en llenadoras por desbordamiento.</i>	28
<i>Figura 6: Contacto entre el cabezal y los contenedores.</i>	28
<i>Figura 7: Llenado de contenedores en llenadoras de tiempo de flujo</i>	31
<i>Figura 8: Llenadora volumétrica de desplazamiento positivo.</i>	33
<i>Figura 9: Llenadora de líquidos de pistón volumétrico</i>	35
<i>Figura 10: Operación de una llenadora de líquidos por peso</i>	37
<i>Figura 11: Equipo de llenado de líquidos por peso</i>	38
<i>Figura 12: Principios del sellado por inducción</i>	39
<i>Figura 13: Balance de masa y energía realizado para línea de envasado de herbicida líquido</i>	61
<i>Figura 14: Distribución y dimensiones de la línea de envasado propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos</i>	62
<i>Figura 15: Diagrama de bloques para nueva línea de envasado del herbicida líquido</i>	85
<i>Figura 16: Diagrama de entradas y salidas de línea de producción que se trabaja actualmente en planta formuladora de agroquímicos.</i>	116
<i>Figura 17: Diagrama de entradas y salidas de línea de producción propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos</i>	117
<i>Figura 18: Diagrama de operación con su respectivo análisis de tiempos</i>	118

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar una línea de envasado de herbicida en presentación líquida como propuesta para su montaje en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos. La cual debe cumplir con estándares de calidad, ser capaz de alcanzar un volumen de producción mayor (más productiva: 40 envases por minuto) y que permita reducir costos en términos de personal y consumo de energía. Para lo cual, se inició realizando un estudio de la situación actual de una de las líneas de la empresa que maneja la presentación de 1 Litro del producto a envasar. Éste consistió en un análisis de tiempos para determinar el cuello de botella del proceso, velocidad de producción actual y puntos de mejora. Y se obtuvo el balance de masa y energía de la línea actual. A partir de las bases de diseño establecidas en conjunto con el gerente de planta, se procedió a diseñar y realizar el diagrama de bloques de nueva línea de envasado. Ya definidos los equipos necesarios, se inició búsqueda de proveedores de maquinaria industrial tanto en Guatemala como en el extranjero y se realizó la solicitud de características técnicas y de costos para determinar si los equipos satisfacían los requerimientos de la empresa. Con la información recabada, fue posible seleccionar los equipos. Finalmente se realizó un análisis económico del proyecto para determinar la rentabilidad del mismo.

Con base en las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados, se elaboró el balance de masa y energía de la nueva línea de envasado. Se obtuvo el diagrama de flujo del proceso que muestra los datos del respectivo balance. Y fue posible establecer la distribución de la línea considerando las dimensiones de cada equipo, desde el tanque de almacenamiento del herbicida hasta la selladora de cajas. La línea se distribuye de forma lineal a lo largo de aproximadamente 15.5 metros de largo. La inversión inicial requerida para la puesta en marcha del proyecto es de Q 546,092.39. Considerando un flujo de caja diferencial con un horizonte de 10 años, el análisis económico muestra que la tasa interna de retorno del proyecto es de 20.4%, con un valor presente neto de Q633, 809.89. Y un periodo de retorno de 5-6 años. Comparando la TIR obtenida con la tasa de interés pasiva del banco de Guatemala se puede concluir que el proyecto parece rentable, pero es necesario realizar el estudio de pre-factibilidad y factibilidad para determinar si efectivamente es viable llevarlo a cabo.

ABSTRACT

The objective of this project was to design a packaging line of an herbicide in liquid form as a proposal for a future installation in facilities of agrochemical formulation plant. This must meet quality standards, be more productive (40 bottles per minute) and allow reducing costs in terms of manpower and energy consumption. For this purpose, a study was initiated of the current situation in one of the production lines of the company that manages the presentation of 1 liter of the product. This consisted of a timing analysis to determine the bottleneck of the process, speed of current production line and potential areas for improvement. The mass and energy balance of the current line was also obtained. The design bases were established in conjunction with the plant manager, and then the design and block diagram of the new packaging line was done. Once the necessary machinery was defined, it was possible to start the search of industrial packaging machinery in and out the country. The request was made of technical features and costs to determine whether the equipment met the requirements of the company. With the information gathered, it was possible to select the equipment. Finally, economic analysis was performed to determine the project's profitability.

Based on the technical specifications of the equipment selected, the mass and energy balance of the new packaging line was developed. The process flow diagram was obtained showing the data of the respective balance. It was possible to establish the distribution of line considering the dimensions of each equipment, from the storage tank of herbicide to the boxes sealing machine. The bottling line is linearly distributed along approximately 15.5 meters long. The initial investment required for implementation of the project is Q 546,092.39. The economic analysis shows that the IRR of the project is 20.4%, with a net present value of Q633, 809.89. The return period is 5-6 years. Comparing the IRR obtained with the passive interest rate bank of Guatemala can be concluded that the project seems profitable, but it is necessary to perform the pre-feasibility study and feasibility studies to determine whether or not it is feasible to carry out the project.

I. INTRODUCCIÓN

La industria productora de agroquímicos en el país es importante debido a que Guatemala depende en gran medida de actividades agrícolas. Para obtener buenas cosechas y productos de calidad se deben eliminar todas aquellas plagas que dañen los productos, para lo cual se emplean agroquímicos tales como: herbicidas, plaguicidas, insecticidas, fertilizantes, entre otros. El gremio químico agrícola busca la mejora continua en los procesos de producción (formulación y envasado) para ofrecer al agricultor productos de calidad, envasados de manera segura y que protejan al usuario debido a que estos requieren un tratamiento responsable y cuidadoso.

Este trabajo tiene como principal objetivo el diseño de una línea de envasado de un herbicida en presentación líquida para futuras instalaciones de planta de formulación de una empresa nacional distribuidora de agroquímicos. Para cumplir con dicho objetivo se llevó a cabo una revisión bibliográfica y en internet para conocimiento del producto y de los equipos que permitirían cumplir con las especificaciones del mismo. Con base en pronósticos de la empresa, que trasladará sus instalaciones próximamente a Escuintla y sobre la demanda para los próximos años se realizó el diseño de una línea de envasado que sea capaz de satisfacer dicho volumen de producción. Se tomaron en cuenta las bases de diseño establecidas para una línea de envasado más eficiente y de mayor capacidad, automatizada en varias etapas del proceso. Con este diseño preliminar se eligieron aquellos equipos que cumplían con las especificaciones. Se espera reducir el número de operarios, ya que en las instalaciones actuales se cuenta con siete operarios por línea, de las dos trabajadas, para el envasado de botellas de un litro.

Es importante mencionar que este trabajo no incluye el montaje de la línea de envasado, únicamente el estudio preliminar de la misma. Así como la estimación de los costos y análisis económico correspondiente a la puesta en marcha de la misma.

II. ANTECEDENTES

A. Agroquímicos: plaguicidas

Los productos agroquímicos se usan en todo el mundo con el propósito de mejorar o proteger los cultivos y a los animales. La Ley de Registro de Productos Agroquímicos en el Decreto Numero 05-2010 del Congreso de la República de Guatemala define agroquímicos como sustancias químicas que se emplean en la agricultura que tienen un efecto plaguicida. Así también, destacan los productos agroquímicos formulados los cuales se caracterizan por ser un producto comercial, que han sido preparados a partir de un ingrediente activo grado técnico más los otros componentes de la formulación, forma en la que se envasa y se vende. Entre estos productos agroquímicos se encuentran fertilizantes, empleados para obtener mejores rendimientos de cultivos que ya se encuentran protegidos contra plagas; así como los plaguicidas o pesticidas. (IPCS, 1993; Congreso de la República de Guatemala, 2010)

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, mejor conocida bajo las siglas de FAO (Food and Agricultural Organization), define a los plaguicidas como cualquier sustancia, o bien, mezcla de sustancias así también, microorganismos incluyendo virus, que son utilizadas para la prevención, destrucción y control de cualquier plaga e inclusive vectores de enfermedades humanas o animales. Así también, <<especies indeseables de plantas o animales que pueden causar daños o interferir de cualquier manera con la producción, procesamiento, almacenaje, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, alimentos para animales, madera y derivados, o bien, que pueda administrarse a animales con el propósito de combatir arácnidos, insectos u otras plagas>>. (OMS, FAO, 2010)

Ahora bien, la Norma guatemalteca Coguanor define plaguicida como el nombre genérico que se le da a cualquier sustancia química, biológica, agente biológico o mezcla de dichas sustancias que se destinen a combatir, destruir, controlar, prevenir, atenuar o repeler cualquier forma de vida animal o vegetal, sea esta, insecto, roedor, nematodo, hongo, maleza, arácnido o molusco, cuya acción afecte la salud y bienestar del ser humano y de los animales y plantas útiles. Por extensión se incluyen también las sustancias que se usan para regular el crecimiento de las plantas o los insectos, los defoliantes y los desecantes. (Coguanor NGO 44 063)

Entre los plaguicidas se encuentran:

1. Insecticidas: estos productos incluyen las sustancias que se usan para matar insectos en todas sus fases de desarrollo. (IFC, 2007)
2. Acaricidas: sustancias que controlan ácaros

3. Molusquicidas: controlan caracoles y babosas (moluscos)
4. Rodenticidas sustancias tóxicas utilizadas para eliminar roedores. (IFC, 2007)
5. Nematocidas: se emplean para el control de nematodos.
6. Fungicidas: son sustancias químicas que se emplean para prevenir o bien, minimizar las pérdidas de cultivo provocadas por hongos fitopatógenos. (IFC, 2007)
7. Herbicidas, tema del que se habla en la siguiente sección.

El uso de productos agroquímicos en países en desarrollo representa una ventaja económica para las actividades agrícolas. En el caso de Guatemala, la naturaleza y vocación agrícola son condiciones determinantes en el aumento de la demanda de los agroquímicos, por lo que debe estimarse mayores requerimientos en la producción y mantener la eficiencia en los procesos. Pero si estos son manejados de una forma inadecuada pueden generar contaminación a los trabajadores en los ambientes de trabajo donde se manipulan, o bien, generalmente en el ambiente que rodea dichas zonas de manipulación. Por lo que la toma de ciertas precauciones permitirá su uso en condiciones más seguras. (IPCS. 1993) (López, 2000) (CONAMA. 1998)

B. Herbicidas

Son productos agroquímicos que se usan para controlar, destruir, dañar o inhibir el crecimiento de plantas o especies vegetales no deseadas debido al impacto negativo en las cosechas. No hay una clasificación única de herbicidas, pero se les puede agrupar por su naturaleza química, mecanismo de acción, momento de aplicación, etc. (IFC, 2007) (CASAFE, 2011)

Se tiene entonces la siguiente división: (CASAFE. 2011) (ANDI, 2003)

1. Por su selectividad: en selectivos que son aquellos que únicamente controlan un objetivo (cierta familia o especie de plantas), preservando así el cultivo de interés y no selectivos que afectan todo tipo de plantas.

2. Época de aplicación:

- a. Pre-siembra: se aplican sobre la vegetación que se encuentra en un terreno, el cual puede estar preparado o sin preparar, previo a la siembra.
- b. Pre-emergentes: se aplican al terreno preparado y sembrado, previo a que el cultivo y malezas nazcan.
- c. Post-emergentes: se aplican luego de que el cultivo y las malezas han nacido. Dicha aplicación puede ser temprana cuando las malezas están recién germinadas o bien, tardía.

3. Por su punto de aplicación:
 - a. Aplicación al suelo: inhiben la germinación de las semillas de las malezas o bien, las eliminan en el proceso de germinación.
 - b. Aplicación al follaje: se aplican sobre malezas que ya nacieron.

4. Su movimiento en la planta
 - a. De contacto: actúan localmente en la superficie, afectando solamente la parte que tocan.
 - b. Sistémicos: estos herbicidas penetran en la planta y la afectan totalmente.

5. Totales: estos generalmente se usan para la limpieza de terrenos donde se controlan todas las especies existentes, sin discriminación.

6. Residuales: herbicidas que persisten en el suelo controlando el nacimiento de malezas o malas hierbas que provienen de semillas de especies anuales, y de esta forma impiden su germinación. Los no residuales se fijan en el suelo y se descomponen rápidamente. (ANDI , 2003) (CASAFE, 2011)

De manera más específica, se encuentran:

1. Herbicidas foliares activos sistémicos como: Reguladores del crecimiento o herbicidas de tipo auxina, incluidos 2,4-D, MCPA, 2,4,5-T, picloram, dicamba, clopiralid; Inhibidores de síntesis de ácidos grasos como el diclofop, fluazifop-P, setoxidim, quizalofop, tralkoxydim y cletodim); Glifosato; Ureas de sulfonil como clorsulfurón, metsulfurón, sulfometurón, rimsulfurón, clorimurón, primisulfurón, triasulfurón; Imidazolinones como imazametabenz, imazapyr, imazaquín, imazethapyr.

2. Herbicidas foliares activos de contacto: (a) bipiridilos como el paraquat y dicuat; (b) benzonitrilos incluyen bromoxinil e ioxinil; (c) propanil; (d) bentazona. (IFC, 2007)

Los herbicidas bipiridilos tales como el diquat y paraquat se caracterizan por ser uno de los grupos más importantes de herbicidas. Se encuentran disponibles en el mercado como sales, el diquat como dibromuro y el paraquat como dicloruro. Se caracterizan por ser no selectivos, herbicidas de contacto, de acción rápida. Además de no residuales debido a su rápida inactivación por la adsorción irreversible en contacto con el suelo. Tanto el diquat como el paraquat penetran el follaje de manera rápida y se caracterizan por ser además resistentes a las lluvias dentro de 10 minutos después de la aplicación en mayoría de situaciones. Ambos herbicidas son empleados como desecantes con el propósito de facilitar las cosechas de cultivos como papas, algodón, cereales, alfalfa y otras semillas oleaginosas, y

para asistir la conservación de forrajes. El diquat se puede usar en algunos casos contra malezas acuáticas, y es efectivo para combatir especies de hoja ancha mientras el paraquat tiende a ser más activo contra gramíneas. (Kearney, 1975)(Caseley, 1996)

Estos herbicidas se venden como concentrados acuosos debido a la facilidad con la que sus ingredientes activos se reducen. Los surfactantes o tenso activos generalmente aumentan la actividad herbicida. Estos coadyuvantes y otros componentes se agregan a las formulaciones de estos herbicidas para asegurar buenas características de almacenaje y facilitar su mezcla con el agua, previa a su aplicación en el campo. Además ayudan a la retención sobre y la penetración dentro de las malezas o hierbas que son el objeto de la aplicación. (Kearney, 1975)(Caseley, 1996)

C. Producción de agroquímicos



(CONAMA. 1998)

Las etapas que componen la cadena de los plaguicidas son la fabricación, formulación, el fraccionamiento y/o envasado, la distribución y por último, la aplicación en los campos de cultivo. Los trabajadores que se encuentran involucrados en algunas de estas etapas, si no adoptan medidas de protección personal adecuadas, están expuestos a un contacto directo con los plaguicidas, lo cual puede ser perjudicial para su salud dependiendo también del compuesto del que se trate. Cuando la exposición es directa, la penetración del plaguicida puede ser por vía dérmica, oral o respiratoria. Por lo que las medidas de protección a tomar en el manejo de estas sustancias es para evitar el contacto por cualquiera de las tres formas. (Rouanet, 2002) (CONAMA. 1998)

Sobre cada una de estas etapas es importante mencionar que: la fabricación de plaguicidas implica la síntesis industrial de las moléculas producidas o bien, modificadas para producir compuestos, específicamente los ingredientes activos. Ahora bien, las principales fases de fabricación son: elaboración de sustancias intermedias; la introducción de grupos funcionales; el acoplamiento y esterificación; procesos de separación como el lavado y separación; y la purificación del producto final empleando

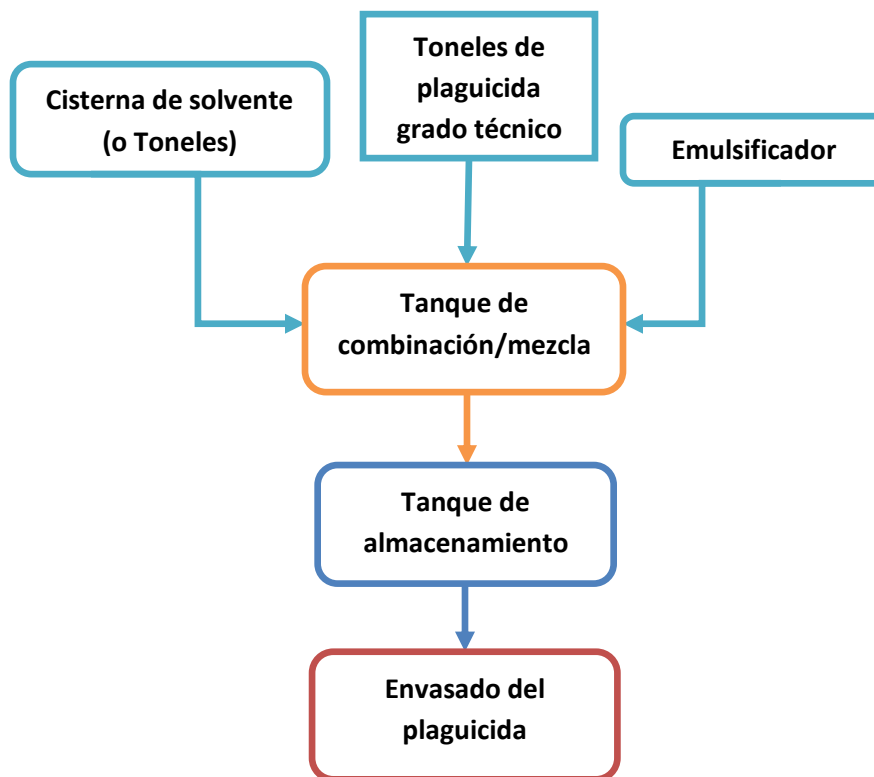
métodos como la disolución, extracción o la ultrafiltración. Si es necesario se aplica enfriamiento, calentamiento, condiciones de vacío o presión. Todas las fases, y especialmente las reacciones, pueden generar emisiones a la atmósfera, efluentes, residuos y subproductos. La formulación de plaguicidas involucra la formulación de grupos químicos de gas como fumigantes, o bien, plaguicidas sólidos o líquidos a partir de ingredientes activos. El envasado de plaguicidas consiste en el uso de sistemas de envasado diseñados con materiales que pueden contener estos productos agroquímicos y optimizar su manejo y aplicación, reduciendo los riesgos para el medio ambiente y la salud de quienes trabajan con estas sustancias. En cada una de estas fases es importante la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura con el propósito de garantizar la calidad del producto envasado, un entorno de trabajo seguro y la prevención de los impactos ambientales. (IFC, 2007)

En Guatemala la producción de plaguicidas es mínima, ya que la mayor parte de los procesos industriales se desarrollan desde la etapa de formulación en adelante. Los compuestos activos no se fabrican en el país y generalmente son importados por las empresas que se encargan de formular los productos que se venden en el mercado. Por otra parte, buena parte de los plaguicidas comerciales se importan ya formulados. Por lo que las actividades relacionadas con el envasado, distribución y aplicación poseen una gran importancia. (CONAMA. 1998)

Previamente se menciona la formulación de plaguicidas a partir de ingredientes activos, estas pueden ser secas o sólidas, gaseosas y húmedas o líquidas. En este proceso se mezclan estos ingredientes activos, que son la principal materia prima, con elementos que cumplen el rol de vehículos, con lo cual es posible obtener distintas formas del producto final. Estos ingredientes o compuestos activos son sustancias químicas que presentan una amplia gama de estructuras moleculares y le dan su forma de acción al plaguicida. Son la característica principal de su composición y lo que define la forma de actuar de cada sustancia activa. La mayoría de herbicidas comprenden excipientes o vehículos, así como solventes y productos destinados a mejorar la adsorción. Estos vehículos se usan además para un manejo más eficiente del plaguicida, en este caso el herbicida, para regular la concentración del ingrediente activo y para darle un estado físico que sea compatible con la forma en que será aplicado que puede ser polvo o líquido. Además estos vehículos o ingredientes aditivos, que también se conocen como coadyuvantes, a pesar de no tener una acción plaguicida por sí mismos ayudan a acondicionar el pH del plaguicida, correctores de la dureza del agua y para un efecto tenso activo. Los herbicidas requieren de un pH más ácido, seguidos por los insecticidas y por último los fungicidas. Estos ingredientes pueden tener un efecto importante en el producto formulado, por lo que no se les puede considerar como inertes en general. Entre los compuestos utilizados en formulaciones húmedas se encuentra el ciclo hexano, xileno y aceites derivados de petróleo. (Rouanet, 2002) (IFC, 2007) (CONAMA. 1998)

El herbicida a envasar trabaja con una formulación húmeda. En este caso el ingrediente activo puede ser un sólido o un líquido. Los sólidos se introducen en un sustrato líquido en presencia de un emulsificante; en el caso de los líquidos, estos simplemente se disuelven en un diluyente. Las mezclas se hacen en proporciones establecidas para cada plaguicida. En Guatemala, la norma Coguanor establece que “El contenido de ingrediente activo para los plaguicidas líquidos debe expresarse en gramos por kilogramo o en gramos por litro a 20 ± 2 °C, a excepción de los líquidos técnicos y los líquidos volátiles con un punto de ebullición máximo de 50 °C y una viscosidad cinemática mínima de 1×10^{-3} m²/s a 20 ± 2 °C en los cuales solo deberá expresarse en gramos por kilogramo”. Ahora bien, los vehículos líquidos pueden ser acuosos o solventes orgánicos. En el caso del herbicida a trabajar, su formulación involucra el mezclado de un ingrediente activo, coadyuvantes, colorante, antiespumante y agua. A continuación se presenta un diagrama que muestra la operación realizada para una formulación húmeda y una tabla que muestra de manera resumida las operaciones realizadas en formulaciones húmedas. (Coguanor NGO 44 087) (OMS, 1993) (CONAMA. 1998)

Figura 2: Formulación húmeda de plaguicidas



(CONAMA. 1998)

Tabla 1: Operaciones más frecuentes realizadas en formulaciones líquidas

Secuencia de operaciones:

- Manejo de las materias primas
 - Deposito y almacenamiento de estas materias primas
 - Transferencia de las materias primas al área de premezclado
 - Pesado del ingrediente activo, solventes y emulsificantes
 - Transferencia del ingrediente activo, solventes y emulsificadores al tanque de mezclado
 - Mezclado y combinación (Formulación del plaguicida de uso comercial)
 - Filtración
 - Envasado y etiquetado de los productos formulados
-

(OMS, 1993)

Los tanques de combinación o mezcla de los ingredientes de la formulación a trabajar en operaciones por lotes habitualmente son abiertos, usan agitadores estándares o bien, de paletas y pueden contar con otros equipos auxiliares para control y registro de la temperatura como sistemas de calentamiento/enfriamiento. Generalmente, el ingrediente activo se conserva en su envase original en la bodega de la planta hasta su uso en la formulación. Los solventes se guardan en toneles a granel y los agentes mezcladores como los emulsificantes se vierten directamente a estos tanques de mezcla. En ciertos casos, el producto formulado pasa además por etapas de filtración con el objetivo de separar precipitados u otro tipo de impurezas solidas. Habitualmente las formulaciones húmedas y secas se trabajan por lotes, a pesar de que los procesos pueden diseñarse para operar de forma continua, lo cual aumenta los peligros de exposición y fugas en las operación de carga del proceso. (CONAMA. 1998)

(OMS, 1993)

El producto final que se obtiene de la formulación es el plaguicida de uso comercial, los cuales pueden usarse inmediatamente o bien, luego de una sencilla mezcla con agua, por ejemplo, para los trabajos agrícolas. Se presentan de las siguientes formas: (CONAMA. 1998)

1. Formulaciones sólidas (secas):
 - a. WP: Polvo mojable
 - b. SP: Polvo soluble en agua
 - c. WS: Polvo para tratamiento de semillas
 - d. WG: Gránulos dispersables en agua
 - e. DP: Polvo seco esparcible
 - f. GR: Granulado

2. Formulaciones líquidas (húmedas):

- a. EC: Emulsión concentrada
- b. EW: Emulsión de aceite en agua
- c. SL: Concentrado soluble en agua
- d. SC: Suspensión concentrada
- e. CS: Suspensión en capsulas

3. Formulaciones gaseosas:

- a. Fumigante gaseoso

Las iniciales mostradas como SL, representan el tipo de formulación a trabajar y se da junto con el nombre comercial del agroquímico para su identificación. (Agrequima, 2011) (CONAMA. 1998)

En las formulaciones húmedas, la principal fuente de contaminación es la emisión de solventes a la atmosfera por volatilización, lo cual ocurre cuando el proceso no se lleva a cabo mediante un circuito cerrado. Además el riesgo de estas emisiones dependerá de las características del solvente con el que se esté trabajando, el cual puede ser toxico y/o inflamable. Las fugas por volatilización ocurren de manera habitual en los tanques de almacenamiento y mezclado o formulación que no están adecuadamente confinados. Ya que en algunos casos, las operaciones de mezclado se realizan en tanques abiertos y por lo tanto, existe una evaporación permanente de los solventes en el área de trabajo. Esto implica ciertos riesgos de contaminación al ambiente y también la posibilidad de formar una mezcla explosiva, situación que genera un área de alto riesgo. Ante tal situación, lo más recomendable es el uso de extracción local para remover el aire contaminado con solventes y proteger a los trabajadores. Ahora bien, el mayor riesgo presentado son los derrames de ingredientes activos o formulados, por lo que es necesario un programa estricto de mantenimiento en los equipos de formulación y envasado para evitar dicha situación. Y es de vital importancia que los tanques de formulación y almacenamiento se encuentren rodeados de muros de contención con una capacidad del 110% de volumen de los tanques. (Rouanet, 2002) (CONAMA. 1998)

Los riesgos de contaminación en este tipo de formulaciones son menores debido a que en general, los líquidos son más fáciles de controlar que los polvos. Los riesgos de fugas se minimizan por medio de un plan riguroso de mantenimiento en tuberías, uniones, válvulas, etc. Se recomienda trabajar a temperaturas cercanas a la ambiente o bajas, para reducir la evaporación de solventes y evitar trabajar con presiones elevadas, lo que puede aumentar el riesgo de fugas. (Rouanet, 2002) (CONAMA. 1998)

La formulación, envasado y re-ensado se llevan a cabo de distintas maneras, lo cual incluye líneas tanto manuales como automáticas. Las típicas líneas de formulaciones húmedas o líquidas consisten en tanques o contenedores de almacenamiento diseñados para albergar las materias primas y un tanque de mezclado para formular el agroquímico. Dichas formulaciones se envasan transfiriendo el producto final a contenedores, envases o cajas, ya sea de forma manual mediante alimentación por gravedad o de forma automática. (IFC, 2007)

D. Aspectos a considerar en una planta de agroquímicos, plaguicidas

1. Puntos de diseño o introducción de modificaciones a los procesos. La planta debe estar diseñada con el objetivo de disminuir los riesgos de derrames en el manejo de materiales. Esto implica fáciles accesos desde las zonas de almacenamiento hacia las de operación. Las instalaciones deben además ser protegidas del ingreso de personas ajenas a la operación y se debe considerar desde el diseño la necesidad de tecnologías de control como sistemas de captación de emisiones. En cuanto al almacenamiento, debe tomarse en cuenta el peligro existente al almacenar solventes orgánicos junto con compuestos tóxicos porque la mezcla de estos puede liberar sustancias tóxicas en caso de fuego o explosión. (CONAMA. 1998) (Rouanet, 2002)

La planta además debe estar diseñada de forma que quede un espacio razonable para el movimiento de materiales y deje buen acceso para el equipo de lucha contra incendios. Es importante mencionar que el lugar y el propio edificio deben estar protegidos contra toda posible intrusión. Y estos son puntos importantes que no deben pasarse por alto para el diseño e introducción de mejoras en los procesos:

- a. Todos los equipos se utilizan para más de un producto químico, por lo que deben ser fáciles de limpiar.
- b. Hay diversidad de riesgos asociados con los productos químicos preparados y envasados en una planta de agroquímicos, por lo que la selección de la planta y del equipo dependerá de los tipos y cantidades de los productos y de la toxicidad e inflamabilidad de las sustancias que intervienen en el proceso. (OMS, 1993)
- c. Se deben seleccionar equipos que puedan contener todos los materiales peligrosos en la medida de lo posible, además que sean fáciles de limpiar como se menciono previamente y requieran un mínimo mantenimiento. En el caso de que el mantenimiento sea imprescindible, este no debe ser peligroso para los operarios. (OMS, 1993)
- d. Se debe procurar el uso de procesos continuos en lugar de operaciones por lotes.
- e. En la medida de lo posible, se recomienda el uso de flujos por gravedad en lugar de bombeo mecánico. De esta forma se reducen las presiones a las que pueden someterse las tuberías y las fugas en los sistemas de transporte en general. Para que el diseño de la planta trabaje

flujos gravimétricos es necesario que los elementos de apoyo de la construcción sean resistentes para que mejoras y modificaciones en los procesos puedan situarse sobre los existentes. (CONAMA. 1998) (Rouanet, 2002)

- f. Se pueden además modificar las especificaciones aplicables a las materias primas con el fin de eliminar los riesgos consecutivos a la presencia o formación de contaminantes y productos tóxicos secundarios.
- g. No es permitido que los equipos que contengan líquidos sufran de fugas o goteos, por lo que deben estar protegidos para que no se produzcan salpicaduras que puedan alcanzar a los operarios. Las maquinas llenadoras se deben cerrar automáticamente en el momento que se interrumpa o corte la energía.
- h. En el caso de utilizar un proceso, maquina o producto químico peligroso lo más recomendable es aislarlo para proteger a los operarios. Lo cual se puede lograr instalando una barrera entre la fuente del peligro y el personal que pudiera encontrarse expuesto. La barrera además puede ser una estructura física, una distancia o un intervalo de tiempo. La automatización de procedimientos de producción o mantenimiento y los controles remotos.
- i. Se requieren de instalaciones eléctricas totalmente impermeables y revestimientos de superficie resistentes a los productos químicos empleados en el proceso. Esto para hacer posible lavar la totalidad de la planta con soluciones descontaminantes. (OMS, 1993)
- j. En el caso de operar montacargas, en el área todas las columnas deben contar con protectores contra golpes.
- k. Las zonas de preparación y envasado deben estar bien iluminadas y ventiladas.

El área de la planta de producción destinada para llevar a cabo el proceso de envasado, etiquetado, taponado y obtención del producto final debidamente encajado, debe contar con pisos lisos, impermeables y libres de rajaduras que además soporten el peso por el tránsito de montacargas. Esto para evitar/prevenir la infiltración de los derrames del herbicida u agroquímico con el que se está trabajando. Y no debe permitirse que ningún desecho ni material extraño se acumule en la zona de trabajo, exceptuando los recipientes especialmente destinados para ello. La limpieza debe ser parte del trabajo y no algo que se realice al concluir la jornada laboral. (CONAMA. 1998) (OMS, 1993)

El mantenimiento en los equipos es importante, por lo que deben realizarse inspecciones regulares de todo el equipo de la planta a cargo de personal capacitado. Además de llevar un registro e inspección regular del funcionamiento de los equipos para detectar cualquier falla. Deben efectuarse también servicios y ajustes del equipo, y cualquier daño en el equipo debe repararse rápidamente. (OMS, 1993)

Para la operación de la planta hay una serie de practicas que permiten evitar o minimizar la generacion de residuos. Entre ellas se encuentra: a) Maximizar los volumenes producidos en cada operación, es decir, producir la cantidad maxima posible de producto formulado. b) Almacenar y reutilizar las aguas de lavado. c) Usar lavados de mayor eficiencia. d) Metodos de limpieza secos, e) manejo de inventarios, f) manejo de contenedores y g) se debe tener un control de los productos fuera de especificacion. Estos productos fuera de las especificaciones son el resultado de un ineficiente control en el proceso de produccion. Lo cual puede evitarse adoptando medidas estrictas de control de calidad y automatización. Aunque los procesos de formulacion y envasado son relativamente sencillos, el control y automatizacion de la linea aseguran una produccion sin variaciones en el producto terminado y de alta calidad, lo cual evita la generacion de estos productos que no cumplen las especificaciones por errores cometidos por los operarios. (CONAMA. 1998) (Rouanet, 2002)

2. Seguridad de empleados. En la industria agroquímica, los trabajadores se encuentran expuestos de manera permanente a posibles fuentes de contaminación por lo que cualquier medida de seguridad tomada para la protección de los empleados no está de más. Hay varias formas de proteger al empleado de los contaminantes, pero también requieren que este se encuentre capacitado en medidas preventivas y sea consciente de los riesgos que su trabajo conlleva y la necesidad de dichas medidas. A continuación se dan algunas recomendaciones para la protección del personal. (CONAMA. 1998)

- a. Distanciamiento de la fuente de contaminación, como se menciono anteriormente, se puede lograr mediante el uso de controles remotos en los procesos. O bien, el trabajador ocupe un equipo de protección completo incluyendo equipos de respiración autónomos (CONAMA. 1998)
- b. Controles sobre las prácticas de trabajo: los operarios deben estar bien capacitados y ser instruidos sobre las medidas de seguridad para realizar su trabajo. Antes de trabajar solos en algún área deben tener cierta experiencia. Por lo tanto, se deben establecer procedimientos concretos de operación normal y de emergencia. Entre los puntos a tratar se encuentran: la carga y descarga de recipientes para transporte, puesta en marcha y detención de equipos de proceso y envasado, carga de materias primas a los equipos, manejo de materiales de desecho. (CONAMA. 1998)
- c. Los recipientes usados para transferencia y almacenamiento de plaguicidas deben estar etiquetados para que se conozca el contenido y los riesgos asociados al manejo. (CONAMA. 1998)
- d. Tener rótulos que indiquen claramente la prohibición de comer, beber o fumar dentro de las instalaciones, así como contar con armarios para almacenar ropas de trabajo y ropas de uso diario. Contar con ducha y rótulos que indiquen la obligatoriedad de ducharse al final de la

jornada de trabajo. Así como, la señalización de equipos y salidas de urgencia en forma clara y visible.

- e. La higiene de los operarios que trabajan con plaguicidas es indispensable, principalmente para evitar llevar fuera de las instalaciones contaminantes que puedan afectarlos posteriormente.
- f. Se deben establecer buenas prácticas de higiene, entre las que se encuentran: (CONAMA. 1998)
 - 1) Llevar ropa de trabajo limpia que cubra lo más que se pueda el cuerpo y se cambie a diario. No usar la ropa de calle bajo la de trabajo.
 - 2) Se recomienda el uso de guantes de caucho natural, overall, casco, botas punta de acero, lentes de seguridad que deben ser obligatorios. En caso de existir posibilidades de salpicadura se deben emplear mascarillas que cubran el rostro por completo, resistentes al plaguicida y que permitan buena visibilidad. Todos estos equipos deben ser proporcionados por el empleador sin costo alguno al trabajador.
 - 3) Los guantes deben limpiarse por dentro y por fuera. Se desecharan por cualquier rotura por mínima que esta sea y deben reemplazarse cada ciertos periodos de tiempo. Y por ningún motivo el trabajador puede manipular envases de plaguicidas sin contar con guantes de protección.
 - 4) Retirar inmediatamente cualquier prenda que se ensucie con polvo o líquidos. No es prudente considerar como normal la suciedad en la ropa.
 - 5) Lavar manos y cara cuidadosamente antes de comer, beber, fumar o ir al sanitario. El agua que se use para beber y lavar debe obtenerse en zonas alejadas del área de trabajo.
 - 6) Antes de retirarse de las instalaciones de la planta hay que sacar la ropa de trabajo y entregarla para su lavado. Los operarios deben tomar un baño y usar la ropa de calle para salir de la planta. No deben regresar a las áreas de formulación y producción. (CONAMA. 1998)

3. Derrames. El derramamiento de agroquímicos constituye un desperdicio y un peligro. Siempre que sea posible deben evitarse y en el caso de que se produzcan deben tomarse medidas inmediatas al respecto. Algunas causas de estos son: estallido de recipientes como consecuencia de una mala manipulación, escape del líquido de los recipientes ocasionado por un embalaje defectuoso que no soporta la humedad o el calor, perforación de los envases durante el transporte producido por bordes afilados, trasvase poco cuidadoso en caso de realizarse, fallos en los equipos, entre otras.

Un buen mantenimiento en los equipos, tuberías y tanques permite la minimización de derrames. Para la prevención de derrames se presentan a continuación algunas recomendaciones:

- a. Colocar alarmas en los tanques de formulación y reposo. Probarlas con frecuencia.
- b. Realizar inspecciones visuales mensualmente a tanques, toneles y recipientes. Poner énfasis en las uniones soldadas.
- c. A la primera señal de goteo o corrosión, se deben aplicar acciones correctivas inmediatamente. Y en caso de un derrame de igual forma adoptar medidas rápidas para evitar la dispersión y contaminar más áreas de la planta. No olvidar utilizar el equipo de protección adecuado.
- d. En caso de fallas de los equipos o accidentes se debe contar con recipientes auxiliares de almacenamiento.
- e. Los toneles que contienen materiales y residuos deben ser almacenados en áreas iluminadas y seguras, colocados sobre plataformas o bases para evitar que se oxiden consecuencia de la humedad del concreto.
- f. Adoptar un arreglo adecuado en las tuberías, con válvulas fáciles de operar y que se encuentren identificadas apropiadamente.
- g. Implementación de un programa de calidad de válvulas, con el objetivo de instalar únicamente aquellas que estén certificadas como tipo “cero emisiones” o “libre de fugas”.
- h. Se podría contar con un sistema de captación de líquidos derramados contaminados como canaletas, declives para captar, tratar y neutralizar dichos líquidos. (IPCS, 1993) (Rouanet, 2002) (CONAMA. 1998)

Para la contención de derrames se debe contar con muros de contención las cuales pueden ubicarse dentro de la planta de formulación y envasado, además es necesaria la instalación de rampas en todas las entradas. La altura de estos muros de contención debe tener por lo menos una altura de 20 cm con rampas inclinadas que faciliten el acceso a los vehículos. Finalmente se recomienda no lavar el área contaminada por los derrames o fugas directamente con agua, sino usar adsorbentes secos que capten el contaminante. Para esto se puede usar aserrín o arena, y de esta forma es posible reducir los volúmenes de residuos asociados a las operaciones de limpieza. Emplear un cepillo y una pala para recoger la materia contaminada y meterla en un saco para eliminar en condiciones de seguridad. (Rouanet, 2002) (CONAMA, 1998)

Es común que durante los procesos industriales se cuente con recipientes para almacenar residuos en los puntos de generación de los mismos, generalmente son toneles de 200 litros, recipientes plásticos, sacos de plástico o de papel, contenedores removibles y contenedores con ruedas. Estos

recipientes son almacenes provisionales para el traslado de los residuos a un punto principal de almacenamiento dentro de la planta. (Rouanet, 2002) (CONAMA. 1998)

E. Material de empaque:

1. Envases. El envase es cualquier recipiente destinado a contener un producto con el objetivo de protegerlo de su deterioro, contaminación o adulteración y para facilitar su manipulación. Hay tres tipos de envases, el envase primario es todo recipiente que tiene contacto directo con el producto y su misión es proteger al herbicida de su deterioro y facilitar su manipulación, se le dice simplemente envase. El envase secundario es todo recipiente que tiene contacto con uno o más envases primarios, su objetivo es protegerlos y facilitar la comercialización de estos hasta llegar al consumidor final. Generalmente son cajas que contienen varios envases primarios. Y por último se encuentra el envase terciario que protege al envase primario y secundario, contra los daños físicos y agentes exteriores durante su almacenamiento y transporte. Estos recipientes se utilizan durante la distribución del producto y normalmente no llegan al usuario final. Se le conoce como embalaje. (Coguanor NGO 44 063)

Los envases se clasifican también por su consistencia en: rígidos los cuales tienen una forma definida no modificable, la rigidez que poseen les permite colocar producto estibado sobre el mismo, sin sufrir daños como los envases de vidrio y latas metálicas. También se encuentran los envases semi-rígidos, que poseen una resistencia a la compresión menor a la de los envases rígidos, pero cuando no son sometidos a esfuerzos de compresión su aspecto puede ser similar a la de los envases rígidos, un ejemplo son los envases plásticos. Y por último, se encuentran los envases flexibles que son fabricados de películas plásticas, de papel, hojas de aluminio, laminaciones, entre otras. Se deforman con facilidad, prácticamente con un solo manipuleo y no resisten producto estibado. (Albarrán, 2007)

El diseño del envase es muy importante. Y este puede ayudar a minimizar los riesgos de filtraciones durante el transporte y en los sitios de almacenamiento por las condiciones de humedad, presión y temperatura a la que se pueden exponer. Además de minimizar la exposición de los usuarios y el impacto para el medio ambiente al final de la vida útil del envase. Los criterios principales para un envase bien diseñado son contener el producto e impedir que sus contenidos se filtren hacia el exterior, sobre todo en las operaciones de almacenamiento y transporte. También deben impedir que las condiciones de distribución y almacenamiento dañen al plaguicida. Deben permitir que el producto sea trasladado hacia el sistema de aplicación sin poner en peligro la salud de los usuarios y el medio ambiente. Además debe minimizar el impacto sobre el medio ambiente desde el manejo hasta el envase, una vez que su contenido ha sido empleado. Debe estar construido con materiales inertes que son impermeables a los contenidos y contar con un sello o precinto de garantía que se destruya al abrirse por primera vez y cuente con un

sistema de cierre diseñado para que el usuario pueda volverlo a cerrar en repetidas ocasiones. (OMS. FAO, 2008)

El plástico es uno de los materiales comúnmente empleado para la fabricación de envases. De los plásticos disponibles se encuentran ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno), acetato de celulosa, propianato de celulosa, policarbonato, poliéster, polietileno, polipropileno, poliestireno, poliuretano, cloruro de polivinilo (PVC), teflón, entre otros. (Ho, 2003)

El polietileno de alta densidad es un polímero utilizado para el soplado de envases destinados a la industria de alimentos y productos químicos. Tiene permeabilidad con los gases, no permite el paso de humedad, tiene poca transparencia y resiste el ataque de solventes, ácidos y bases fuertes. Los envases de este material pueden tener paredes más delgadas que los fabricados con polietileno de baja densidad, lo cual permite obtenerlo a un menor costo. (Ho, 2003)

2. Etiquetas. La etiqueta del envase realmente juega un papel muy importante para comunicar la información sobre el plaguicida, sus peligros, instrucciones, seguridad y uso. Entonces se entiende por etiquetado toda inscripción, leyenda o disposición que se imprima, adhiera o grave en el envase primario, en la envoltura o en el embalaje de un producto de presentación comercial, que identifica a dicho producto. Este es un requisito indispensable para el envasado de plaguicidas, para que su manejo sea adecuado y la persona que se encuentre en contacto con el plaguicida conozca el riesgo del producto. (Coguanor NGO 44-063) (OMS. FAO, 2008)

Las etiquetas se pueden fabricar de diferentes materiales como: PVC para fajas retráctiles, de aluminio, laminados, papel couché de una cara, tela, entre otros. Además de las etiquetas que se encuentran adheridas al producto se puede imprimir directamente sobre el envase mediante serigrafía, tampografía, grabado en vidrio, transferencia en caliente, moldeado en el envase, entre otros. Ahora bien, las etiquetas se hacen en una gran variedad de tamaños, formas, diseños, materiales y adhesivos, los cuales se pueden colocar en distintas partes del envase. Las hay frontales que cubren una porción del envase, en el frente o en la parte de atrás, en hombros, cuello o tapa de un frasco o botella. También se encuentran las etiquetas envolventes que cubren los laterales de un envase y sus bordes que se traslapan para hacer una costura, que se emplea en cajas y botellas. Es necesario, por lo tanto, dejar un área en la que no exista impresión para dicho traslape, donde además entra el adhesivo. Además se encuentran las fajas retractiles que son flexibles, se colocan en la botella y se adhieren por encogimiento del material del cual están hechas. Estas pueden ser de papel, plástico, foil o laminados. El adhesivo usado comprende variedades de pegamentos líquidos, calientes a presión y adhesivos por calor. Este pegamento es elegido

de acuerdo a las características del envase y etiqueta, así como de la capacidad de la maquina usada para etiquetar. (Albarrán, 2007)

3. Tapones. Se fabrican de plástico y metal, depende la aplicación. Este elemento, básicamente, evita el derrame y la contaminación de un producto conservándolo en su envase. Otras funciones son: conservar un producto vacío o bajo presión, ser fácil de abrir y proteger a los niños (a prueba de niños). (Ho, 2003)

Están formados por un sello flexible e inerte al producto y una cubierta que ejerce la presión del sello sobre la boca del envase. Se encuentran de cuatro tipos diferentes: enroscados, corono, press-on y roll-on. Los tapones enroscados tienen en su parte interna una rosca que corresponde a la rosca formada en la parte externa de la boca del envase. Las guías de la rosca en el envase facilitan el descenso del tapón hasta que ocurra un cierre. (Ho, 2003)

Otro tipo de rosca, como se menciono previamente, es la corona. Este tiene bordes ondulados que al utilizar la taponadora ejercen fricción sobre el borde de la boca del envase y para retirarlo es necesario el uso de una herramienta. Hay tres variaciones: el de volteo que ejerce la menor presión sobre la boca del envase y es fácil de abrir. El de giro es semejante al enroscado y el de ruptura esta hecho de una lamina delgada de metal que se desprende utilizando una lengüeta sujeta al tapón. Los tapones press-on son utilizados en el empaque de alimentos al vacío, los cuales tienen dientes en los extremos del tapón y son sujetados bajo presión sobre guías moldeadas en la boca del envase. En el caso de latas, se usan los tapones roll-on. Los tapones a prueba de niños se utilizan en productos farmacéuticos o del hogar que sean considerados peligrosos. (Ho, 2003)

F. Buenas Prácticas de Manufactura

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) son <<principios básicos y practicas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos de consumo humano, con el objetivo de garantizar que los productos sean fabricados en condiciones sanitarias adecuadas y se minimicen los riesgos inherentes durante las diferentes etapas de la cadena de producción>>. (Restrepo, 2007)

A pesar que se aplican mayoritariamente en las industrias de alimentos y farmacéutica, es importante considerarlas para el cuidado de los empleados en la industria agroquímica. Estas prácticas comprenden aspectos como: personal adecuadamente calificado y capacitado. Contar con infraestructura y espacio apropiado así como, equipos y servicios adecuados, materiales, contenedores y etiquetas

correctas, procedimientos e instrucciones aprobadas, almacenamiento y transporte apropiados. (Messer, 2011)

La aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura asegura que los productos sean elaborados con materias primas de calidad, en forma uniforme y controlada, que cumplan con las especificaciones de las normas aplicables, que se han envasado y rotulado en forma correcta, y que son estables durante su vida útil, cumpliendo con los requerimientos del Registro Sanitario. (Messer, 2011)

1. Control de procesos. Para asegurar el cumplimiento y mantenimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura a lo largo del tiempo, es necesario efectuar controles. Los mismos permiten adoptar medidas necesarias para asegurar y mantener el cumplimiento de los criterios establecidos para la obtención de productos seguros. Todas las operaciones que van desde la recepción de las materias primas, inspección, transporte, manufactura, envasado y almacenamiento de los alimentos deben realizarse de acuerdo a los principios higiénico-sanitarios enunciados por las BPM. Por lo tanto, es necesario que a lo largo de todas las etapas del proceso se instrumenten acciones de control, las cuales garanticen la calidad del producto. (De León, 2007)

Con respecto al proceso de envasado, todo el material que se emplee para el envasado debe almacenarse en lugares adecuados para tal fin, y en condiciones de sanidad y limpieza. Los envases o recipientes no deben ser utilizados para otro propósito diferente al que fue diseñado y deben inspeccionarse antes de su uso, a fin de asegurarse que se encuentren en buen estado y limpios. En las zonas de llenado y envasado solo deben permanecer los recipientes necesarios. (De León, 2007)

G. Principios de diseño de plantas

El diseño de plantas incluye todos los aspectos ingenieriles involucrados en el desarrollo de un proceso comercial nuevo, modificado o expandido en una planta química o bioquímica. Ahora bien, la *Ingeniería de procesos* es usada en conexión con la evaluación económica y análisis generales económicos de procesos comerciales. Y el *diseño de procesos* se refiere al diseño actual de equipo e instalaciones necesarias para proveer los productos y servicios deseados. (Peters, 2003)

El paso más importante al iniciar un proceso de diseño es traducir las necesidades del consumidor en una base de diseño. Las bases del diseño se refieren a un estado más preciso del problema que se resolverá, lo cual incluye el índice de producción y especificaciones de pureza del producto, junto con información de las limitaciones que influenciarán el diseño, tales como: el sistema de unidades que se empleará, los códigos de diseño de la compañía, locales o nacionales que deben seguirse; detalles de las materias primas que están disponibles, información de locales potenciales donde la planta

podría estar ubicada y sobre las condiciones, disponibilidad y precio de los servicios. Las bases de diseño deben estar claramente establecidas antes de iniciar el proceso de diseño. (Sinnott, 2008)

En la siguiente tabla se muestran pasos típicos para el diseño de procesos químicos y bioquímicos:

Tabla 2: Pasos típicos para el diseño de procesos químicos y bioquímicos

-
1. Reconocer una necesidad ingenieril o de la sociedad (social, del mercado)
 - a. Hacer análisis de mercado para saber si el nuevo producto resultara
 2. Crear una o más soluciones potenciales para satisfacer esta necesidad
 - a. Realizar una revisión bibliográfica y búsqueda patentada
 - b. Identificar los datos preliminares requeridos
 3. Empezar proceso preliminar de síntesis de estas soluciones
 - a. Determinar reacciones, separaciones y posibles condiciones de operación
 - b. Reconocer preocupaciones ambientales, de seguridad y salud
 4. Evaluar rentabilidad del (de los) proceso (s) preliminar (es) [En caso de ser negativo: rechazar proyecto y crear nuevas alternativas]
 5. Refinar datos de diseño requeridos
 - a. Establecer datos de propiedad con el software apropiado
 - b. Verificar experimentalmente, si es necesario, claves desconocidas del proceso
 6. Preparar diseño de ingeniería detallado
 - a. Preparar diagrama de flujo del proceso
 - b. Integrar y optimizar proceso
 - c. Chequear control del proceso
 - d. Tamaño del equipo (Dimensionar equipo)
 - e. Estimar costo de capital
 7. Reevaluar viabilidad económica del proceso (No: Modificar proceso o investigar otras alternativas de proceso)
 8. Revisar nuevamente el proceso para efectos ambientales, de seguridad y salud.
 9. Proporcionar un reporte escrito del proceso de diseño
 10. Completar el diseño final de ingeniería
 - a. Determinar distribución del equipo y especificaciones
 - b. Desarrollar diagramas de tuberías e instrumentación
 - c. Preparar ofertas para el equipo o el proceso de planta
 11. Obtener equipo (Si el trabajo es hecho en casa)
 12. Prestar (proveer) asistencia en la fase de construcción
 13. Ayudar con la puesta en marcha y corridas
 14. Iniciar producción

(Peters, 2003)

Es importante mencionar que “diseñar” es un arte inexacto, por los errores e incertidumbres que surgen de las incertidumbres en los datos de diseño disponibles y en las aproximaciones necesarias en los cálculos de diseño. Los diseñadores experimentados incluyen un grado de sobre-diseño conocido como “factor de diseño”, “margen de diseño” o “factor de seguridad”, para asegurar que el diseño logre satisfacer las especificaciones del producto y opere de manera segura. En el diseño estructural y mecánico, los factores de diseño se usan para permitir que las incertidumbres en propiedades de los

materiales, métodos de diseño, fabricación, y cargas de operación sean bien establecidas. Los factores de diseño también son aplicados en el proceso de diseño para dar alguna tolerancia en el diseño. Una mejor definición de los factores de seguridad es que estos representan la cantidad de sobre dimensionamiento que puede ser usada para tomar en consideración no solo los cambios en el desempeño operativo con el tiempo, sino también las incertidumbres en el proceso de diseño. (Peters, 2003; Sinnott, 2008)

La aplicación indiscriminada de los *factores de seguridad* puede ser muy perjudicial para el diseño. Cada pieza del equipo debe ser diseñada para llevar a cabo su función necesaria. Entonces si las incertidumbres están involucradas, un factor de seguridad razonable puede ser aplicado. El rol de un equipo particular en la operación general debe ser considerado junto con las consecuencias de subdimensionar. Aumentos potenciales en los requerimientos de capacidad de una línea son en ocasiones utilizados como una excusa para aplicar factores de seguridad muy altos. Esta práctica, sin embargo, puede resultar en un sobredimensionamiento que el proceso o equipo no tendrá la oportunidad de demostrar su valor económico. Las magnitudes de los factores de seguridad son estimadas por consideraciones económicas y del mercado, la precisión de los datos y cálculos de diseño, cambios potenciales en el desempeño operativo, antecedentes disponibles del proceso general. (Peters, 2003)

Ahora bien, en el diseño de una planta industrial, los métodos que serán usados para la operación y control de la planta ayudan a determinar muchas de las variables de proceso. Por ejemplo, el grado de instrumentación puede ser un factor para la elección del tipo de proceso y establecer la mano de obra requerida. Se debe recordar que el trabajo de mantenimiento será necesario para conservar el equipo instalado y las instalaciones en condiciones buenas de operación. El ingeniero debe reconocer la importancia de dichos factores que están directamente relacionados con la operación de la planta y control, y debe tomarlos en cuenta durante el desarrollo del proyecto de diseño. (Peters, 2003)

1. Instrumentación. Los instrumentos son usados en la industria química para medir variables de proceso, tales como: temperatura, presión, densidad, viscosidad, calor específico, conductividad, pH, humedad, punto de rocío, nivel del líquido, caudal, composición química y contenido de humedad. Mediante el uso de instrumentos que tienen diferentes grados de complejidad, los valores de esas variables pueden ser registrados continuamente y controlados dentro de límites estrechos. (Peters, 2003)

El control automático es la norma en todas las industrias químicas, y los ahorros resultantes en mano de obra combinado con la facilidad mejorada y eficiencia de operación ha compensado con creces el gasto adicional en instrumentación. El uso efectivo de los muchos instrumentos empleados en los

procesos químicos se logra a través de control centralizado, mediante un cuarto de control localizado centralmente, el cual es usado para la indicación, registro y regulación de las variables de proceso. Tableros de mando se han desarrollado que presentan una representación gráfica de los procesos y tienen los controles de instrumentos e indicadores montados en las locaciones apropiadas en el proceso general. Esto ayuda a un nuevo operador a familiarizarse rápidamente con el significado de las lecturas de los instrumentos, y es posible la rápida ubicación de cualquier diferencia operacional. (Peters, 2003)

2. Mantenimiento. Muchos de los problemas involucrados en mantenimiento son causados a menudo por una evaluación incompleta del diseño original y layout de planta y equipo. Se debe proveer suficiente espacio para el trabajo de mantenimiento de equipos e instalaciones en el layout de planta, y el ingeniero necesita considerar el mantenimiento y los requerimientos de seguridad cuando toma decisiones sobre los equipos. (Peters, 2003)

A menudo también, el ingeniero de diseño esta consiente únicamente de los costos iniciales/primarios y falla en reconocer que los costos de mantenimiento pueden fácilmente anular las ventajas de seleccionar una instalación más barata/menos costosa. (Peters, 2003)

3. Almacenaje. Instalaciones adecuadas de almacenamiento para materias primas, productos intermedios, productos finales, materiales reciclados y combustibles son esenciales para la operación de una planta. Un suministro de materias primas permite la operación del proceso de la planta sin tener en cuenta la contratación temporal o dificultades de entrega. El almacenaje de productos intermedios puede ser necesario durante paros de la planta por reparaciones de emergencia mientras que el almacenaje de productos finales hace posible el suministro a los clientes aun durante dificultades en la planta o paradas imprevistas. Una necesidad adicional para almacenamiento adecuado es a menudo encontrada cuando es necesario satisfacer demandas estacionales de producción constante. El almacenamiento de líquidos a granel es generalmente manejada por tanques cilíndricos o esféricos para prevenir el escape de contaminantes volátiles y minimizar dicha contaminación. (Peters, 2003)

4. Manipulación/manejo de materiales. Los equipos de manipulación de materiales están lógicamente divididos en tipo continuo y batch, y clases para el manejo de líquidos, sólidos y gases. Líquidos y gases son manejados por medios como bombas y sopladores, en tuberías, canales de flujo y conductos; y en contenedores tales como baterías, cilindros y tanques de autos.

La selección de equipos de manejo de materiales depende del costo y trabajo que será realizado. Los factores que deben ser considerados en la selección de dichos equipos incluyen: (Peters, 2003)

- a. Naturaleza química y física de materiales que son manejados
- b. Tipo y distancia de movimiento del material
- c. Cantidad de material movido por unidad de tiempo
- d. Naturaleza de alimentación y descarga de equipos de manejo de materiales
- e. Naturaleza continua o intermitente de materiales manejados

El principal movimiento de materias primas líquidas o gaseosas y productos dentro de una planta, hacia y desde el punto de envío/transporte es hecho por tuberías. (Peters, 2003)

H. Diseño de una línea de llenado de líquidos:

El envasado a menudo en la industria química se define como aquella operación que incluye todos los embalajes, recipientes y contenedores con dos toneladas métricas de producto (4,400 lb) o menos. Estos contenedores incluyen bolsas, cajas de cartón, bidones y cubos, latas, botellas, sacos y tanques metálicos. Los materiales de construcción de estos contenedores pueden ser papel, plástico, metal, vidrio, algodón o mezclas de ellos. (Perry, 2001)

1. Envasado de líquidos. Los contenedores para líquidos son principalmente bidones o barriles, cubos o canecas y latas de acero o plástico, así como botellas, envases y frascos de 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. Cuando se trata de productos poco comunes se utilizan recipientes de acero inoxidable. Los bidones, barriles o toneles más usados son los de 208 L (55gal) y los cubos o canecas de 19L (5gal). (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, éste 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 de 208 L (55 galones). Hecho de polietileno de alta densidad moldeado por soplado, este contenedor es especialmente útil para productos que podrían reaccionar con el acero al carbono 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. (Perry, 2001)

Existen dos diseños básicos de barriles o bidones y cubos o canecas: de tapa hermética y de tapa abierta. Los barriles de tapa hermética tienen las tapas inferior y superior permanentemente unidas al cuerpo del mismo, mientras que los bidones o barriles de tapa abierta sólo tienen el fondo permanentemente unido. Como indica el término tapa abierta, la parte superior del barril no tiene una cubierta fija sino una tapa móvil. Esta tapa se diseña de tal manera que un anillo de cierre la asegura al cuerpo del barril. Los barriles y canecas de tapa abierta se usan por lo general para productos viscosos, para mezclas y suspensiones que son difíciles de bombear a través de líneas de 50mm (2in) o menores. Los bidones y cubos de tapa hermética se usan para productos de baja viscosidad. No existe una regla respecto a la viscosidad por encima de la cual debe usarse un bidón o cubo de tapa abierta. (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 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)

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 los 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)

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 sensora de pesado o una báscula. 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 en fondo. El llenado en cabeza se emplea habitualmente para la mayor parte de los productos, en especial de materiales viscosos 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 usa 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)

3. Diseño de la estación de trabajo. Es necesario hacer consideraciones críticas al diseño de las estaciones de trabajo, de tal manera que los operarios de llenado 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 recipiente 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 uno o varios recipientes: proveer envases al sistema, colocar sellos y tapones a los envases previamente dosificados, marcar y etiquetar los recipientes 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)

Es necesario prestar la adecuada atención a los reglamentos de seguridad para la conexión eléctrica a tierra del bidón o barril durante el llenado cuando fuera el caso, el manejo de vapores, el manejo de posibles derrames accidentales y salpicaduras, así como el diseño de la estación de trabajo de acuerdo con la OSHA y con los códigos locales y estatales. Los operadores deben estar protegidos del contacto con el producto y sus movimientos físicos no deben ser tales que puedan producir lesiones potenciales. El diseño de la estación de trabajo se beneficia de las consultas con los organismos gubernamentales y con los consultores y vendedores de equipo. (Perry, 2001)

I. Maquinaria de envasado/empacado

1. Llenadoras de líquidos. Los productos líquidos son frecuentemente manejados en la industria. Existe una gran variedad de los mismos manejados en distintos sectores de la industria manufacturera como alimentos, química, farmacéutica, petrolera, agroquímica como el caso del herbicida a trabajar, entre otras. Este tipo de productos son envasados o embotellados al final de la línea de producción, lo cual se lleva a cabo como un método de conservación del producto. En el proceso se utilizan equipos o máquinas llenadoras que se encargan de introducir y dosificar el producto en recipientes o envases. Es muy común que en la industria los procesos de llenado sean de tipo manual, aumentando la probabilidad de contacto entre los operarios y las sustancias producidas. Por otro lado, al realizar el proceso de llenado de esta manera, las probabilidades de pérdidas por derrames son mayores ya que éste depende del cuidado de quién las realiza. Asimismo, la precisión del proceso es

considerablemente menor por lo que la cantidad de producto en cada recipiente puede variar en márgenes muy altos. Todas las pérdidas de producto afectan la eficiencia y disminuyen el rendimiento de cualquier proceso. El uso de llenadoras automáticas o semiautomáticas en cualquier industria es muy importante ya que reducen el contacto entre los operarios y el producto deseado. Además, aumentan la eficiencia y rendimientos de los procesos de producción. Por otro lado, la introducción de este tipo de equipos reduce la probabilidad de que el proceso de llenado sea un “cuello de botella” en el proceso de producción.

Existen varios tipos de llenadoras, destacando principalmente las llenadoras de líquidos por desbordamiento, volumétricas, por nivel y por peso (gravimétricas). De estas, las del tipo volumétrico y por nivel son las más comunes. Cuando se envasan y empaacan líquidos viscosos, pastas y otros productos alimenticios se opta por llenadoras volumétricas, que se subdividen en llenado por pistón, por bomba de engranaje, bomba de tornillo y por plataformas de pesado. Si se trabaja con productos de viscosidades menores a $6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$ o $6,000 \text{ cP}$ se recomienda el empleo de llenadoras a nivel y por desbordamiento, esto debido a su bajo costo y capacidad. A continuación, se describirán cinco tipos de llenadoras de líquidos: por desbordamiento, por tiempo de flujo, de desplazamiento positivo, de pistón volumétrico y por peso. (Ho, 2003)

a. Llenadoras de líquidos por desbordamiento (rebalse). Este tipo de llenadora es la más ampliamente utilizada en operaciones de llenado de botellas pequeñas, esto se debe a que manejan una amplia gama de líquidos, desde líquidos de flujo libre hasta líquidos de viscosidad media. Estos equipos llenan a un “objetivo de llenado” que consiste en una altura en el recipiente, en vez de hacerlo por volumen. Por la última razón, es de suma importancia tener la línea de llenado a la misma altura para que todos los envases sean llenados exactamente igual. Cuando la especificación de los contenedores no varía significativamente, la precisión volumétrica de esta llenadora es excelente. Algunas manufactureras agregan producto extra y sobrellenan algunos de sus contenedores para garantizar que todos ellos contengan como mínimo la cantidad deseada de producto. Con frecuencia es más económico utilizar producto adicional en los contenedores que controlar más de cerca los procesos de formación de éstos. (Inline Filling Systems, 2006)

Las llenadoras por desbordamiento de líquido también son aptas para la manipulación de fluidos espumosos, ya que éstas operan en una base de circuito cerrado y trabajan a altas velocidades. Respecto al costo de estos equipos, éstos son relativamente bajos. Además, son máquinas de fácil uso y limpieza y se caracterizan por su alto rendimiento. Sin embargo, estas no son adecuadas para productos con

viscosidades mayores a 25000 cP y para productos con partículas que excedan un diámetro de 1/16 de pulgada. (Inline Filling Systems, 2006)

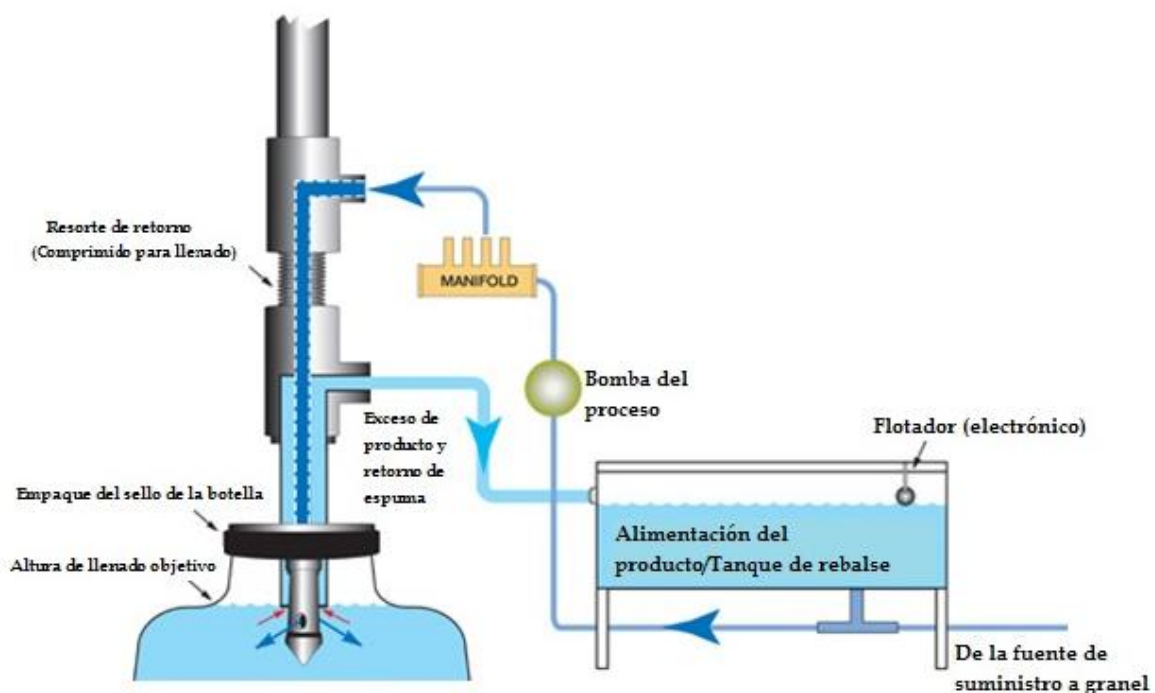
Entre los productos que pueden envasarse se encuentran: salsas, jarabes, geles y shampoo, limpiadores espumosos y productos químicos, agua y otras bebidas no carbonatadas. Se presenta a continuación una tabla con otros productos que puede trabajar esta llenadora: (Inline Filling Systems, 2006)

Tabla 3: Productos con los que pueden trabajar las llenadoras por desbordamiento

Comidas y bebidas	Cosméticos y cuidado personal	Químicos	Farmacéuticos	Otros
Agua Jugos de frutas Aceite vegetal Té Café líquido Bebidas vitamínicas Colorantes alimenticios Jugo de tomate Jarabes Vinagretas	Perfumes Aceites esenciales Esmalte de uñas Quita esmalte Aromatizantes Jabón líquido Protector solar Shampoo y jabón de baño Acondicionador Crema para manos y cuerpo Enjuague bucal	Limpiadores de ventana Detergentes de lavado Aceite de motor Tintas Removedor de manchas Limpia alfombras Pinturas Desgrasantes Aditivos de combustible Refrigerantes Barniz de madera	Jarabe para la tos Urea Alcohol Solución salina	Repelente de insectos Agroquímicos

(Accutek, 2011)

Figura 3: Principio de funcionamiento de llenadoras por desbordamiento

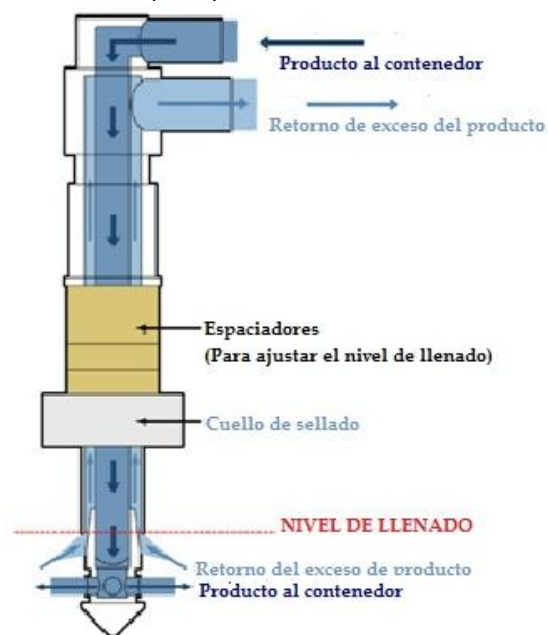


De una manera general, este tipo de llenadoras trabaja de la siguiente manera: el lado de suministro del producto (azul oscuro) de la boquilla de dos partes es utilizado para bombear producto al envase. Cuando el recipiente o envase se llena hasta la altura de llenado objetivo (altura de objetivo de relleno), el exceso de producto y la espuma es forzada a salir fuera del contenedor/envase (flechas rojas) por el lado de retorno al depósito/tanque del producto original como se observa en la figura 3)(Inline Filling Systems, 2006)

El flujo del líquido puede ser 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 utilizada para mover el producto a través de los mecanismos de alimentación en la línea de llenado. (Accutek, 2011)

Entonces, el flujo es iniciado y detenido por la acción de una válvula que se abre por la fuerza de contacto que hay entre ella y el contenedor. Esto último se logra al bajar la cabeza de llenado hacia la parte superior del contenedor mediante una cabeza neumática. Cuando la presión de contacto es suficiente, la válvula se abre y el producto fluye desde el tanque de suministro hasta el contenedor. El aire y cualquier gas que se forme 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 sobrellenará hasta que la cabeza suba y la válvula se cierre. Cuando el contacto con la cabeza de llenado y el contenedor se rompe, la válvula de llenado se cierra previniendo el desperdicio de producto mientras que la cabeza es removida de un contenedor y posicionada en el siguiente. (Accutek, 2011)

Figura 4: Cabezal de llenado en llenadoras de líquido por desbordamiento.



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.

En la Figura 4 se muestra el funcionamiento del cabezal de llenado, y es posible observar que el exceso de producto retorna cuando se ha llegado al nivel u objetivo de llenado. De hecho, el objetivo de llenado del contenedor se determina por la ubicación del puerto de sobrellenado y no por el nivel en el

uello del contenedor. Cuando el producto alcanza el puerto de sobrellenado significa que el llenado se ha completado, pero el flujo continua a través del tubo de sobrellenado hasta que el sello en el contenedor se rompa y la válvula cubra el puerto en la boquilla de llenado, es ahí cuando el flujo se detiene. El cabezal de llenado debe mantenerse abajo y la válvula abierta hasta que el producto líquido fluya en el puerto de sobrellenado para asegurarse de obtener el correcto nivel del liquido. En la figura 5 y 6 se ve claramente la forma de trabajo de las llenadoras por desbordamiento.

Figura 5: Llenado de contenedores en llenadoras por desbordamiento.

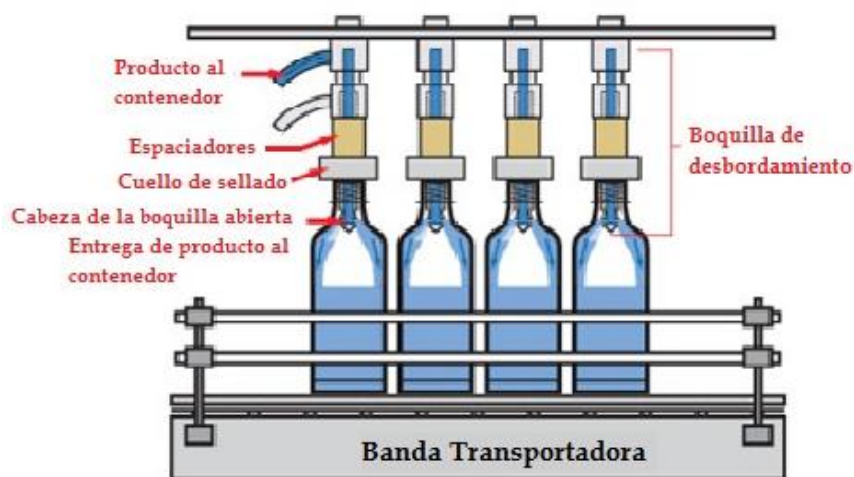
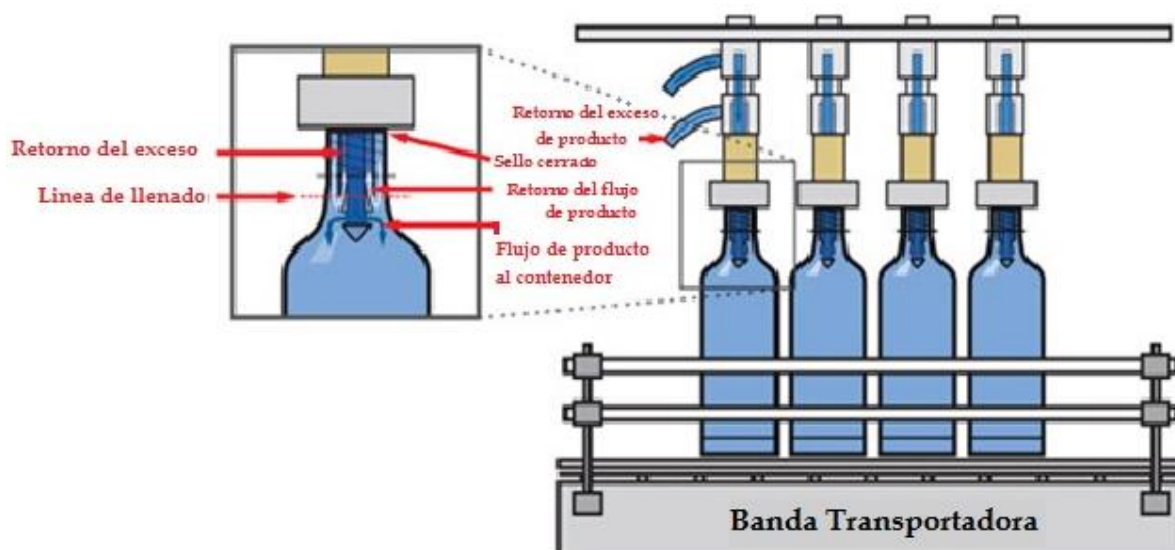


Figura 6: Contacto entre el cabezal y los contenedores.



Los requerimientos de mantenimiento de las llenadoras por gravedad son relativamente simples. Los componentes de llenado deben mantenerse limpios y bien lubricados. Igualmente, los empaques y los

resortes deben ser reemplazados cuando su uso es excesivo. La consistencia del producto y el libre movimiento de todas las partes móviles es crítico para una operación suave. (Accutek, 2011)

El uso de un tanque de gravedad para proveer un flujo de producto es la más fácil y la más barata forma de llenar el producto, pero el tanque de gravedad puede ser reemplazado con una bomba. El uso de una bomba puede incrementar el flujo de producto y por lo tanto incrementar la velocidad de llenado. Una bomba centrífuga es la elección más normal debido a su habilidad de bombear en contra de la cabeza de llenado sin incrementar la presión del líquido. Si es necesario usar una bomba de desplazamiento positivo, una válvula actuada por aire debe ser colocada en la salida de la bomba para causar un desvío y asegurarse que la presión del líquido no exceda la capacidad del sistema y causar daño a la maquinaria o al operador. Es posible usar la misma señal de aire para encender la bomba o apagarla cuando la presión sea necesaria. El sobre llenado, desbordamiento o rebalse debe de ser ahora bombeado otra vez al tanque de producto bruto para ser reciclado. (Accutek, 2011)

El método que es utilizado para prevenir que el producto gotee afuera de la boquilla mientras ésta se mueve atrás y adelante es el de uso de empaques. Estos son colocados alrededor de la circunferencia de las boquillas así como en el cuerpo de las mismas. Existe un empaque para el puerto de llenado y otro para el de sobre llenado. Estos empaques pueden ser hechos a partir de una gran cantidad de distintos materiales que son seleccionados para trabajar con las características de los productos que están siendo llenados. (Accutek, 2011)

b. Llenadoras de líquidos por tiempo de flujo. Estas llenadoras de flujo volumétrico entregan una dosis exacta de producto cuando se consideran tres factores:

- 1) Presión de salida de la bomba del producto
 - 2) Diámetro interior de la manguera de producto de la máquina de llenado
 - 3) Velocidad de flujo de producto que pasa por el tubo de dosificación y la boquilla
- (Accutek, 2011)

En este tipo de llenadoras, el volumen de producto en cada dosis se puede regular mediante el control de la magnitud de tiempo que el producto fluye a una velocidad constante a través de la tubería de tamaño estándar hacia el contenedor. Cuando es conocida la presión de salida de la bomba y la velocidad a la cual el producto viaja a través de una tubería de diámetro interno constante, el tiempo para una cantidad específica de producto puede calcularse. Cuando el tiempo es calculado, un microprocesador o un PLC (Controlador Lógico Programable) controla el valor del tiempo programado por la dosis mediante la apertura de la “pinch bar”. (Accutek, 2011)

La exactitud de llenado está determinada por la precisión de los mecanismos de sincronización y por la suavidad del flujo. Cuando se utiliza una máquina de la serie Pinch, el producto se bombea de un tanque utilizando una bomba que corresponda con el producto respecto a su viscosidad, temperatura de llenado, la compatibilidad química, el tamaño de las partículas y el caudal requerido. La bomba mueve el producto a la máquina y hacia el manifold de la máquina. En el manifold, el producto se dirige a los puertos de éste. Desde los puertos de salida múltiple, el producto entra en la tubería. En la tubería, éste corre a través de un área “pinch” y de las boquillas de dispensación. (Accutek, 2011)

Una vez que la máquina se ponga en funcionamiento, la presión de la bomba se mantiene constante en el manifold. El flujo de salida del manifold, a través de la tubería está controlado por la “pinch bar”. El PLC o microprocesador controla la cantidad de tiempo que la “pinch bar” permanece abierta permitiendo que el producto fluya. Después de 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, 2011)

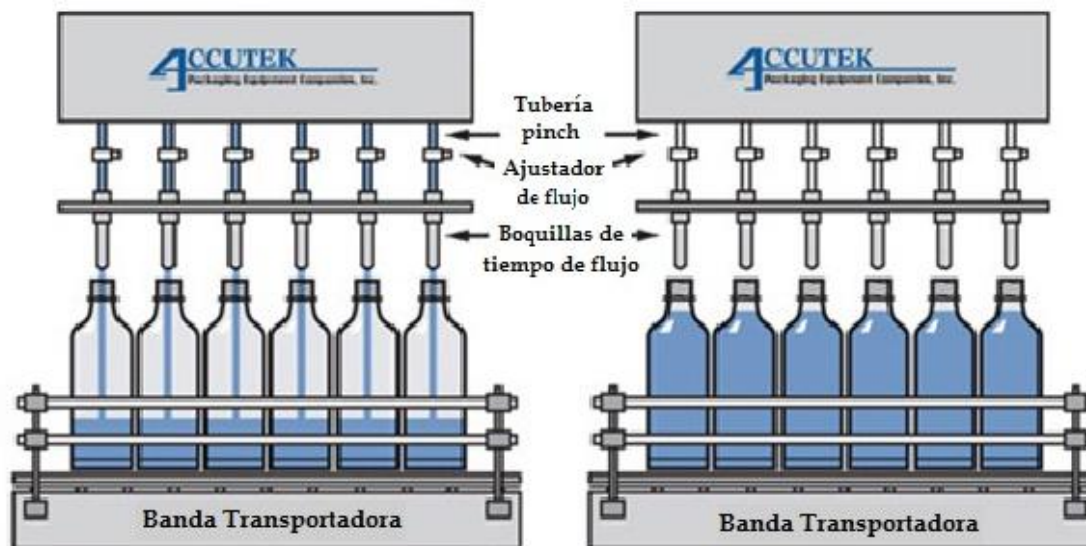
La mayoría de los fabricantes de máquinas de llenado utilizan válvulas de control neumáticas o electrónicas. Al utilizar un sistema de “pinch bar”, el contacto con las partes de llenado es mínimo y extremadamente sanitario. Las piezas de contacto con el producto son la bomba, el manifold, la tubería y las boquillas de inyección. Se puede cambiar la bomba por una de acero inoxidable sanitario. El manifold y boquillas son generalmente 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, 2011)

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, 2011)

Dependiendo del tipo de producto se requieren diferentes diseños y tamaños de boquilla. Cuando el diámetro de la boquilla coincide con la tensión superficial del producto, se forma una película en la punta de la boquilla al final de cada llenado, lo cual 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 llenado. Esto puede hacer que sea necesario ejecutar ya sea el proceso más lento para que todas las gotas sean atrapadas en el contenedor o se requiera de una limpieza

frecuente de los contenedores y la máquina. Respecto a la bomba utilizada, ésta puede ser centrífuga o de desplazamiento positivo. (Accutek, 2011)

Figura 7: Llenado de contenedores en llenadoras de tiempo de flujo



A continuación, se presentan algunos productos con los cuales pueden trabajar las llenadoras por tiempo de flujo.

Tabla 4: Productos que pueden ser envasados en llenadora de líquidos por tiempo de flujo

Comidas y bebidas	Cosméticos y cuidado personal	Químicos	Farmacéuticos	Otros
Agua	Perfumes	Parafina	Jarabe para la tos	Comida para mascotas
Jugos de frutas	Aceites esenciales	Cera	Urea	Shampoo para mascotas
Extractos de fruta	Esmalte de uñas	Limpiadores de ventana	Alcohol	Fertilizantes
Aceite vegetal	Quita esmalte	Detergentes de lavado	Solución salina	Repelente de insectos
Té	Jabón líquido	Aceite de motor		
Café líquido	Protector solar	Tintas		
Bebidas vitamínicas	Shampoo	Silicón		
Bebidas alcohólicas	Acondicionador	Pinturas		
Leche	Crema para manos y cuerpo	Desgrasantes		
Colorantes alimenticios	Fijador en spray para pelo	Removedor de manchas		
Jugo de tomate	Removedor de maquillaje	Limpia alfombras		
Salsa de tomate	Lubricantes y aceites			
Mostaza	Enjuague bucal			
Salsa picante	Jabón de baño			
Jarabes				
Vinagretas				

(Accutek, 2011)

c. Llenadoras de líquidos 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. Algunas llenadoras de desplazamiento positivo se basan en un llenado volumétrico. Es decir, existe un volumen previamente fijado que se llena a cada envase. De esta forma, se mantiene constante el volumen de llenado. (Accutek, 2011)

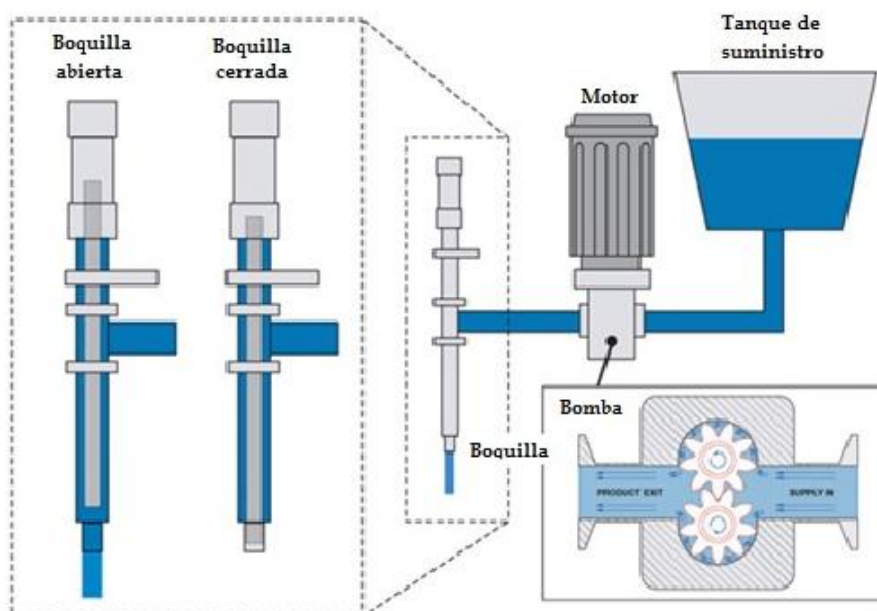
Las ventajas de este tipo de llenadoras incluyen su exactitud, flexibilidad, así como su fiabilidad. Además, son relativamente fáciles de limpiar. Por otro lado, la posibilidad de llenar con poca variación de volumen entre un envase y otro, da a la empresa ventajas económicas ya que se maximiza el rendimiento del proceso. La flexibilidad de estos sistemas de llenados 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. 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, 2011)

Las llenadoras de desplazamiento positivo utilizan una bomba de este tipo para introducir el líquido dentro del contenedor o recipiente. Con el fin de tener un control preciso de la cabeza y revoluciones desarrolladas por la bomba es posible instalar un sistema de control como un PLC que permita, a través de cierta programación, estandarizar el proceso de llenado, aumentando la eficiencia y reduciendo las pérdidas de producto. El control del motor permite regular la velocidad de llenado. De esta forma será posible programar la velocidad de llenado de forma que al inicio sea un proceso lento para evitar derramamientos. (Accutek, 2011)

La velocidad de llenado depende de 4 factores:

- 1) El tamaño de la bomba
- 2) El tipo de producto
- 3) El tamaño del recipiente o la dosificación
- 4) El velocidad del motor (Accutek, 2011)

Figura 8: Llenadora volumétrica de desplazamiento positivo.



Para la selección de la bomba y en específico para la cabeza se toma en cuenta: el flujo volumétrico de llenado (4 a 10 galones por minuto), dependiendo de la velocidad de llenado deseada. Las bombas recíprocantes se utilizan para líquidos de alta viscosidad tales como detergentes, grasas y productos que se manejen a altas o muy bajas temperaturas. Las bombas centrífugas 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, 2011)

Las boquillas sirven para dirigir el líquido al recipiente. Su selección de manera que el flujo del líquido sea continuo y que no sea interrumpido por acumulaciones u obstrucciones. Tomando en cuenta que si el diámetro de la boquilla es muy pequeño, la velocidad de llenado será rápida produciendo derrames. Si el diámetro es muy grande se producirá goteo al final del llenado. El diámetro adecuado de la boquilla, permitirá la producción de burbujas en la salida de la boquilla. Este fenómeno evita el derramamiento de producto. El diseño de las boquillas es muy importante debido a que reduce la probabilidad de derrames, tapones y aireación excesiva durante el proceso de llenado. El diseño más común son las boquillas móviles: Este tipo de boquillas poseen un tapón móvil en el cuerpo de la boquilla. Este permite un cierre más hermético de la boquilla y reducir derrames y salpicaduras. (Accutek, 2011)

Tabla 5: Productos que pueden ser envasados con llenadoras de desplazamiento positivo

Comidas y bebidas	Cosmética y cuidado personal	Químico	Farmacéutico	Otros
Agua	Perfumes	Limpiadores de ventanas	Medicina contra la tos	Repelente de insectos
Jugos de frutas	Aceites esenciales	Detergente para ropa	Alcohol	
Aceite vegetal	Esmalte para uñas	Aceite de motor	Yodo	
Extractos de frutas	Quitaesmalte	Tinta	Solución salina	
Té	Jabón líquido	Removedores de manchas	Sangre	
Salsa	Cremas faciales	Pintura para aviones		
Sopas	Loción bronceadora	Pintura		
Yogurt	Shampoo	Limpiadores de alfombras		
Jaleas	Acondicionador	Desengrasantes		
Mermeladas	Enjuague bucal	Aditivos de combustible		
Bebidas vitaminadas	Jabón líquido	Refrigerante de motor		
Colorante para alimentos	Mascara	Barniz para madera		
Leche	Delineador de ojos	Candelas		
Miel	Loción para manos y cuerpo	Cera		
Mayonesa	Bálsamo labial	Sellador de llantas		
Jugo de tomate	Gelatina para el cabello	Grasa		
Aderezo para la ensalada	Líquidos de tratamiento facial	Goma		
Pasta de dientes	Desmaquillador	Silicón		
Crema				
Queso				

(Accutek, 2011)

d. Llenadoras de líquidos de pistón volumétrico. Una llenadora de pistón mide y descarga producto al contenedor (que puede ser una botella, galón, envase) por la acción de un pistón simple para cada cabeza de llenado. Estas llenadoras se caracterizan porque tienen una fase de llenado (conocida como carrera de admisión) donde el pistón permite la succión del producto del tanque de almacenamiento, a través de una válvula de cheque (puede ser también una válvula rotatoria), hacia el cilindro del pistón. En la segunda fase, se vacía el pistón y el producto fluye a través de otra válvula de cheque hacia el contenedor o envase. (Accutek, 2011)

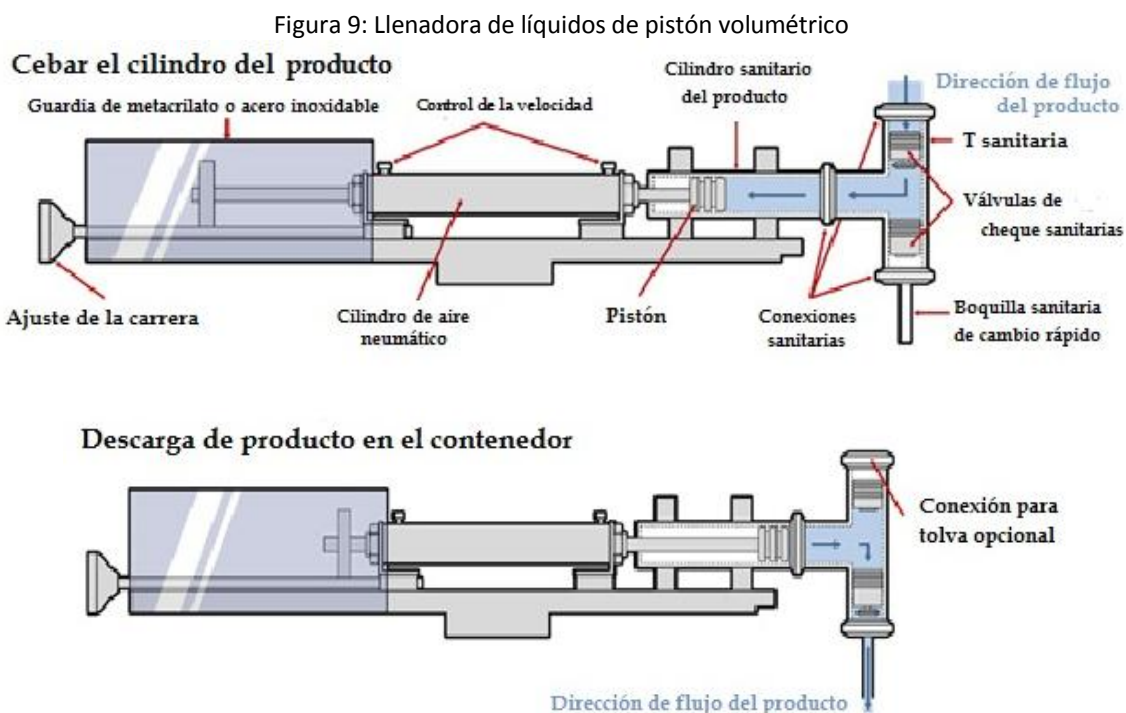
El volumen del cilindro dentro del cual opera el pistón determina el volumen a dosificar en el envase. Entre mayor sea dicho cilindro, mayor volumen se podrá transferir. De igual manera, se puede ajustar la carrera del pistón para variar este volumen. De esta cuenta, si la carrera es más larga, el volumen de la cámara (cilindro) aumenta, y si la carrera es menor, el volumen también disminuye. Por lo tanto, un pistón de mayor capacidad se puede ajustar de manera que se satisfagan diferentes necesidades de llenado. (Accutek, 2011)

La precisión de llenado de cada equipo depende del porcentaje de volumen total del cilindro que se utiliza. 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, 2011)

La velocidad de llenado depende de cuatro factores, que son:

- 1) La velocidad del pistón en su fase de llenado (o también llamada carrera de admisión), basado en la viscosidad del producto y la carrera del pistón.
- 2) La velocidad del pistón en su fase de descarga (segunda fase), basado en la presión de descarga, presencia o no de espuma y volumen a vaciar.
- 3) El tamaño del contenedor o envase, o del volumen a dosificar.
- 4) La experiencia del operario. (Accutek, 2011)

A continuación se presenta un diagrama del equipo de llenado:



El método que es utilizado para evitar fugas del producto líquido durante la corrida del pistón consiste en colocar un O-ring. Estos empaques redondos se sitúan alrededor de la cabeza del pistón. Estos aros pueden fabricarse de gran número de materiales para seleccionar aquel que se adapte mejor a

las condiciones de llenado y características del líquido a trasvasar. Es necesario tomar en cuenta temperatura y características abrasivas o corrosivas del líquido a envasar. (Accutek, 2011)

Los distintos tipos de productos requieren diferentes diseños y tamaños de boquillas. El diámetro de la boquilla debe ser seleccionado para que provea un flujo laminar (suave). Si es muy pequeño, la velocidad del producto líquido será muy alta al entrar al contenedor o envase y puede provocar salpicaduras, derrames o espuma. Si la boquilla es muy grande, puede haber goteo después de cada corrida del pistón. Cuando el diámetro de dicha boquilla iguala la tensión superficial del producto, se forma de manera natural una película o burbuja en la punta de descarga. Esto evita que el líquido almacenado en el último tramo de descarga de la boquilla salga de la aguja llenadora y gotee. Esto puede obligar a los operarios a realizar un proceso más lento de manera que las últimas gotas caigan dentro del recipiente, o requerir paros continuos para limpieza de los envases y de la máquina. (Accutek, 2011)

Tabla 6: Productos que pueden envasarse en una llenadora de pistón volumétrico

Alimentos y bebidas	Cosméticos	Químicos	Farmacéutico	Otros
Agua Jugo de frutas	Perfumes Aceites esenciales	Candelas Cera	Sangre	Alimento para mascotas
Colorantes Azúcar glaseada	Pasta de dientes Enjuague bucal	Detergentes para lavandería.	Orina	Shampoo para perro
Extracto de frutas	Aceites	Aceite para motor	Alcohol	Fertilizantes
Té Café y leche	Removedor de pintura de uñas	Tintas Pintura	Yodo	Repelente de insectos
Salsa picante Yogurt	Bálsamo labial Máscara	Goma Silicón	Solución salina	
Vitaminas Jalea y miel Salsa Kétchup Mayonesa	Jabón líquido Loción para el cuerpo Delineador de ojos	Sellador de llantas Quita manchas	Medicina para resfriados	
Bebidas alcohólicas	Líquidos de tratamiento facial	Limpiador de alfombras		
Mostaza	Shampoo	Uretano		
Jugo de tomate	Acondicionador	Grasa		
Crema Queso	Bloqueador solar Pintura de uñas	Solución para limpiar vidrios		
Salsa Sopas y jarabes	Gelatina para el cabello	Desengrasantes		
Aderezo de ensaladas Mantequilla de maní	Removedor de maquillaje			

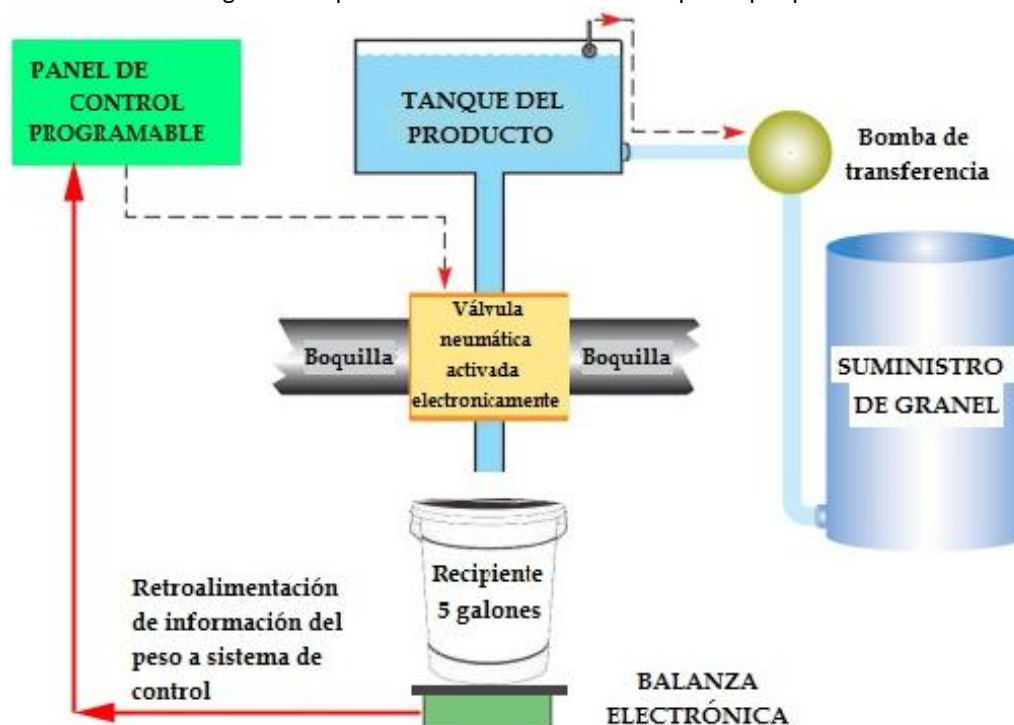
(Accutek, 2011)

e. Llenadoras de líquidos por peso (Net Weigh liquid filling machines). Este tipo de llenadora es la más adecuada para envasar líquidos en cantidades a granel (grandes cantidades) por

ejemplo canecas o bidones de cinco galones o bien, productos en menores cantidades con un valor alto de manufactura. Hay productos que deben ser vendidos con un peso neto debido a razones comerciales y por lo tanto, este equipo de llenado es la única opción. Entre los líquidos que pueden ser envasados se encuentran productos químicos de limpieza, soluciones de enzimas, aceites y otros productos de valor medio. Ahora bien, productos de alto valor incluyen adhesivos y pinturas, metales preciosos disueltos en ácidos y otros químicos que son de un valor económico elevado. (Inline Filling Systems, 2006)

La operación de este tipo de máquina es simple. El suministro del producto (a granel) es bombeado hacia el tanque de almacenamiento por encima de una válvula de accionamiento neumático. La válvula se abre y la información en tiempo real es monitoreada hasta que se alcanza el peso ideal. La válvula simplemente se cierra cuando se llega al peso deseado. La precisión de llenado se lleva a cabo por varios métodos en el proceso de envasado para evitar el derrame de producto. (Inline Filling Systems, 2006)

Figura 10: Operación de una llenadora de líquidos por peso



La ventaja de estos equipos de llenado sobre otros es que a veces es el único tipo práctico de llenadora con un rango limitado de aplicaciones pero un amplio rango de volumen de llenado. También es muy precisa y eficaz en su propio control de calidad asumiendo que la escala está funcionando correctamente. Su desventaja es su elevado costo y que es un método relativamente lento de llenado. (Inline Filling Systems, 2006)

Figura 11: Equipo de llenado de líquidos por peso



2. **Selladoras.** Los sellos y cierres que revelan su manipulación se añaden comúnmente a todos los embalajes. En ciertos productos también se incluyen cierres resistentes a la apertura por niños. Hay varios tipos de cierres reveladores de manipulación, de los que tres son los comúnmente más utilizados con productos químicos. El primero es un cierre metálico que cubre el tapón del barril y que está enganchado a él, en el caso de envasar productos en esta presentación. Al tirar, una pestaña rompe el cierre, que no puede usarse de nuevo. Es habitual sellar de esta forma ambos tapones del barril, lo cual también es aplicable a las canecas. Al trabajar con envases pequeños de cristal o plástico se fija un precinto en el tapón, que luego se sella térmicamente a la botella por medio de una máquina selladora por . Este precinto consta de una capa externa de un material termoplástico como el polietileno, seguido de una lamina de aluminio y de papel kraft decolorado. El sellador de inducción transmite la corriente a la lámina de aluminio, por lo que sube la temperatura por encima del punto de fusión del polietileno, que se funde y al derretirse sella la botella. (Perry, 2001)

Otro tipo también usado en botellas de plástico y de vidrio es una tira de PVC (cloruro de polivinilo) encogible. Habitualmente se instala mecánicamente, a medida que las botellas avanzan por la línea de llenado y después de que se les ha puesto el tapón, se pasan por un túnel caliente que hace que la temperatura del precinto alcance el punto en el que se encoge fuertemente alrededor del cierre, transformándolo así en un dispositivo de prueba de apertura. Los cierres resistentes a la apertura por niños son los que se diseñan con la complicación suficiente como para que la coordinación mano-ojo de un niño sea inadecuado para abrirlos. (Perry, 2001)

El sellado es necesario para proteger al consumidor del producto a tratar, para evitar así que cualquier persona, principalmente niños, puedan abrirlo fácilmente. Básicamente se encuentran dos tipos principales: por conducción y por inducción.

a. *Selladoras por inducción.* Provee un método conveniente, rápido y eficiente de costo-valor para sellar herméticamente los contenedores fabricados de casi cualquier material. Es un proceso de “no contacto” en una vasta mayoría de casos, y no requiere ninguna modificación a la línea de producción. Las maquinas selladoras de inducción pueden ser manuales, automáticas o para productos sin tapa. (Relco, 2011)

Figura 12: Principios del sellado por inducción



Los sellos, utilizados para el sellado por inducción, se componen comúnmente de cuatro partes: una capa pulpboard (cartón), una capa de cera, lámina de sellado y un capa de polímero que es compatible con el material del que está hecho el contenedor o envase. El sello se corta a la medida y es colocado dentro del tapón o tapa por el fabricante. Luego del llenado, el tapón o tapa (con el sello dentro) se coloca y luego el envase pasa por la banda transportadora bajo la cabeza de sellado por inducción. La cabeza de inducción emite un campo electromagnético mientras el envase pasa. Esto induce una corriente eléctrica en la lamina de sellado que provoca un calentamiento rápido. Como la lámina se calienta, la capa de polímero se funde en la superficie superior del envase o contenedor creando un sello hermético, al mismo tiempo, la cera se funde y se absorbe en la capa pulpboard (cartón), liberando el sello. Cuando el consumidor abre la tapa del producto, se encuentra con un sellado perfecto en la parte superior del envase y pulpboard (cartón) permanece en la tapa como un revestimiento. (Relco, 2011)

La selladora posee dos componentes principales: fuente de potencia y cabezal de sellado. Un tercer elemento importante es el sistema de enfriamiento. La fuente de potencia es un generador eléctrico que opera a frecuencias de medias a altas, este debe proveer suficiente energía al cabezal para asegurar un buen sellado. El cabezal de sellado es una caja plástica que alberga un espiral conductor, al activarse produce una corriente electromagnética. La energía requerida para el sellado es un factor del tamaño del sello, la velocidad de la línea de producción y el tipo de cierre que se emplea. Debido a la energía y alta frecuencia de operación, las selladoras que trabajan en líneas continuas requieren alguna forma de enfriamiento. Esto puede lograrse soplando aire a temperatura ambiente sobre el sistema o utilizando un intercambiador de calor que emplee agua para remover el calor del sistema. Esto aumenta

el costo pero asegura un medio más eficiente que remueve el exceso de calor y reduce riesgos en la operación del equipo. (Relco, 2011)

El sellado provee una buena barrera al oxígeno, mejorando la vida en anaquel de los productos. Evidencia la adulteración del producto y evita derrames. Pueden ser sellados envases de PVC, PE (Polietileno), PP (polipropileno), PET y vidrio. (Relco, 2011)

b. Selladoras por conducción. El cabezal de sellado por conducción utiliza electricidad (resistencias eléctricas) para proveer energía al elemento de calentamiento (plancha). El calor se transfiere directamente del elemento caliente a la cabeza metálica de conducción. Cuando el cabezal entra en contacto con el recipiente tapado por un sello ya sea de aluminio o plástico, la combinación de presión y calor provoca el sellado hermético del contenedor. (IMS Machines, 2011)

Entre sus ventajas se encuentra: el simple diseño y costo inicial bajo. Ahora bien, entre sus desventajas se encuentran: menor tolerancia a las especificaciones de los contenedores, superficie de sellado limitada, mayores tiempos de puesta en marcha y enfriamiento, riesgos potenciales para el operador. (IMS Machines, 2011)

3. Etiquetadoras. Se requiere que el equipo sea semiautomático o automático debido a que se exigen altas velocidades para esta operación. En el caso del equipo semiautomático, se necesita que un operario alimente los envases a la máquina y esta se encarga de tomar la etiqueta y aplicarla sobre el envase. Cuando el sistema es automático, este se encarga de alimentar envases y entregarlos etiquetados. Se requiere únicamente de supervisión del proceso y el respectivo mantenimiento. (Ho, 2003)

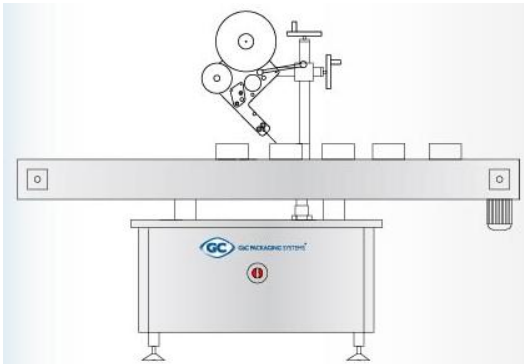


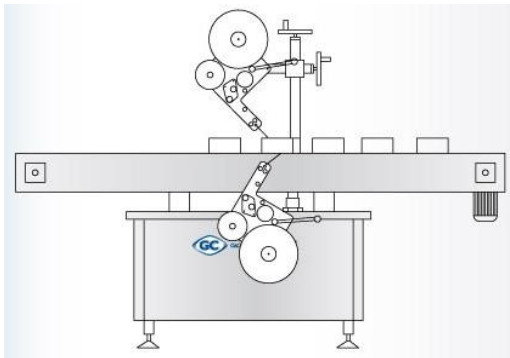


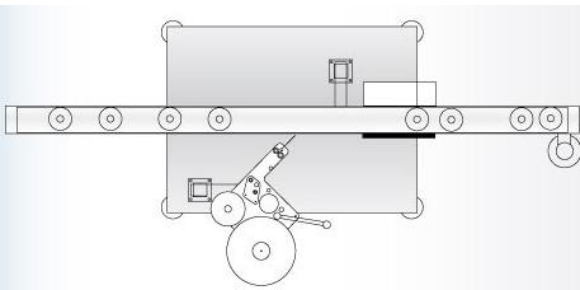


Cuando los envases deben ser codificados en línea, se pueden imprimir directamente los datos requeridos. Esto es posible empleando métodos de impresión como flexografía, inyección de tinta, offset y aplicación con láser. (Ho, 2003)

En cuanto a las etiquetadoras que se encuentran en el mercado hay varios tipos dependiendo de las necesidades del cliente y del envase a trabajar. Es importante mencionar que los equipos etiquetadores automáticos cuentan con un cabezal etiquetador y un sistema que despega la etiqueta del papel soporte y la transfiere sobre el envase con el producto. Del tamaño de la etiqueta dependerá el modelo de cabezal que se empleará y de la ubicación de la etiqueta (donde ira colocada) en el envase depende el sistema de etiquetado que se trabajara. Entre las ubicaciones se encuentran: superior, lateral

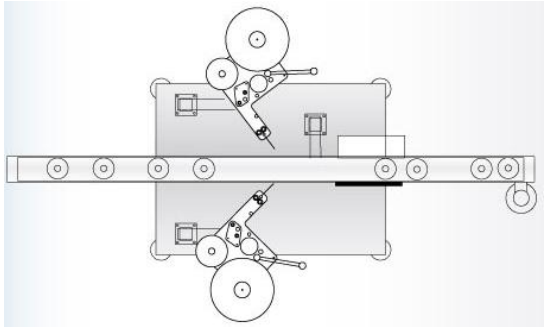
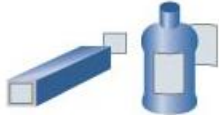
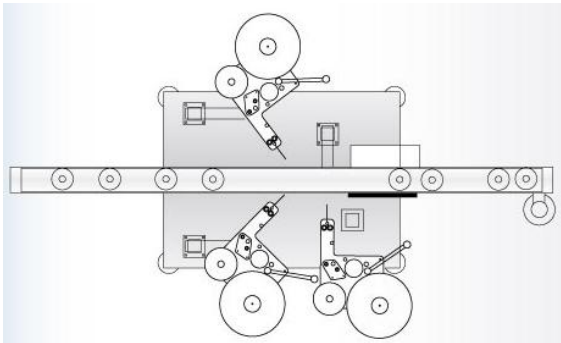

derecho e izquierdo, cara anterior y posterior, una cara, dos y tres caras, y otras formas como: en L, V, U, etc. (G&C Packaging Systems, 2008)

A continuación se encuentran los siguientes sistemas de etiquetado para: (G&C Packaging Systems, 2008)

Tabla 7: Sistemas de etiquetado que se trabajan comúnmente en la industria.

Tipo de etiqueta	Etiquetadora	Tipo de etiqueta
Etiqueta superior		<p>Superior:</p>  <p>Superior frontal</p> 
Dos etiquetas: superior e inferior		<p>Superior frontal e inferior trasera:</p>  <p>Superior e inferior:</p> 
Una etiqueta frente o envoltente		<p>Anterior:</p>  <p>Envoltente:</p> 

Continuación.... Tabla 7: Sistemas de etiquetado que se trabajan comúnmente en la industria.

Tipo de etiqueta	Etiquetadora	Tipo de etiqueta
Dos etiquetas: frente y dorso		<p data-bbox="1162 428 1386 457">Anterior y posterior:</p> 
Tres etiquetas: frente y dorso		<p data-bbox="1162 827 1386 856">Anterior y posterior</p> 

(G&C Packaging Systems, 2008)

4. Taponadoras. Agilizan el proceso de colocar los tapones a los envases. Es usualmente un aspecto al que se le debe prestar mucha atención en la línea de empaqueo por razones como el rango de geometrías y tamaños de las tapas y botellas, ya que es tan amplio que los componentes de la máquina taponadora se vuelven caros o la plataforma de la máquina no es adecuada para todos los tamaños en el rango. Ahora bien, la diferencia entre estos equipos radica en el tipo de tapón a manejar, ya que de esto depende el tipo de cabeza a utilizar. Hay cabezas para tapón enroscado, roll-on, de presión, entre otros. Para los primeros se han diseñado clutch magnéticos que aumentan o disminuyen el torque, reduciendo la fricción utilizada para apretar los tapones. Las cabezas tienen insertos que permiten el uso de un rango de tamaños de tapón, y el giro puede ser en el sentido de las manecillas del reloj o en contra. Los materiales de construcción son de acero inoxidable u otro material, y los insertos son de hule. Los equipos pueden ser semiautomáticos, lo cual requiere una alimentación manual de los envases o bien, automáticas. Las versiones manuales son para producciones bajas y son manejables con una mano. Normalmente funcionan con aire o electricidad. (Ho, 2003)

5. Bandas transportadoras. Los transportadores utilizados en líneas de empaque pueden ser de banda sin fin, articulada o de rodillos motorizados (o locos). Las primeras dos se usan para movilizar envases para las operaciones de 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, se desliza fácilmente sobre los rodillos. (Ho, 2003)

Los materiales de construcción de la estructura del transportador regularmente son de hierro galvanizado o acero inoxidable. En el caso del material empleado para las bandas comúnmente son polímeros, pero también las hay de acero inoxidable. El tipo de material depende del proceso y el producto a empacar. Los rodillos son de plástico o hierro galvanizado comúnmente. Para guiar los envases y empaques en las bandas transportadoras se utilizan guardas laterales y para controlar las velocidades se puede hacer uso de variadores eléctricos de velocidades. (Ho, 2003)

Los transportadores además pueden tener funciones adicionales al transporte como el acumular empaques o agilizarlos. Hay algunos que desvían los empaques de una dirección a otra. En la actualidad se pueden controlar los transportadores utilizando sensores y controladores, permitiendo así un mejor flujo del material a transportar. (Ho, 2003)

La instalación de una banda transportadora permite mejorar considerablemente dificultades en las diferentes etapas del proceso de la línea de envasado y empacado, y debe reunir la combinación mas económica y efectiva en cuanto a costo inicial, de operación, de mantenimiento y eficiencia de transmisión. La banda debe estar integrada a la maquina envasadora para reducción de tiempos, así también a la etiquetadora, selladora y empacadora. En cuanto a la velocidad de transportación de la banda transportadora obedecerá fundamentalmente a los grados de seguridad requeridos para el manejo de este tipo de productos, evitando con algún grado de precisión derrames o accidentes imprevistos. (López, 2000)

6. Mesas giratorias. Las mesas giratorias son tablas que permiten la carga, descarga y traslado de botellas a través de las bandas transportadoras. Están construidas de los materiales de acero de la más alta calidad con variadores de velocidad, rotación reversible y ajuste en altura. Los platos de la mesa giratoria son cortados con plasma y se rectifican para obtener un círculo perfecto. Son elementos de gran utilidad como inicio de líneas de llenado automáticas, ya que como se mencionó anteriormente, permiten alimentar y ordenar de forma más fluida los envases antes de ser llenados. También pueden ser utilizadas como final de línea para acumular envases mientras esperan ser encajados o sellados. Estas

cuentan con guías laterales de acero inoxidable y las hay de diferentes diámetros disponibles. (Accutek, 2011)

7. Tanques de almacenamiento. Se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto (gaseoso o líquido) para su uso posterior y/o comercialización. Es además cualquier depósito diseñado cuyas condiciones de operación estén dentro de, más o menos, varios centenares de pascales de presión atmosférica, pudiendo consistir en depósitos abiertos, a la atmosfera o cerrados. Generalmente, se consigue un mínimo costo cuando el depósito presenta una forma cilíndrica vertical y un fondo relativamente plano y situado a nivel del terreno. (Inglesa, 2005) (Perry, 2001)

Para el almacenamiento de líquidos se emplean tanques atmosféricos y tanques a presión. (Perry, 2001)

Los tanques de almacenamiento, se clasifican principalmente en:

a. Cilíndricos Horizontales. Se caracterizan generalmente por ser de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Se usan para almacenar volúmenes pequeños. (Inglesa, 2005)

b. Cilíndricos Verticales de Fondo Plano. Permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas. Estos descansan sobre bases solidas de arena (de hidrocarburos) u hormigón. (Perry, 2001) (Inglesa, 2005)

Estos tipos de tanques se clasifican en:

1) De techo fijo. Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros o productos no inflamables como lo son: el agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Esto debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso. Hay tres tipos: cónicos, de domo y de sombrilla, los cuales pueden ser auto-soportados y soportados por estructura para el caso de techos cónicos de tanques de gran diámetro. (Inglesa, 2005)

El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto. El tipo domo es un casquete esférico, y el de tipo sombrilla, es un polígono regular curvado por el eje vertical. Los techos auto soportados se caracterizan por estar apoyados únicamente en su periferia.

2) De techo flotante o tanques flotantes. Estos depósitos se emplean para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Fue desarrollado con el propósito de reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo. Además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases, y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables. (Inglesa, 2005)

3) Sin techo o tanques abiertos. Se emplean para almacenar materiales que no son susceptibles de daño por agentes atmosféricos, como agua, viento, clima o contaminación atmosférica como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc.; de lo contrario, sería necesario acoplar al tanque un techo fijo o flotante. (Perry, 2001) (Inglesa, 2005)

Los tanques verticales que son soportados o apoyados sobre el suelo se hacen con fondo cónico o cóncavo. Además, se encuentran los tanques elevados los cuales pueden proporcionar un flujo elevado, según las necesidades del usuario; y siempre y cuando la capacidad de bombeo no sea superior a la de flujo promedio del sistema esto puede suponer un gran ahorro de inversión en cuanto a bombas y tuberías se refiere. Este tipo de depósitos son capaces de proporcionar un determinado flujo aun en el caso en el que falle el sistema de bombeo. (Perry, 2001)

Los tanques de almacenamiento se fabrican de casi todos los materiales empleados para estructuras, siendo los más utilizados el acero y el hormigón armado. También se utilizan materiales plásticos simples y plásticos con refuerzo de vidrio para tanques de hasta 230 metros cúbicos. Sus principales ventajas son la resistencia a la corrosión, su peso ligero y su costo más bajo. También es frecuente la aplicación de recubrimientos de plástico y vidrio en los tanques de acero. (Perry, 2001)

Pueden construirse grandes tanques de acero verticales atmosféricos empleando bases de aproximadamente 150 cm de arena, grava o piedras trituradas, cuando el subsuelo tenga una resistencia de apoyo adecuada. La base o apoyo puede estar nivelado o ligeramente escalonado, dependiendo de la forma del fondo del tanque. (Perry, 2001)

Todos los tanques de almacenamiento deben estar provistos de boquillas que son orificios practicados en un tanque para la entrada y/o salida de un fluido o la instalación de un instrumento de medición (generalmente son bridadas o roscadas). A continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento: 1) Entrada(s) de producto(s), 2)

Salida(s) de producto(s), 3) Drene con o sin sumidero, 4) Venteo, 5) Entrada de hombre y 6) Conexiones para indicador y/o control de nivel. (Inglesa, 2005)

Los tanques de almacenamiento deberán contar por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo o el techo con el fin de poder realizar la limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque. También deben contar con una boquilla exclusiva para venteo, la cual deberá ser diseñada y calculada con el objeto que dentro del tanque no se genere presión interna al ser llenado o vaciado. Se recomienda su colocación en la parte más alta del tanque, de ser posible. Y no puede faltar una boquilla para el drenado de lodos, la cual puede estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque. (Inglesa, 2005)

En caso se requiera de constante supervisión y mantenimiento en el tanque, la cual se realiza generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y entrada hombres, se contara entonces con escaleras, plataformas y barandales. Estas brindan protección y seguridad al personal que realicen actividades en el tanque. (Inglesa, 2005)

8. Otros. En los procesos de la industria, se trata de manera frecuente con el transporte y manejo de fluidos a través de tuberías, tubos y canales de conducción de sección transversal cuadrada, rectangular o circular, siendo esta ultima la más frecuente. Además las tuberías se encuentran disponibles en una variedad de tamaños, espesores de pared y materiales de construcción. Para el proceso del envasado del herbicida se requiere transportar el agroquímico desde el tanque de reposo hasta la máquina de envasado o llenadoras de líquidos, por lo que se emplean tuberías. Y debe tomarse en consideración para la elección del material de las tuberías, el fluido con el que se estará trabajando para evitar problemas en el proceso. Se puede emplear PVC y acero inoxidable para el manejo de plaguicidas. (McCabe, 2007)

Las tuberías y tubos están hecho de diferentes materiales, incluyendo metales y aleaciones, madera, cerámica, vidrio y plásticos variados. El cloruro de polivinilo, o mejor conocido como PVC, se utiliza ampliamente como tubería en conducciones de agua residual. El acero de bajo contenido de carbono es un material muy común en plantas de proceso, así también las tuberías de hierro forjado y de fundición para propósitos especiales. Además, La tubería de cédula 40 en diferentes tamaños es la norma usual. La de cédula 80 tiene una pared más gruesa y soporta casi el doble de presión que la de cédula 40. Ambas tienen el mismo diámetro exterior, por lo que se pueden conectar a los mismos accesorios. Las tuberías de otros metales tienen el mismo diámetro externo que las de acero, para permitir el intercambio de secciones en un sistema. (McCabe, 2007)

El tamaño seleccionado de tubería para una instalación particular, depende sobre todo de los costos de la tubería y accesorios, de la energía requerida para el bombeo del fluido, mantenimiento y otros. El costo de la tubería y del capital anual de la carga se incrementa con el diámetro de la tubería elevado a una potencia aproximada de 1.5, mientras que el costo para el flujo turbulento varía con el diámetro elevado a la potencia de -4.8. Hay ecuaciones para calcular el diámetro óptimo de la tubería en función de la velocidad de flujo y de la densidad del fluido, pero estas pueden transformarse para determinar la velocidad óptima, la cual es casi independiente de la velocidad de flujo. Para el flujo turbulento de líquidos en tuberías de acero mayores de 1 pulgada (25 mm) de diámetro, la velocidad óptima es: (McCabe, 2007)

$$\bar{V}_o = \frac{12 \dot{m}^{0.1}}{\rho^{0.36}} \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde \bar{V}_o es la velocidad óptima (ft/s), \dot{m} es la velocidad masiva de flujo (lb/s) y ρ es la densidad del fluido (lb/ft³). Para el agua y fluidos similares \bar{V}_o es de 3 a 6 ft/s (0.9 a 1.8 m/s). Cuando el flujo es por gravedad desde los tanques elevados o cuando se bombea un líquido viscoso, se favorecen las velocidades bajas, en el intervalo de 0.2 a 0.8 ft/s (0.06 a 0.24 m/s). (McCabe, 2007)

Tabla 8: Intervalos representativos de velocidades en tuberías de acero

Tipo de fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		(Pies/s)	(m/s)
Líquido no viscoso	Entrada a bomba	2-3	0.6-0.9
	Línea de proceso o descarga de bomba	5-8	1.5-2.5
Líquido viscoso	Entrada a bomba	0.2-0.8	0.06-0.25
	Línea de proceso o descarga de bomba	0.5-2	0.15-0.6

(Geankoplis, 1998)

Además existen tablas y gráficas para la determinación del tamaño óptimo de la tubería que debe utilizarse en una instalación. Cuando se trata de instalaciones pequeñas, las aproximaciones de cálculo suelen tener suficiente precisión. En la tabla anterior se incluye una lista de valores representativos de intervalos de velocidades en tuberías. (Geankoplis, 1998)

Los métodos empleados para unir piezas de tuberías o tubos, dependen en parte de las propiedades del material, pero sobre todo del espesor de la pared. Los productos tubulares de pared gruesa se conectan generalmente por medio de accesorios de rosca, por collarines o por soldadura. Las piezas de tubo de pared delgada se unen por soldadura o compresión o accesorios flameados. Las tuberías hechas de materiales frágiles tales como vidrio, carbono o hierro fundido se conectan por medio

de bridas o collarines o uniones de enchufe y campana. Cuando se usan accesorios roscados, se hace una rosca externa a los extremos del tubo usando una herramienta adecuada para hacer la cuerda de la rosca. Para asegurar un buen sello se utiliza cinta de politetrafluoroetileno o teflón. Ahora bien, las uniones hechas por soldadura son herméticas, mientras que otros tipos de uniones no lo son. La legislación de protección al ambiente considera a las bridas y las uniones roscadas como una fuente de emisión de materiales volátiles. La única desventaja que presentan es que no es posible abrirlas ni destruirlas. (McCabe, 2007)

Además de las tuberías, una planta de procesos cuenta con válvulas de diferentes tamaños y formas. Su propósito es disminuir o detener el flujo de un fluido, así como aislar equipos o tuberías para el mantenimiento sin interrumpir otras unidades conectadas. Algunas válvulas funcionan en servicio de cerrado-abierto, prendido-apagado, o bien, cierran o abren por completo. Mientras otras han sido diseñadas para suprimir o reducir la presión y velocidad de flujo del fluido. Hay otras que solo permiten el flujo en una dirección o bajo ciertas condiciones de temperatura y presión. Mediante el uso de sensores y sistemas de control automático para ajustar la posición de la válvula y el flujo a través de la misma, es posible controlar desde puntos alejados de la válvula condiciones como temperatura, presión, nivel del líquido y otras propiedades del fluido. (McCabe, 2007) (Perry, 2001)

Entre los tipos de válvulas se encuentran las válvulas de compuerta y las válvulas de globo, las de pistón y de bola, de retención. En una válvula de compuerta, el diámetro de abertura por el cual pasa el líquido es casi el mismo que el diámetro de la tubería, y la dirección del flujo no cambia. Por lo tanto, al ser abierta por completo hay una pequeña caída de presión únicamente. Estas no son recomendables para el control de flujo, ya que generalmente se dejan abiertas o cerradas por completo. Las válvulas de globo, por su parte, se usan para controlar la velocidad de flujo de un fluido. La abertura aumenta en forma lineal con respecto a la posición del vástago. En este caso, el fluido pasa a través de una abertura limitada y cambia varias veces de dirección por lo que la caída de presión es importante. La mayoría de válvulas de control automático son similares a las válvulas de globo, pero el volante manual se reemplaza por un activador neumático de resorte de diafragma o un motor eléctrico, y la posición de la válvula depende de una señal del controlador. (McCabe, 2007)

Las válvulas metálicas de pistón son útiles en las tuberías de procesos químicos, para temperaturas inferiores a 250°C. En una válvula de bola, el elemento del sello es esférico, y los problemas de alineamiento y congelación del elemento son menores que con una válvula de pistón. Ambas pueden ser empleadas como válvulas de regulación. Las válvulas de retención permiten el flujo solo en una dirección, se abre debido a la presión del fluido en una determinada dirección; cuando el flujo se detiene

o tiende a invertirse, la válvula se cierra automáticamente por la gravedad o por medio de un resorte que hace presión de nuevo sobre el disco. (McCabe, 2007)

Algunas recomendaciones prácticas para el diseño e instalación de un sistema de tubería son:

- a. Las líneas de conducción deben ser paralelas y debe evitarse, siempre que sea posible, los codos en ángulo recto.
- b. En los sistemas donde las líneas de conducción del proceso puedan obstruirse, deben tomarse precauciones para que las conducciones se abran fácilmente para su limpieza. Lo cual implica uniones, bridas, tes o cruces con su abertura extra cerrada por un tapón en vez de codos situados en lugares claves.
- c. En el caso de trabajar con fluidos o materiales peligrosos, especialmente volátiles, las bridas y accesorios roscados se utilizan con moderación.
- d. En los sistemas de flujo por gravedad, la tubería debe tener un diámetro superior al necesario y contener un mínimo de codos. El ensuciamiento de las conducciones en estos casos es más problemático, porque al no aumentar la carga de presión del fluido, es probable no alcanzar una velocidad deseada.
- e. Siempre que sea posible, las válvulas deben montarse con sus vástagos hacia arriba. Deben ser accesibles y soportadas sin esfuerzo, con tolerancia conveniente para permitir expansión térmica de tuberías adyacentes. (McCabe, 2007)

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la mejora continua en la industria (con tendencia hacia procesos más automatizados) es una necesidad para ser competitivos y ganar un lugar permanente en el mercado. Así mismo, es indispensable considerar la seguridad ocupacional y aspectos ambientales que permitan una producción sustentable relacionada con el proceso productivo, es decir, que el producto satisfaga la necesidad para la que fue creado, con excelente calidad, sin sacrificar los recursos de las generaciones futuras. De esta forma se añadirán a la empresa certificaciones y reconocimientos por su preocupación por el medio ambiente y el recurso humano. Especialmente, si el producto en mención genera algún impacto ambiental, o bien, se requiere de un manejo más cuidadoso ya que un tratamiento inadecuado repercute en la salud de quienes lo trabajan como es el caso de plaguicidas, herbicidas, insecticidas, entre otros.

La empresa de agroquímicos que permitió llevar a cabo el trabajo de graduación trasladará sus instalaciones a una localidad con mayor espacio para continuar sus labores productivas. Esto gracias al constante crecimiento a nivel nacional e internacional, lo cual ha generado interés por el cambio a líneas continuas de envasado más eficientes, automatizadas en varias etapas y más productivas al satisfacer una demanda mayor del herbicida. La planta cuenta con dos líneas de envasado semiautomáticas para trabajar la presentación de un litro del producto líder. Hay temporadas donde la producción solicitada es más alta que en el resto del año por lo que se requiere contratar personal adicional y pago de horas extras para alcanzar el volumen de producción pedido por el área de ventas. Se propone efectuar un análisis del proceso de envasado trabajado actualmente y realizar un diseño de línea más eficiente, más productiva y automatizada en ciertas etapas, más controlada y que reduzca el número de trabajadores expuestos o en contacto con el agroquímico. Esto al sustituir por una línea única, las dos trabajadas actualmente; permitiendo reducir costos de operación y un aumento en los ingresos al lograr una mayor productividad.

IV. OBJETIVOS

A. Generales

- Diseñar línea de envasado de herbicida en presentación líquida que cumpla con estándares de calidad, como propuesta para su montaje en futuras instalaciones de la empresa.

B. Específicos

- Realizar diagrama de flujo del proceso de envasado del herbicida.
- Realizar balance de masa y energía de línea de envasado.
- Diseño y selección del equipo necesario para el montaje de línea de envasado de herbicidas considerando la demanda actual del producto.
- Realizar diagrama de distribución de línea de envasado con las dimensiones respectivas.
- Realizar análisis económico de la inversión de línea de envasado, que incluye valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de retorno.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Debido al crecimiento constante, la empresa de agroquímicos en cuestión trasladará sus instalaciones a un sitio más amplio para satisfacer la demanda en aumento y continuar con sus actividades de producción. En las temporadas de mayor demanda es necesario contratar personal adicional para cubrir la demanda de todos los productos comercializados por la compañía, y el pago de horas extras. El producto líder cuenta con dos líneas de envasado para la presentación de un litro. Ambas líneas son semiautomáticas y requieren de siete operarios para funcionar. Se tiene en consideración la sustitución de las dos líneas actuales de producción por una línea completamente nueva, automatizada en etapas clave, con menor personal involucrado (cinco trabajadores), la cual será independiente al contar con su propio tanque de almacenamiento y mejor control sobre el volumen trabajado del herbicida. Se analizará la opción de contar con esta línea única de envasado; se evaluará si la reducción en costos de personal, consumo energético y otros costos de operación, así como la disminución de quejas de clientes por variaciones en el volumen empacado justifican la posible inversión a realizar.

VI. METODOLOGÍA

A. Etapa preliminar:

1. Se inició realizando una recolección y revisión de información relacionadas al producto a trabajar, diseño de plantas, especificaciones del material de empaque, llenadoras, equipos de sellado y etiquetado, buenas prácticas de manufactura, entre otros temas. Para lo cual se recurrió a fuentes bibliográficas y de internet, así como a entidades nacionales que permiten adquirir conocimientos sobre normas específicas para el tratamiento, manejo y envasado de productos agroquímicos. Esto debido a que el producto requiere un tratamiento cuidadoso para evitar daños a la salud del trabajador.
2. Se realizaron visitas a las instalaciones actuales para realizar toma de tiempos en operaciones de la línea actual y luego determinar qué áreas del proceso son las que requieren especial atención.
3. Se definieron las bases de diseño para la elaboración del diseño de la línea de envasado del herbicida en presentación líquida. Esto se realizó en conjunto con el gerente de planta.

B. Etapa análisis del proceso:

4. Empleando los datos obtenidos en la toma de tiempos se realizó análisis de la situación actual y se determinaron puntos críticos a mejorar.
5. Se realizaron mediciones experimentales en la línea de envasado actual para determinación del balance de masa y energía de dicha línea.

C. Etapa de diseño y selección de equipo:

6. Después de la etapa de análisis se procedió a realizar el diagrama de bloques (entradas y salidas) del nuevo proceso de envasado del herbicida y se determinaron las etapas principales.
7. Se elaboró el diseño de proceso de la línea de envasado del herbicida, optimizando el espacio desde el ingreso del producto formulado hasta obtener el producto terminado.
8. Selección del equipo principal y auxiliar para nueva línea de envasado. Se realizaron estimaciones de precios con empresas especializadas en la fabricación y venta de dichos equipos con base en especificaciones dadas por la empresa de agroquímicos. Se tomaron en cuenta las buenas prácticas de manufactura, condiciones de seguridad para empleados y planta, y el espacio disponible.
9. Se obtuvo balance de masa y energía para la nueva línea de envasado.
10. Se diseñó la distribución de la línea de producción del herbicida con las dimensiones respectivas de los equipos.

11. Determinación de la inversión inicial a realizar para el montaje de la línea de envasado tomando en cuenta el tanque de reposo del producto en cuestión. Así mismo, se realizó el estudio económico que incluye valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de retorno.

D. Etapa final:

12. Luego de trabajar la etapa de diseño y selección de equipo, se procedió a redactar el informe escrito.

VII. RESULTADOS

A. Equipo seleccionado

Tabla 9: Tanque de almacenamiento seleccionado para nueva línea de producción

Especificación técnica	
Capacidad:	10,000 Litros
Material:	Poliétileno de alta densidad
Color:	Neutro (Blanco Lechoso)
Refuerzo:	Doble refuerzo (R40)
Peso:	266 kg.
Dimensiones:	Altura (A): 3 metros Diámetro (B): 2.24 metros
Temperatura máxima del líquido almacenado (°C)	No debe sobrepasar los 60 °C.
Accesorios que incluye el tanque:	2 conexiones de 0.0508 m (2 in) NPT roscada hembra. 1 empaque de Vitón de 0.0508 m (2 in) en la conexión de salida.
Características:	No se OXIDA ni se CORROE. No requieren Pintura. No requiere mantenimiento Interno ni Externo. Resisten a la intemperie. No necesitan soldaduras. No se rajan con los temblores Vida útil: 35 años a la intemperie Garantía de 3 años por defectos de fabricación.
Lugar de entrega	Escuintla

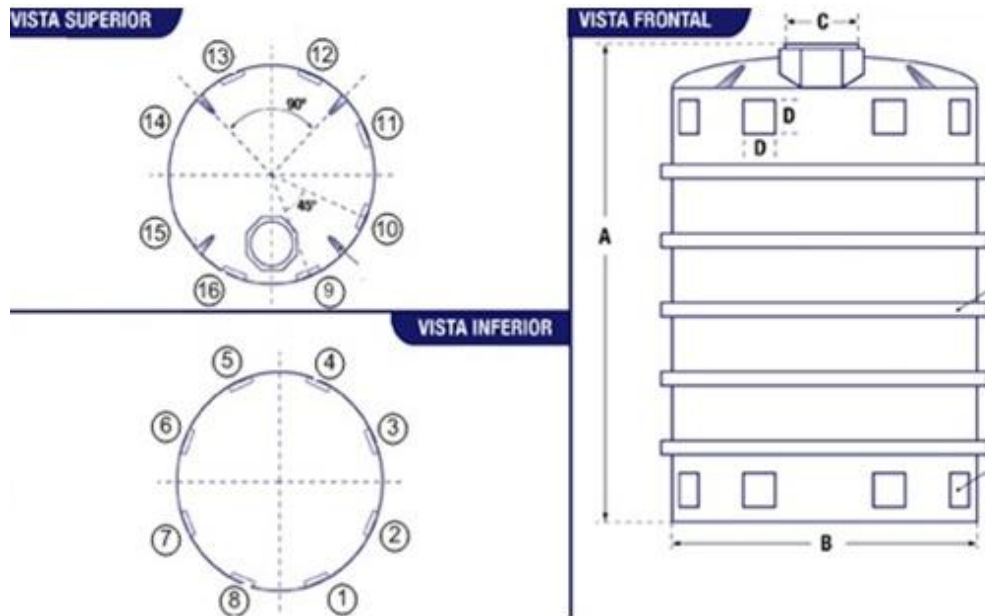

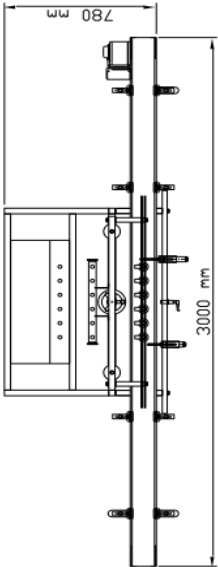
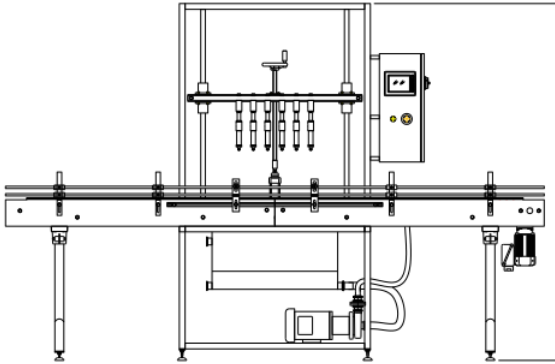


Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro

Equipo	Especificaciones
<p data-bbox="412 302 667 331"><u>Llenadora de líquidos</u></p>   <p data-bbox="253 1434 829 1818"> → Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ancho: 80 cm ○ Largo: 300 cm ○ Alto: 180 cm → Peso: 150 kg. → Viscosidad hasta 1500 cP. Manipula productos calientes y espumosos, pero no productos con partículas. → Rango de llenado: 50 mL hasta un galón. </p>	<p data-bbox="846 331 1466 1398"> → Llenadora automática de Nivel LAN-3-10 → Cuenta con 10 boquillas sanitarias. Material: teflón y vitón. → Material: Acero inoxidable 304 → Controlada por PLC. <ul style="list-style-type: none"> ○ Cuenta con pantalla táctil para ajuste de parámetros. ○ Todos los movimientos de la maquina son controlados y accesibles por medio de la pantalla táctil. ○ Todos los parámetros de llenado almacenados en memoria para rápido cambio de envases. → Manifold acabado sanitario → Tanque de alimentación y rebalse de 65.7 L (20 galones) con control de nivel. → Cuenta con bomba centrífuga sanitaria → Llenadora automática equipada con: <ul style="list-style-type: none"> ○ Kit de indexación de envases cilindros neumáticos. ○ Memoria para guardar parámetros. ○ Ajuste de Volumen sin herramientas. ○ Banda transportadora de 3 m de velocidad variable. ○ Ajuste de la boquilla por manecilla. ○ Contador de producción. ○ Circuito cerrado para limpieza. ○ Pedestal de acero inoxidable con patas niveladoras. → Requerimiento de Energía Eléctrica: 220 VAC/1/10A → Potencia consumida: 2200 Watts (2.2 kW) → Requerimiento de aire comprimido: 80 psi/5 cfm (0.00236 m³/s) </p> 

Continuación... Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro

Equipo	Especificaciones
<p data-bbox="367 380 716 411"><u>Taponadora semiautomática</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> → Marca Accutek, Estados Unidos → Máquina taponadora semiautomática de una cabeza (tapas roscadas) → Tamaño de la tapa desde 10 mm hasta 120 mm. → Material: PET, PVC, plásticos y vidrio. → Unidad de indexación automática de botellas → Construida de acero inoxidable de alta resistencia → Requerimiento de Energía Eléctrica: 110 VAC, 20 A. → Potencia: 2,200 W (2.2 kW) → Requerimiento de Aire Comprimido: 120 PSI/2 CFM (0.0009446 m³/s) → Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Altura: 1524 mm (60 in) ○ Largo: 914.4 mm (36 in) ○ Ancho: 609.6 mm (24 in) → Peso: 68.03 kg. (150 lbs.) → Fácil uso de controles
<p data-bbox="404 1052 675 1083"><u>Selladora de inducción</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> → Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> ○ 365 mm x 384 mm x 240 mm (14 3/8 in x 15 1/8 in x 9 1/2 in) → Peso: 19.07 kg (42 lbs.) → Equipos enfriados por aire. → Requerimiento de energía: 240 V +/- 10%, monofásico, 15 A → Consumo de potencia: 3,600 W = 3.6 kW 	<ul style="list-style-type: none"> → Súper Seal 50. Marca Enercon → Diámetro de tapa: 43 mm (43 CT) → Velocidad del transportador: 20 m/min → Tiene control por microprocesador y cabezales de sellado enchufados. → Panel de control avanzado de tipo membrana con medidor digital → Modo local/remoto para el modo de encendido-apagado. → Gabinete NEMA 4 (IP65), lavable → Soporte ajustable permite que la selladora se adapte para envases de varias alturas. → Ménsula de montaje → Cabezal de sellado túnel ancho (LM4033-131) → Grupo detector de movimiento/sello → El cabezal tipo túnel concentra el campo magnético en los bordes y sobre la tapa. Este último proporciona un campo electromagnético más uniforme y, por consiguiente, un sellado más consistente.



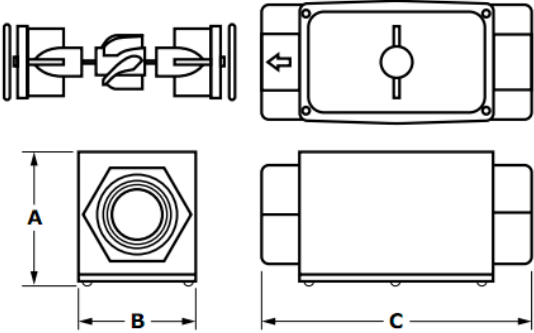
Continuación... Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro

Equipo	Especificaciones
<p data-bbox="321 310 760 340"><u>Etiquetadora automática envolvente</u></p>  <p data-bbox="261 1150 824 1243"> → Requerimiento de energía eléctrica: 120VAC/15 AMP/60 Hz. → Potencia: 1,800 W = 1.8 kW. </p>	<ul style="list-style-type: none"> → Etiquetadora automática para envase cilíndrico → Material: Acero inoxidable 304 → Control electrónico digital (PLC), equipado con interfase de operador para ajuste de parámetros y manejo de memorias de operación → Gabinete tipo pedestal. Fabricado de acero inoxidable T-304. → Equipado con transportador modular integral de cadena de tablilla de 3 m. de largo, velocidad variable de 22 m/min. Con barandales ajustables para envases de hasta 16 cm de ancho, sentido izquierda a derecha. → Cabezal etiquetador derecho, para etiquetas auto adheribles con un máximo de 20.32 cm (8 in) de alto, equipado con motor electrónico de pasos de alto torque. Porta rollo de 30.48 cm (12 in) de diámetro y soporte telescópico con sistema de nivelación. Incluye sensores y controles acoplados al equipo de etiquetado. → Equipado con separador de envases, para separar envases antes de etiquetarse, incluye respaldo. → Banda de rolado de tipo lineal de 20.32 cm (8 in) de alto, para aplicación de etiquetas auto adheribles envolventes.
<p data-bbox="326 1270 753 1299"><u>Selladora semi-automática de cajas</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> → Selladora 3M semi-automática de cajas 700a → El gasto será por consumo de cinta adhesiva de 48 mm de ancho. → Cuenta con cinturón ajustable superior e inferior para sellar de manera uniforme las cajas. → Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Altura: 2,286 mm ○ Longitud: 1,944 mm ○ Ancho: 622 mm → Peso: 157.6 kg. (346 lbs) → Cuenta con rodillos de compresión para cerrar pestañas de la caja previo al sellado. → Guías laterales ajustables para centrar cajas de diferentes anchos. → Velocidad de la cinta: 0.5 m/s (100 fpm) → Velocidad máxima: 40 cajas por minuto → Requerimiento energía eléctrica: 115V/60 Hz/3.8 A → Potencia: 440 Watts (0.44 kW)

Continuación... Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro

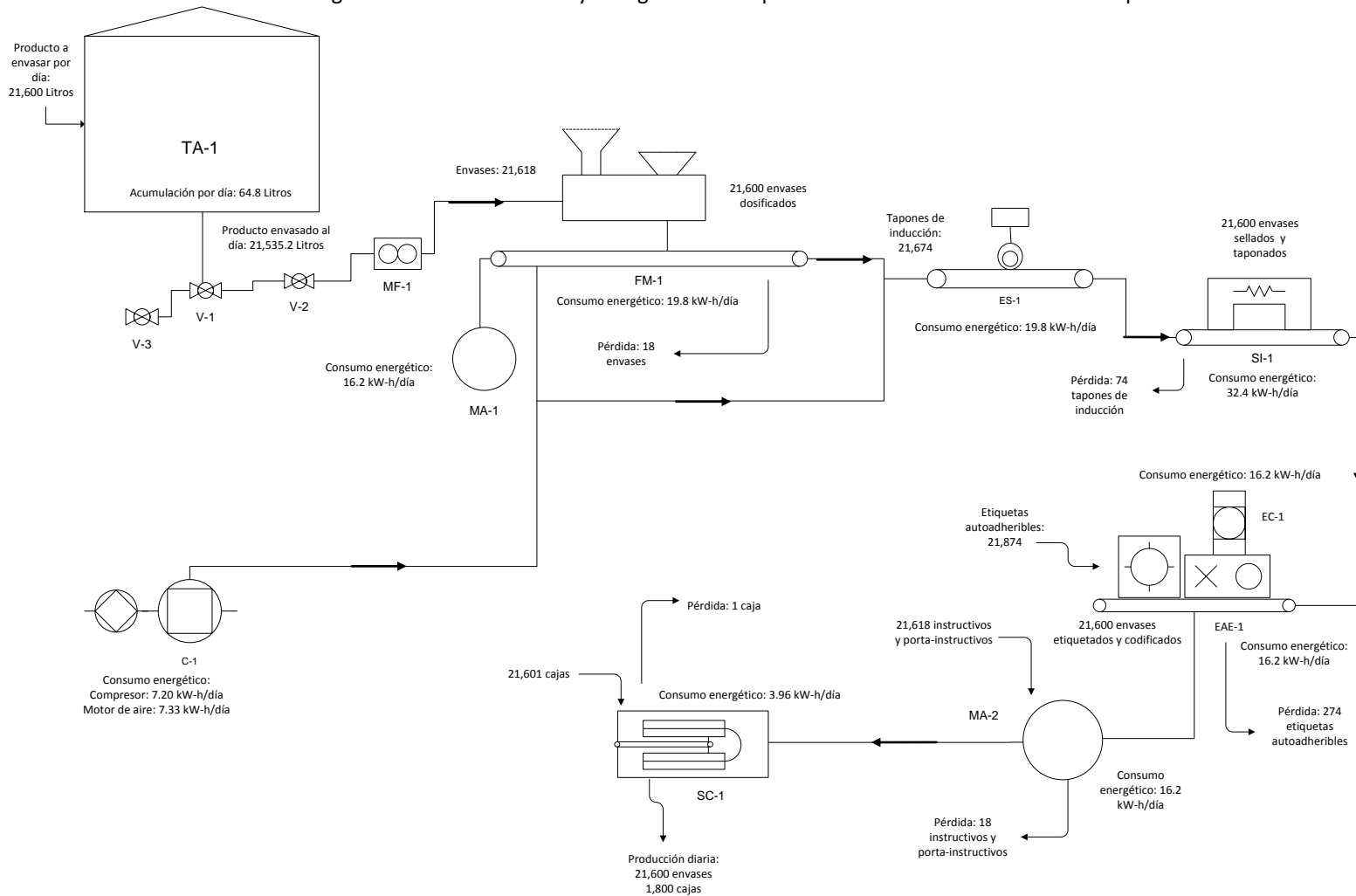
Equipo	Especificaciones
<u>Equipo auxiliar de la línea</u>	
 	<p>EQUIPO DE CODIFICACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Sistema de impresión térmico de código sobre la etiqueta. → Área de impresión: área útil de 3 cm, horizontal por 3 cm vertical, hasta con 3 líneas de impresión → Tipo fabricado en latón, para acoplarse a sistema de codificación por Hot Stamping, → Requerimiento de energía eléctrica: 120VAC/15 AMP/60 Hz. → Potencia: 1,800 W = 1.8 kW. → Requerimiento de aire comprimido: 90 Psi-6.3 kg/cm². 12 SCFM, libre de humedad. <p>MESA ROTATORIA DE ALIMENTACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Mesa giratoria de alimentación de envases para acoplarse a entrada de transportador: ME120-V. → Diámetro de la mesa: 120 cm → Fabricada de acero inoxidable 304 → Altura estándar de 86.4 cm (34 in), de ras de suelo a ras de disco giratorio, con niveladores en patas de +/- 1.27 cm (½ in) → Requerimiento de Energía Eléctrica: 120VAC/15 AMP/60 Hz. → Potencia: 1,800 W = 1.8 kW. <p>MESA ROTATORIA DE ACUMULACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Mesa giratoria de acumulación de envases para acoplarse a la salida del transportador: MA120-V. → Diámetro de la mesa: 120 cm → Fabricada de acero inoxidable 304 → Altura estándar de 86.4 cm (34 in), de ras de suelo a ras de disco giratorio, con niveladores en patas de +/- 1.27 cm (½ in) → Requerimiento de Energía Eléctrica: 120VAC/15 AMP/60 Hz. → Potencia: 1,800 W = 1.8 kW.
<u>Tubería</u>	<ul style="list-style-type: none"> → Acero inoxidable 304 → Diámetro: 0.01905 m (¾ in) → Cedula 40 → Largo: 6 metros aproximadamente

Continuación... Tabla 10: Equipo seleccionado para nueva línea de envasado de herbicida líquido en presentación de un litro

Equipo	Especificaciones
<p data-bbox="381 422 699 453"><u>Valvulas y otros accesorios</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> → De Bola <ul style="list-style-type: none"> ○ Diámetro: 0.01905 m (¾ in) ○ Material: Acero inoxidable ○ Numero: 3 → Otros accesorios <ul style="list-style-type: none"> ○ Codos de 90° de 0.01905 m (¾ in) ○ Unión universal de 0.01905 m (¾ in) ○ T de acero inoxidable de 0.01905 m (¾ in)
<p data-bbox="440 690 639 722"><u>Medidor de flujo</u></p>  	<ul style="list-style-type: none"> → Medidor digital de turbina para registro del flujo de herbicida → Modelo: G2S07NO9GMA → Rango de flujo: 7.6-75.7 L/min → Flujo máximo: 113.6 Litros → Precisión (% de lectura): ± 1.5 → Repetibilidad: ± 0.1% → Construcción robusta, uso interno/externo → Fuente de alimentación interna: 2 baterías de litio de 3 Voltios cada una. (4,000 horas de operación) → Rango de temperatura: -60°C a 60°C → Conexión: Roscada (NPT female) → Despliega caudal y flujo total → Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Altura (A): 51 mm (2 in) ○ Ancho (B): 51 mm (2 in) ○ Longitud (C): 109 mm (4.3 in) → Material de construcción: <ul style="list-style-type: none"> ○ Acero inoxidable 316 ○ Eje: Carburo de tungsteno → Peso: 1.04 kg (2.3 lb)

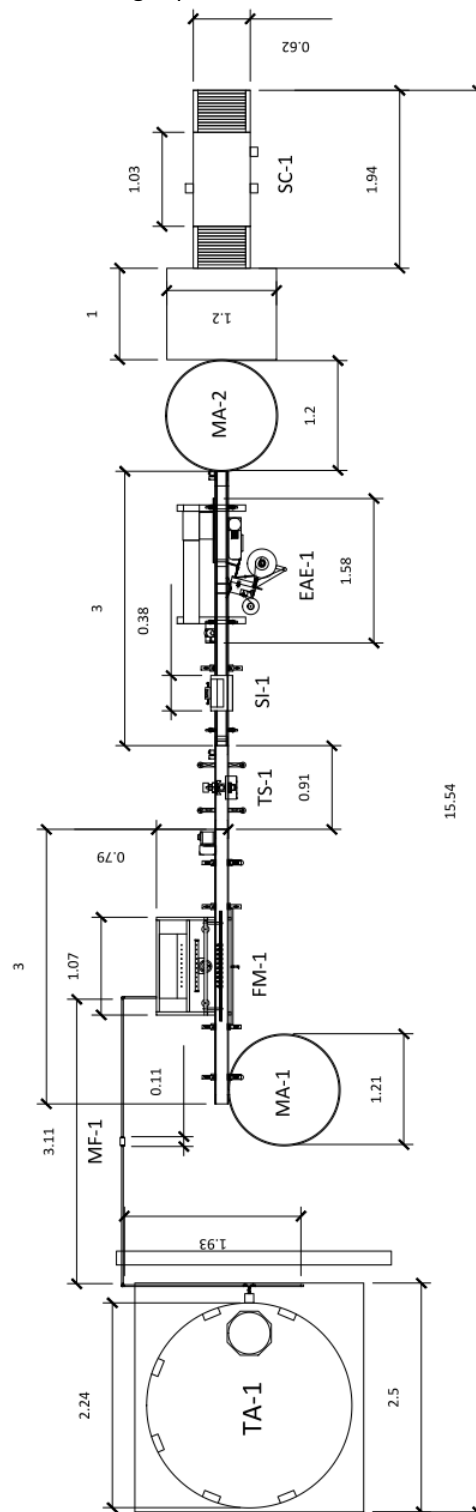
B. Diagrama de flujo

Figura 13: Balance de masa y energía realizado para línea de envasado de herbicida líquido



C. Diagrama de distribución de línea de envasado

Figura 14: Distribución y dimensiones de la línea de envasado propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos



***Las medidas mostradas en la figura están en metros.

Tabla 11: Nomenclatura del equipo de línea de envasado propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos

Código	Equipo
TA-1	Tanque de polietileno de alta densidad de Almacenamiento del herbicida
V-1	Válvula de bola 1 (Salida de TA-1)
V-2	Válvula de bola 2 (Hacia línea de envasado de herbicida)
V-3	Válvula de bola 3 (Salida de emergencia)
MF-1	Medidor de flujo de turbina (Contador y registro del fluido)
FM-1	Llenadora de líquidos automática
MA-1	Mesa de alimentación de envases
TS-1	Taponadora semi-automática
SI-1	Selladora de inducción
EAE-1	Etiquetadora automática envolvente
EC-1	Equipo de codificación
MA-2	Mesa giratoria de acumulación (Colocar instructivos)
SC-1	Selladora de cajas
C-1	Compresor y motor de aire (Suministran aire a toda la planta)

D. Estudio económico

Tabla 12: Costo total requerido para el montaje de nueva línea de envasado de herbicida líquido en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos

INVERSIÓN INICIAL
Q 546,092.39

Tabla 13: Evaluación económica por implementación de nueva línea de envasado de herbicida

Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Periodo de recuperación
Q633,809.89	20.4%	5-6 años

VIII. DISCUSIÓN

La industria de agroquímicos es importante debido a que Guatemala es un país de vocación altamente agrícola. Los herbicidas, fungicidas, insecticidas, fertilizantes, entre otros son indispensables para combatir plagas, nutrir el suelo, mejorar y mantener las cosechas de los diversos productos que se cultivan en el territorio nacional. Ahora bien, el gremio químico agrícola busca la mejora continua en los procesos tanto de formulación como envasado para ofrecer a los consumidores productos de calidad, a un precio justo y envasados de manera segura para proteger al usuario debido a que los mismos requieren un tratamiento cuidadoso y responsable. El objetivo principal de este trabajo de graduación fue la elaboración del diseño de una línea más productiva y eficiente de envasado de un herbicida en presentación líquida para su montaje en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos.

El traslado de las instalaciones se debe al crecimiento continuo de la empresa. El espacio con el que se cuenta actualmente para realizar las labores productivas y almacenaje de material de empaque, materias primas y producto terminado es insuficiente para el volumen de producción requerido. Además, hay temporadas donde la demanda es más elevada que en el resto del año y se necesita la contratación de personal adicional para satisfacer la producción solicitada por el área de ventas de todos los productos que maneja la empresa. Y se hace necesario el pago de horas extras y dobles en algunos casos. Lo cual es posible reducir al contar con líneas de producción más eficientes que tengan la capacidad de satisfacer la demanda creciente.

Actualmente, el proceso de envasado del herbicida para la presentación de un litro se realiza en dos líneas semiautomáticas que cuentan con siete operarios cada una. La Figura 16 (Página 116) y Figura 18 (Página 118) muestran las etapas que conforman la línea de producción actual. Ahora bien, para trabajar con otras presentaciones se cuenta con una línea adicional a las dos previamente mencionadas. El almacenamiento temporal del herbicida formulado se realiza en un tanque de 8,000 litros de capacidad, el cual distribuye el líquido al dividir su volumen en dos tanques más pequeños, quienes a su vez proveen el agroquímico formulado a las tres líneas de producción. Al manejar el producto de esta forma se pierde control sobre el producto formulado y envasado por cada una de las líneas.

Para estudiar las debilidades de la línea de producción actual se procedió a realizar un análisis de tiempos del proceso, con lo cual se pudo determinar qué operación es la más lenta y qué puntos requieren una mayor atención, ya que pueden ser cambiados para aumentar la productividad de la línea. De esta forma, al proponer la nueva línea de envasado se eliminarían dichos inconvenientes y se

sugerirían modificaciones que también redujeran el costo de operación, con un mayor control, menor personal involucrado en el proceso y que automatizaran el proceso en varias etapas de la línea.

Para realizar el análisis de tiempos de cada una de las operaciones, que conforman el proceso de envasado actual, se procedió de la siguiente forma: en el caso de la operación de llenado de envases, se determinó el número de llenadas en un periodo de tiempo establecido (5 minutos aproximadamente), considerando que cada llenada dosificaba 8 envases. De igual forma, con la operación de sellado, se midió el número de selladas en un periodo de tiempo, tomando en cuenta que se sellaban 9 envases cada vez. De la misma manera, se hizo con las operaciones de etiquetado, colocar instructivo y taponeado, donde se midió cuantos envases el operador manipulaba en un periodo de tiempo señalado. Y finalmente, cuantas cajas se llenaban, sellaban y entarimaban en un periodo de tiempo fijado.

En cada operación se observaron actividades que lenteaban un poco el proceso, sobre todo en el llenado donde el operario se encargaba de tomar los envases y colocarlos bajo las boquillas, alineando los envases. Accionaba la llenadora, y al finalizar la dosificación, se encargaba de retirar los envases, limpiando las boquillas previamente. Cada cierto tiempo, efectuaba una verificación del peso de los envases llenos, para comprobar que se encontrara en el rango permitido de llenado. En caso de envasar más o menos producto, el mismo operario realizaba el ajuste de boquillas, lo cual ocasionaba demoras en el proceso, porque era necesario verificar nuevamente el peso de los envases para asegurarse que el ajuste había funcionado.

En relación al sellado de envases, es la operación más lenta de la línea de producción, y para realizarla el operario debe poner los sellos plásticos en la boquilla de los envases, pre-alinearlos para su colocación bajo la selladora, luego ubicarlos bajo la selladora, accionar el sellado y al terminar, retirar los envases para la siguiente operación. La etapa de etiquetado, taponado y colocación de instructivos eran realizadas por los operarios con más rapidez, pero dependen de las dos actividades mencionadas previamente. Entonces al haber problemas en el llenado, por desajuste de boquillas, por chorreo de las boquillas u otro incidente fortuito, el proceso se detiene o bien, reduce la velocidad de producción. Los inconvenientes recién mencionados se observaron varias veces durante la toma de tiempos.

En el caso del etiquetado, hay paros debido a que el operario debe ir a traer las etiquetas, codificadas con la información del lote trabajado, al área de codificación de la empresa. También porque es necesario realizar un ajuste a los rodillos del equipo, colocar goma para continuar el proceso y colocar etiquetas al equipo.

Ahora bien, al realizar el análisis de tiempo se estableció que las operaciones que requieren una mayor atención son precisamente el llenado y dosificación del producto, y el sellado de los envases. Esto debido a que requieren una mayor cantidad de tiempo para producir una caja. En el caso del llenado: 0.634 min o 38.126 segundos, y para el sellado: 0.651 minutos o 39.099 segundos. Mientras que el etiquetado requiere de 0.438 minutos o 26.287 segundos, colocar instructivos se realiza en 0.322 minutos o 19.373 segundos, se taponean los doce (12) envases de una caja en 0.481 minutos o 28.912 segundos y finalmente, el encajado (llenado de las cajas, sellado y entarimado) se realiza en 0.500 minutos o 30.047 segundos. Con lo cual se determinó que la operación más lenta y cuello de botella de la operación es el sellado por conducción, siendo este entonces uno de los puntos a considerar con especial atención para aumentar la productividad de la línea.

De esta manera, fue posible establecer que para aumentar la velocidad de llenado y automatizar el proceso, se deben colocar bandas transportadoras y contar con mesas giratorias que dosifiquen envases al proceso. Esto reduciría el tiempo empleado en abrir las bolsas de envases, tomar envases y colocarlos bajo la llenadora y retirarlos. De igual forma, para reducir el tiempo en colocar los envases bajo la selladora, contar con banda transportadora que los traslade hacia la selladora, y este programada en el tiempo para efectuar el sellado de los envases. Esto como una opción para mejorar el proceso, o bien, otra alternativa que es muy aplicada en la industria es el sellado por inducción, lo significaría cambiar moderadamente la presentación del producto en el mercado, específicamente materiales de empaque empleados. La operación de etiquetado puede trabajarse bajo dos opciones: una etiquetadora envolvente o una etiquetadora semiautomática.

Para considerar el consumo de material de empaque se procedió a realizar un balance de cada material de empaque. Así también, se obtuvo un balance del herbicida líquido como se puede observar en la Figura 16 (Página 116). Entonces, en base a un corto análisis de la situación actual de la línea de producción, se encontró que según reportes de pérdidas de material de empaque de la bodega de planta los porcentajes de pérdidas son mínimos. Se realizó el balance de masa para 9 lotes de producción (25 lotes formulados de 8187 Litros aproximadamente cada uno) de los que se tenía información que corresponden a 2 semanas de trabajo aproximadamente. La operación que representa mayores pérdidas es la de etiquetado. Pero es importante mencionar que llevar un control exacto y preciso de este material de empaque es bastante complicado por la cantidad de etiquetas que se manejan en el proceso. Además los operarios no reportan los valores verdaderos de material perdido. Reportan una menor cantidad, lo cual puede estar ocasionado por temor a una llamada de atención.

Al observar el proceso fue posible determinar que se pierden etiquetas al trabarse en la etiquetadora, colocan la etiqueta al revés y por lo tanto, colocan una nueva etiqueta sobre la anterior etiquetando dos veces, o bien, no son colocadas en el espacio correcto del envase. Esto se traduce entonces en material de empaque perdido y no cuantificado con exactitud por los operarios. En el caso de los envases únicamente se pierden si son sellados incorrectamente o se lastiman. Los sellos de conducción y tapones se pierden porque se caen al suelo principalmente y se ensucian.

Otro de los aspectos importantes a tomar en cuenta para la nueva línea de envasado es el control sobre el volumen de producto envasado y en almacenamiento para reducir problemas en el inventario. Esto debido a que como se menciona anteriormente, se cuenta con un tanque de almacenamiento principal y dos de reposo para suplir producto a las líneas. Esto ha provocado que el control del producto no sea exacto y se maneje con valores aproximados. Desconociendo entonces, la cantidad real de producto en proceso (y en almacenamiento). Lo cual puede traducirse en pérdidas de herbicida, en caso se esté envasando producto de más o bien, en reclamos si se está dosificando una menor cantidad del herbicida líquido en cada envase. Finalmente se realizó un balance de energía de la línea para determinar el consumo eléctrico actual, y buscar su reducción en la línea a proponer.

Para establecer las bases de diseño de la nueva línea de envasado se trabajó en conjunto con el Gerente de Planta. Se estableció una velocidad de 200 cajas por hora, equivalente a 1,800 cajas al día y 40 envases por minuto. La velocidad promedio de producción de la línea actual analizada es de 18 envases por minuto, con lo cual se aumenta en un 222% la capacidad y productividad de la línea. Además, se determinó que la línea debía ser lineal, sin cambios de dirección, reducir costos en términos de consumo de energía y mano de obra, así también considerar la estatura de los empleados como se menciona en la Tabla 14 (Página 81). Al tener ya las bases de diseño del proyecto, se estableció un diagrama de bloques con las etapas y equipos propuestos para la nueva línea de envasado, como se observa en la Figura 15 (Página 85). De esta forma, se inició la búsqueda de proveedores de cada uno de los equipos que conformaban la línea, y se empezó el contacto con los mismos para obtener información técnica de los equipos de interés y los respectivos precios.

Para el almacenamiento del herbicida líquido previo a su envasado y empaquetado se seleccionó un tanque vertical cilíndrico de polietileno de alta densidad. La capacidad es de 10,000 Litros y como se menciona anteriormente, fue determinada junto con el Gerente de Planta tomando en cuenta la necesidad de contar con un tanque de reposo de mayor volumen y exclusivo para una línea de producción. Esto con el propósito de poder llevar un control más específico por línea de producción, ya

que actualmente el producto formulado se encuentra distribuido en tres tanques de almacenamiento y dificulta el control de inventarios a bodega.

Entre las materias primas de la formulación del producto se encuentran químicos que le confieren propiedades de corrosión al herbicida. Este factor se tomó en cuenta al momento de seleccionar el material del tanque. Se eligió un polímero, específicamente polietileno de alta densidad, que posee una alta resistencia química. Además, tomando en cuenta corrosión, densidad y concentración del producto se logró determinar con el proveedor que para la mayor durabilidad del tanque, las paredes estarían doblemente reforzadas. Con esto se considera que el tanque pueda encontrarse ubicado a la intemperie sin ningún inconveniente. Además, el material es rígido y resiste las condiciones ambientales de almacenamiento siendo estas: un rango de temperaturas entre los 25 y 35°C y presión atmosférica. La temperatura máxima del líquido en el tanque según especificaciones del proveedor debe ser 60°C, y el producto almacenado se encuentra a una temperatura menor. Además de estas características se tomó en cuenta que su costo en relación a otros materiales como acero inoxidable o polipropileno es menor y satisface las necesidades de almacenamiento. Así también que, no se requieren soldaduras y el mantenimiento interno y externo que debe realizarse es mínimo, no se oxida ni raja con los temblores lo cual le confiere durabilidad al tanque.

En base a las dimensiones proporcionadas por el proveedor, como parte de las especificaciones técnicas, se calculó el volumen del tanque y se comprobó que efectivamente es posible almacenar 10,000 Litros de herbicida como se observa en la Tabla 25 (Página 104). El tanque de almacenamiento se ubicará a 2.5 metros de altura aproximadamente, colocado sobre una estructura metálica.

El diámetro de tubería calculado para transportar por gravedad un flujo de 40 Litros por minuto a la línea de producción fue de 0.01905 metros ($\frac{3}{4}$ in). El cálculo se realizó considerando la densidad promedio del producto a transportar, en este caso 1.0875 g/mL para establecer la velocidad óptima de flujo. Y a partir de esta información y el flujo volumétrico determinar el diámetro requerido. El material seleccionado fue acero inoxidable 304 y la cedula No. 40, considerando la corrosividad del producto a transportar.

Entre los accesorios necesarios se encuentran 3 válvulas de bola que permiten la circulación del fluido en posición abierta y cortan el paso, únicamente con un giro de 90°C. Para el proceso son las válvulas más adecuadas, ya que en caso no se encuentre en funcionamiento la línea de envasado, es fácil cerrar el acceso del producto a la misma. Además de su bajo costo, baja caída de presión y que no se desgastan tan fácilmente por lo que se reduce la probabilidad de fugas. Como se mencionó previamente,

se cuenta con tres válvulas: la primera que se encuentra ubicada a la salida del tanque de almacenamiento, la segunda que permite el flujo directo hacia la línea de envasado y la tercera que permite que se obtenga directamente producto del tanque en caso sea necesario. Y para cuando sea necesario conocer el contenido de producto en el tanque por inventarios, realizar limpieza al tanque, o bien, al re envasar en toneles.

Para llevar un mejor control del herbicida se escogió un medidor de flujo de turbina para registro del caudal trabajado y flujo total. Se tomó en cuenta que el material del medidor resistiera la moderada corrosión del herbicida. Está construido con acero inoxidable; el rotor es de PVDF o polifluoruro de vinileno, un termoplástico altamente inerte químicamente, resistente a solventes, ácidos y bases, lo cual asegura un buen funcionamiento por un periodo prolongado de tiempo y que el producto no corre riesgo de contaminación por reacción con el material. El dispositivo opera en un rango entre 7.6 y 75.7 L/min según especificaciones del proveedor, valores que se ajustan al flujo del proceso. Además no consume energía eléctrica, debido a que opera con 2 baterías de litio de 3 voltios cada una, las cuales deben ser reemplazadas cada año, para un batch máximo total de 999,999 Litros.

Este medidor se caracteriza por ser un contador, similar a los empleados en los hogares para monitoreo del consumo de agua. Con lo cual se puede conocer cuánto producto ha sido envasado y permite tener un control más estricto del herbicida, punto importante para los inventarios de la empresa. Con lo que se espera reducir posibles faltantes de producto, y se asegura que el área de producción de la planta preste mayor atención al volumen que se dosifica por unidad producida. Ya que generalmente, le dan importancia a producir la cantidad de cajas requeridas por el área de ventas, sin priorizar la calidad del producto y exactitud en el volumen dosificado.

Ahora bien, para la selección de los equipos que conformarían la nueva línea de envasado del herbicida líquido, se consideró principalmente el factor económico así como factores técnicos y de control. Se realizó una ponderación en base a porcentajes dados por el Gerente de Planta en cuanto a la importancia de cada aspecto considerado, entre los que se pueden mencionar: costo (50%), consumo de energía, material del equipo, bajos costos de mantenimiento, tipo de control, precisión, accesorios con los que cuente la maquinaria y que el equipo sea capaz de satisfacer un volumen de producción creciente. Es importante mencionar, que se contacto a varios proveedores de maquinaria industrial y fue posible evaluar entre 2 y 3 opciones por componente del proceso. Y que se considero una velocidad promedio de producción para la línea de 40 envases por minuto, y para cada equipo las especificaciones del material de empaque.

Para la operación de llenado se selecciono una llenadora automática de nivel de 10 boquillas. El número de boquillas se eligió junto con el proveedor considerando la velocidad de producción y el volumen a dosificar por unidad siendo éste de un litro. La llenadora puede envasar una mayor capacidad ya que se pueden adaptar más boquillas al manifold en caso fuera necesario. La forma del envase, su diámetro y el diámetro de la boca del recipiente se tomaron en cuenta, y fueron especificaciones manejadas con el proveedor (Tabla 15, Página 82). El herbicida tiene una viscosidad promedio de 97.5 cP (88 cSt) y el equipo de llenado trabaja con productos de hasta 1,500 cP, por lo que el agroquímico si puede envasarse en esta llenadora. Otro punto importante es que el líquido es espumoso, pero debido a que en la formulación se agrega un antiespumante se reduce la tendencia a formación de espuma, pero aún así lo es moderadamente. Entre las especificaciones técnicas del equipo se encuentra que trabaja también con productos espumosos, y sin partículas, lo cual es otro factor que satisface este tipo de llenadoras. La unidad de llenado puede dosificar volúmenes en un rango de 50 mL hasta 1 galón, lo cual le da versatilidad al aparato y permite trabajar otras presentaciones del herbicida como la de medio litro. Al comparar con otras opciones, debido a que el factor económico era determinante se obtuvo el equipo de menor costo, pero se considero además aspectos técnicos del equipo como potencia requerida siendo esta de 2.2 kW y un consumo de energía eléctrica diario de 19.8 kW-h como se puede observar en la Figura 13 (Pagina 61).

Respecto al material del equipo, las boquillas son sanitarias, construidas con vitón y teflón, materiales altamente resistentes a productos agresivos e inertes. El material de la llenadora es acero inoxidable 304, adecuado por su resistencia a la corrosividad y precio más bajo en comparación al acero inoxidable 316. El control de la operación se lleva a través de controladores lógicos programables (PLC's) lo cual permite un fácil ajuste de parámetros a través de una pantalla táctil. El volumen puede ajustarse sin necesidad de hacer uso de otras herramientas, y en caso sea muy necesario, los supervisores de producción pueden hacer ajustes de las boquillas para cambios de volumen. Un accesorio muy útil para la operación con el que se cuenta es un contador de producción y un kit de indexación de envases para evitar derrames de producto, y paros en la línea. Se cuenta además con un tanque de alimentación, por el cual re circula el producto que rebalsa cada boquilla al realizar la acción de llenado. Esto permite reducir tiempos en vaciar toneles o recipientes empleados para la recepción del rebalse. Además, la banda transportadora incorporada en la maquina posee una velocidad ajustable y variable, con lo que es posible un ajuste conveniente de los envases. En la Tabla 10 (Página 56) se presentan todas las especificaciones del equipo y un diagrama del mismo.

Como se menciona anteriormente y como se muestra en la Tabla 14 (Página 81), el cuello de botella de la línea de envasado actual es el proceso de sellado. Esto debido a que el tiempo necesario para

que el sello plástico se adhiriera al envase es mayor al empleado para la ejecución del resto de operaciones de la línea de producción, siendo este de 40 segundos aproximadamente por caja producida (12 botellas). Se propone realizar esta etapa haciendo uso de una selladora de inducción. El sellado de inducción permite trabajar a velocidades más altas debido al principio de funcionamiento que rige a la selladora, el cual se menciona en la sección de Antecedentes (Páginas 39-40). Para la elección de la selladora se tuvo dos opciones de proveedores extranjeros, con distribuidor local en el país. En este caso fue necesario especificar el diámetro de la tapa (Tabla 16; Página 82) y la velocidad requerida de envases por minuto. Se seleccionó una selladora de inducción Súper Seal de una de las marcas más reconocidas para este tipo de sellado a nivel internacional. Como ya se ha mencionado, el factor económico fue determinante para la elección de la unidad de sellado. El requerimiento de energía es alto debido al calentamiento necesario para la operación. En este caso consume 32.4 kW-h por día de producción, siendo el equipo de mayor consumo. Además del factor económico, se tomó en cuenta que esta máquina se ajusta a envases de diferentes tamaños y que cuenta con un panel de control avanzado con medidor digital para establecer un control de la temperatura óptima de sellado. Además, por seguridad el equipo cuenta con un sistema de enfriamiento por aire que asegura que la unidad no se sobrecaliente y se arruine rápidamente.

Previo al sellado por inducción se requiere colocar la tapa con sello de inducción con logo, al envase y asegurarse que vaya bien roscado para evitar pérdidas de tapones y envases por mal sellado. Por lo cual se consideró la opción de agregar a la línea de producción una taponadora semiautomática para tapas roscadas, y asegurarse de esta forma que los envases vayan debidamente tapados al proceso de sellado. Se eligió una taponadora semiautomática marca Accutek de una sola cabeza, la cual cuenta con una unidad de indexación de envases para asegurar el correcto posicionamiento del envase para su taponado. Además cuenta con control electrónico para ajustar el torque adecuado, y evitar daños al envase y la tapa. Como en todos los casos se tomo en cuenta la velocidad de producción requerida y que la cabeza roscadora manejara el diámetro de la tapa del envase. Efectivamente cumple con tamaño de tapón, ya que el rango se encuentra entre 10 hasta 120 mm, y la tapa que se trabaja en la planta de agroquímicos es de 43 mm. El material del equipo: acero inoxidable, es adecuado considerando el producto que se maneja en la línea de envasado.

Ahora bien, es importante mencionar que debido al cambio de sellado, el material de empaque se modifica de tapones roscados y sellos plásticos con el logo de la empresa a tapón roscado con sello de inducción con logo, lo cual modifica costos variables de producción. Otro material de empaque nuevo en la línea son las etiquetas auto adheribles manejadas en bovinas para su etiquetado.

Se escogió una etiquetadora automática envolvente considerando que el envase manejado es cilíndrico. Para la selección del equipo se cotizó con tres proveedores extranjeros, y como en casos anteriores, el precio de la maquina fue determinante para su elección. Se tomo en cuenta además que el control del proceso se realiza a través de un controlador lógico programable (PLC) para el ajuste de los parámetros de operación, en este caso la altura a la que debe colocarse la etiqueta. El material del equipo es igual al de toda la línea, siendo este acero inoxidable 304, considerando siempre la moderada corrosividad del producto que se está envasando. El equipo cuenta con varios accesorios entre los que se pueden mencionar el separador de envases, previo al etiquetado; una banda de rolado para la aplicación de las etiquetas auto adheribles envolventes. Así también, banda transportadora de velocidad variable y barandales ajustables al diámetro del envase. Es importante mencionar que con cada uno de los proveedores se especificó el tamaño de etiqueta, tipo de etiqueta a manejar, dimensiones del envase a etiquetar (Tabla 15; Página 82 y Tabla 17; Página 82) para considerar el cabezal de etiquetado más adecuado a las necesidades del proceso. Con las características técnicas provistas por el proveedor seleccionado se pudo determinar que la etiquetadora se ajusta a los requerimientos de la línea y es posible trabajar a la velocidad de producción solicitada. En este equipo se puede acoplar fácilmente un sistema de impresión térmico de códigos para imprimir el número de lote y fecha de vencimiento del producto sobre la etiqueta. Ambos equipos requieren una potencia de 1.8 kW y emplean 16.2 kW-h de energía al día.

Para la etapa final de la línea de envasado, se eligió una selladora semiautomática de cajas ya que requiere la intervención de un operario para el encajado y colocación de la caja debidamente cerrada en el equipo. Es ajustable porque puede trabajar dimensiones variables de cajas, en este caso la selladora puede manejar cajas de 150 a 546.1 mm (6 a 21.5 in) de ancho y 120 a 725 mm (4.75 a 24.5 in) de alto y una longitud mínima de 150 mm. Este rango de dimensiones se ajusta perfectamente a las dimensiones de la caja empleada en la línea de producción (Tabla 18; Página 83). Además, esta selladora haciendo uso de cinta adhesiva de 48 mm de ancho realiza un buen sellado de la parte superior e inferior de la caja.

Adicional a los equipos previamente mencionados, se seleccionaron dos mesas giratorias. Una para la alimentación de envases a la línea de producción y una segunda mesa de acumulación de envases, entre las etapas de etiquetado y sellado de cajas. Ambas mesas giratorias se ajustan a los equipos de llenado y etiquetado respectivamente. El consumo energético es de 16.2 kW-h por día de trabajo. Ahora bien, como se observa en la Figura 14 (Página 62), el proceso de colocar instructivos y encajado se realizara de forma manual, por lo que se requerirá además una mesa donde colocar las cajas para el encajado de los envases previo a su sellado en la selladora semiautomática.

Con la línea propuesta se reduce la necesidad de personal de 15 a 5 (reducción del 65% en personal de la línea), si se desea continuar trabajando con un operador que codifique cajas, pese y entarime específicamente. La llenadora automática permite eliminar el operador de llenado y hace que ya no sea necesario que un operador adicional de las líneas de producción provea envases. Esto debido a que el operador que coloca envases en la mesa de alimentación se encarga exclusivamente de asegurarse que la línea no se vea desprovista de envases, al traer envases de bodega de planta y colocarlos en la mesa giratoria. Ahora bien, se elimina un operario debido a que ya no es necesario un operario para sellado y otro para taponado, ya que el sellado no requiere a un operador en el proceso, únicamente a una persona colocando tapones a los envases que salen de la etapa de llenado del líquido.

En la etapa de etiquetado tampoco se necesita a un operador colocando y retirando envases, ni a un trabajador auxiliar que codifique etiquetas, ya que ambas tareas son realizadas por el equipo seleccionado. Únicamente se requiere que el supervisor se asegure de que el equipo de etiquetado se encuentre provisto de una bovina con cantidad suficiente de etiquetas para la operación.

En la Figura 13 (Página 61) se presenta el diagrama de flujo de la nueva línea de envasado propuesta para su montaje en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos, a su vez se muestra el balance de masa realizado para una producción diaria de 21,600 envases, equivalentes a 1,800 cajas de producto. En este balance se considera un porcentaje de reducción de pérdidas de material de empaque del 35% (Tabla 28; Página 105). Ahora bien, respecto al balance de masa del herbicida se considero que la cantidad promedio de producto no envasado por unidad producida (de 1 Litro) es 3 mL (10% del valor permitido por la norma COGUANOR: envasado de productos líquidos), lo cual reduce la cantidad de acumulación en el tanque y asegura que el producto cumpla con los estándares de calidad del país, y mejor aún, en un valor superior al exigido por las leyes nacionales. Así también, se muestra el consumo energético requerido por equipo en la nueva línea, siendo el valor total de 105.07 kW-h por día de operación.

Ahora bien, una vez determinados los equipos a emplear para la nueva línea de envasado de herbicida líquido se procedió a elaborar el diagrama de distribución de la línea que se muestra en la Figura 14 (Página 62), con lo que se observa que la línea cumple efectivamente con el requerimiento del Gerente de Planta de diseñar y seleccionar equipo para el montaje de una línea de configuración lineal.

Respecto a la inversión necesaria para el montaje de una línea completamente nueva, con productos de primera mano, separada de otras líneas de producción al contar con su propio tanque de almacenamiento y dispositivo de registro y monitoreo del flujo de herbicida se requieren Q 546,092.39

que incluyen los costos de instalación de tuberías y energía eléctrica, así como un 5% de imprevistos. El periodo de recuperación de esta inversión es entre 5 y 6 de años, la TIR obtenida para el proyecto fue de 20.4% y un valor presente neto de Q633, 809.89. La tasa interna de retorno del proyecto es superior a la tasa pasiva del banco de Guatemala para depósitos a plazo fijo (7.30%), por lo que se considera que la TIR invita a realizar tal inversión.

Para el cálculo de flujo de caja (Tabla 50; Página 115) se consideraron los ahorros en personal por reducción del mismo y otros gastos por reducción de mantenimiento. Pero el cambio en material de empaque si afecta los costos de operación anual, esto debido a que el costo se incrementa en 25 centavos como se observa en la Tabla 43 (Página 112) y Tabla 44 (Página 113). Por lo que al aumentar la producción, se incrementan también estos gastos variables y afectan los ahorros en el flujo de caja. Es importante mencionar que para el cálculo de los costos se considero que la línea propuesta tiene la capacidad de sustituir dos líneas de producción actuales, ya que la nueva línea opera a una velocidad de 40 envases por minuto, mientras que según lo determinado en el análisis de tiempos, actualmente la velocidad es de aproximadamente 18 envases por minuto. Entonces, con el diseño propuesto se duplica la capacidad de producción reduciendo costos de operación en energía y mantenimiento y se reduce el personal necesario de 14 empleados que forman 2 líneas actuales a 5 operarios. En el cálculo se estimo también, que la implementación de la nueva línea reduce el pago de horas extras del personal. Lo cual se traduce en ahorros por reducción de mano de obra directa. A pesar de los ahorros obtenidos, el incremento del material de empaque afecta el flujo de caja anual y reduce la rentabilidad del proyecto, como se aprecia en las Tablas 49 y 50 (Páginas 114 y 115). Es importante mencionar que el horizonte de evaluación elegido fue de 10 años, y el método de depreciación utilizado fue el SMARC (Sistema Modificado Acelerado de Recuperación de Costos), el cual no considera la vida útil de los equipos y los deprecia rápidamente (Tabla 48; Página 114).

A pesar de lo expuesto anteriormente: una velocidad de producción mayor, la reducción en personal y consumo energético, la mejora continua en los procesos de producción y aumento del control del producto envasado puede justificar la inversión para el montaje de una nueva línea. Esto a pesar que los ahorros no son tan elevados, pero que considera además la disminución de personal expuesto a los agroquímicos y automatización de los procesos.

IX. CONCLUSIONES

1. Para un mejor control del herbicida en el proceso se eligió un medidor de flujo de turbina para monitoreo y registro del caudal y flujo total trabajado. Con lo cual se asegura la reducción en problemas de inventario del producto formulado, y una mayor calidad respecto al volumen dosificado por unidad producida.
2. El nuevo diseño propone una línea de producción separada, que cuenta con su propio tanque de almacenamiento para mejor control sobre el volumen formulado de producto, el uso de selladora de inducción para reducir tiempos de operación y permitir un flujo continuo de envases sin detenerse en esta etapa del proceso y una etiquetadora automática envolvente que emplea etiquetas auto adheribles.
3. El equipo de llenado de líquidos seleccionado fue una llenadora automática de nivel de 10 boquillas con una velocidad de producción de 40 envases por minuto, que trabaja con fluidos con tendencia a formar espuma como el herbicida a envasar. Se caracteriza por su versatilidad para manejar otras presentaciones (0.5 L hasta un galón) y la posibilidad de aumentar su capacidad de envasado al agregar una o dos boquillas más a la unidad.
4. Se logró reducir la cantidad de operarios de 14 a 5, lo cual representa un 65% de reducción de mano de obra directa involucrada en la producción del herbicida.
5. La línea de envasado propuesta según las bases de diseño establecidas en conjunto con el gerente de planta presenta una configuración lineal, la cual se distribuye a lo largo de 15.5 metros de longitud incluyendo el tanque de almacenamiento.
6. La línea de envasado diseñada trabaja a una velocidad promedio estimada de producción de 40 envases por minuto, lo cual es equivalente a 1,800 cajas trabajadas en 9 horas de operación diarias.
7. En base al análisis económico realizado del diseño preliminar se obtuvo un valor presente neto de Q633, 809.89, un periodo de recuperación de 5-6 años y una tasa interna de retorno de 20.4% con lo cual se concluye que el proyecto es rentable al compararse con la tasa pasiva del banco de Guatemala (7.30%), ya que hay un mayor flujo de efectivo que al mantener el dinero depositado en el banco.

X. RECOMENDACIONES

1. Establecer registros y métodos de supervisión a implementar en la nueva línea de envasado para el aseguramiento de la calidad del producto como parte de la norma ISO 9000.
2. Se recomienda realizar un estudio financiero más completo, para obtener un flujo de caja que considere ingresos por ventas y todos los costos fijos y variables involucrados en la producción de las unidades de litro del herbicida en presentación líquida, producto líder de la empresa.
3. Se recomienda capacitar a los supervisores de producción respecto al manejo de equipo automático y uso de controladores lógicos programables, para que sean capaces de ajustar parámetros de producción y asegurar el buen uso de los equipos.
4. Realizar un programa de mantenimiento preventivo de los equipos considerando los requerimientos de los equipos, para asegurar la durabilidad de los mismos.
5. Para el mejor control del uso del material de empaque se recomienda establecer métodos de monitoreo en el proceso de envasado, para determinar porcentajes reales de pérdidas y posteriormente considerar formas de disminuir tales porcentajes.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. ACCUTEK: Packaging Equipment Companies. 2011. *Piston Volumetric*. Información disponible en: http://www.accutekpackaging.com/main.php?page_id=22
2. ACCUTEK: Packaging Equipment Companies. 2011. *Overflow filling*. Información disponible en: http://www.accutekpackaging.com/main.php?page_id=24
3. ACCUTEK: Packaging Equipment Companies. 2011. *Positive displacement*. Información disponible en: http://www.accutekpackaging.com/main.php?page_id=23
4. ACCUTEK: Packaging Equipment Companies. 2011. *Time Flow Filling*. Información disponible en: http://www.accutekpackaging.com/main.php?page_id=17
5. ACCUTEK: Packaging Equipment Companies. 2011. *Turntables*. Información disponible en: http://www.accutekpackaging.com/main.php?menu_id=67
6. Agrequima: Asociación del Gremio Químico Agrícola. 2011. Guatemala. Sitio oficial: <http://www.agrequima.com.gt/>.
7. Albarrán Guillermo. 2007. *Diseño de Envases y Embalajes*. Bloque especializado. Universidad de Londres. México. Información disponible en: <http://www.youblisher.com/p/73895-envases/>
8. Bausbacher E., Hunt R. 1993. *Process Plant Layout and Piping Design*. Prentice Hall-Pearson Education Company. Estados Unidos. 442 Pp.
9. Blank L., Tarquín A. 2006. *Ingeniería económica*. Sexta Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 816 Pp.
10. *Buenas Prácticas de Manufactura*. 2011. Grupo Messer. Perú. Información disponible en: <http://www.messergroup.com/pe/acerca/BPMcert/index.html>
11. Caseley J.C. 1996. "Manejo de malezas para países en desarrollo". Capítulo 10: Herbicidas. Roma. Información disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm>
12. *Código Internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas. Directrices para el registro de plaguicidas*" 2010. OMS Organización Mundial de la Salud y FAO. Información disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2010/WHO_HTM_NTD_WHOPES_2010.7_spa.pdf
13. *Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas Directrices sobre opciones de manejo de envases vacíos de plaguicidas*. 2008. OMS y FAO. Información disponible en:

14. http://www.who.int/whopes/recommendations/Guidelines_for_empty_pesticide_containers_Sp_a.pdf
15. De León Morales J. 2007. *Diseño de línea de producción de saborizantes artificiales para una empresa productora en Guatemala*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 51 Págs.
16. G&C Packaging Systems. 2008. *Sistemas de etiquetado*. Buenos Aires, Argentina. Información disponible en: <http://www.gycpack.com.ar/sistemas-de-etiquetados.html> [G&C Packaging Systems, 2008]
17. Geankoplis C. 1998. *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias*. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental. México. 1008 Pp.
18. Guatemala. *Ley de Registro de Productos Agroquímicos*. Decreto No. 05-2010. Congreso de la República de Guatemala. Información disponible en: <http://www.agrequima.com.gt/LeyesyReglamentos/MAGA/DECRETO05-2010LEYDEREGISTRODEAGROQUIMICOS.pdf>
19. Guatemala. Norma Coguanor NGO 44 063. *Plaguicidas. Etiquetado para los productos de uso domestico e industrial*. Información disponible en: <http://www.agrequima.com.gt/LeyesyReglamentos/NORMASCOGUANOR/NGO44063.pdf>
20. Guatemala. Norma Coguanor NGO 44 087. *Plaguicidas. Ingrediente activo. Expresión de la concentración y tolerancias*. Información disponible en: <http://www.agrequima.com.gt/LeyesyReglamentos/NORMASCOGUANOR/NGO44087.pdf>
21. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. *Almacenamiento, transporte y aplicación de plaguicidas, insecticidas, pesticidas y fungicidas*. 1998. CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Información disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-39906_recurso_1.pdf (CONAMA. 1998)
22. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. *Fabricación de plaguicidas, insecticidas, pesticidas y fungicidas*. 1998. CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Información disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/fab-plagui.pdf>
23. *Guía sobre seguridad y salud en el uso de productos agroquímicos*. 1993. IPCS: Programa Internacional de Seguridad en las Sustancias Químicas. OIT, Ginebra. Información disponible en: <http://www.serviplagas.com/cms/articulo/pdf/2007-11-22/31agrochem.pdf>

24. *Guías ambientales para el subsector de plaguicidas*. 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Cámara de la Industria para la protección de Cultivos ANDI. Bogotá, Colombia. Información disponible en: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Guia_Ambiental2.pdf
25. *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación, formulación y envasado de plaguicidas*". 2007. IFC: Corporación Financiera Internacional. Información disponible en: [http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_Pesticides_Spanish/\\$FILE/0000199659ESes+Pesticides+rev+cc.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_Pesticides_Spanish/$FILE/0000199659ESes+Pesticides+rev+cc.pdf)
26. *Herbicidas*. 2011. CASAFE. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Argentina. CropLife Latin América. . Información disponible en: www.casafe.org
27. Ho Chen, P. 2003. *Diseño de una línea de empaque para una fábrica de productos líquidos de limpieza*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 89 Págs.
28. IMS: Integrity Machine Services. 2011. *Foil sealers*. Información disponible en: http://www.imsmachines.net/foil_sealers.html
29. Inglesa: Ingeniería León S.A. de C.V. 2005. *Diseño y calculo de tanques de almacenamiento* México. Pagina consultada en: <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.pdf>
30. Inline Filling Systems, Inc. 2006. *Liquid Filling Machines for small and Medium Sized Operations*. Información disponible en: <http://www.liquidfillingmachines.com/>
31. Inline Filling Systems, Inc. 2006. *Overflow Filling machine Selection Guide*. Información disponible en: <http://www.fillers.com/overflow%20filling%20machines%20guide.htm>
32. Kearney P. y Kaufman D. (1975) *Herbicides: Chemistry, degradation and mode of action*. Estados Unidos. 2 Vols.
33. López Sosa, Héctor. 2000. *Optimización de la capacidad instalada en el envasado de agroquímicos*". Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 115 Págs.
34. McCabe, W. 2007. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Séptima Edición. India: Editorial McGraw-Hill. 1189 Págs.
35. Perry, R. y D. Green. 2001. *Manual del Ingeniero Químico*. 7ª edición. Editorial McGraw-Hill. España.
36. Peters Max Stone. et al. 2003. *Plant design and economics for chemical engineers*. Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill. Boston, Estados Unidos. 988 Págs.

37. RELCO UK Limited. 2011. *Induction Cap Sealing, the Principles*. Inglaterra. Información disponible en: http://www.relco.co.uk/1inductionsealing/induction_cap.htm
38. Restrepo J. 2007. *Buenas Prácticas de Manufactura en la elaboración y preparación de alimentos: Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP)*. Consejo Colombiano de Seguridad. Colombia. Información disponible: http://www.mific.gob.ni/LinkClick.aspx?fileticket=p_2otPBexcU%3D&tabid=602&language=es-NI
39. Rouanet, Luis. 2002. *“Montaje de una línea de llenado de insecticidas líquidos en envase pequeño en una planta productora de agroquímicos”*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 66 págs.
40. *Tecnología de Control aplicable a la formulación y el envasado de plaguicidas*. 1993. OMS: Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 83 Págs.
41. Towler G. y Sinnott R. 2008. *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design*. Editorial Burlington. 1245 Pp.

XII. APÉNDICE

A. Bases de diseño de línea de envasado

Tabla 14: Bases de diseño de línea de empaqueo de herbicida en presentación líquida.

No. de botellas/cajas por unidad de tiempo	<ul style="list-style-type: none"> – 200 cajas/hora – 2400 botellas/hora – 40 botellas/minuto – 1800 cajas/día <p>Jornadas de 9 horas diarias lo cual equivale aproximadamente a dos líneas de producción actuales con 14 operarios trabajando.</p>
Operación:	Batch o Semi continua: tomando en cuenta que la demanda del producto es intermitente
Fluido a envasar	Herbicida líquido (líquido viscoso). SL: Concentrado soluble
Presentación:	Envase cilíndrico de Un Litro (1L) de polietileno de alta densidad
Diseño de nueva línea	Se requiere aumentar rapidez de envasado, reducir costos de operación, disminuir el número de operarios en línea de producción.
Crecimiento proyectado:	De la planta: 12-16% (14% en promedio) Del producto: 7% aproximadamente
¿Espumoso o no espumoso?	Si, el producto es espumoso. Se emplea un antiespumante en la formulación para reducir problemas en el envasado por esta característica del líquido.
¿El producto es corrosivo?	Si, debido a uno de los componentes de la formulación. Considerar para la selección del material de la llenadora del líquido.
Cuello de botella de la operación actual:	Sellado por conducción
Control del proceso	Se desea tener más control del proceso sobre el volumen (y masa en kg) que se envasa diariamente, para tener un mejor control de inventarios.
Ergonomía	Se busca una línea que sea lo más ergonómicamente posible considerando la estatura de los empleados.
Tanque de almacenamiento	10,000 Litros Considerar que se trabajaran lotes de formulación de 10,000 Litros cada uno, y cada uno tarda 3 horas y media en ser formulado. Para temporadas altas se pueden llegar a producir hasta 5 lotes diarios (Formulación).

B. Especificaciones de material de empaque

Tabla 15: Especificaciones del envase cilíndrico de un litro usado para envasado del herbicida

Característica	Especificaciones
Material	Polietileno de alta densidad
Alto total	233 ± 1 mm.
Altura de la boca	2.33 ± 1 mm.
Altura del cuello	20 ± 1 mm.
Diámetro del envase	91.5 ± 1 mm
Diámetro del cuello	44 ± 1 mm
Diámetro externo de la boca	40.5 ± 1 mm.
Diámetro interno de la boca	37.5 ± 1 mm.
Espacio para etiqueta	141 ± 1 mm.
Volumen total	1180 ± 10 ml.
Peso del envase	80 ± 5 g.
Grosor de las paredes	0.95 – 1.20 mm.
Grosor de la base	1.95 – 2.60 mm.

Tabla 16: Especificaciones del tapón empleado con el envase de un litro del herbicida

Característica	Especificaciones
Peso	10 ± 1 g.
Alto	24 ± 1 mm.
Diámetro superior	47 ± 1 mm.
Diámetro inferior	50 ± 1 mm.
Diámetro interno	43 ± 1 mm.
Otros:	Sello de inducción, tipo rosca, con logo

Tabla 17: Especificaciones de etiqueta utilizada con el envase del herbicida

Característica	Especificaciones
Número de paneles	Tres
Ancho total	294 ± 1 mm.
Altura total	138 ± 1 mm.
Margen derecho	20 mm
Margen izquierdo	10 mm
Margen superior	5 mm.
Margen inferior	0 mm
Ancho de panel izquierdo	81 mm.
Ancho panel central	82 mm
Ancho panel derecho	81 mm
Traslape	10 mm
Espacio entre paneles	10 mm
Tipo de etiqueta	Auto adherible en bovina
Área sin esmalte	30 mm. De alto x 60 mm. De ancho

Tabla 18: Especificaciones de la caja empleada para el embalaje del producto

Característica	Especificaciones
Ancho	285 ± 4 mm.
Alto	241 ± 4 mm.
Largo	374 ± 4 mm.
<i>Cinta adhesiva (Tape)</i>	
Ancho	4.8 cm (48 mm)

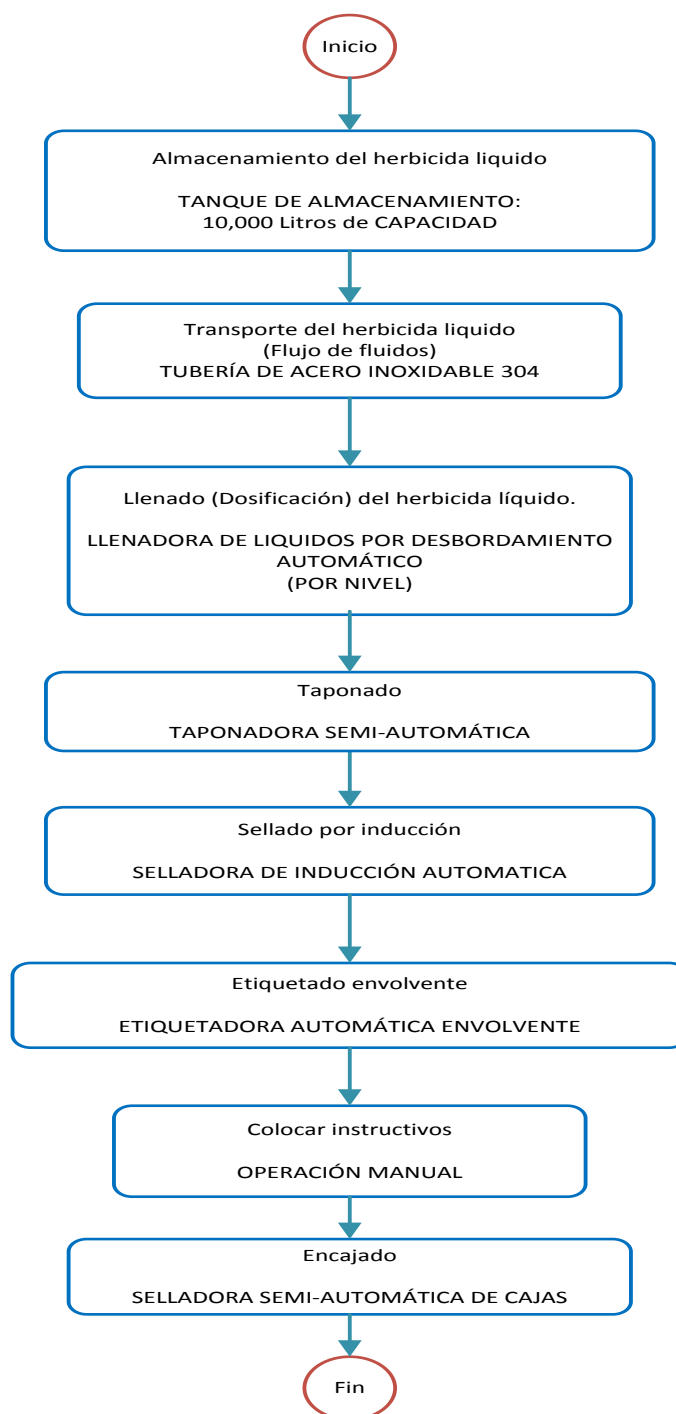
C. Especificaciones del herbicida

Tabla 19: Especificaciones del herbicida en presentación líquida a envasar

Aspecto	Especificaciones
Nombre químico	1-1'-dimetil-4,4'-bipiridilo
Formula empírica	$C_{12}H_{14}N_2$
Familia química	Bipiridilo
Solubilidad en agua	Soluble
Densidad a 20 °C	1.085-1.09 g/mL (Promedio: 1.0875 g/ml)
Viscosidad (Método de copa Zahn)	7-15 s
Viscosidad	29.3- 146.6 (cSt)
pH	3.0 -6.5
Apariencia	Líquido viscoso
Color:	Azul verdoso
Olor	Fétido
Clasificación: Clase OMS	II MODERADAMENTE PELIGROSO
Composición/Información sobre componentes	
Materiales o componentes	% p/v
1-1'-dimetil-4,4'-bipiridilo	20
Ingredientes inertes: Agua y emulsificantes	80

D. Diagrama del proceso propuesto

Figura 15: Diagrama de bloques para nueva línea de envasado del herbicida líquido



E. Datos originales

Tabla 20: Valores medidos para la determinación de la potencia y energía consumida por cada equipo en la línea de envasado actual.

Equipo		Voltaje (V)	Amperaje (A)	Factor de potencia
Selladora de cajas		115	1.9	0.8276
Balanza (Peso máximo: 60 kg)		10,2	0.15	0.8276
Balanza (Peso máximo: 15 kg)		6 Watts		0.8276
Etiquetadora		110	14.09	0.8276
Selladora de envases		110	9.73	0.8276
Llenadora de líquidos	Compresor de aire	15 hp		0.8276
	Motor de aire	201	30.85	0.8276

Tabla 21: Costo Ex Works (Puesto en fábrica) de los equipos seleccionados para nueva línea de envasado, con el respectivo país de fabricación

Equipo:	Costo Ex Works	País de origen
Llenadora de líquidos	\$ 15,365.28	El Salvador
Taponadora Semiautomática	\$ 2,947.03	Estados Unidos
Selladora por inducción	\$ 7,263.25	España
Etiquetadora automática envolvente	\$ 14,535.00	Nuevo León, México
Mesas giratoria de alimentación	\$ 3,366.00	Nuevo León, México
Mesas giratoria de acumulación	\$ 3,485.00	Nuevo León, México
Equipo de codificación	\$ 2,635.00	Nuevo León, México
Medidor de flujo	\$ 685.00	Nueva Jersey, Estados Unidos

Tabla 22: Parámetros empleados para obtención del flujo de caja

Criterios para flujo de caja	
Tasa de inflación anual trabajada para aumento del costo de energía eléctrica, gastos de mantenimiento	6%
Crecimiento de la producción anual (Producto líder)	7%
Crecimiento de la planta	12%-14%
Porcentaje de aumento en el salario de operarios	13.5%
Producción estimada año 1 (unidades)	1,926,000
Tasa a plazo fijo	5%
Tasa pasiva sobre depósitos	5%
Depósitos a plazo	7.30%
Tasa líder	5.50%
Valores actuales	
Gastos en mantenimiento	Q 1,500/mes
Reparaciones	Q4,000/año

F. Cálculo de muestra

A continuación se presentan los cálculos de diseño para la selección de los equipos que compondrán la línea de envasado, incluyendo el tanque de reposo:

- Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento en base a las dimensiones dadas por el proveedor de tanques:

La capacidad establecida junto con el gerente de planta fue de: 10,000 L = 2,641.73 galones

La capacidad es función de la altura (h) y el diámetro (d) del tanque:

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{h\pi d^2}{4} \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Especificaciones dadas por el proveedor:

d = 2.24 metros

h = 3 metros

$$\text{Volumen del tanque} = \frac{(3 \text{ m}) * \pi * (2.24 \text{ m})^2}{4}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 11.8224 \text{ m}^3 * \left(\frac{1,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}\right)$$

$$\text{Volumen del tanque} = 11,822.44 \text{ Litros}$$

Al calcular las dimensiones del tanque con base a su capacidad, existe la necesidad de considerar una altura adicional, con el propósito de acomodar la posibilidad de capacidad de reserva. Con lo que se determina que este tanque si cumple con el volumen necesario de almacenamiento requerido.

Con base en la densidad del producto es posible determinar el peso del lote formulado:

Densidad del producto a 20°C: 1.0875 g/mL.

$$\text{Peso: } 10,000 \text{ L} * \left(\frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}\right) * \left(\frac{1.0875 \text{ g}}{1 \text{ mL}}\right) * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right) = 10,875 \text{ kg de producto formulado}$$

- b. Cálculo de la velocidad mínima de nueva línea de envasado en base a requerimiento de Gerente de Planta:

La producción diaria de cajas requerida por el Gerente de Planta es de: 1,800 cajas/día.

$$1800 \frac{\text{cajas}}{\text{día}} * \left(\frac{1 \text{ día}}{9 \text{ horas de trabajo}}\right) = 200 \text{ cajas/hora}$$

$$200 \frac{\text{cajas}}{\text{hora}} * \left(\frac{12 \text{ envases}}{1 \text{ caja}}\right) = 2,400 \text{ envases/hora}$$

$$2,400 \frac{\text{envases}}{\text{hora}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = \mathbf{40 \text{ envases/minuto}}$$

$$40 \frac{\text{envases}}{\text{minuto}} * \left(\frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}\right) * \left(\frac{9 \text{ horas}}{1 \text{ día}}\right) = 21,600 \frac{\text{envases}}{\text{día}}$$

***Nota: El valor dado propuesto se determinó considerando la producción actual de las dos líneas de envasado con las que se cuenta para trabajar la presentación de 1 Litro. Se busca que la nueva línea sea capaz de envasar el volumen cubierto por ambas líneas y un poco más del valor actual para satisfacer la demanda creciente del producto.

- c. Cálculo del diámetro de tubería necesario para el suministro de herbicida líquido a la línea de producción:

Se tiene un flujo mínimo esperado de llenado de: 40 botellas por minuto $\approx 40 \text{ L/min}$

La densidad del producto a $20^\circ\text{C} = 1.0875 \text{ g/mL}$.

Entonces:

$$40 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) * \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.000666 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6.66 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Según el libro de Sinnott se tiene que: Simpson en 1968 dio valores para la velocidad óptima en términos de la densidad del fluido. Sus valores, convertidos a unidades del Sistema Internacional y redondeadas, son:

Densidad del fluido (kg/m^3)	Velocidad óptima (m/s)
1600	2,4
800	3
160	4,9
16	9,4
0,16	18
0,016	34

Debido a que la densidad promedio del fluido es $1.0875 \text{ g/mL} = 1087.5 \text{ kg/m}^3$

Se obtuvo una regresión lineal para los primeros dos datos trabajados, y haciendo uso de Excel, Análisis de Datos, Regresión se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad óptima} = -0.00075 [\text{Densidad del fluido}] + 3.6 \quad (\text{Ecuación No. 3})$$

$$\text{Velocidad óptima} = -0.00075 [1,087.5 \text{ kg/m}^3] + 3.6$$

$$\text{Velocidad óptima} = 2.7843 \text{ m/s}$$

Se tiene entonces que la velocidad del fluido a través de la tubería es 2.78 m/s

Con esto se procede a calcular el diámetro de tubería:

$$\text{Area transversal} = \frac{Q}{v} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Ecuación No. 4})$$

Donde:

Q = caudal = flujo volumétrico: $6.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

v = Velocidad lineal: 2.78 m/s

Despejando para el diámetro se obtiene:

$$D (m) = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (\text{Ecuación No. 5})$$

$$D (m) = \sqrt{\frac{4 * (6.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{(2.78 \frac{\text{m}}{\text{s}})\pi}}$$

$$D = 0.01746 \text{ m} = 1.746 \text{ cm} * \left(\frac{1 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}}\right) = 0.6874 \text{ pulgadas} \approx 0.75 \text{ pulg. o } \frac{3}{4} \text{ pulgada.}$$

La tubería a emplear para el transporte del fluido a la línea de producción tendrá entonces un diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgada.

- d. Cálculo del balance de masa de etiquetas para línea de envasado propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos:

Se estimó que la reducción mínima de perdidas en la línea de envasado respecto al material de empaque fue del 35% con respecto a la situación actual.

Se tiene entonces

$$\text{Perdidas} = (\text{ME utilizado}) * (\% \text{ de perd. act.}) * (1 - \text{Red}_{\text{perd.}}) \quad (\text{Ecuación No.6})$$

Para el caso de las etiquetas se tiene:

Porcentaje de pérdidas actuales determinado: 1.18 %

Reducción mínima de pérdidas estimada: 35%

Producción diaria estimada: 21,600 unidades

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas} &= (21,600 \text{ etiquetas}) * (1.18\%) * (1 - 0.35) \\ \text{Pérdidas} &= (21,600 \text{ etiquetas})(0.767\%) = 166 \text{ etiquetas} \end{aligned}$$

Para determinar el total de material de empaque utilizado se tiene:

$$\text{ME total} = (\text{Pérdidas}) + (\text{ME utilizado}) \quad (\text{Ecuación No.7})$$

$$ME\ total = (166\ etiquetas) + (21,600\ etiquetas)$$

$$ME\ total = 21,766\ etiquetas$$

*De la misma forma se realizo el cálculo para determinar el resto de material de empaque utilizado y perdido en 9 horas de operación de la nueva línea de envasado.

Para el caso especial de las etiquetas se debe considerar un porcentaje de pérdidas en la operación de codificación, en este caso se determino un 0.5%, el cual también se tomo en cuenta en el balance de masa, se tiene entonces:

$$Perdidas = (21,600\ etiquetas) * (0.5\%)$$

$$Perdidas = (108\ etiquetas)$$

$$Etiquetas\ usadas\ en\ total = (21,766\ etiquetas) + (108\ etiquetas)$$

$$Etiquetas\ usadas\ en\ total = (21,874\ etiquetas)$$

- e. Cálculo del balance de masa del herbicida liquido obtenido para un día de operación en nueva línea de envasado

Se estableció que la variación máxima permitida de volumen es de $\pm 3\text{ mL} = \text{VMP}$

*Esto considerando que la norma guatemalteca COGUANOR permite una variación máxima de 30 mL al envasar un volumen de 1000 mL, por lo que el valor máximo de variación en la nueva línea se estableció en tan solo 10% del valor original.

$$Acumulación = (Unidades_{envasadas}) * (VMP/1000) [L] \quad (\text{Ecuación No. 8})$$

$$Volumen_{neto\ envasado} = V_{unidades\ envasadas} - Acumulación \quad (\text{Ecuación No. 9})$$

Unidades envasadas en un día de producción: 21,600

Volumen unidades envasadas: 21,600 Litros

$$Acumulación = (21,600) * (-3\text{ mL}/1000) [L]$$

$$Acumulación = (64.8) [L]$$

$$Volumen_{neto\text{envasado}} = 21,600 - 64.8$$

$$Volumen_{neto\text{envasado}} = 21,535.2 L$$

- f. Cálculo de la potencia en kilowatts (kW) consumida por la selladora de inducción en nueva línea de envasado:

$$Potencia = \frac{I*V}{1000} \text{ (kW)} \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

I = Corriente en amperios

V= Voltaje en voltios

I= 15 amperios

V = 240 voltios

$$Potencia = \frac{(15 A) * (240 V)}{1000} = 3.6 kW$$

*De igual forma se realizó el cálculo de la potencia consumida para el resto de equipos de la nueva línea de envasado.

- g. Cálculo de la energía diaria requerida en kW-h para selladora de inducción:

$$Energía\ requerida = Potencia\ (kW) * (horas\ de\ operación\ al\ día) \quad (\text{Ecuación No. 11})$$

Potencia (kW) = 3.6 kW

Horas de operación al día= 9

$$Energía\ requerida = (3.6 kW) * (9 horas\ de\ operación/día)$$

$$Energía\ requerida = 32.4 kW - h/día$$

*Se realizó el mismo cálculo para determinar la energía requerida para el resto de equipos de la nueva línea de envasado.

- h. Cálculo del requerimiento de aire comprimido para la llenadora de líquidos en metros cúbicos por segundo:

Capacidad: 5 cfm (pies cúbicos por minuto)

$$\frac{5 \text{ pies cúbicos}}{\text{minuto}} * \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) * \frac{(1 \text{ metro})^3}{(3.28 \text{ pies})^3} = 0.0024 \frac{m^3}{s}$$

Se presentan a continuación cálculos realizados para el análisis de la situación actual de la línea de envasado del herbicida líquido:

- i. Cálculo del número de cajas por unidad de tiempo para el análisis de tiempo de la operación de llenado del herbicida líquido en presentación de 1 Litro:

Para el primer conjunto de datos obtenidos se tiene:

No. De envases por llenada: 8

No. De llenadas por periodo de tiempo: 13 llenadas

Periodo de tiempo: 5.012 min (300.72 segundos)

$$\frac{\text{Envases}}{\text{unidad de tiempo}} = \left(\frac{\text{No.de envases por llenada} * \text{No.de llenadas por tiempo}}{\text{Periodo de tiempo (s)}} \right) \quad (\text{Ecuación No. 12})$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{Envases}}{\text{unidad de tiempo}} &= \frac{8 \text{ envases} * 13 \text{ llenadas}}{300,72 \text{ segundos}} = \frac{104 \text{ envases}}{300.72 \text{ segundos}} \\ &= 0,346 \frac{\text{envases}}{\text{segundo}} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Envases}}{\text{unidad de tiempo}} = \frac{8 \text{ envases} * 13 \text{ llenadas}}{5.012 \text{ minutos}} = 20,75 \frac{\text{envases}}{\text{minuto}} \approx 21 \frac{\text{envases}}{\text{min}}$$

Se desea conocer también el número de cajas por unidad de tiempo:

Cada caja de producto contiene 12 envases (12 x1 L):

$$\begin{aligned} 0,346 \frac{\text{envases}}{\text{segundo}} * \frac{1 \text{ caja}}{12 \text{ envases}} &= 0.029 \frac{\text{cajas}}{s} \\ 20,75 \frac{\text{envases}}{\text{minuto}} * \frac{1 \text{ caja}}{12 \text{ envases}} &= 1.729 \frac{\text{cajas}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 103.751 \frac{\text{cajas}}{h} \end{aligned}$$

Para conocer el tiempo requerido por caja se tiene:

$$\frac{1}{0.029 \frac{\text{cajas}}{\text{s}}} = 34,698 \frac{\text{segundos}}{\text{caja}}$$

$$\frac{1}{1.729 \frac{\text{cajas}}{\text{min}}} = 0.578 \frac{\text{minutos}}{\text{caja}}$$

*El mismo procedimiento se realizó por cada una de las mediciones realizadas a las distintas operaciones de la línea de llenado: llenado de envases, sellado, etiquetado, colocar instructivos, taponado y encajado.

- j. Comparación entre operaciones para la determinación de la operación más lenta de la línea de producción:

Llenado: 0.315 envases/segundo

Sellado: 0.3069 envases/segundo

Etiquetado: 0.4565 envases/segundo

$$\text{Índice de comparación} = \frac{\text{Op.de llenado}}{\text{Op.de sellado}} \quad (\text{Ecuación No. 13})$$

$$\text{Índice de comparación} = \frac{0.315 \text{ envases/segundo}}{0.3069 \text{ envases/segundo}} = 1.026$$

$$\text{Índice de comparación} = \frac{\text{Op.de sellado}}{\text{Op.de llenado}} \quad (\text{Ecuación No. 14})$$

$$\text{Índice de comparación} = \frac{0.3069 \text{ envases/segundo}}{0.315 \text{ envases/segundo}} = 0.975$$

Se observa que la operación de llenado es relativamente más rápida que la de sellado.

*El mismo procedimiento se realizó para comparar las 6 operaciones de la línea de producción actual.

- k. Cálculo de la potencia en kW consumida de energía para la operación de sellado de cajas:

$$\text{Potencia} = I * V * \cos \varphi \quad (\text{Ecuación No. 15})$$

I = Corriente en amperios

V= Voltaje en voltios

φ = Factor de potencia (obtenido de las facturas de energía eléctrica de las instalaciones de la planta)

I= 1.9 amperios

V = 115 voltios

φ = 0,8276

$$Potencia = (1.9 \text{ amperios}) * (115 \text{ voltios}) * \cos(0,8276)$$

$$Potencia = 147.847 \text{ Watts} * \left(\frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ Watts}} \right) = 0.1478 \text{ kW}$$

*El mismo procedimiento se realizó para cada uno de los equipos de la línea de producción.

- I. Cálculo de la energía consumida en kW-h por día de trabajo en la operación de sellado de cajas:

$$Energía\ requerida = Potencia\ (kW) * (tiempo) \quad (\text{Ecuación No. 16})$$

Potencia (kW) = 0.1478

Día de trabajo: 9 horas de operación

$$Energía\ requerida = (0.1478 \text{ kW}) * (9 \text{ horas de operación})$$

$$Energía\ requerida = 1.3306 \text{ kW} - \text{h}$$

*Se realizó el mismo cálculo para determinar la energía requerida por equipo en la línea de producción.

- m. Balance de masa realizado para la operación de etiquetado del lote No. 46 de la línea actual:

$$Total\ de\ etiquetas = Etiquetas\ usadas + Perdidas \quad (\text{Ecuación No. 17})$$

Se cuenta con la siguiente información para el lote No. 46:

Material de empaque usado: 10,080 etiquetas

Perdidas de material de empaque: 463 etiquetas

$$\text{Total de etiquetas} = 10,080 + 463$$

$$\text{Total} = 10,543 \text{ etiquetas}$$

*Se realizó el mismo calculo por lote de producción empaque por material de empaque utilizado en la línea de producción: envases, sellos, tapones, instructivos, porta-instructivos y cajas.

- n. Determinación del porcentaje de pérdidas de etiquetas para un lote de producción (No. 46) de la línea actual:

$$\text{Porcentaje de pérdidas (\%)} = \frac{\text{Perdidas de ME}}{\text{ME total utilizado}} * 100 \quad (\text{Ecuación No. 18})$$

Total de etiquetas usadas: 10,543

Perdidas de material de empaque: 463

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = \left(\frac{463}{10,543} \right) * 100 = 4.39 \%$$

*Se realizó el mismo procedimiento para calcular el porcentaje de pérdida por lote de producción para el resto de material de empaque usado en línea de producción: envases, sellos, tapones, instructivos, porta-instructivos y cajas.

- o. Balance de masa realizado a un lote de producción del herbicida liquido en línea de producción actual:

Para el lote No. 45 se tienen los siguientes datos:

Volumen formulado del herbicida [Producción + Acumulación]= 25,190.72 Litros

Producto envasado Línea No. 1= 12,204 Litros

Producto envasado Línea No. 2= 2,750 Litros

Producto envasado Línea No. 3= 8,700 Litros

Producto envasado Línea No. 1A= 900 Litros

$$\text{Herbicida envasado (L)} = \text{Linea 1} + \text{Linea 2} + \text{Linea 3} + \text{Linea 1A} \quad (\text{Ecuación No. 19})$$

$$\text{Herbicida envasado (L)} = 12,204 + 2,750 + 8,700 + 900 = 24,554 \text{ Litros}$$

Se conoce la cantidad de producto envasado de más o menos por litro de producto envasado, que en promedio para los distintos lotes trabajados fue de -8.61 mL/L

$$\text{Herbicida no envasado} = \text{Total volumen envasado (L)} * [-8.61 \text{ mL/L}] \text{ (Ecuación No. 20)}$$

$$\text{Herbicida no envasado} = (24,554 \text{ L}) * \left[-8.61 \frac{\text{mL}}{\text{L}}\right] = -211,409.94 \text{ mL} * \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}\right)$$

$$\text{Herbicida no envasado} = -211.41 \text{ L}$$

Y finalmente se tiene:

$$\text{Acumulación} = \text{Volumen formulado} - \text{Herbicida envasado} + \text{Herbicida no envasado} \quad \text{(Ecuación No. 21)}$$

$$\text{Acumulación} = (25,190.72 \text{ L}) - (24,554 \text{ L}) + (211.41 \text{ L}) = 848.13 \text{ Litros}$$

*De la misma forma se realizó el cálculo del balance de masa para el resto de lotes de producción trabajados en el análisis (9).

A continuación se presentan los cálculos para el área económica del proyecto, determinación de la inversión inicial y estimación de los costos de operar la nueva línea de envasado para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos.

- p. Cálculo del costo total de la etiquetadora automática envolvente (EAE-1) considerando que el equipo es importado desde México:

Costo Ex Works (Puesto en fabrica: Nuevo León, México): US \$ 14,535.00

Los valores que se presentan a continuación se obtuvieron de una cotización realizada para la importación terrestre del equipo desde México hasta el departamento de Guatemala, considerando el volumen del equipo:

Flete terrestre: US\$ 575.00

Despacho importación: US\$ 220.00

Manejo: US\$ 90.00

Documentación: US\$ 25.00

Precio Pre – Total: Costo EW + Flete terrestre + Despacho importación + manejo + documentación
(Ecuación No. 22)

Precio Pre – Total: US\$14,535 + (US\$ 575.00) + (US\$ 220.00) + (US\$ 90.00) + (US\$ 25.00)

Precio Pre – Total: US\$ 15,445.00

IVA sobre Precio Pre-Total: 12%

Trámite aduanal de Importación en Aduana de Tecún Umán: US\$146.76 (Q 1,500.00)

Precio Total: (Precio Pre – Total) * (1.12) + Trámite aduanal (Ecuación No. 23)

Precio Total: (US\$ 15,445.00) * (1.12) + US\$146.76

Precio Total: (US\$ 17,445.16)

Tipo de cambio trabajado: Q 7.84 por un US\$

Precio Total (Q): (US\$ 17,445.16) * (Q 7.84/US\$)

Precio Total: (Q 136,694.55)

De igual forma se procedió en el cálculo del costo de la llenadora, taponadora, selladora de inducción, mesas giratorias (acumulación y alimentación) y medidor de flujo considerando el país de donde se importó el producto.

q. Cálculo del costo total de equipos, tanque de almacenamiento y accesorios necesarios para nueva línea de envasado:

Costo Total: Costo_{Tanque} + Costo_{Llenadora} + Costo_{Taponadora} + Costo_{Selladora} + Costo_{Etiquetadora}
+ Costo_{Mesas giratorias} + Costo_{Codificación} + Costo_{Medidor}

(Ecuación No. 24)

Costo Total: Q 21,681.06 + Q 142,741.82 + Q32,234.65 + Q66,310.72 + Q136,694.55 + Q35,093.18
+ Q36,137.52 + Q28,223.81 + Q 6,523.79

Costo Total: Q 505,641.10

- r. Cálculo del costo de instalación eléctrica, de tuberías, accesorios necesarios, y de imprevistos para nueva línea de envasado:

Se asumió un porcentaje del 5% respecto al costo total de línea de envasado:

$$\text{Costo Instalación eléctrica y tuberías: } Q 505,641.10 * 3\% = Q 15,169.23$$

De imprevistos se tomo un valor del 5% respecto al costo total de línea de envasado:

$$\text{Imprevistos: } Q 505,641.10 * 5\% = Q 25,282.05$$

- s. Cálculo de la inversión inicial necesaria para el montaje de línea completa de envasado de herbicida liquido en presentación de un litro en futuras instalaciones de planta formuladora de agroquímicos:

$$\text{Inversión inicial} = \text{Costo total línea} + \text{Costo de instalación} + \text{Imprevistos} \quad (\text{Ecuación No. 25})$$

Costo total de la línea de envasado: Q 505,641.10

Costos de instalación: Q 15,169.23

Imprevistos: Q 25,282.05

$$\text{Inversión inicial} = Q 505,641.10 + Q 15,169.23 + Q 25,282.05$$

$$\text{Inversión inicial} = Q 546,092.39$$

- t. Cálculo del costo unitario de energía eléctrica de acuerdo a la producción diaria estimada de envases de herbicida de un litro para línea propuesta de envasado:

Producción estimada: 21,600 envases diarios

Consumo energético diario de la línea (kW-h/día): 105.07

Costo del kW-h en Escuintla (Q/kW-h): 1.927

$$\text{Consumo energético por unidad} = \frac{(\text{Consumo energetico diario})}{\text{Unidades por día}} \quad (\text{Ecuación No. 26})$$

$$\text{Consumo energético por unidad} = \frac{(105.07 \text{ kW} - \text{h/día})}{21,600 \text{ unidades/día}}$$

$$\text{Consumo energético por unidad} = 0.004864 \text{ kW} - \text{h/unidad}$$

$$\text{Costo energético por unidad} = (\text{Consumo energético por unidad}) * (\text{Costo del kW} - \text{h})$$

(Ecuación No. 27)

$$\text{Costo energético por unidad} = (0.004864 \text{ kW} - \text{h/unidad}) * (Q 1.927/\text{kW} - \text{h})$$

$$\text{Costo energético por unidad} = Q 0.00937/\text{unidad}$$

***De igual forma se procedió en el cálculo del costo unitario de energía eléctrica considerando que se cuenta con dos líneas para la producción de la presentación de un litro de producto.

u. Cálculo del ahorro anual por reducción del consumo eléctrico en la línea:

Costo por línea actual: Q 0.03089/unidad

Costo total por uso de dos líneas actuales: Q 0.06178/unidad

Línea propuesta: Q 0.00937/unidad

Unidades anuales: 1, 926,000

$$\text{Ahorro anual por energía} = (\text{Unidades anuales})(\text{Costo}_{\text{unitario actual}} - \text{Costo}_{\text{unitario propuesto}})$$

(Ecuación No. 28)

$$\text{Ahorro anual por energía} = (1,926,000)(Q 0.06178/\text{unidad} - Q 0.00937/\text{unidad})$$

$$\text{Ahorro anual por energía} = (1,926,000)(Q 0.05241/\text{unidad})$$

$$\text{Ahorro anual por energía} = Q 100,941.66$$

***De la misma forma se cálculo el ahorro anual por reducción de consumo eléctrico para cada año del flujo de caja, considerando un incremento en el precio del kW-h del 6% (tasa de inflación aproximada para Guatemala)

- v. Cálculo de la diferencia anual en costos por cambio de material empaque (etiquetas, tapón y sello) para el primer año:

Costo unitario por etiqueta + tapón+ sello plástico (línea actual): Q 1.05

Costo unitario etiqueta auto adherible + tapón con sello de inducción con logo (línea propuesta): Q 1.30

Unidades anuales: 1, 926,000

$$Diferencia\ unitaria_{costo\ ME} = Costo\ unitario_{línea\ actual} - Costo\ unitario_{línea\ propuesta}$$

(Ecuación No. 29)

$$Diferencia\ unitaria_{costo\ ME} = Q\ 1.05 - Q\ 1.30 = -Q\ 0.25$$

$$Diferencial\ anual = (1,926,000)(-Q0.25)$$

$$Diferencial\ anual = (-Q\ 481,500)$$

***De la misma forma se calculó la diferencia anual en costos por cambio de material de empaque para cada año del flujo de caja.

- w. Cálculo del costo anual de un operario para nueva línea propuesta de envasado de herbicida en presentación líquida:

Sueldo mensual (año 1): Q 2,144.63

Sueldo anual (año 1): Q 28,096.25

Con base en el sueldo anual se calculan las prestaciones, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 23: Porcentajes empleados para el cálculo de las prestaciones de los empleados de línea de envasado

Prestaciones	
Aguinaldo	8.33%
Bono 14	8.33%
Pasivo Laboral	8.33%
IGSS	10.67%
IRTRA	1%
INTECAP	1%
Capacitación	8.33%

$$\begin{aligned}
 \text{Aguinaldo} &= (Q\ 28,096.25) * 8.33\% = Q2,340.42 \\
 \text{Bono 14} &= (Q\ 28,096.25) * 8.33\% = Q2,340.42 \\
 \text{Pasivo Laboral} &= (Q\ 28,096.25) * 8.33\% = Q2,340.42 \\
 \text{IGSS} &= (Q\ 28,096.25) * 10.67\% = Q2,997.87 \\
 \text{IRTRA} &= (Q\ 28,096.25) * 1\% = Q280.96 \\
 \text{INTECAP} &= (Q\ 28,096.25) * 1\% = Q280.96 \\
 \text{Capacitación} &= (Q\ 28,096.25) * 8.33\% = Q2,340.42 \\
 \text{Total prestaciones} &= Q\ 12,921.47
 \end{aligned}$$

Costo anual por empleado = (Salario anual) + Prestaciones + Bonificación (Ecuación No. 30)

$$\text{Costo anual por empleado} = (Q\ 28,096.25) + Q\ 12,921.47 + Q\ 3,000 = Q44,017.72$$

***De la misma forma se cálculo el costo anual de los empleados de la línea actual, considerando horas extras trabajadas por mes.

***Es importante mencionar que se asumió que todos los operarios de la línea reciben el mismo sueldo, por trabajar los mismos periodos de tiempo.

x. Cálculo de otros ahorros por el cambio a nueva línea de envasado propuesta:

Para la línea actual se tiene:

Mantenimiento anual: Q 19,080/línea * 2 líneas = Q 38,160

Reparaciones: (Q 4,240/línea*año) * 2 líneas = Q 8, 480

Otros gastos (valor dado por Gerente de Planta): Q 7,063.21

$$\text{Gastos línea actual} = Q\ 38,160 + Q\ 8,480 + Q\ 7,063.21 = Q\ 55,293.21$$

Para la línea propuesta se estima que los gastos de mantenimiento serán alrededor del 3% de la inversión inicial al año:

$$\text{Gastos línea propuesta (mantenimiento, revisiones)} = Q\ 546,092.39 * 3\% = Q16,382.77$$

Otros ahorros = Gastos línea actual – Gastos línea propuesta (Ecuación No. 31)

$$\text{Otros ahorros} = Q 55,293.21 - Q 16,382.77 = Q 38,910.43$$

- y. Cálculo de la depreciación del equipo (inversión inicial) por el método SMARC: Sistema Modificado Acelerado de Recuperación de Costos

Se eligió un horizonte de 10 años para el cálculo de la depreciación y posterior elaboración del flujo de caja.

Las tasas de recuperación utilizadas para el cálculo son:

Tabla 24: Tasa de depreciación por año para el Método SMARC

Método SMARC	
Periodo	Tasa de recuperación
0	
1	10%
2	18%
3	14,40%
4	11,52%
5	9,22%
6	7,37%
7	6,55%
8	6,55%
9	6,55%
10	6,55%
11	3,28%

$\text{Depreciación} = (\text{Inversión inicial}) * (\text{Tasa de Recuperación SMARC})$ (Ecuación No. 32)

$\text{Valor en libros} : \text{Valor año previo} - (\text{Depreciación})$ (Ecuación No. 33)

Inversión inicial: Q 546,092.39

Para el año 1, se tiene:

$$\text{Depreciación} = (Q 546,092.39) * (10\%)$$

$$\text{Depreciación} = Q 54,609.23$$

$$\text{Valor en libros} : Q 546,092.39 - (Q 54,609.23) = Q 491,483.15$$

***De igual forma se realizó el cálculo para los años 2 al 10 de la depreciación de los equipos de la nueva línea de envasado.

G. Análisis de error

MEDIA:

- Determinación del número de cajas por unidad de tiempo promedio para la operación de llenado con el herbicida líquido en envases de un litro.

$$\text{Media} = \frac{\Sigma(\text{No.de cajas por unidad de tiempo})}{\text{Corridas realizadas}}$$

(Ecuación No. 34)

$$\begin{aligned} & \text{Media}_{\text{Op.de llenado}} \\ = & \frac{1.72 + 1.43 + 1.41 + 2.03 + 1.17 + 1.22 + 1.44 + 1.17 + 1.39 + 1.57 + 1.72 + 2.08 + 1.12 + 1.46 + 1.99}{15} \end{aligned}$$

$$\text{Media}_{\text{Op.de llenado}} = 1.574 \text{ cajas/minuto}$$

*Se realizó el mismo procedimiento para determinar el promedio de cajas por unidad de tiempo en todas las operaciones de la línea de producción.

H. Datos calculados

Tabla 25: Determinación de la capacidad del tanque en base a las dimensiones dadas por el proveedor.

Altura (m)	Diámetro (m)	Volumen (m ³)	Volumen (L)	Densidad a 20°C	Peso del producto en el tanque (kg)
3	2.24	11.82	11,822.44	1.0875	10,875

Tabla 26: Determinación del diámetro de tubería para el transporte del herbicida líquido a línea de producción

Flujo volumétrico (L/min)	Flujo volumétrico (m ³ /s)	Velocidad óptima (m/s)	Área óptima (m ²)	D óptimo (m)	D óptimo (in)	Diámetro aproximado (in)
40	0.000667	2.7844	0.0002394	0.01746	0.6874	3/4 (0.75)

Tabla 27: Velocidad mínima requerida para nueva línea de envasado

Cajas/día	Cajas/h	Envases/h	Envases/día	Envases/min
1,800	200	2,400	21,600	40

Tabla 28: Balance de masa realizado para una producción diaria estimada de 1800 cajas en nueva línea de envasado

Material de empaque	Utilizado	Porcentaje de Perdidas	Perdidas	Total
Envases cilíndricos	21,600	0.085%	18	21,618
Tapones de inducción	21,600	0.345%	74	21,674
Etiquetas	21,600	1.267%	274	21,874
Instructivos	21,600	0.085%	18	21,618
Porta Instructivos	21,600	0.085%	18	21,618
Cajas	1,800	0.046%	1	1,801

Nota: el anterior balance se realizó asumiendo una reducción mínima del 35% de las pérdidas actuales determinadas en el análisis de la situación actual.

Tabla 29: Balance de masa del herbicida formulado y envasado por 9 de horas de operación (día de trabajo) en nueva línea de producción

Producto a envasar	No. De unidades	Volumen envasado de más o menos por unidad (mL/L)	Diferencia por caja (mL)	Diferencia al día (mL)	Volumen real envasado (L)	Acumulación (L)
Herbicida líquido	21,600	-3	-36	-64,800	21,535.2	64.8

Tabla 30: Consumo diario energético por equipo de nueva línea de envasado.

Equipo	Requerimiento de Energía Eléctrica		Potencia		Horas de operación al día	Energía consumida por día de trabajo
	Voltaje	Corriente	(Watts)	(kW)		kW-h/día
Llenadora de líquidos	220 VAC	10A	2,200	2.2	9	19.8
Taponadora semiautomática	110 VAC	20 A	2,200	2.2	9	19.8
Selladora de inducción	240 V	15 A	3,600	3.6	9	32.4
Etiquetadora automática envolverte	120 VAC	15 A	1,800	1.8	9	16.2
Selladora semiautomática de cajas	115 V	3.8 A	440	0.44	9	3.96
Equipo de codificación	120 VAC	15 A	1,800	1.8	9	16.2
Mesa giratoria de acumulación	120 VAC	15 A	1,800	1.8	9	16.2
Mesa giratoria de alimentación	120 VAC	15 A	1,800	1.8	9	16.2
Compresor por uso de equipos	Potencia	15 hp	11,193.6	11.19	9	7.20
Motor de aire (De inducción trifásico)	380	30	11,400	11.4	9	7.33
<i>Consumo energético total diario (kW-h/día)</i>						155.28
<i>Consumo energético total diario (kW-h/día) considerando factor de potencia ($\varphi = 0.8276$)</i>						105.07

A continuación se presentan datos calculados del balance de masa y energía realizado para la línea actual de envasado:

Balance de masa:

Tabla 31: Balance de masa realizado a 9 lotes de producción envasados del herbicida líquido en línea de producción actual.

No.	Producto en tanque de almacenamiento			Producto formulado envasado				Total envasado (Litros) [Salida]	Cantidad de producto envasado de más o menos promedio (- 8.61 mL/L)	Acumulación (Litros)
	Lotes Formulación (Litros)	Lote Producción (Litros) [Entrada]	Lote Producción + Acumulación (Litros)	Línea 1 (Litros)	Línea 2 (Litros)	Línea 3 (Litros)	Línea 1A (Litros)			
42	8128	32569	32569	14160	13252	5160	0	32572	-280,4	277,4
	8152									
	8146									
	8143									
43	8106	24359	24636,4	14652	4970	4740	0	24362	-209,8	484,2
	8110									
	8143									
44	8136	16327	16811,2	0	12720	3600	0	16320	-140,52	631,72
	8191									
45	8177	24559	25190,72	12204	2750	8700	900	24554	-211,41	848,13
	8184									
	8198									
46	8177	16385	17233,13	6300	0	10080	0	16380	-144,31	997,43
	8208									
47	8197	24540	25537,43	16668	0	6684	1200	24552	-211,39	1196,83
	8198									
	8145									
48	8180	16412	17608,83	1600	9800	5004	0	16404	-141,24	1346,07
	8232									
49	8241	24748	26094,07	9372	8200	7200	0	24772	-213,29	1535,35
	8260									
	8247									
50	8247	24784	26319,35	7272	12300	5208	0	24780	-213,36	1752,71
	8264									
	8273									

Tabla 32: Balance de masa realizado para la operación de envasado y porcentaje promedio de pérdidas

Material de empaque:			Envases	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	5,162	5,160	2	0.04
43	5,948	5,940	8	0.13
44	3,602	3,600	2	0.06
45	8,713	8,700	13	0.15
46	10,095	10,080	15	0.15
47	6,687	6,684	3	0.04
48	5,013	5,004	9	0.18
49	7,213	7,200	13	0.18
50	5,220	5,208	12	0.23
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				0.13

Tabla 33: Balance de masa realizado para la operación de etiquetado y porcentaje promedio de pérdidas.

Material de empaque:			Etiquetas	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	5,201	5,160	41	0.79
43	6,012	5,940	72	1.20
44	3,606	3,600	6	0.17
45	8,734	8,700	34	0.39
46	10,543	10,080	463	4.39
47	6,797	6,684	113	1.66
48	5,030	5,004	26	0.52
49	7,251	7,200	51	0.70
50	5,251	5,208	43	0.82
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				1.18

Tabla 34: Balance de masa realizado para la operación de sellado (por conducción) y porcentaje promedio de pérdidas.

Material de empaque:			Sellos	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	5,184	5,160	24	0.46
43	6,004	5,940	64	1.07
44	3,607	3,600	7	0.19
45	8,761	8,700	61	0.70
46	10,110	10,080	30	0.30
47	6,727	6,684	43	0.64
48	5,022	5,004	18	0.36
49	7,237	7,200	37	0.51
50	5,235	5,208	27	0.52
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				0.53

Tabla 35: Balance de masa realizado para la operación de colocación de instructivos y porcentaje promedio de pérdidas.

Material de empaque:			Instructivos y porta instructivos	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	5,166	5,160	6	0.12
43	5,950	5,940	10	0.17
44	3,603	3,600	3	0.08
45	8,722	8,700	22	0.25
46	10,084	10,080	4	0.04
47	6,695	6,684	11	0.16
48	5,011	5,004	7	0.14
49	7,206	7,200	6	0.08
50	5,213	5,208	5	0.10
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				0.13

Tabla 36: Balance de masa realizado para la operación de taponado y porcentaje promedio de pérdidas.

Material de empaque:			Tapones	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	5,163	5,160	3	0.06
43	5,950	5,940	10	0.17
44	3,600	3,600	0	0.00
45	8,705	8,700	5	0.06
46	10,084	10,080	4	0.04
47	6,690	6,684	6	0.09
48	5,022	5,004	18	0.36
49	7,237	7,200	37	0.51
50	5,232	5,208	24	0.46
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				0.19

Tabla 37: Balance de masa realizado para la operación de encajado y sellado de cajas, con el respectivo porcentaje promedio de pérdidas.

Material de empaque:			Cajas	
No. Lote	Total	Usadas	Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
42	431	430	1	0.23
43	396	395	1	0.25
44	300	300	0	0.00
45	725	725	0	0.00
46	840	840	0	0.00
47	558	557	1	0.18
48	417	417	0	0.00
49	600	600	0	0.00
50	434	434	0	0.00
Porcentaje de pérdidas promedio (%)				0.07

Tabla 38: Balance de energía de cada uno de los equipos de la línea de producción actual por día de operación

Equipo		Potencia (W)	Potencia (kW)	Horas de operación	Energía (kW-h)
Selladora de cajas		147.847	0.148	9	1.331
Balanza (Peso máximo: 60 kg)		1.035	0.001	9	0.009
Balanza (Peso máximo: 15 kg)		0.600	0.001	9	0.005
Etiquetadora		1,048.732	1.049	9	9.439
Selladora de envases		724.337	0.724	9	6.519
Llenadora de líquidos	Compresor de aire	11,193.600	11.194	9	100.742
	Motor de aire	4,195.773	4.196	9	37.762

Cálculos realizados para determinación de inversión inicial y costos de nueva línea de envasado propuesta para futuras instalaciones de producción de planta formuladora de agroquímicos:

Tabla 39: Costos de los equipos seleccionados para nueva línea de envasado de herbicida líquido

Equipo:	Costo Ex Works	Precio puesto en Guatemala		
Llenadora de líquidos	\$ 15.365,28	\$ 18.216,93	Q	142.741,82
Taponadora semiautomática	\$ 2.947,03	\$ 4.113,83	Q	32.234,65
Selladora por inducción	\$ 7.263,25	\$ 8.462,67	Q	66.310,72
Etiquetadora automática envolvente	\$ 14.535,00	\$ 17.445,16	Q	136.694,55
Mesas giratoria de alimentación	\$ 3.366,00	\$ 4.478,64	Q	35.093,18
Mesas giratoria de acumulación	\$ 3.485,00	\$ 4.611,92	Q	36.137,52
Equipo de codificación	\$ 2.635,00	\$ 3.601,96	Q	28.223,81
Medidor de flujo	\$ 685,00	\$ 798,12	Q	6.523,79
INVERSION TOTAL:	\$ 50.281,56	\$ 61.729,25	Q	483.960,04

Tabla 40: Determinación de costo total de nueva línea de envasado de herbicida líquido

Equipo:	Precio puesto en Guatemala	
Tanque de Almacenamiento de 10,000 L de capacidad	Q	21.681,06
Medidor de flujo	Q	6.523,79
Llenadora de líquidos	Q	142.741,82
Selladora por inducción	Q	66.310,72
Taponadora Semiautomática	Q	32.234,65
Mesa giratoria de alimentación	Q	35.093,18
Mesas giratoria de acumulación	Q	36.137,52
Etiquetadora automática envolvente	Q	136.694,55
Equipo de codificación	Q	28.223,81
Costo Total:	Q	505.641,10

Tabla 41: Determinación de inversión inicial necesaria para el montaje de nueva línea de envasado de herbicida líquido

Equipo:	Precio puesto en Guatemala	
Costo total de nueva línea de envasado	Q	505.641,10
Costo de instalación (Eléctrica, tuberías) [3%]	Q	15.169,23
Imprevistos (5%)	Q	25.282,05
INVERSION:	Q	546.092,39

Tabla 42: Determinación del costo unitario por consumo eléctrico en líneas de envasado.

Línea de envasado	Consumo energético diario de la línea (kW-h/día)	Unidades a producir diariamente	Costo del kW-h (Q/kW-h)	Consumo energético (kW-h/unidad)	Costo energético por unidad producida (Q/unidad)
Actual (2)	155.807	19,440	1.9270	0.0160	0.0618
Propuesta	105.07	21,600	1.9270	0.0049	0.0094

Tabla 43: Costo unitario del material empaque utilizado en línea de envasado de herbicida

Línea actual (2)			Línea propuesta		
<i>Material de empaque</i>	<i>Costo unitario (Q)</i>		<i>Material de empaque</i>	<i>Costo unitario (Q)</i>	
Etiquetas	Q	0.18	Etiquetas auto adherible	Q	0.45
Sellos	Q	0.12	Tapa + sello de inducción con logo	Q	0.85
Tapones	Q	0.75			
Total	Q	1.05	Total	Q	1.30

Tabla 44: Diferencia anual en costos por concepto de material de empaque

Año	Unidades a vender	Costo unitario diferencial	Costo extra anual
1	1,926,000	Q (0.25)	Q (481,500.00)
2	2,060,820	Q (0.25)	Q (515,205.00)
3	2,205,077	Q (0.25)	Q (551,269.35)
4	2,359,433	Q (0.25)	Q (589,858.20)
5	2,524,593	Q (0.25)	Q (631,148.28)
6	2,701,315	Q (0.25)	Q (675,328.66)
7	2,890,407	Q (0.25)	Q (722,601.66)
8	3,092,735	Q (0.25)	Q (773,183.78)
9	3,309,227	Q (0.25)	Q (827,306.65)
10	3,540,872	Q (0.25)	Q (885,218.11)

Tabla 45: Costo anual de personal para dos líneas actuales de envasado

Personal necesario líneas actuales (2)	Sueldo mensual	Sueldo anual	Prestaciones	Bonificación	Total anual	Total anual por empleados de las dos líneas
Operario de la llenadora de líquidos (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	Q642,751.77
Operario de sellado por conducción (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	
Operario de etiquetado (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	
Operario de taponado (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	
Operario que coloca instructivos (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	
Operario que encaja (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	
Operario que codifica cajas y entarimado (2)	Q2,244.38	Q29,393.00	Q13,517.84	Q3,000.00	Q45,910.84	

Tabla 46: Costo anual estimado de mano de obra para línea de envasado propuesta

Personal necesario nueva línea	Sueldo mensual	Sueldo anual	Prestaciones	Bonificación	Total anual	Total anual por 5 empleados
Operario que provee envases a la línea	Q2,144.63	Q28,096.25	Q12,921.47	Q3,000.00	Q44,017.72	Q220,088.58
Operario que coloca tapones	Q2,144.63	Q28,096.25	Q12,921.47	Q3,000.00	Q44,017.72	
Operario que coloca instructivos	Q2,144.63	Q28,096.25	Q12,921.47	Q3,000.00	Q44,017.72	
Operario que encaja	Q2,144.63	Q28,096.25	Q12,921.47	Q3,000.00	Q44,017.72	
Operario que entarima	Q2,144.63	Q28,096.25	Q12,921.47	Q3,000.00	Q44,017.72	

Tabla 47: Determinación de otros ahorros obtenidos al cambiar a línea de envasado propuesta

Rubro	Líneas actuales (2)	Línea propuesta	Otros ahorros anuales
Mantenimiento, reparaciones	Q 55,293.21	Q16,382.77	Q 38,910.43

Tabla 48: Determinación de la depreciación del equipo por el método SMARC (Sistema Modificado Acelerado de Recuperación de Costos)

Periodo	Tasa de recuperación	Depreciación	Valor en Libros
0	Inversión inicial		Q546,092.39
1	10%	Q54,609.24	Q491,483.15
2	18%	Q98,296.63	Q393,186.52
3	14.40%	Q78,637.30	Q314,549.22
4	11.52%	Q62,909.84	Q251,639.37
5	9.22%	Q50,349.72	Q201,289.65
6	7.37%	Q40,247.01	Q161,042.65
7	6.55%	Q35,769.05	Q125,273.59
8	6.55%	Q35,769.05	Q89,504.54
9	6.55%	Q35,769.05	Q53,735.49
10	6.55%	Q35,769.05	Q17,966.44
11	3.28%	Q17,911.83	Q54.61

Tabla 49: Evaluación económica por implementación de nueva línea de envasado de herbicida

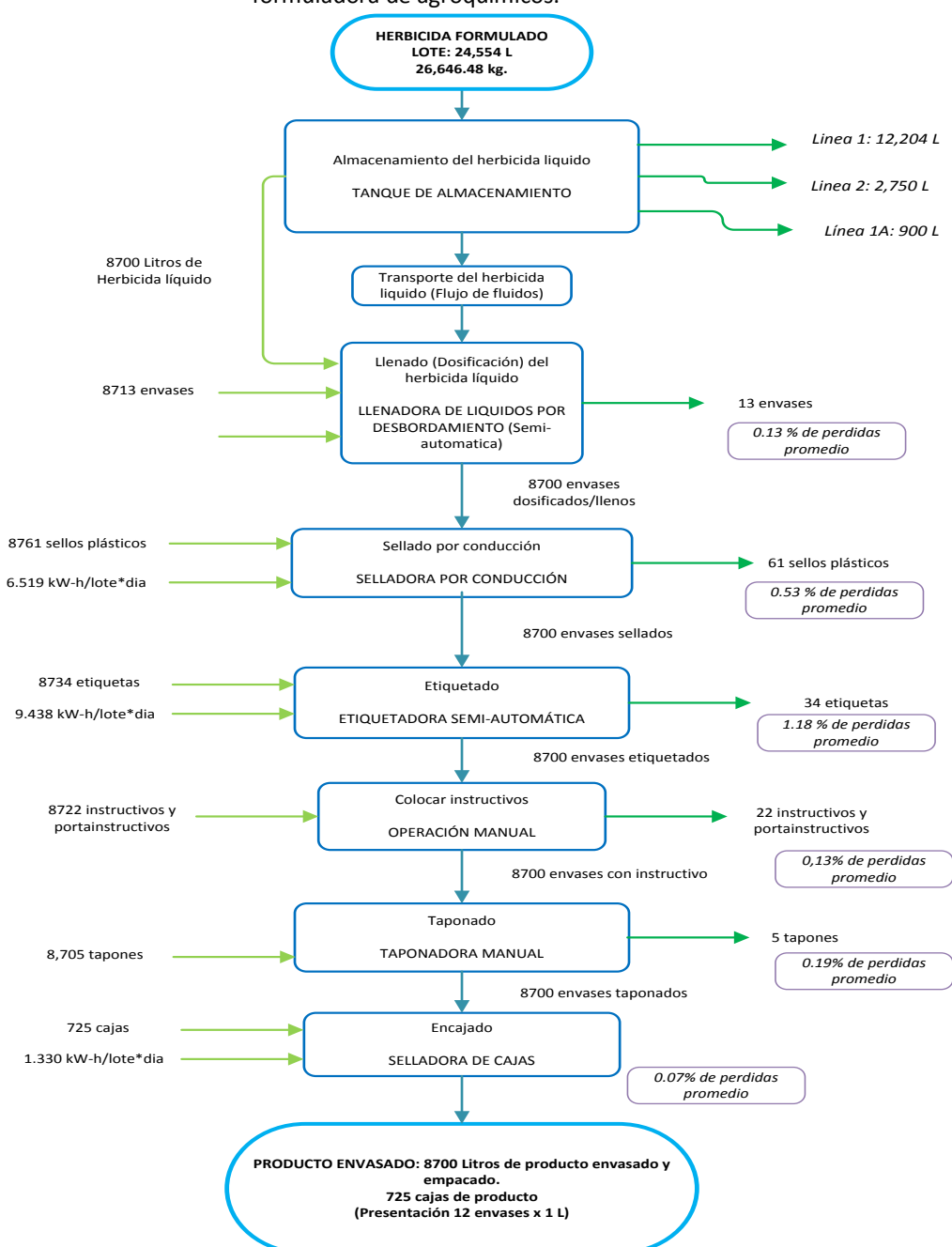
Valor presente neto	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Periodo de Recuperación
Q633,809.89	20.4%	5-6 años

Tabla 50: Flujo de caja diferencial obtenido por sustitución de dos líneas de producción por una única línea de envasado

Unidades a producir		1,926,000	2,060,820	2,205,077	2,359,433	2,524,593	2,701,315	2,890,407	3,092,735	3,309,227	3,540,872
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Ahorros de energía eléctrica		Q 100,933,01	Q 114,478.22	Q 129,841.20	Q 60,462.12	Q 167,028.97	Q 189,444.25	Q 214,867.67	Q 243,702.91	Q 276,407,85	Q 313,501.78
(+) Ahorros de personal		Q 422,663,19	Q 441,056.48	Q 499,791.11	Q 566,454.64	Q 639,782.11	Q 658,980.52	Q 727,039.27	Q 801,671.82	Q 849,249,70	Q 883,371.67
(+) Otros ahorros		Q 38,910,43	Q 41,745.50	Q 44,786.98	Q 48,087.15	Q 51,646.15	Q 54,811.33	Q 58,731.32	Q 62,960.01	Q 67,148,28	Q 71,468.02
(+) Costos por cambio en material de empaque		Q (481,500.00)	Q (515,205.00)	Q (551,269.35)	Q (589,858.20)	Q (631,148.28)	Q (675,328.66)	Q (722,601.66)	Q (773,183.78)	Q (827,306,65)	Q (885,218.11)
(-) Depreciación		Q (54,609.24)	Q (98,296.63)	Q (78,637.30)	Q (62,909.84)	Q (50,349.72)	Q (40,247.01)	Q (35,769.05)	Q (35,769.05)	Q (35,769.05)	Q (35,769.05)
Utilidad antes de impuestos		Q 26,397.40	Q (16,221.43)	Q 44,512.63	Q 22,235.86	Q 176,959.23	Q 187,660.44	Q 242,267.55	Q 299,381.92	Q 329,730.13	Q 347,354.31
(-) Impuestos (31%)		Q (8,183.19)	Q 5,028.64	Q (13,798.92)	Q (6,893.12)	Q (54,857.36)	Q (58,174.74)	Q (75,102.94)	Q (92,808.39)	Q (102,216.34)	Q (107,679.84)
Utilidad neta		Q 18,214.20	Q (11,192.78)	Q 30,713.72	Q 15,342.75	Q 122,101.87	Q 129,485.70	Q 167,164.61	Q 206,573.52	Q 227,513.79	Q 239,674.48
(+) Depreciación		Q 54,609.24	Q 98,296.63	Q 78,637.30	Q 62,909.84	Q 50,349.72	Q 40,247.01	Q 35,769.05	Q 35,769.05	Q 35,769.05	Q 35,769.05
(-) Inversión	Q (546,092.39)										
Flujo de caja	Q (546,092.39)	Q 72,823.44	Q 87,103.85	Q 109,351.02	Q 78,252.59	Q 172,451.59	Q 169,732.71	Q 202,933.66	Q 242,342.57	Q 263,282.84	Q 275,443.53

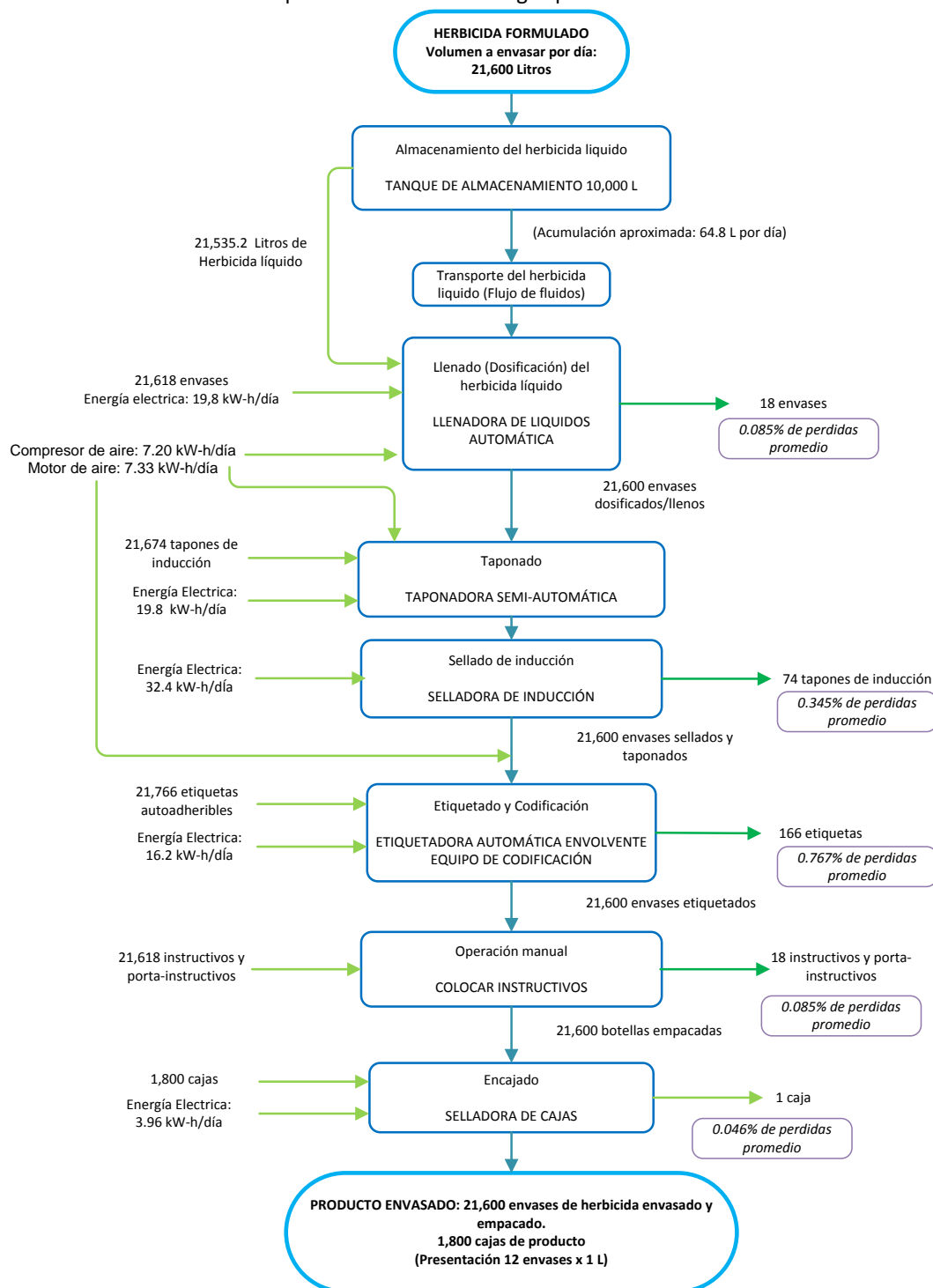
I. Diagramas

Figura 16: Diagrama de entradas y salidas de línea de producción que se trabaja actualmente en planta formuladora de agroquímicos.



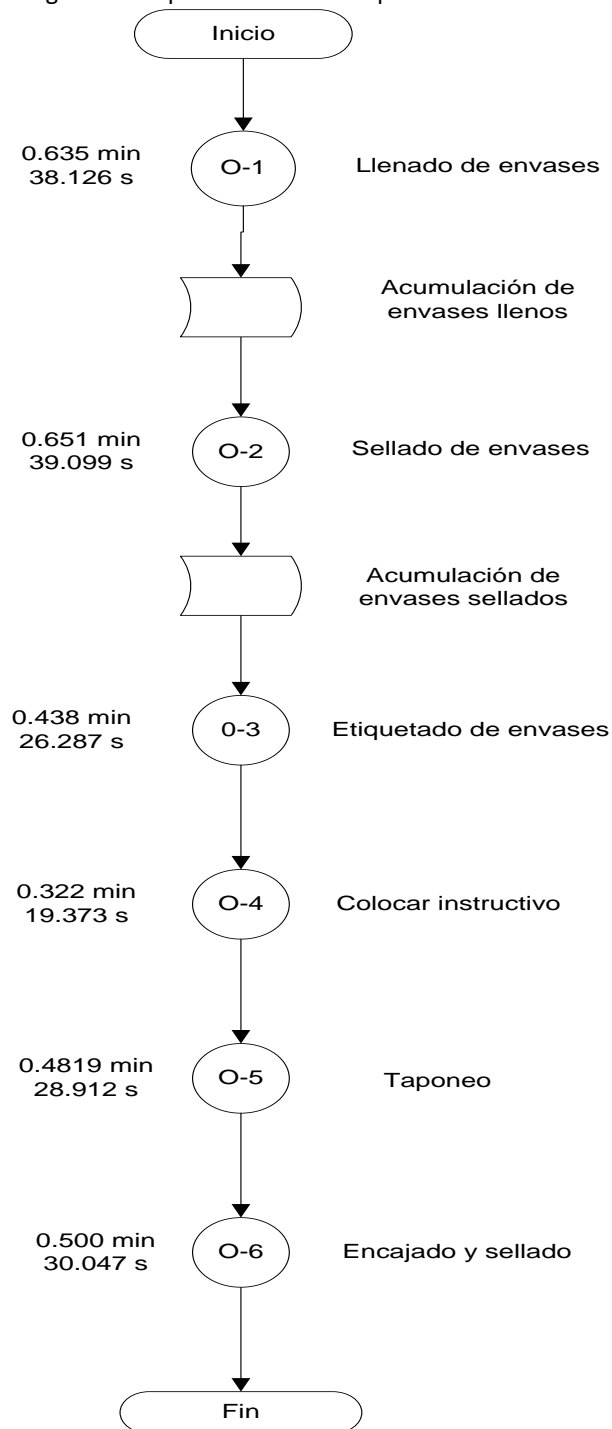
Nota: El diagrama previamente mostrado se realizó para uno de los lotes analizados (Lote No. 45) según datos proporcionados por la empresa. Se presentan además porcentaje promedio de pérdidas para el material de empaque.

Figura 17: Diagrama de entradas y salidas de línea de producción propuesta para nuevas instalaciones de planta formuladora de agroquímicos



J. Análisis de la situación actual

Figura 18: Diagrama de operación con su respectivo análisis de tiempos



No. De Operaciones	6
Tiempo total:	3.031 min
	181.848 s
Unidad	Caja
Contiene:	12 envases

Tabla 51: Descripción de las 6 operaciones trabajadas en la línea de envasado actual

Operación	Descripción
Llenado de envases O-1	Incluye colocación de envases, llenado, limpieza y retiro de los envases llenos
Sellado de envases O-2	Incluye pre-alineación, colocar sellos plásticos en el envase, colocar envases bajo selladora, sellar y retirar envases
Etiquetado O-3	Incluye tomar envase, etiquetado y pasarlo a otra mesa intermedia
Colocar instructivos O-4	Incluye tomar grupo de instructivos y colocar en cada envase
Taponeado O-5	Incluye tomar grupo de tapones, colocar en un grupo de envases y taponeo con taponadora manual
Encajado O-6	Incluye armado de la caja, colocar envases, llenar caja y sellar, y finalmente el entarimado

Tabla 52: Análisis de tiempos determinado para cada una de las operaciones de la línea actual

Característica	Operación						<i>Tiempo total requerido para realizar las 6 operaciones y obtener una caja sellada y entarimada de producto</i>
	Llenado	Sellado	Etiquetado	Colocar Instructivos	Taponeado	Encajado (2)	
<i>envases/s</i>	0,32	0,31	0,46	0,62	0,42		
<i>envases/min</i>	18,89	18,41	27,39	37,16	24,90		
<i>cajas/s</i>	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	
<i>cajas/min</i>	1,57	1,53	2,28	3,10	2,08	2,00	
<i>cajas/h</i>	94,42	92,07	136,95	185,82	124,51	119,81	
<i>min/caja</i>	0,64	0,65	0,44	0,32	0,48	0,50	
<i>s/caja</i>	38,13	39,10	26,29	19,37	28,91	30,05	181,848

Tabla 53: Comparación entre operaciones para determinar el cuello de botella del proceso

Comparación						
Característica	Llenado	Sellado	Etiquetado	Colocar Instructivos	Taponado	Encajado (2)
Envases/s	1,026					
		0,975				
		0,672	1,487			
			0,737	1,357		
				1,492	0,67	
Cajas/h	1,026					
		0,975				
		0,672	1,487			
			0,737	1,357		
				1,492	0,67	
				1,039	0,962	

K. Toma de tiempos para el análisis de la situación actual

Tabla 54: Análisis de tiempos realizado al llenado de envases en la línea actual trabajada.

Operación:			Llenado de envases (8 envases)							
No.	tiempo (min)	tiempo (s)	No. De llenadas	Total de envases	Envases/s	Envases/min	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	5,012	300,72	13	104	0,346	20,75	0,029	1,729	103,751	0,578
2	5,096	305,78	11	88	0,288	17,267	0,024	1,439	86,337	0,695
3	5,171	310,25	11	88	0,284	17,019	0,024	1,418	85,093	0,705
4	5,238	314,27	16	128	0,407	24,438	0,034	2,036	122,188	0,491
5	5,091	305,45	9	72	0,236	14,143	0,02	1,179	70,715	0,848
6	5,432	325,9	10	80	0,245	14,728	0,02	1,227	73,642	0,815
7	5,082	304,92	11	88	0,289	17,316	0,024	1,443	86,58	0,693
8	5,096	305,75	9	72	0,235	14,129	0,02	1,177	70,646	0,849
9	5,245	314,72	11	88	0,28	16,777	0,023	1,398	83,884	0,715
10	5,096	305,75	12	96	0,314	18,839	0,026	1,57	94,195	0,637
11	5,02	301,18	13	104	0,345	20,719	0,029	1,727	103,593	0,579
12	5,122	307,31	16	128	0,417	24,991	0,035	2,083	124,955	0,48
13	5,034	302,03	13	104	0,344	20,66	0,029	1,722	103,301	0,581
14	5,016	300,97	11	88	0,292	17,543	0,024	1,462	87,716	0,684
15	5,011	300,63	15	120	0,399	23,95	0,033	1,996	119,749	0,501

Tabla 55: Análisis de tiempo realizado a la operación de sellado por conducción en la línea actual trabajada (Cada sellada corresponde a 9 envases)

No.	tiempo (min)	tiempo (s)	No. De Selladas	Total de envases	Envases/s	Envases/min	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	4,892	293,5	13	117	0,399	23,918	0,033	1,993	119,6	0,502
2	5,042	302,54	12	108	0,357	21,419	0,03	1,785	107,1	0,56
3	5,007	300,4	8	72	0,24	14,381	0,02	1,198	71,9	0,834
4	5,129	307,72	7	63	0,205	12,284	0,017	1,024	61,42	0,977
5	5,124	307,41	10	90	0,293	17,566	0,024	1,464	87,83	0,683
6	5,078	304,69	11	99	0,325	19,495	0,027	1,625	97,48	0,616
7	5,542	332,53	11	99	0,298	17,863	0,025	1,489	89,32	0,672
8	5,045	302,72	9	81	0,268	16,054	0,022	1,338	80,27	0,747
9	5,404	324,23	7	63	0,194	11,658	0,016	0,972	58,29	1,029
10	5,329	319,72	12	108	0,338	20,268	0,028	1,689	101,3	0,592
11	5,18	310,79	13	117	0,376	22,588	0,031	1,882	112,9	0,531
12	5,132	307,94	11	99	0,321	19,289	0,027	1,607	96,45	0,622
13	5,176	310,56	13	117	0,377	22,604	0,031	1,884	113	0,531

Tabla 56: Análisis de tiempos realizado a la operación de etiquetado en la línea actual.

No.	No. De envases	tiempo (s)	Tiempo (min)	Envases/s	Envases/min	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	100	213,280	3,555	0,469	28,132	0,039	2,344	140,660	0,427
2	104	307,780	5,130	0,338	20,274	0,028	1,690	101,371	0,592
3	52	104,780	1,746	0,496	29,777	0,041	2,481	148,883	0,403
4	70	141,410	2,357	0,495	29,701	0,041	2,475	148,504	0,404
5	132	304,280	5,071	0,434	26,029	0,036	2,169	130,143	0,461
6	137	300,000	5,000	0,457	27,400	0,038	2,283	137,000	0,438
7	120	300,000	5,000	0,400	24,000	0,033	2,000	120,000	0,500
8	71	168,070	2,801	0,422	25,347	0,035	2,112	126,733	0,473
9	154	309,370	5,156	0,498	29,867	0,041	2,489	149,336	0,402
10	167	300,310	5,005	0,556	33,366	0,046	2,780	166,828	0,360

Tabla 57: Análisis de tiempos realizado para la operación de colocar el instructivo al envase

No.	No. De envases	tiempo (s)	Envases/s	Envases/min	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	12	19,83	0,605	36,309	0,05	3,026	181,543	0,331
2	12	17,01	0,705	42,328	0,059	3,527	211,64	0,284
3	12	12,98	0,924	55,47	0,077	4,622	277,35	0,216
4	12	19	0,632	37,895	0,053	3,158	189,474	0,317
5	12	13,94	0,861	51,65	0,072	4,304	258,25	0,232
6	12	27,29	0,44	26,383	0,037	2,199	131,916	0,455
7	12	17,42	0,689	41,332	0,057	3,444	206,659	0,29
8	12	20,62	0,582	34,918	0,048	2,91	174,588	0,344
9	120	301,18	0,398	23,906	0,033	1,992	119,53	0,502
10	108	302,03	0,358	21,455	0,03	1,788	107,274	0,559

Tabla 58: Análisis de tiempos realizado a la operación de taponeo en la línea actual.

No.	No. De envases	tiempo (s)	Envases/s	Envases/min	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	13	27,3	0,476	28,571	0,04	2,381	142,857	0,42
2	8	16,01	0,5	29,981	0,042	2,498	149,906	0,4
3	12	32,42	0,37	22,209	0,031	1,851	111,043	0,54
4	12	28,84	0,416	24,965	0,035	2,08	124,827	0,481
5	12	42,34	0,283	17,005	0,024	1,417	85,026	0,706
6	12	28,29	0,424	25,451	0,035	2,121	127,253	0,472
7	109	306,22	0,356	21,357	0,03	1,78	106,786	0,562
8	143	353,06	0,405	24,302	0,034	2,025	121,509	0,494
9	96	258,3	0,372	22,3	0,031	1,858	111,498	0,538
10	151	334,18	0,452	27,111	0,038	2,259	135,556	0,443
11	161	314,91	0,511	30,675	0,043	2,556	153,377	0,391

*Tabla 59: Análisis de tiempos determinado a la operación de encajado.
Presentación trabajada: 12 x1 L*

No.	tiempo (s)	Tiempo (min)	No. De cajas	Cajas/s	Cajas/min	Cajas/h	min/caja
1	300,43	5,007	8	0,027	1,598	95,863	0,626
2	309,9	5,165	10	0,032	1,936	116,167	0,517
3	304,46	5,074	9	0,03	1,774	106,418	0,564
4	317,21	5,287	11	0,035	2,081	124,838	0,481
5	300,46	5,008	13	0,043	2,596	155,761	0,385

L. Cronograma

Descripción de actividades		MAYO			JUNIO					JULIO				AGOSTO					SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				
		3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	
Etapa Preliminar	Elaboración de protocolo: determinación de objetivos y metodología a seguir.	■																													
	Entrega de protocolo	■																													
	Recolección de información (Todas las fuentes: libros, internet, normas, instituciones, etc.)		■	■	■																										
	Revisión de información: fuentes bibliográficas, internet, organizaciones, etc.					■	■	■	■																						
	Elaboración de antecedentes (borrador)							■	■	■	■	■	■																		
	Visita a instalaciones actuales: análisis de la situación actual													■	■	■															
	Cálculos para el análisis de la situación actual															■	■														
	Realización de análisis y diagrama de tiempos																	■													
	Definir bases de diseño de la línea de envasado																		■												
Etapa Análisis del Proceso	Obtener diagrama de flujo del proceso y determinación de etapas principales																		■												
	Mediciones experimentales para obtener balance de masa y energía de línea actual																			■	■										

Descripción de actividades		MAYO			JUNIO					JULIO				AGOSTO					SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE							
		3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta				
<i>Semana a trabajar</i>		3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Etapa de Diseño	Realizar diseño de proceso de envasado																																	
	Realizar balance de masa y energía para la nueva línea de envasado																																	
	Cotización de equipos en base a especificaciones del producto dadas por la empresa																																	
	Selección del equipo, principal y auxiliar, necesario para la línea																																	
	Elaboración de diseño final de distribución de la línea considerando dimensiones de equipos seleccionados y cotizados																																	
	Determinación del costo de inversión inicial y costos generales																																	
	Estudio financiero																																	
Etapa Final	Redacción de borrador de informe final																																	
	Revisión por parte del asesor																																	
	Realizar correcciones al informe																																	
	Entrega de informe final																																	

