

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Diseño de un proceso industrial con un caudal de 40,000 litros por año para la elaboración de acaricida con fluazurón 2.5% como principio activo en el control de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*

Erick Macario Fiallos Ramírez

Ingeniería Química

Trabajo de Fin de Carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Químico

Quito, veintiocho de abril de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Diseño de un proceso industrial con un caudal de 40,000 litros por año para la elaboración de acaricida con fluazurón 2.5% como principio activo en el control de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*

Erick Macario Fiallos Ramírez

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca Ashton, PhD.

Quito, veintiocho de abril de 2020

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Erick Macario Fiallos Ramírez

Código: 00130455

Cédula de identidad: 1718944653

Lugar y fecha: Quito, abril de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En este proyecto se diseñó una planta de producción de 40,000 litros por año de acaricida con fluazurón al 2.5% como componente activo para el control integrado de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Se tomó en cuenta la demanda del ganado bovino de Ecuador puesto que es el sector más afectado por el ectoparásito y su control comprende una inversión, a la que varios pequeños ganaderos no tienen acceso. Para esto, se seleccionó un proceso de 4 etapas con una duración de 15 horas para la elaboración de acaricida: pretratamiento, precalentamiento, mezcla con calentamiento y enfriamiento. Este proceso contará con equipos de acero al carbono que comprenden: 6 tanques de almacenamiento, 2 tanques de agitación, 1 caldero, 1 tanque de precalentamiento y 1 tanque de enfriamiento. La inversión total para el montaje de la planta será de USD 300,000 con un tiempo de recuperación de inversión de 2.1 años. También, se realizó un análisis de modo de falla y efecto (FMEA), así como un check-list diario de operaciones.

Palabras clave: fluazurón, acaricida, garrapata, ganado bovino, planta industrial, proceso industrial.

ABSTRACT

An acaricide production plant of 40,000 liters per year with fluzuron 2.5% as an active component was designed for the integrated control of the *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* tick. The demand of cattle in Ecuador was taken into account since it is the productive sector which is most affected by the ectoparasite and its control implies an investment to which many small farmers cannot afford. For this reason, a 4-stage process with a duration of 15 hours was designed for the production of acaricide: pre-treatment, pre-heating, heated-mixing and cooling. This process will have 6 storage tanks, 2 agitation tanks, 1 pre-heating tank and 1 cooling tank with all of them made of commercial steel. The total investment for the assembly of the plant will be USD 300,000 with an investment payback time of 2.1 years. Also, a failure mode and effect analysis (FMEA) was made as well as a daily operations checklist.

Key words: fluzuron, acaricide, tick, cattle, industrial plant, industrial process.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	Introducción	13
1.1.	Antecedentes	13
1.2.	Justificación	14
1.3.	Objetivos	15
1.4.	Resultados esperados	15
2.	Bases del diseño	16
2.1.	Descripción del producto	16
2.2.	Terminología especializada	16
2.3.	Materias primas	17
2.4.	Limitaciones y normas	19
2.4.1.	Limitaciones Gubernamentales.	19
2.4.2.	Limitaciones Climatológicas.	21
2.5.	Descripción del proceso	21
2.5.1.	Diagrama de bloque	21
2.5.2.	Diferencia entre componentes activos	22
3.	Diseño del proceso	24
3.1.	Balance de masa	24
3.2.	Balance energía	25
3.3.	Diagrama de flujo	27
4.	Diseño de la planta	29
4.1.	Dimensionamiento de equipos	29

	8
4.2. Análisis económico	31
4.2.1. Inversión total	31
4.2.2. Ingresos	32
4.2.3. Tiempo de recuperación de inversión	33
5. Plan de seguridad	34
5.1. Check-list para operación diaria	34
5.2. Análisis de Modo de Falla y Efecto (FMEA)	35
6. Conclusiones	37
7. Referencias bibliográficas	39
Anexos	43
Anexo A: Metodología	43
A.1 Balance de masa	43
A.2 Balance de energía	44
A.3 Dimensionamiento de equipos	44
A.4 Estimación de costos para la planta	51
A.5 Análisis económico	52
A.6 Plan de seguridad	55
Anexo B: Dimensionamiento de Equipos	58
B.1 Balance de Masa	58
B.2 Tanques de almacenamiento	59
B.3 Tanques de agitación	67
B.4 Tanques de calentamiento	72
B.5 Caldera	75

Anexo C: Análisis Económico	76
C.1 Tanques de almacenamiento	76
C.2 Mezcladoras	76
C.3 Caldera	77
C.4 Método factorial detallado	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proveedores y precios de materias primas.....	19
Tabla 2. Tabla comparativa entre diferentes componentes activos.	22
Tabla 3. Resumen de consumo energético y balance de energía de la planta	25
Tabla 4. Especificaciones para tanques de almacenamiento	29
Tabla 5. Especificaciones para mezcladoras y tanque de calentamiento	29
Tabla 6. Especificaciones energéticas para caldera de alta presión	30
Tabla 7. Resumen de costos de equipos para la planta.....	31
Tabla 8. Costos de producción y planta.....	31
Tabla 9. Inversión total para la producción de acaricida.....	32
Tabla 10. Ingresos mensuales para la producción de acaricida.....	32
Tabla 11. Tiempo de recuperación de inversión.....	33
Tabla 12. Check-list de seguridad para operación diaria.....	34
Tabla 13. Tabla de riesgos FMEA.....	35
Tabla 14. Tabla de acciones recomendadas FMEA.	36
Tabla 15. Factores detallados para proceso con fluidos.	51
Tabla 16. Factor de materiales.....	51
Tabla 17. Protocolo para tabla de riesgos FMEA.....	55
Tabla 18. Protocolo para tabla de acciones recomendadas FMEA	55
Tabla 19. Formulación de acaricida para elaboración de acaricida con fluazurón como componente activo.....	58
Tabla 20. Balance de masa para producción de acaricida	58
Tabla 21. Costos preliminares para los tanques de almacenamiento en USD.....	76
Tabla 22. Costos preliminares para tanques de agitación en USD.....	76
Tabla 23. Costos preliminares para caldera en USD	77

Tabla 24. Costos para equipos para planta de tratamiento de acaricida en USD 77

Tabla 25. Balance económico para planta de tratamiento de acaricida en USD 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque para la producción de acaricida	21
Figura 2. Balance de masa para producción de acaricida.....	24
Figura 3. Balance de energía para producción de acaricida.	25
Figura 4. Diagrama de flujo de la planta para producción de acaricida	27
Figura 5. Arreglo tentativo para la planta.....	27
Figura 6. Determinación de número de potencia con el número de Reynolds.....	48
Figura 7. Número de flujo contra número de Reynolds	49

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus* es el ectoparásito que causa las mayores pérdidas económicas por parasitación, pérdidas de peso y muerte en el ganado vacuno. Afecta entre 32 a 46 millones de dólares anuales en países andinos [1] y se extiende hasta 3,200 millones de dólares anuales en países del trópico [2]. Adicionalmente, las garrapatas son una fuente de enfermedades debido a que aumentan el riesgo de transmisión de infecciones agudas o crónicas por medio de virus, bacterias, rickettsias y protozoos [3]. Razones por las cuales, el control integral de la garrapata consiste en reducir su posible expansión de los animales de granja a mascotas domésticas [4] e inclusive a humanos.

Más conocida como *garrapata común del ganado*, esta especie ha pasado de ser estacional a permanente debido al calentamiento global [5], siendo su principal tiempo de reproducción desde febrero a junio por las condiciones de humedad (mayor al 60%,) temperatura (sobre los 10 °C) [6], precipitaciones mayores a (2,000 mm por año) [7] y altitud (idealmente zonas elevadas) [8]. Estos parásitos se alimentan de su huésped y se desarrollan en tres estadios: larva, ninfa y adulto, donde la principal diferencia es el número de pares de patas que tienen; el estadio de larva con tres y; ninfas y adultos con cuatro [6]. Desde el inicio del ciclo biológico, estas se fijan en su huésped alimentándose por días hasta la repleción, llegando a consumir hasta 0.26 kg en peso vivo por garrapata [3]. Los machos se alimentan hasta que se aparean con las hembras en el proceso llamado espermatogénesis [9]; seguido, las hembras fecundadas se desprenden del huésped para poner huevos en el suelo a partir de la sangre ingerida, depositando miles de ellos en un lapso de una a dos semanas [6]. Finalmente, una vez que las larvas eclosionan de los huevos, se depositan en la vegetación hasta que encuentran un huésped al cual parasitar.

1.2. Justificación

La garrapata disminuye el consumo de comida de su huésped y la producción de leche [8], forma lesiones dérmicas que están propensas a infección [10] y expone al animal a un sinnúmero de agentes virales que, sin tratamiento, pueden llevarlo a la muerte [11]. Los métodos de acción en contra del ectoparásito han desarrollado diversos agentes químicos como: las lactonas, compuestos organofosforados y las *benzoylphenyl ureas* como el fluazurón, que lidera como uno de los más eficientes al 100% a partir del catorceavo día de tratamiento, en términos de erradicación de población de hembras engordadas [2]. Si bien el tiempo de acción del fluazurón es lento, su efecto persiste hasta los 42 días [2], haciendo que se reduzcan el número de tratamientos al año. Asimismo, este no es tóxico en humanos, peces y aves, y es altamente selectivo para la garrapata [12]. A diferencia de otros componentes activos, el fluazurón es aplicado tópicamente en el dorso [13], no necesita inyecciones y requiere de un tiempo de espera de solo 42 días antes de poder consumir la carne del animal [14].

Si bien el fluazurón presenta muchos beneficios para el control integrado de la garrapata, también es uno de los métodos más costosos en el mercado ecuatoriano ; esto hace que pequeños ganaderos no puedan acceder a este tipo de control parasitario y, por ende, arriesguen su ganado generando un potencial contagio hacia animales domésticos e incluso a humanos [12], [15]. El ganado bovino es atacado en promedio por 24 garrapatas por animal [6], lo cual representa 6 kg de pérdidas en peso. La dosis recomendada del acaricida fluazurón (2.5%) es 1 ml por cada 10 kg de peso vivo [16], en otras palabras, la dosis promedio por animal sería de 40 ml cada 42 días [16]. De acuerdo al Atlas Bioenergético del Ecuador [17], existen 2,950,893 cabezas de ganado para la producción de carne; en base a esta asunción, el consumo de fluazurón al 2.5% a nivel nacional sería de 1,086,000 litros por año, y; debido a que el precio comercial por 5 litros de este acaricida es de USD 80 [18], la demanda representaría alrededor

de USD 87 millones por año. No obstante, en el mercado ecuatoriano existe un 60% de preferencia por acaricidas con fluazurón 2.5% como componente activo [19], lo que representaría 1,770,536 cabezas de ganado, de los cuales 868,000 cabezas tendrían acceso al acaricida durante todo su tratamiento anual [19]: representado en 38,057 litros por año o USD 3.1 millones.

1.3. Objetivos

Por lo anteriormente mencionado, se diseñará una planta de acaricida en base a fluazurón al 2.5% para el control integrado de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovino. Esto se realizará mediante el análisis de los efectos de la garrapata (introducción); la selección del mejor componente activo (bases del diseño); el balance de masa y energía para la planta (diseño del proceso); el dimensionamiento de equipos para la producción de 40,000 litros por año (diseño de la planta); la realización del análisis de riesgos y seguridad (plan de seguridad); y la determinación de la factibilidad entre el proceso de producción local o su importación (conclusiones).

1.4. Resultados esperados

Con el diseño de una planta para la producción local se espera reducir los costos actuales de tratamientos antiparasitarios de la garrapata con fluazurón como componente activo, alcanzar precios competitivos con los países productores de acaricida como México y Brasil, y abrir la posibilidad de que todos los pequeños ganaderos puedan adquirir métodos de control integral de garrapatas con menor número de tratamientos y al menor costo posible.

2. BASES DEL DISEÑO

2.1. Descripción del producto

El producto final consistirá en unidades de 5 litros de acaricida con fluazurón al 2.5% como componente activo en un contenedor de polietileno de alta densidad con un aspersor para aplicación externa. La dosis recomendada será de 1 ml por cada 10 kg de peso vivo, esto es, que la dosis promedio por animal será de 40ml cada 42 días [18]. El producto será de uso externo y tópico, aplicado en el dorso del animal para que el fluazurón pueda penetrar la piel y fluir en el torrente sanguíneo. La dosis está prescrita para no exceder los requerimientos establecidos por la ley en términos de límite máximo de fluazurón residual en la carne y leche de bovinos [20], [21], [22].

Una vez aplicado el acaricida sobre el ganado, el componente activo será ingerido por la garrapata activando el proceso de inhibición de la quitina [23], por lo que al momento de la eclosión de los huevos las larvas no puedan salir [24] y, en el caso de aquellas que sí, presenten deformaciones morfológicas que reduzcan su eficiencia en la espermatogénesis [25], finalizando su ciclo biológico. La ausencia de quitina en animales vertebrados [26] y la baja concentración de fluazurón hace que no sea tóxico en mamíferos, insectos, aves o peces [27], y que sea altamente específico para la garrapata [25] ya que presenta una alta tasa de objetividad en la actividad larval del ectoparásito y un modo de acción no-neurotóxico [28].

2.2. Terminología especializada

Acaricida: es un plaguicida que se utiliza para controlar, prevenir o eliminar la acción o presencia de ácaros mediante control químico.

Ectoparásito: es un organismo que vive en el exterior de otro y se benefician a expensas del huésped.

Componente/principio activo: es un ingrediente que es biológicamente activo.

Vehículo: es una sustancia química inerte que se utiliza para diluir formulaciones farmacéuticas hasta volúmenes o pesos determinados.

Excipiente: es una sustancia inerte que se utiliza para incorporar el principio activo y ayudan en el proceso de elaboración del producto.

Estabilizador: es un tipo de excipiente que ayuda a mantener unidos a los compuestos químicos en la formulación.

Selectividad: es el grado con el que un fármaco actúa sobre un sitio u objetivo determinado sobre otros.

Ninfa: etapa previa al desarrollo adulto de la garrapata. Esta se alimenta de su huésped hasta que esté lista para tornarse en adulta.

Dimensionamiento: se refiere al cálculo de dimensiones de los equipos a utilizarse para la planta.

2.3. Materias primas

Para la producción del acaricida se necesitarán materias primas que sirvan de vehículos, excipientes y estabilizadores para un mayor tiempo de uso y mayor rendimiento del principio activo.

Fluazurón: es el principio activo que necesita de un excipiente para ser activado. Es un polvo blanco con pureza mayor al 99% y no debe ser almacenado en lugares con temperatura mayores a 30 °C.

2-pirrolidona: es un líquido sin color que se solidifica a temperatura ambiente y tiene un olor característico. Es usado como solvente en fármacos veterinarios ya que son efectivos al intensificar la penetración del principio activo. Se obtiene a partir del proceso de Reppe en el

que el acetileno reacciona con formaldehído. Debe ser mantenido en contenedores herméticos protegidos de la luz y la oxidación a temperaturas menores a 20 °C. Su vida media es de un año a condiciones óptimas de almacenamiento [28].

N-metil-2-pirrolidona: es un excipiente sin color que se solidifica a temperaturas inferiores a 20 °C. Este intensifica la penetración para el principio activo y debe usarse en cantidades controladas puesto que es venenoso en caso de ingerirse. Se produce a partir de la condensación del butyrolactone con metilamina. Debe conservarse en ambientes herméticos protegidos de la luz y la oxidación. Se deben manejar en ambientes aireados porque tiende emitir vapores NO_x [28].

Benzoato bencílico: es un líquido claro, sin color y apariencia aceitosa, produce un sensación de quemazón en la lengua. A temperaturas menores a 17 °C existe como cristales claros y sin color. Es un solvente para concentraciones de 0.01-46.0% v/v que se usa principalmente como un parasitario en medicina veterinaria. Es obtenido a partir del bálsamo de especies, que son aceites destilados de plantas endémicas de Perú, o mediante la esterificación de benzoato de sodio en presencia de trietilamina. Es estable cuando se almacena en contenedores herméticos y resistentes a luz [28].

Alcohol bencílico: es un líquido claro, sin color y con apariencia aceitosa con un olor aromático. Es utilizado como un excipiente antimicrobiano con actividad óptima a pH menor a 5. Es preparado a partir de la destilación del *cloruro bencílico* mediante la reacción de Cannizzaro. Debe ser almacenado en contenedores de metal o vidrio, ambiente hermético protegido de la luz y un lugar seco [28].

Dietilenglicol monobutiléter: es un líquido sin color con olor imperceptible y un alto punto de ebullición. Es usado como solvente y estabilizador inerte para diversos usos en química. Se obtiene a partir de la reacción catalítica entre el óxido de etileno y el n-butanol [29]. Es

almacenado en botellas de plástico de alta densidad o resistentes a la luz y en ambientes aireados.

En la Tabla 1 se presentan los precios por unidad y por producción diaria de 60 litros de las materias primas a ser utilizadas. Todos los precios han sido recopilados de las páginas oficiales de los proveedores con reputación superior al 93% calificado por personas que han adquirido sus productos. Para el análisis económico, se tomará en cuenta el 40% de impuesto de importación dispuesto por la ley de impuesto a la renta [30].

Tabla 1. Proveedores y precios de materias primas.

Componente	Unidad	Proveedor	País	Precio por unidad (USD)	Precio por 60 L (USD)
Fluazurón (99%)	25 kg	Tochance	China	300.00	45.00
2-pyrrolidone-1-dodecyl (99%)	10 L	Anhui Jinao Chemical Co.	China	2.00	13.20
2-pyrrolidone-1-octyl (99%)	200 L	Qing Dao Sigma Chemical	China	4.30	13.97
N-metil-2-pyrrolidone (97%)	1 L	TengChao	China	3.19	127.00
Benzyl benzoate (99%)	1 L	Shandong Look Chemical Co.	China	8.94	14.30
Benzyl alcohol (99%)	0.1 L	Shandong Haoyao New Materials	China	2.10	12.60
Dietilenglicol monobutyleter (99%)	0.1 L	Simagchem	China	2.90	17.40

2.4. Limitaciones y normas

Para la realización de este proyecto, existen limitaciones externas que están dadas por regulaciones gubernamentales y aspectos climatológicos. Las mismas que se han tomado en cuenta con el objetivo de realizar un diseño que se adapte a estas condiciones.

2.4.1. Limitaciones Gubernamentales.

En Ecuador no existen leyes específicas respecto a la toxicidad o cantidad residual para la producción de acaricidas en base a fluazurón en carne o leche de ganado bovino, desecho o

dosis letales; sin embargo, el Estado Ecuatoriano a través de la Constitución de la República en sus artículos 13 y 400 determina que:

“las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales” (Artículo 13)

“El Estado reconoce el valor intrínseco de la agrobiodiversidad y por consiguiente, dispone que se debe precautelar su papel esencial en la soberanía alimentaria” (Artículo 400)

Por lo expuesto, estas leyes se limitan a mantener la agro-biodiversidad y la producción local de alimentos sanos; no obstante, se han tomado en cuenta las regulaciones canadienses para respetar la concentración en la formulación del acaricida. Dado que el fluazurón es administrado por el torrente sanguíneo y metabolizado por la vaca, una vez terminado su tiempo de acción de 42 días [16], hace que el consumo de carne en humanos sea seguro. [31]

En Canadá, existen limitaciones en relación al residuo de fluazurón en acaricidas. Estas están expresadas por consumo diario aceptable (ADIs, por sus siglas en inglés) a través del límite máximo de residuo en productos de carne de bovinos importados a Canadá. El ADI es calculado para asegurar el consumo saludable de carne y sus productos derivados, en el *Food and Drugs Act*, en la subsección 301 se establece que:

“el límite máximo de fluazurón en la grasa de bovinos no debe exceder los 7.0 ppm y en productos derivados de la carne no sobrepasar los 0.5 ppm, todo bajo un nivel de tolerancia de 0.1 ppm” [7], [32].

2.4.2. Limitaciones Climatológicas.

La planta estará ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas, que es una región cálida con una temperatura promedio de 22.8 °C [33], necesitará de almacenamiento con refrigeración para conservar las materias primas durante la época de calor (mayo-agosto) cuando la temperatura llega hasta los 35 °C. Esto, junto con la humedad relativa del 92% [33], representan una variable significativa para la selección de material de equipos así como la manipulación de materias primas y producto final.

2.5. Descripción del proceso

2.5.1. Diagrama de bloque

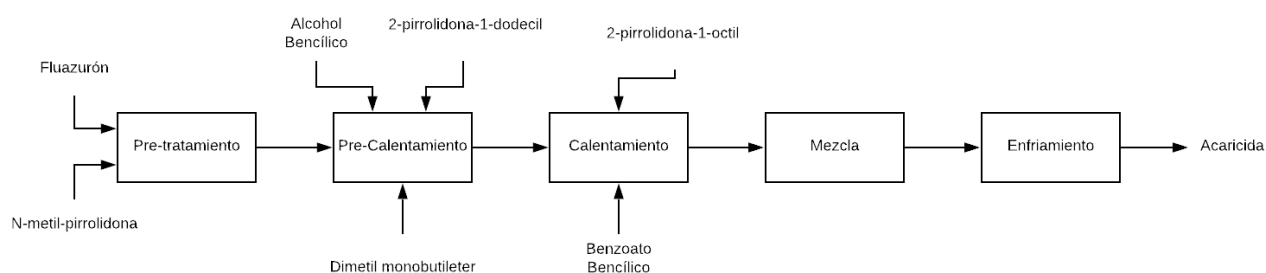


Figura 1. Diagrama de bloque para la producción de acaricida

Las operaciones unitarias en el proceso de elaboración industrial de acaricida constan de tres pasos: calentamiento, mezcla y enfriamiento [34]. Debido a que se necesita disolver el componente activo en el excipiente para su activación [2], se ha decidido establecer un punto de pre-tratamiento para que el polvo pueda ingresar de forma líquida al proceso. De la misma manera, para una mejor homogenización de la mezcla, se ha decidido establecer un punto de precalentamiento que servirá para que exista menos sesgo en los balances de materia y una

mejor aproximación en la composición final del producto. Posteriormente, se calentarán las materias primas en el mezclador para que todo pueda darse en una sola etapa de mezclado. Finalmente, una vez terminado el tiempo de mezcla, se deja enfriar el producto a temperatura ambiente en un tanque como última etapa del proceso.

2.5.2. Diferencia entre componentes activos

La diferencia entre distintos acaricidas comerciales recae en el principio activo utilizado. En la Tabla 2, se detallan los efectos de diferentes componentes activos expresados en ventajas y desventajas de reportados por Maciel et al en un estudio de 2016 en Brasil. Las eficiencias están en función del número de hembras engordadas antes y después del tratamiento [22].

Tabla 2. Tabla comparativa entre diferentes componentes activos.

Componente activo	Ventajas	Desventajas
Fluazurón (2.5%)	<ul style="list-style-type: none"> - Uso externo, puro y directo. - Rendimiento hasta del 100% - Altamente específico para garrapatas e insectos [22]. - No propenso a crear patrones de resistencia. - Menos tratamientos y reducción de costos en mantenimiento de animales. - No tóxico en mamíferos, aves o peces. 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene efecto inmediato. - Tiempo de espera de 42 días antes de usar animal para leche o carne. - Tiempo tardío de acción en ninfas y etapas prematuras [35].
Ivermectina (0.7%)	<ul style="list-style-type: none"> - Efecto casi inmediato. - Ataque directo al sistema muscular y el nervioso central [35]. - Rendimiento hasta del 90.1% 	<ul style="list-style-type: none"> - Existencia de patrones de resistencia a partir de la segunda generación [36]. - Mayor número de tratamientos. - Inyectable. - Aumenta el riesgo de transmisión patológica.
Novalutron (2.0%) + Epinomectrina (0.36%)	<ul style="list-style-type: none"> - No tóxico en mamíferos, aves y peces. - Altamente selectivo para garrapatas. - Eficiencia a menores concentraciones y mayores tiempos de acción [36]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inyectable. - Rendimiento hasta del 57.8% - Las poblaciones de garrapatas desarrollan patrones de resistencia [37]. - Aumenta el riesgo de transmisión patológica.

La mayor ventaja de fluazurón recae en la mayor eficiencia con en menor número de tratamientos [38], la reducción de patrones de resistencia [8] y la menor toxicidad [39]; en comparación con las lactonas, las cuales pierden eficiencia por creación de patrones de resistencia [16]. De esta manera, por presentar más ventajas que desventajas, la selección de fluazurón como componente activo es la más adecuada para alcanzar los resultados esperados.

3. DISEÑO DEL PROCESO

3.1. Balance de masa

El cálculo del balance de masa está basado en la producción diaria de 60 litros, estimada a partir del caudal anual explicado en la sección de Justificación y tomando en cuenta una operación de planta de 8,000 horas por año. Las composiciones finales del acaricida están expresadas en (v/v) en la Figura 2.

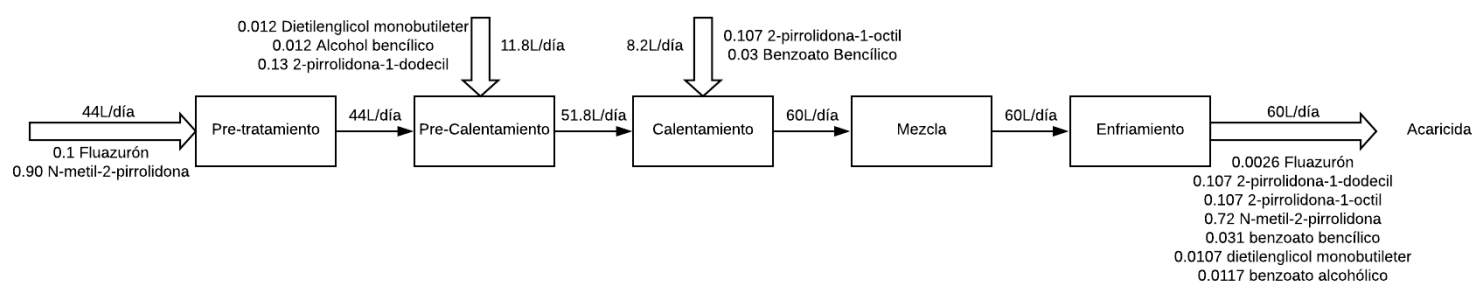


Figura 2. Balance de masa para producción de acaricida.

Los cálculos para el balance de masa fueron obtenidos a partir de las composiciones reportadas por Novartis [40] y Elanco [41] para acaricidas con fluazurón como componente activo. Las composiciones están reportadas en (g/l), por lo que se emplearon las densidades y solubilidades, para calcular en términos de flujos volumétricos para el proceso. Debido a que las densidades están en función de la temperatura, para poder obtener de una manera más precisa la composición final, se estableció el paso de precalentamiento para que todos los componentes se encuentren a la misma temperatura durante la mezcla. En la composición final del acaricida, se puede ver que el fluazurón se encuentra al 0.26% y no al 2.5%; sin embargo, este valor es en función de las fracciones de volumen, si fuera en fracciones másicas, este correspondería al 2.5%, por lo tanto, ambos son equivalentes.

3.2. Balance energía

El balance de energía toma en cuenta el trabajo y el consumo de calor de todos los equipos. La Figura 3 presenta los consumos de calor y trabajo mecánico en color rojo y la liberación de calor en color verde. La Tabla 3 resume el consumo energético de la planta.

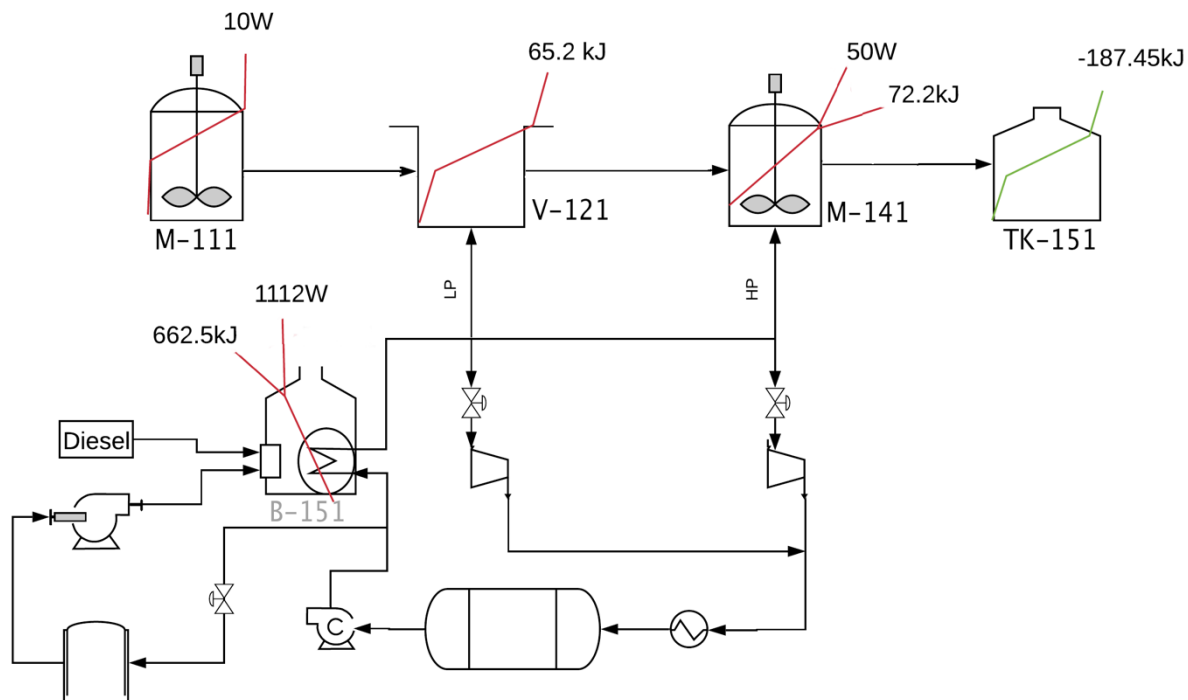


Figura 3. Balance de energía para producción de acaricida.

Tabla 3. Resumen de consumo energético y balance de energía de la planta

Consumo energético				
Equipo	Trabajo (kW)	Calor (kJ)	Tiempo de uso (h)	Consumo (kWh)
Pretratamiento	0.01	-	2.00	0.02
Pre calentamiento	-	65.2	0.34	0.01
Tanque de mezcla	0.05	72.22	0.10	0.10
Caldera	11.12	662.5	2.44	27.13
Tanque de enfriamiento	-	-187.45	10.15	-
Total	11.80	612.47	15.03	22.37

Para calcular el consumo energético de la planta, se hicieron varias asunciones con respecto a las constantes termodinámicas que no están reportadas en la literatura o las fichas de seguridad (MSDS). Por ejemplo, para calcular la capacidad calorífica específica C_p , se obtuvo el valor

ponderado con los únicos valores reportados: para N-metil-2-pirrolidona, alcohol bencílico, benzoato bencílico y dietilenglicol monobutiléter; sin embargo, como el N-metil-2-pirrolidona es el que mayor composición tiene en la mezcla (0.72), los otros valores no influyen significativamente en el comportamiento de la misma, por sus bajas concentraciones en el producto final.

Asimismo, para obtener el coeficiente de transferencia (U), se hizo una aproximación a los valores del agua ya que todos los componentes comprenden densidades parecidas entre 0.9 y 1.2 g/cm³. Dado que existe un rango para los coeficientes [850-1,700] $\frac{W}{m^2K}$ [42], se realizó una comparación entre los puntos de ebullición de todos los componentes para determinar un valor medio, el cual fue de 1,500 $\frac{W}{m^2K}$. La caldera en su consumo de energía y calor ya incluye las bombas, compresores, intercambiador y válvulas de control para todo el sistema de vapor; por lo tanto, los requerimientos energéticos están calculados en base a todo el sistema y no únicamente en la generación de vapor en los tubos de la caldera.

Finalmente, al momento de calcular el tiempo de enfriamiento, este dio un resultado de 6 horas mínimas necesarias para llegar a los 30 °C; consecuentemente, se decidió añadir dos pares de horas más, por motivos de seguridad, para evitar quemaduras al momento de vaciar el tanque de enfriamiento.

3.3. Diagrama de flujo

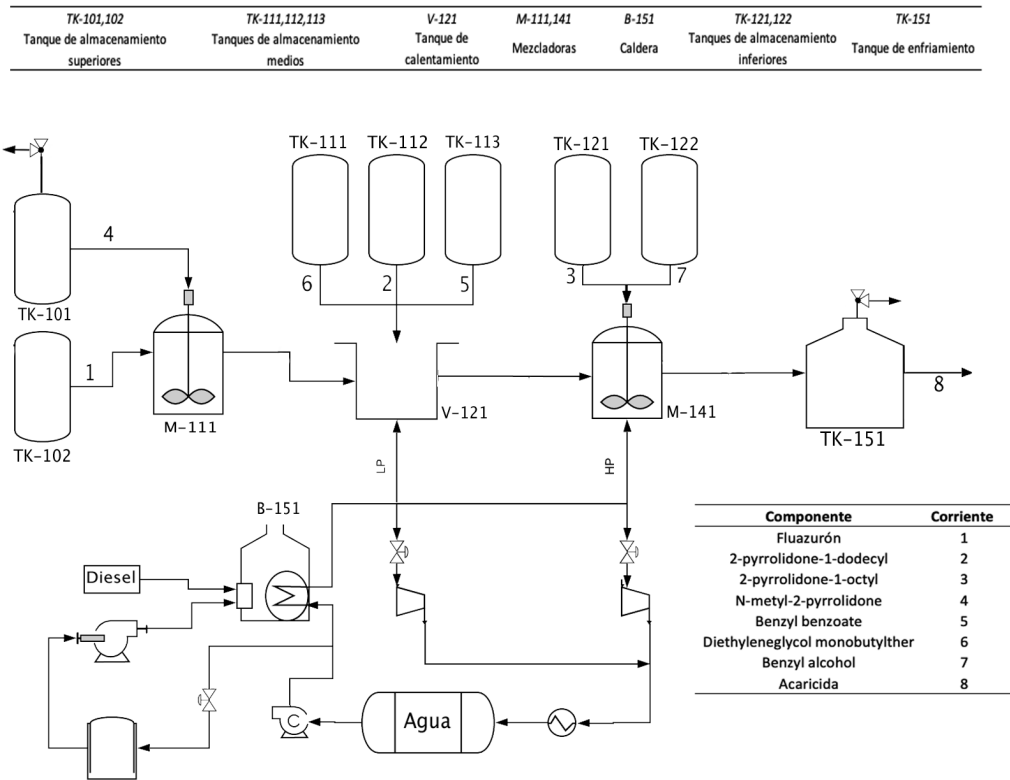


Figura 4. Diagrama de flujo de la planta para producción de acaricida

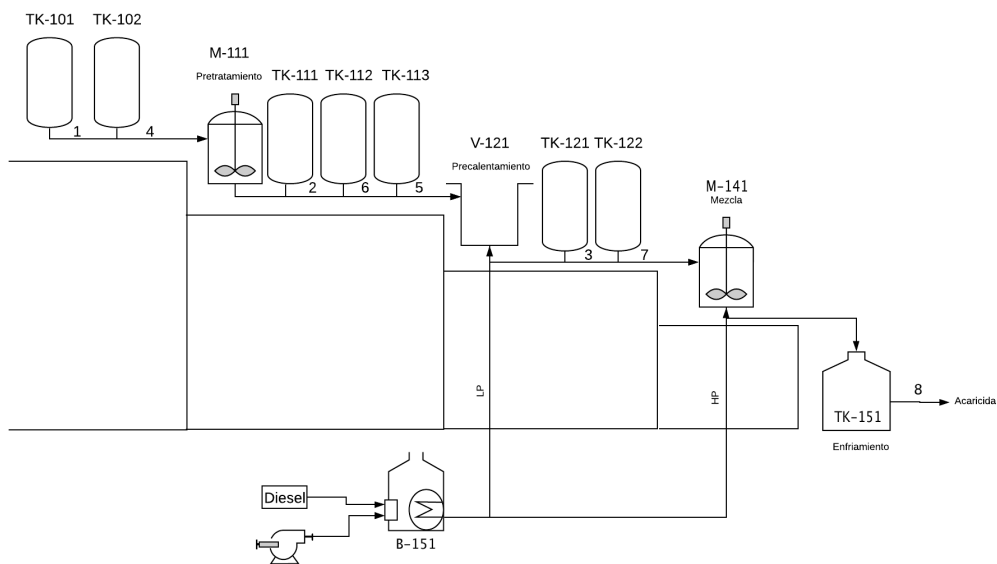


Figura 5. Arreglo tentativo para la planta

Con el objetivo de disminuir costos, se ha decidido colocar a la planta en módulos descendentes para aprovechar la presión hidrostática de los fluidos y evitar el uso de bombas. Como se necesitan pequeñas cantidades para la producción diaria, el flujo de cada componente puede ser controlado por válvulas manuales de mariposa accionadas por un operador. Los tanques fueron ubicados en función de entrada al sistema, empezando por aquellos que necesitan pretratamiento, seguido de los de precalentamiento y, finalmente, aquellos listos para entrar a la mezcla. El tiempo de duración del proceso será de 15 horas, pasando la mayor parte de este en el tanque de enfriamiento.

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1. Dimensionamiento de equipos

Todos los fórmulas y cálculos empleadas para el dimensionamiento de equipos están expuestas en la sección Anexo A: Metodología y Anexo B: Dimensionamiento de Equipos, respectivamente. Debido a que no se emplean solventes corrosivos y químicamente inertes, como lo indica la norma ASTM A131, el material seleccionado para los equipos será de acero al carbono con paredes de espesor máximo de 13 mm [42].

A continuación, se presenta un resumen de las dimensiones de todos los equipos para el proceso: tanques, mezcladoras y caldera. El código representa la ubicación y número de tanque en el diagrama de flujo.

Tabla 4. Especificaciones para tanques de almacenamiento

Tanques de almacenamiento				
<i>Código</i>	<i>Función</i>	<i>Volumen (L)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (m)</i>
TK-102	Almacenamiento de fluazurón	155	0.49	0.19
TK-112	Almacenamiento de 2-pirrolidona-1-dodecil	240	0.53	0.22
TK-121	Almacenamiento de 2-pirrolidona-1-octil	235	0.53	0.22
TK-101	Almacenamiento de N-metil-2-pirrolidona	1430	0.96	0.40
TK-122	Almacenamiento de alcohol bencílico	57	0.32	0.14
TK-113	Almacenamiento de benzoato bencílico	23	0.24	0.10
TK-111	Almacenamiento de dietilenglicol monobutiléter	23	0.24	0.10
TK-151	Enfriamiento	72	0.27	0.15

Tabla 5. Especificaciones para mezcladoras y tanque de calentamiento

Mezcladoras y tanque de calentamiento								
<i>Código</i>	<i>Función</i>	<i>Volumen (L)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (m)</i>	<i>Ancho de pared (mm)</i>	<i>Diámetro de aspas (m)</i>	<i>Ancho de aspas (cm)</i>	<i>Altura de serpentín (m)</i>
M-111	Pretratamiento	6	1.42	0.95	6	0.12	2.9	-
V-121	Precalentamiento	52	0.25	0.17	6	-	-	0.20
M-141	Mezcla	72	1.59	1.06	6	0.26	3.2	1.27

Tabla 6. Especificaciones energéticas para caldera de alta presión

Caldera							
<i>Código</i>	<i>Presión de operación (psi)</i>	<i>Calor necesario (BTU)</i>	<i>Caballos de fuerza (HP)</i>	<i>Contenido de agua normal (gal)</i>	<i>Superficie de calentamiento (ft²)</i>	<i>Libras de vapor por hora a 125°C</i>	<i>Peso nominal (lb)</i>
B-151	150	628	15	31	85	518	2900

Para el cálculo de los tanques de almacenamiento, se tomó en cuenta la producción mensual puesto que los proveedores de las materias primas tienen cantidades mínimas de compra que necesitarán ser almacenadas. La mayor parte de las materias primas requieren que se abstengan de la exposición a la luz, por lo tanto, fue necesaria la implementación de tanques de almacenamiento que no permitan el paso de la luz y mantengan una temperatura estable dentro de sí, como lo permite el acero.

Para el cálculo de las mezcladoras, se tuvieron que asumir varias constantes para la determinación de espas, serpentines y anchos de pared. Algunas de estas constantes como: el factor de corrosión, cargas muertas, ángulo longitudinal y longitudes normales de techo son omitidas por relaciones estándar con diámetro y altura de tanque, en la guía estándar de la API 650 para tanques de agitación con calentamiento. Si bien estas relaciones arrojaron resultados relativamente bajos de: 0.01 kW para el pretratamiento y 0.05 kW para la mezcla, estos concuerdan con la producción diaria de acaricida puesto que los tanques van a estar expuestos a 44 litros por 2 horas al día, y 60 litros por 0.10 horas al día; por lo tanto, la potencia del motor tiene concordancia con respecto al tiempo y las cantidades a ser mezcladas. De la misma manera, la longitud del serpentín se determinó a partir de la relación estándar de la norma que dicta que la altura del serpentín debe abarcar 80% de la altura total [43], lo cual corresponde a la misma que ocupa todo volumen de la mezcla que está expuesta al calentamiento.

El diseño de la caldera se basó en la guía de selección especificada en la sección de Caldero. Se seguirán los pasos de selección de la High Pressure Steam Power Burner de Rite Engineering & MFG Corporation., la cual permite determinar la presión de operación en base a la temperatura necesaria que, en este caso, fue de 125 °C. Se ha seleccionado una caldera con combinación de inyección de aire y combustible puesto que, dado los cortos tiempos que existen para el calentamiento, es la que más rápido genera vapor, lo transporta por todo el sistema y es la más eficiente en el intercambio de calor [18].

4.2. Análisis económico

4.2.1. Inversión total

Los cálculos detallados del balance económico se encuentran en la sección Anexo C: Análisis Económico. Estas ecuaciones tienen límites específicos de diseño y, debido a que la capacidad de algunos equipos estaban fuera de estos, se estableció un rango del 10% para la inversión total [19]. Este fue el caso de los tanques de almacenamiento que por su baja capacidad, no estaban dentro del rango entre 100 y 10,000 m³ [19]. No obstante, los resultados obtenidos sirvieron como precio de referencia para calcular el costo ISBL y OSBL. En el costo ISBL se ha incluido los factores respectivos y los precios de los accesorios como válvulas de alivio de presión y de mariposa.

Tabla 7. Resumen de costos de equipos para la planta

Costo de equipos (USD)	
Tanques de almacenamiento	54,092
Tanque de pretratamiento	4,348
Tanque de mezcla	4,475
Caldera	8,897
Total	71,812

Tabla 8. Costos de producción y planta

Componentes de costos		USD
Inversión de capital fijo	Costo ISBL	154,102
	Costo OSBL	61,641
	Costo Ingeniería	21,574
	Costo Contingencia	32,361
Capital de trabajo	Costo de producción e inventarios	10,787
Costos de producción	Costos fijos y variables	14,259

Tabla 9. Inversión total para la producción de acaricida

Rango de Inversión Total			
Inversión total (USD)	265,253	294,725	324,198

4.2.2. Ingresos

El costo de producción por unidad más el 40% de impuesto de importación de materias primas es aproximadamente de USD 20; por lo tanto, se ha estimado un precio por unidad de USD 35 al tomar en cuenta el precio de venta en México y Brasil que corresponden a USD 34 y USD 33 [45], respectivamente. En consecuencia, se tiene una diferencia de USD 15 para determinar el margen de ganancia y cubrir la depreciación de los equipos y los costos indirectos mensuales. En el mercado ecuatoriano, el precio de venta de un acaricida con fluazurón como componente activo es de USD 80 [44], al disminuir el precio de venta a USD 35, se establecen relaciones de competitividad entre producción nacional y el producto importado.

La producción diaria es de 60 litros, los cuales corresponden a 12 unidades de 5 litros, de producto. Como los costos variables han sido calculados para un mes de producción, las unidades diarias han sido obtenidas para un mes de producción. Sin embargo, el número de unidades vendidas tal vez sea menor debido a que, una vez que empieza la producción, se van a tomar muestras para controles de calidad y se descartarán aquellas que no cumplan con los requerimientos como: concentración de compuesto activo o volumen de unidad de venta.

Tabla 10. Ingresos mensuales para la producción de acaricida

Ingresos	USD
Precio de venta	35
Ingresos mensuales para 2,520 unidades	88,200
Beneficio bruto	73,941

4.2.3. Tiempo de recuperación de inversión

El tiempo de recuperación de inversión puede variar dependiendo del número de unidades finales que se vendan después del primer año de producción. Este tiempo ha sido calculado suponiendo que todas las unidades producidas mensualmente fueron vendidas, es posible que se vendan menos producto en el tiempo de poca presencia de garrapata.

Tabla 11. Tiempo de recuperación de inversión

Tiempo de Recuperación de Inversión	
ROI (meses)	25.0
ROI (años)	2.1

5. PLAN DE SEGURIDAD

5.1. Check-list para operación diaria

El check-list de seguridad será llenado diariamente antes de empezar con las operaciones. El cumplimiento de la lista de seguridad será responsabilidad del supervisor de planta para garantizar un entorno libre de accidentes. En caso de incumplir alguno de los ítems expuestos en la Tabla 12, se deberán tomar las acciones necesarias para cumplir todos los lineamientos expuestos; asimismo, el check-list puede aumentar el número de acciones a ser verificadas en caso de ser pertinente una vez montada la planta y comenzado las operaciones.

Tabla 12. Check-list de seguridad para operación diaria.

Check-list de seguridad para producción de acaricida				
<i>No.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Sí</i>	<i>No</i>	<i>Observaciones</i>
1	¿El operador cuenta con todos los equipos de protección personal?			
2	¿El camino de paso del operador se encuentra libre de obstáculos?			
3	¿Los tanques de almacenamiento se encuentran correctamente cerrados?			
4	¿Se han verificado que las válvulas estén completamente cerradas?			
5	¿Los tanques se encuentran correctamente aireados?			
6	¿Se ha cargado y descargado correctamente las materias primas necesarias?			
7	¿Los equipos se encuentran en correcto estado de mantenimiento?			
8	¿Los equipos se encuentran calibrados?			
9	¿El producto final es conforme respecto a la concentración final (2.5%)?			
10	¿Existe alguna irregularidad con el producto final?			

5.2. Análisis de Modo de Falla y Efecto (FMEA)

Para la tabla de riesgos FMA, se tomó un rango de criterio de 1 al 10, donde 1 corresponde a un criterio bajo y 10 corresponde a uno alto. Esto va a permitir que el análisis FMEA sea un proceso tanto cualitativo como cuantitativo puesto que cuantifica y califica las decisiones tomadas en relación a los modos de fallo y las acciones tomadas. Los criterios a tomar en cuenta fueron severidad, ocurrencia y detección, lo cuales son explicados a continuación:

- (1) **Severidad (SEV):** comprende lo que es importante en la industria, compañía o clientes (estándares de seguridad, ambiente, legislativos, continuidad de proceso, pérdida de negocio, reputación)
- (2) **Ocurrencia (OCC):** determina la probabilidad de ocurrencia durante el tiempo de vida del producto o servicio.
- (3) **Detección (DET):** determina la probabilidad de actuar y detectar un problema antes de que ocurra.

Tabla 13. Tabla de riesgos FMEA.

Proceso	Tipo de falla	Impacto potencial	SEV	Causas potenciales	OCC	Modo de detección	DET	RPN
Almacenamiento de N-metil-2-pirrolidona	Fuga de gas del tanque de almacenamiento	Posible contaminación en la planta, operador inhala gas irritante	4	Cerrado incorrecto de la válvula de liberación de N-metil-2-pirrolidona	5	Revisar que la válvula esté bien cerrada, evitar tener abierta la válvula mucho tiempo	5	100
Conservación de fluazurón	Desactivación de componente activo por exposición a la luz	Pérdida de componente principal, inhabilitación del proceso	10	Sobreexposición a la luz cuando se abra el tanque	2	Evitar abrir el tanque de componente activo a menos que sea necesario	3	60
Conservación de todas las especies de 2-pirrolidona	Oxidación de la solución por sobreexposición a la luz y al ambiente	Reducción en la intensidad de penetración del componente activo	10	Sobreexposición al ambiente cuando se abre el tanque	2	Evitar abrir innecesariamente el tanque, priorizar la recarga de solvente cuando sea necesario	3	60

Conservación de materias primas	Acumulación de calor por falta de aireación	Posibles efectos en materias primas que son sensibles a la temperatura	10	Obstrucción de canales de aire en la bodega de materias primas	3	Revisar las corrientes de aireación,	2	60
---------------------------------	---	--	----	--	---	--------------------------------------	---	----

Tabla 14. Tabla de acciones recomendadas FMEA.

Acciones Recomendadas	Responsable	Fecha objetivo	Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
Revisión de válvula de alivio de presión	Operador	Antes de empezar la operación de la planta	Compra de válvula de alivio de presión	4	5	3	60
Capacitación de personal sobre materias primas	Ingeniero de planta	Antes de empezar la operación de planta	Creación de material de apoyo	4	2	3	24

Las tablas de riesgo FMEA están organizadas por severidad, ocurrencia y detección, esto permite que se puedan tomar medidas de acción en orden prioritario por magnitud de RPN. La válvula de regulación de presión evitará acumulaciones de gas N-metil-2-pirrolidona, el cual puede llegar a causar lesiones respiratorias. Asimismo, la capacitación del personal de planta ayudará en la conservación de materias primas, priorizando el aireamiento y la preservación de la temperatura dentro de la bodega.

6. CONCLUSIONES

En este proyecto, se analizaron los impactos económicos y sanitarios de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, la cual ha pasado de ser una especie estacional a permanente debido al calentamiento global. En consecuencia, su población ha infectado a más ganado y ha expuesto a pequeños ganaderos a pérdidas irreversibles por el alto precio de USD 80 por el acaricida importado. Por este motivo, para el control integrado de crecimiento de su población, se ha escogido el fluazurón como componente activo por ser altamente selectivo, eficiente, no tóxico, menos propenso a desarrollar patrones de resistencia y requerir menor número de tratamientos.

La planta de acaricida con fluazurón al 2.5% como componente activo producirá 60 litros diarios por 333 días, para alcanzar el objetivo de 40,000 litros al año que cubrirán la demanda para 868,000 cabezas de ganado. El acaricida tendrá una presentación de 5 litros para uso externo en ganado bovino, con una dosis de 1 ml por cada 10 kg de peso vivo. De esta manera, el componente activo penetrará la piel del animal e iniciará el proceso de inhibición de quitina, el cual evitará que las larvas eclosionen de los huevos o inciten mutaciones que prevengan una correcta espermatogénesis. Consecuentemente, reduciendo su población en un 100% en un lapso de 42 días.

El proceso tendrá una duración de 15 horas y estará compuesto de 5 pasos: pretratamiento, precalentamiento, mezcla con calentamiento y enfriamiento, para los cuales se necesitarán seis tanques de almacenamiento para las materias primas; un tanque de pretratamiento para el componente activo con su excipiente; un tanque de precalentamiento; un tanque de agitación a 125 rpm y con calentamiento para la mezcla; una caldera de vapor de agua y un tanque de

enfriamiento. Todos los equipos se construirán con acero al carbono comercial debido a que se está trabajando con materias primas no corrosivas y químicamente inertes.

La producción mensual será de 2,520 unidades con un precio de USD 35, el mismo que se aproxima al de los países productores como México de USD 34 y Brasil de USD 33. En base a este precio, se ha calculado un tiempo de recuperación de inversión de 25 meses que representa un escenario rentable para el reemplazo de la importación de acaricida por uno producido nacionalmente. La reducción del precio de acaricida abre las puertas para que pequeños ganaderos puedan acceder al control de la garrapata a menor costo con nueve tratamientos al año.

Los planes de seguridad están analizados en función de los posibles escenarios antes de las operaciones de la planta y en función de las fichas de seguridad de las materias primas. Es fundamental que las materias primas siempre estén almacenadas en lugares aireados y no con demasiada exposición a la luz, para mantener la integridad de su composición química y prevenir la acumulación de gas de N-metil-2-pirrolidona que, en grandes cantidades, puede llegar a causar lesiones en el sistema respiratorio.

Si bien el caudal de producción está calculado en base a la demanda actual del acaricida en Ecuador, este proyecto permite la expansión de la demanda con la inclusión de pequeños ganaderos que actualmente no pueden adquirir este método de control de garrapata. La reducción del precio les permitirá mantener la integridad del ganado, prevenir la proliferación de enfermedades y minimizar pérdidas económicas por la garrapata.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Miraballes, F. Riet-Correa, C. Fuellis, and V. Araoz, “Producción Animal CONTROL DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Y LA TRISTEZA PARASITARIA,” 2018.
- [2] W. G. Maciel *et al.*, “Susceptibility of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to fluazuron (2.5 mg/kg) and a combination of novaluron (2.0 mg/kg) + eprinomectin (0.36 mg/kg) in field studies in Brazil,” *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 135, pp. 74–86, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.prevetmed.2016.10.019.
- [3] R. Iván Rodríguez-Vivas, A. Rosado-Aguilar, M. M. Ojeda-Chi, L. Carlos Pérez-Cogollo, I. Trinidad-Martínez, and M. E. Bolio-González, “Integrated control of ticks in bovine livestock,” *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 1, no. 3, pp. 295–308, 2014, [Online]. Available: www.ujat.mx/era.
- [4] K. Pfister and R. Armstrong, “Systemically and cutaneously distributed ectoparasiticides: A review of the efficacy against ticks and fleas on dogs,” *Parasites and Vectors*, vol. 9, no. 1. BioMed Central Ltd., 08-Aug-2016, doi: 10.1186/s13071-016-1719-7.
- [5] L. V. C. Gomes *et al.*, “Acaricidal effects of fluazuron (2.5 mg/kg) and a combination of fluazuron (1.6 mg/kg) + ivermectin (0.63 mg/kg), administered at different routes, against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* parasitizing cattle,” *Experimental Parasitology*, vol. 153, pp. 22–28, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.exppara.2015.02.004.
- [6] M. G. Jacho, “Dinámica Poblacional de la Garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en Ganado Bovino Lechero en el Cantón San Miguel de los Bancos,” 2015.
- [7] L. César Del Castillo, V. Rosa Pinedo, I. Luis Rodríguez, and V. Amanda Chávez, “Evaluación de Tres Formulaciones Comerciales de Aplicación Pour on Bajo Condiciones de Campo y su Efecto in vitro en el Control de *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) en Bovinos de Ceja de Selva,” *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, vol. 27, no. 1, pp. 145–157, 2016, doi: 10.15381/rivep.v27i1.11446.
- [8] A. Araque, S. Ujeta, R. Bonilla, D. Gómez, and J. Rivera, “Resistencia a acaricidas en *Rhipicephalus (boophilus) microplus* de algunas explotaciones ganaderas de Colombia,” *Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 17, no. 1, pp. 161–170, 2014.
- [9] N. Morel, M. L. Signorini, A. J. Mangold, A. A. Guglielmone, and S. Nava, “Strategic control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* infestation on beef cattle grazed in *Panicum maximum* grasses in a subtropical semi-arid region of Argentina,” *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 144, pp. 179–183, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.prevetmed.2017.06.006.
- [10] P. R. de Oliveira, I. B. Calligaris, G. C. Roma, G. H. Bechara, and M. I. Camargo-Mathias, “Fluazuron-induced morphophysiological changes in the cuticle formation and midgut of *Rhipicephalus sanguineus* Latreille, 1806 (Acari: Ixodidae) nymphs,” *Parasitology Research*, vol. 112, no. 1, pp. 45–58, Jan. 2013, doi: 10.1007/s00436-012-3103-7.
- [11] W. D. Z. Lopes, R. M. Chiummo, L. F. Vettorato, D. de Castro Rodrigues, and R. B. Sonada, “The effectiveness of a fixed-dose combination pour-on formulation of 1.25% fipronil and 2.5% fluazuron against economically important ectoparasites and associated pharmacokinetics in cattle,” *Parasitology International*, vol. 66, no. 5, pp. 627–634, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.parint.2017.05.005.
- [12] J. J. Chaparro-Gutiérrez, D. Villar, and D. J. Schaeffer, “Interpretation of the larval immersion test with ivermectin in populations of the cattle tick *Rhipicephalus*

- (*Boophilus*) *microplus* from Colombian farms,” *Ticks and Tick-borne Diseases*, vol. 11, no. 2, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.101323.
- [13] U. Kryger, C. Deschodt, and C. H. Scholtz, “Effects of fluazuron and ivermectin treatment of cattle on the structure of dung beetle communities,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 105, no. 4, pp. 649–656, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.agee.2004.08.003.
- [14] J. F. Graf *et al.*, “Tick control: An industry point of view,” *Parasitology*, vol. 129, no. SUPPL. 2004, doi: 10.1017/S0031182004006079.
- [15] W. O. Beys-da-Silva *et al.*, “Updating the application of *Metarhizium anisopliae* to control cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae),” *Experimental Parasitology*, vol. 208. Academic Press Inc., 01-Jan-2020, doi: 10.1016/j.exppara.2019.107812.
- [16] I. B. Calligaris, P. R. de Oliveira, G. C. Roma, G. H. Bechara, and M. I. Camargo-Mathias, “Action of the insect growth regulator fluazuron, the active ingredient of the acaricide Acatak®, in *Rhipicephalus sanguineus* nymphs (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae),” *Microscopy Research and Technique*, vol. 76, no. 11, pp. 1177–1185, Nov. 2013, doi: 10.1002/jemt.22282.
- [17] R. E. Guzmán, E. Albornoz Vintimilla, E. Santiago, and M. Palacios, “Atlas Bioenergético de la República del Ecuador,” 2014.
- [18] Novartis Animal Health, “Vademecum Veterinario,” 2011.
- [19] C. Zapata, “Instructivo Para la aprobación, ejecución y supervisión de ensayos de eficacia de plaguicidas y productos afines de uso agrícola en Ecuador,” 2015.
- [20] U. Kryger, C. Deschodt, A. L. V. Davis, and C. H. Scholtz, “Effects of cattle treatment with a fluazuron pour-on on survival and reproduction of the dung beetle species *Onthophagus gazella* (Fabricius),” *Veterinary Parasitology*, vol. 143, no. 3–4, pp. 380–384, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.vetpar.2006.08.021.
- [21] M. S. Bull, S. Swindale, D. Overend, and E. A. Hess, “Suppression of *Boophilus microplus* populations with fluazuron - An acarine growth regulator,” *Australian Veterinary Journal*, vol. 74, no. 6, pp. 468–470, 1996, doi: 10.1111/j.1751-0813.1996.tb07575.x.
- [22] B. C. Cruz *et al.*, “Effects of fluazuron (2.5 mg/kg) and a combination of fluazuron (3.0 mg/kg) + abamectin (0.5 mg/kg) on the reproductive parameters of a field population of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* on experimentally infested cattle,” *Research in Veterinary Science*, vol. 97, no. 1, pp. 80–84, 2014, doi: 10.1016/j.rvsc.2014.04.012.
- [23] F. Nascimento Gaudêncio *et al.*, “Effects of fluazuron on the biological parameters of engorged females of *Rhipicephalus microplus*,” *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*, vol. 39, no. 4, pp. 231–238, 2017, doi: 10.29374/2527-2179.bjvm023017.
- [24] P. R. de Oliveira, I. B. Calligaris, G. C. Roma, G. H. Bechara, M. A. Pizano, and M. I. Camargo Mathias, “Potential of the insect growth regulator, fluazuron, in the control of *Rhipicephalus sanguineus* nymphs (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae): Determination of the LD 95 and LD 50,” *Experimental Parasitology*, vol. 131, no. 1, pp. 35–39, May 2012, doi: 10.1016/j.exppara.2012.02.023.
- [25] Y. Zhang, X. Lu, C. Hu, W. Cui, and X. Liu, “Development of a high-performance liquid chromatography method for quantification of fluazuron in cattle tissues,” *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, vol. 36, no. 18, pp. 2559–2567, Nov. 2013, doi: 10.1080/10826076.2012.723090.
- [26] J. Reck *et al.*, “First report of fluazuron resistance in *Rhipicephalus microplus*: A field tick population resistant to six classes of acaricides,” *Veterinary Parasitology*, vol. 201, no. 1–2, pp. 128–136, 2014, doi: 10.1016/j.vetpar.2014.01.012.

- [27] C. Roberto, “EVALUACIÓN DE TRES FORMULACIONES COMERCIALES DE APLICACIÓN pour on BAJO CONDICIONES DE CAMPO Y SU EFECTO In vitro,” 2014.
- [28] R. C. Rowe, P. J. Sheskey, and S. C. Owen, “Handbook of Pharmaceutical Excipients Fifth Edition,” 2006.
- [29] Canadian Department of Health, “Regulations Amending the Food and Drug Regulations (1087) Règlement modifiant le Règlement sur les aliments et drogues (1087) Statutory Authority Fondement législatif Food and Drugs Act Loi sur les aliments et drogues Sponsoring Department Ministère responsable Department of Health Ministère de la Santé REGULATORY IMPACT ANALYSIS STATEMENT RÉSUMÉ DE L’ÉTUDE D’IMPACT DE LA RÉGLEMENTATION,” 1998.
- [30] G. Tonato, “Análisis del arancel y de los impuestos, Valor Agregado (IVA), Consumos Especiales (ICE) y Salidas de Divisas (ISD), en las importaciones y su incidencia en la balanza comercial del país. Periodo 2005-2015,” 2017.
- [31] M. Rosales, A. Marconi, G. Gómez, M. Luciano, S. Laspiur, and E. Torres, “Una composición de acaricida de acción prolongada y proceso de elaboración, tira acaricida y procedimiento para combatir ácaro Varroa destructor,” 2015.
- [32] Hue T, Petermann J, Hurling J, Huegnette G, and Cauquil L, “Etat des lieux des résistance de la tique de bétail *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini) à la deltaméthrine, l’amitraze et la moxidectine en Nouvelle-Calédonie: quelles perspectives de lutte?,” *Santé Animale et Epidémiologie*, vol. 68, no. 4, pp. 167–174, 2016.
- [33] J. Palacios and D. Rosero, “Análisis de condiciones climáticas registradas en el Ecuador continental y su impacto en el sector agrícola,” 2014.
- [34] G. Klafke *et al.*, “Multiple resistance to acaricides in field populations of *Rhipicephalus microplus* from Rio Grande do Sul state, Southern Brazil,” *Ticks and Tick-borne Diseases*, vol. 8, no. 1, pp. 73–80, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.ttbdis.2016.09.019.
- [35] A. Nandi *et al.*, “Determination and validation of discriminating concentration of ivermectin against *Rhipicephalus microplus*,” *Veterinary Parasitology*, vol. 250, pp. 30–34, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.vetpar.2017.12.009.
- [36] A. Fular *et al.*, “Establishment of a multi-acaricide resistant reference tick strain (IVRI-V) of *Rhipicephalus microplus*,” *Ticks and Tick-borne Diseases*, vol. 9, no. 5, pp. 1184–1191, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.ttbdis.2018.04.014.
- [37] S. Nava, A. J. Mangold, J. Canevari, N. Morel, and A. A. Guglielmone, “Strategic treatments with systemic biocides to control *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in northwestern Argentina,” *InVet*, vol. 16, no. 1, pp. 23–30, 2014.
- [38] P. Junquera, B. Hosking, M. Gameiro, and A. MacDonald, “Benzoylphenyl ureas as veterinary antiparasitics. An overview and outlook with emphasis on efficacy, usage and resistance,” *Parasite*, vol. 26. EDP Sciences, 2019, doi: 10.1051/parasite/2019026.
- [39] Novartis Animal, “THE MATERIAL AND SUPPLIER ACATAK ® Pour-on Tick Development Inhibitor,” 2015.
- [40] Elanco, “OZTIK POUR-ON TICK INHIBITOR FOR CATTLE SAFETY DATA SHEET,” 2017.
- [41] A. Kayode. Coker, *Modeling of chemical kinetics and reactor design*. Gulf Professional Pub, 2001.
- [42] L. Ricaurte, “Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes,” 2016.
- [43] J. Acolies, “DISEÑO DE CALDERAS INDUSTRIALES,” 2018. [Online]. Available: <http://libros.redsauce.net/>.

- [44] J. Tirenti, "API 650 - TANQUES DE ALMACENAMIENTO," 2018. [Online]. Available: www.arvengconsulting.com.
- [45] E. Inglesa, "Diseño de Tanques de Almacenamiento," 2014.
- [46] Rite Engineering, "Calderas de Vapor de Alta Presión de 150 PSI Modelos y Calificaciones/Encendidas por Quemador con Ventilador," 2014.
- [47] G. Towler *et al.*, "CHEMICAL ENGINEERING DESIGN Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design," 2008. [Online]. Available: <http://elsevier.com>.

ANEXOS

Anexo A: Metodología

A.1 Balance de masa

Está basado en función del manual del ingeniero químico de Perry y Riggs.

Se va a elegir una base de cálculo en función de la producción objetivo para 40,000 litros por año, o 60 litros diarios, de acaricida (producto final).

Se va a anotar todas las variables conocidas y símbolos para todas las incógnitas, es decir cada corriente va a tener su caudal y compuesto en función de la composición necesaria para el acaricida.

Se va expresar en términos de símbolos (caudal) de las corrientes que se desconozcan, en este caso: la corriente de N-metil-2-pyrrolidone total necesaria para el proceso.

Debido a que el proceso no cuenta con reacción química ni un sistema complejo de varias incógnitas, solo una, se puede resolver directamente a partir del balance general (Entrada = Salida), definido en la ecuación (1).

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 + \dot{m}_7 = 60 \frac{\text{L}}{\text{día}} \quad (1)$$

En la cual la corriente 1 corresponde al fluzurón, la corriente 2 a 2-pyrrolidone-1-dodecyl, la corriente 3 a 2-pyrrolidone-1-octyl, la corriente 4 al n-metil-2-pyrrolidone (incógnita), la corriente 5 a benzoato bencílico, la corriente 6 a dietilenglycol-monobutyleter, y la corriente 7 al benzoato alcohólico.

Una vez resueltas las incógnitas se obtienen las composiciones fraccionales de la mezcla para presentar al diagrama de flujos.

A.2 Balance de energía

Primeramente, se define si se está trabajando con un sistema abierto o cerrado. Debido a que hay transferencia de masa a través de las fronteras y se trata de un proceso continuo, el proceso es un sistema abierto.

Para un sistema abierto, el balance de energía corresponde a la ecuación (2):

$$\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_k + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s \quad (2)$$

En la que $\Delta\dot{H}$ representa la entalpía, $\Delta\dot{E}_k$ la energía cinética, $\Delta\dot{E}_p$ la energía potencial, \dot{Q} el calor y \dot{W}_s el trabajo de *shaft*. Debido a que el sistema es estático y no cuenta con un cambio de altura, los términos de la energía potencial y cinética son igual a cero. Por lo tanto, la ecuación (2) tomaría la forma de la ecuación (3):

$$\Delta\dot{H} = \dot{Q} - \dot{W}_s \quad (3)$$

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{LTM} \quad (4)$$

Donde la entalpía va a representar el consumo total de energía que va a estar determinado por: el consumo de calor del caldero, el tanque de precalentamiento, el tanque de mezcla con calentamiento, y el tanque de enfriamiento; mientras que el trabajo de *shaft* va a estar determinado por el trabajo de aspas en el tanque de pretratamiento y el de mezcla.

A.3 Dimensionamiento de equipos

Se empleará el Manual del Ingeniero Químico de Perry y las normas API650 y API-ASME.

Tanques de almacenamiento

De acuerdo a la norma API-ASME [45], los tanques de almacenamiento más apropiados para líquidos son aquellos que tienen los extremos curvados.

Se calcula el volumen necesario para almacenar a partir del caudal y del tiempo de operación, el cual será mensual por las compras mínimas de materias primas.

Una vez encontrado el volumen, se calcula la altura necesaria con la ecuación (5)

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9V_{\text{cono}}}{16\pi}} \quad (5)$$

Donde V_{cono} es el volumen obtenido a partir del caudal másico y el tiempo de almacenamiento.

Se asume un factor de 20% de volumen adicional como factor de seguridad [43]. Es decir para que el tanque esté lleno hasta el 80% de su capacidad.

La norma API-ASME establece una relación diámetro/altura del cono [46] que está descrita en la ecuación (6)

$$D = \frac{2}{3} h_{\text{cono}} \quad (6)$$

Finalmente, se suma a la altura del cono, 2 veces la altura de las cabezas que están descritas en la ecuación (7)

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{D}{4} \quad (7)$$

Para el cálculo del costo de los tanques de almacenamiento, se emplea la fórmula (8):

$$C_e = 5700 + 700S^{0.7} \quad (8)$$

Donde S corresponde a la capacidad del tanque en m^3 .

Caldero

Se seguirán los pasos de selección de la High Pressure Steam Power Burner de Rite Engineering & MFG Corporation.

Para calentamiento de líquidos se seleccionó un caldero con superficies extendidas para iniciar la generación de vapor ya que es la más eficiente en mezclas de líquidos [44].

El análisis de caldero se basó en la presión de operación necesaria para llegar a una temperatura de 125 °C, la cual corresponde a una caldera de 150 psi [42] y 15 caballos de fuerza, de acuerdo a la guía de Rite Engineering & MFG Corp [41].

En este caldero la temperatura a alta presión es de 125 °C y la de baja presión de 82 °C, con un flujo de 518 libras por hora de vapor.

Es un caldero que funciona con una combinación de inyección de aire y diésel con requisitos estándar de conexión eléctrica de alta tensión.

Para el cálculo de costo del caldero se emplea la ecuación (9)

$$C_e = 4600 + 62S^{0.8} \quad (9)$$

Donde S corresponde al flujo de vapor generado en kg/h.

Tanques de agitación

Se emplea la norma API 650 subsección 4.22 y subsección 5.6.11 para tanques de agitación.

Para el tanque interno, se emplean las mismas ecuaciones para los tanques de almacenamiento, descritas por las ecuaciones (5-7) con la diferencia que, de acuerdo a la norma API 650 S.5.6.11 [42], se añaden 0.5 m para el techo que va a contener el agitador y 0.83 m de fondo por donde va a ingresar el serpentín de calentamiento [41].

Note: The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

Para diámetros inferiores a 15 metros, la norma API 650 S5.6.14 establece que el estándar es de 6 mm. Típicamente se emplea la ecuación (10) para el cálculo de espesor de pared, al dar este un espesor de 0.475 mm, es más recomendable optar por el espesor estándar.

$$t = \frac{\gamma \times d \times r}{\sigma_t \times E_s} \quad (10)$$

Donde γ es el peso específico, d el diámetro del tanque, r el radio, σ_t es la tensión máxima admisible y E_s la eficiencia de soldadura.

Coker propone relaciones estándar para el diseño de las aspas de agitación [42]. En este, se establece que el diámetro de las aspas (D_A) debe ser la cuarta parte del diámetro del tanque (D_T), y el ancho de las aspas (W) la octava parte del diámetro de las aspas (D_A).

Una vez obtenido el diámetro de las aspas (D_A), se puede calcular el número de Reynolds, que relaciona el diámetro de aspa, las revoluciones por segundo y densidad, con la viscosidad; descrito en la ecuación (11)

$$Re = \frac{D_A^2 N \rho}{\mu} \quad (11)$$

Donde D_A es el diámetro de aspas, N es las revoluciones por segundo, ρ la densidad ponderada de la mezcla, μ la viscosidad ponderada de la mezcla.

El número de Reynolds permite determinar el número de potencia (N_p) con ayuda de la Figura 6 [41].

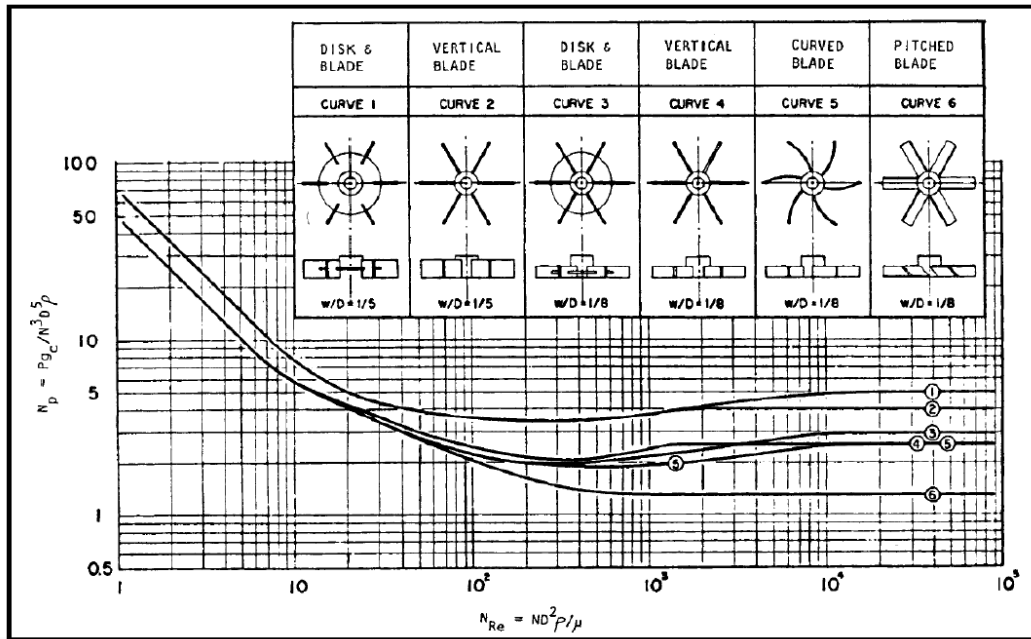


Figura 6. Determinación de número de potencia con el número de Reynolds

El número de potencia va a permitir determinar la potencia teórica del motor para el agitador por medio de la ecuación (12)

$$P = N_p D_A^5 N^3 \rho \quad (12)$$

Donde N_p es el número de potencia, D_A el diámetro de aspás, N las revoluciones por hora y ρ la densidad ponderada de la mezcla.

La potencia real del motor se calcula con la potencia teórica dividida para la eficiencia del motor, generalmente 80% [42].

El número de Reynolds también permite determinar el número de flujo con la ayuda de la Figura 7 [47] y la relación entre la altura y el diámetro que en este caso es de 0,25.

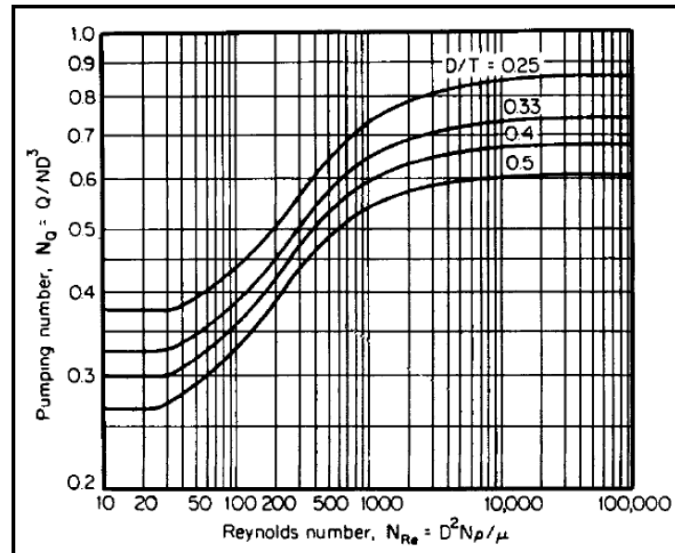


Figura 7. Número de flujo contra número de Reynolds

Una vez obtenido el número de flujo, el flujo al tanque de agitación se calcula por medio de la ecuación (13)

$$Q = N_Q ND^3 \quad (13)$$

Donde N_Q es el número de flujo, N las revoluciones por hora y D el diámetro del tanque.

Finalmente, el tiempo de agitación se obtiene mediante la ecuación (14)

$$t_m = \frac{n \times V}{Q} \quad (14)$$

Donde n es el número de rotaciones necesarias para llegar a la composición deseada, en este caso 30 [47], V el volumen del tanque y Q el flujo al tanque.

Para calcular el precio de cada tanque de agitación, se utiliza la ecuación (15)

$$C_e = 780 + 62S^{0.8} \quad (15)$$

Donde S corresponde al flujo al tanque de agitación en L/s.

Tanque de enfriamiento

Para el tanque de enfriamiento, se va a seguir el mismo procedimiento que para los tanques de almacenamiento debido a que se va a dejar enfriar al ambiente. Para encontrar el tiempo mínimo que se debe dejar enfriar, se emplea la ecuación (16) [47], la cual es derivada de la ley de enfriamiento de Newton.

$$t = -k \times \ln \frac{(T-T_A)}{(T_o-T_A)} \quad (16)$$

Donde T es la temperatura de enfriado, T_A la temperatura ambiente, k la constante de enfriamiento, calculada con la ecuación (17) y T_o la temperatura de entrada del fluido.

$$k = \frac{UA}{\dot{m}C_p} \quad (17)$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor, A el área de transferencia de calor, \dot{m} el flujo másico y C_p el calor específico ponderado de la mezcla.

El calor específico ponderado de la mezcla se obtiene con la ecuación (18):

$$C_p = \sum C_p \times n \quad (18)$$

Donde C_p es la capacidad calorífica específica y n la composición molar en la mezcla.

A.4 Estimación de costos para la planta

Estimación Factorial Detallada

$$C = \sum C_e \{[(1 + f_p)f_m] + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)\} \quad (19)$$

Esta estimación está basada en la ecuación (19) donde C_e está descrito en las ecuaciones (8, 9, 15), correspondientes a los costos de los equipos dimensionados. También, f_p corresponde al factor de tuberías, f_m al factor de material, f_{er} factor de erección de equipos, f_{el} factor eléctrico, f_i factor de instrumentación, f_c factor civil, f_s factor de estructura y f_l factor de aislamiento, pintura o recubrimiento [47]. Estos factores están tabulados, para un proceso que trabaja únicamente con fluidos, en la Tabla 1. Mientras que el factor para materiales se encuentra tabulado en la Tabla 2.

Tabla 15. Factores detallados para proceso con fluidos.

Factor	Fluidos
f_p	0.8
f_{er}	0.3
f_{el}	0.2
f_i	0.3
f_c	0.3
f_s	0.2
f_l	0.1

Tabla 16. Factor de materiales

Material	f_m
Acero al carbono	1.0
Hierro fundido	1.1
Aluminio/Bronce	1.07
304 acero inoxidable	1.3
316 acero inoxidable	1.3
321 acero inoxidable	1.5
Níquel	1.7

A.5 Análisis económico

Se desarrollará en función del libro de Sinnott.

Costo de capital fijo (costos totales del diseño, construcción e instalación de la planta)

Costo ISBL

Determinar costos de campo directos como equipos principales (reactores, columnas, tanques); piezas a granel (tuberías, válvulas); obras civiles (alcantarillado, electricidad); trabajos de instalación y supervisión.

Determinar costos indirectos: alquiler de maquinaria y equipos para la construcción; servicios temporales (generación de agua, electricidad); seguro de construcción y de trabajadores.

Costos adicionales debido a impacto social (consumo y descarga de agua; aumento en la capacidad).

Costo OSBL

Como regla de oro se calcula al OSBL como 40% del ISBL [47].

Costo de Ingeniería y Construcción

Proceso de selección/diseño de equipos de proceso; sistemas de tuberías; sistemas de control; diseño de planta; estimación de costos; simulación; ing. Civil

Supervisión de construcción.

Gastos administrativos/gestión de proyecto, inspecciones, viajes.

Gastos imprevistos (fluctuaciones monetarias, cambios en precios del mercado)

Se estima como el 10% (ISBL + OSBL) [39], [40].

Capital de trabajo (puesta en marcha de la planta; 5% del capital fijo)

Valor de inventario de materias primas: estimado del costo de las materias primas utilizadas en 2 semanas de producción.

Valor inventario de productos y subproductos: estimado como el costo de producción de los productos para 2 semanas.

Efectivo en caja: estimado como el costo de producción de una semana.

Cuentas a cobrar: se refiere a productos suministrados pero aún no cobrados, se estima como el costo de producción de un mes.

Créditos de cuentas pendientes: costo de materiales y equipos ya recibidos pero aún no pagados; se estima como el costo total de suministros utilizados en un mes.

Inventario de repuestos: calculado como 1-2% (ISBL + OSBL) [41].

Costos de Producción

Costos variables

Proporcionales al rendimiento y caudal de producción: materias primas utilizadas; servicios (agua, electricidad, vapor, aire comprimido); reactivos consumibles (aditivos, reguladores de pH); transporte y embalaje (distribución de productos); tratamiento y eliminación de efluentes de desechos.

Costos fijos

Independientes del caudal de producción, no susceptibles a cambios en el proceso: labor de operación; supervisión (25% costos de operación + administrativos); gastos salariales directos (seguro social, salud, 50% costos de operación y administración); mantenimiento (3.5% ISBL); Impuestos sobre la propiedad [1-2% ISBL]; Alquiler de tierra [1-2% (ISBL+OSBL)]; gastos generales de la planta (65% trabajo total); gastos medio ambientales: permisos, revisiones, documentación ambiental [(1% (ISBL+OSBL))[41]; licencias: permisos de funcionamiento,

autorización, uso tecnologías, derechos de autor; gastos de capital: pago intereses por préstamos o deudas.

Margen del producto bruto

Suma de ingresos por venta de productos y subproductos menos el costo de las materias primas.

Las materias primas corresponden (80-90% costos de producción variables).

Beneficios

Cash Cost of Production (CCOP)

Costo de fabricación de producto. Es la suma de costos variables (VCOP) y costos fijos (FCOP), como lo describe la ecuación (20):

$$CCOP = VCOP + FCOP \quad (20)$$

Usualmente se incluye en los costos variables de producción la resta por los ingresos por subproductos; sin embargo, al no existir subproductos ni reacción química en el proceso del acaricida, el CCOP va a estar determinado por la ecuación (20).

Beneficio bruto

Ingresos por producto principal menos el CCOP. A partir del beneficio bruto se puede calcular el beneficio neto restándolo de los impuestos, esto lo convertirá en el dinero disponible como devolución a la inversión inicial

Tiempo de recuperación

Va a estar determinado por el beneficio anual neto dividido para la inversión total, esto multiplicado por el 100%.

A.6 Plan de seguridad

Análisis FMEA (se va a crear en función de la guía creada por SixSigma)

Para el análisis FMEA se deberán analizar todos los componentes, sistemas, procesos y funciones que podrían fallar potencialmente; una vez descritos los efectos, se deberían describir las posibles causas.

Se construirá una tabla FMEA como la Tabla 17 y Tabla 18.

Tabla 17. Protocolo para tabla de riesgos FMEA

Proceso	Tipo de falla	Impacto potencial	SEV	Causas potenciales	OCC	Modo de detección	DET	RPN
Función a ser analizada	Descripción de que falló	¿Cuál es el impacto en las variables del error?	¿Qué tan severo es el error al cliente?	¿Cuál es el factor principal para que algo salga mal?	¿Con qué frecuencia es más propenso a ocurrir el error?	¿Cuáles son los controles existentes para prevenir que ocurra o detectar la falla?	¿Qué tan fácil es de detectar?	Número de prioridad de riesgo

Tabla 18. Protocolo para tabla de acciones recomendadas FMEA

Acciones Recomendadas	Responsabilidad	Fecha objetivo	Acciones tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
¿Cuáles son las acciones para reducir la ocurrencia o mejorar la detección?	¿Quién es responsable para la acción recomendada?	¿Cuál es la fecha objetivo para la acción recomendada?	¿Qué acciones fueron implementadas? Esto se basará en el cálculo del RPN.	Severidad de acciones tomadas	Ocurrencia de acciones tomadas	Detección con acciones tomadas	Severidad de acciones tomadas

Para determinar la severidad, ocurrencia y detección de los modos de fallo se usa un sistema de criterio entre 1 y 10 donde (1 = bajo y 10 = alto). Esto hace que el análisis FMEA sea un proceso tanto cualitativo como cuantitativo puesto que cuantifica y califica las decisiones tomadas en relación a los modos de fallo y las acciones tomadas. Para entender un poco más los términos de severidad, ocurrencia y detección se describen a continuación:

Note: The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

Severidad: comprende lo que es importante en la industria, compañía o clientes (estándares de seguridad, ambiente, legislativos, continuidad de proceso, pérdida de negocio, reputación)

Ocurrencia: determina la probabilidad de ocurrencia durante el tiempo de vida del producto o servicio.

Detección: determina la probabilidad de actuar y detectar un problema antes de que ocurra.

Una vez analizados y cuantificados los términos de severidad, ocurrencia y detección para cada modo de fallo, se puede calcular el RPN (número de prioridad de riesgo, por sus siglas en inglés), en la que su fórmula está descrita en la ecuación (21):

$$\text{RPN} = \text{severidad} \times \text{ocurrencia} \times \text{detección} \quad (21)$$

Una vez identificados todos los modos de fallo, se debe ordenar en orden descendente los RPN de cada uno. Esto resaltará las áreas en la que las acciones de corrección deben enfocarse. Si los recursos son limitados, se deben poner las prioridades en los problemas que están enmarcados al tope de la tabla FMEA. Como regla de oro, para adaptar las acciones correctivas, se deben basar en el 20% de los primeros RPN de la tabla.

***Check-lists* (se va a crear en función de la guía establecida por las herramientas ISO)**

Para crear el check-list de la planta, se van a evaluar criterios como: qué tiene que controlarse, cuál es el criterio de conformidad o no conformidad, cada cuánto se inspecciona, cuáles son los procedimientos a aplicar, y quién realiza la inspección.

Una vez realizados los criterios, se puede generar una lista de preguntas para controlar, en un tiempo determinado (diario, mensual, anual), los procedimientos:

Note: The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

- ¿Se han seguido los procedimientos?
- ¿Los productos cumplen con las especificaciones?
- ¿Las medidas dimensionales, peso, color, olor, se encuentran dentro de las especificaciones tolerables?
- ¿Se ha rellenado los registros de control?
- ¿Ha existido alguna incidencia?
- ¿Los equipos se encuentran en correcto estado de mantenimiento?
- ¿Los equipos se encuentran calibrados?
- ¿El producto final es conforme?

Anexo B: Dimensionamiento de Equipos

B.1 Balance de Masa

Para el balance de masa, se partió de las formulaciones reportadas por Novartis y Elanco para acaricidas a base de fluazurón como componente activo [42]. Las concentraciones necesarias para una formulación de acaricida está resumida en la Tabla 19:

Tabla 19. Formulación de acaricida para elaboración de acaricida con fluazurón como componente activo

Compuesto	Concentración (g/L)
Fluazurón	2.5
2-pirrolidona-1-dodecil	100
2-pirrolidona-1-octil	100
N-metil-2-pirrolidona	X
Benzoato bencílico	29
Alcohol bencílico	10
Dietilenglicol monobutiléter	10

Al emplear las densidades para los compuestos líquidos y la solubilidad para el fluazurón, se obtuvieron los flujos necesarios para cada componente. Debido a que se utilizará el N-metil-2-pirrolidona como excipiente y como solvente para disolver fluazurón, se calcula el flujo necesario de N-metil-2-pirrolidona con la ecuación (1). Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 20. Balance de masa para producción de acaricida

	Corriente				Composición	
	g/L	g/día	L/día	L/h		
m1	2.5	150	4.3	0.54	0.00268	0.26%
m2	100	6000	6.6	0.83	0.10714	10.71%
m3	100	6000	6.5	0.82	0.10714	10.71%
m4	681	40851	39.7	4.97	0.72947	72.95%
m5	29	1740	1.6	0.19	0.03107	3.11%
m6	10	600	0.6	0.08	0.01071	1.07%
m7	11	660	0.6	0.08	0.01179	1.18%
Σ	933	56001	60.0	7.5	1	100%

B.2 Tanques de almacenamiento

Tanque de almacenamiento de fluazurón

Primeramente, para poder determinar el caudal másico de fluazurón, se debe multiplicar la cantidad necesaria para la mezcla por la solubilidad. Está establecido que se necesitan 2.5 gramos por litro de fluazurón en la mezcla, dado que su solubilidad en N-metil-2-pirrolidona es de $0.35 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ y se necesitan 150 gramos de fluazurón para la producción diaria, para disolver esta cantidad se necesitarán 428.6 cm^3 de N-metil-2-pirrolidona al día. A partir de esto, ya se puede calcular el volumen necesario para dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 428.6 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 12,858 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 1290 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 28.4 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(28.4 \text{ cm}) = 18.9 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{18.9 \text{ cm}}{4} = 4.72 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 28.4 \text{ cm} + 2(4.72) = 37.9 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% [41] para que el tanque esté siempre lleno al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 37.9 \text{ cm} + (37.9 \times 0.2) = 49 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 129 \text{ L} + (129 \times 0.2) = 154.8 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de fluazurón:

Note: The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

$$V_{\text{tanque}} = 155\text{L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 49\text{cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 19\text{cm}$$

Tanque de almacenamiento de 2-pirrolidona-1-dodecil

Está reportado que se necesitan $100 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de 2-pirrolidona-1-dodecil, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $6000 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, sabiendo que la densidad de la 2-pirrolidona-1-dodecil es de $0.9041 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios 6636 cm^3 por día. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 6636 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 199,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 199,000 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 32.9 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(32.9 \text{ cm}) = 21.9 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{21.9 \text{ cm}}{4} = 5.47 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 28.4 \text{ cm} + 2(5.47) = 43.9 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 43.9 \text{ cm} + (43.9 \times 0.2) = 52.6 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 199\text{L} + (199 \times 0.2) = 238.8 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de 2-pirrolidone-1-dodecil:

$$V_{\text{tanque}} = 239 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 53 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 22 \text{ cm}$$

Tanque de almacenamiento de 2-pirrolidona-1-octil

Está reportado que se necesitan $100 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de 2-pirrolidona-1-octil, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $6000 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, sabiendo que la densidad de la 2-pirrolidona-1-octil es de $0.92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios 6521 cm^3 por día. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 6521 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 196,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 196,000 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 32.7 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(32.7 \text{ cm}) = 21.8 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{21.8 \text{ cm}}{4} = 5.45 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 28.4 \text{ cm} + 2(5.45) = 43.8 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 43.8\text{cm} + (43.8 \times 0.2) = 52.3 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 196\text{L} + (196 \times 0.2) = 235.2 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de 2-pirrolidona-1-octil:

$$V_{\text{tanque}} = 235 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 52 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 22 \text{ cm}$$

Tanque de almacenamiento de N-metil-2-pirrolidona

Está reportado que se necesitan $415 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de N-metil-2-pirrolidona, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $24900 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, al saber que la densidad de la N-metil-2-pirrolidona es de $1.028 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios 24222 cm^3 por día. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 24,222 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 1,192,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 1,192,000 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 59.7 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(59.7 \text{ cm}) = 39.8 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{39.8\text{cm}}{4} = 9.96 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 59.7\text{cm} + 2(9.96) = 79.7 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 79.7\text{cm} + (79.7 \times 0.2) = 95.5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 1192\text{L} + (1192 \times 0.2) = 1430.4 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de N-metil-2-pirrolidona:

$$V_{\text{tanque}} = 1431 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 96 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 40 \text{ cm}$$

Tanque de almacenamiento benzoato bencílico

Está reportado que se necesitan $29 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de benzoato bencílico, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $1740 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, sabiendo que la densidad de la benzoato bencílico es de $1.118 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios 1556.3 cm^3 por día. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 1156 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 47,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 47,000\text{cm}^3}{16 \pi}} = 20.3 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(20.3\text{cm}) = 13.5\text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{13.5\text{cm}}{4} = 3.39\text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 20.3\text{cm} + 2(3.39) = 27.0\text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 27.0\text{cm} + (27.0 \times 0.2) = 32.4\text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 47\text{L} + (47 \times 0.2) = 56.4\text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de benzoato bencílico:

$$V_{\text{tanque}} = 56\text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 32\text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 14\text{ cm}$$

Tanque de almacenamiento para dietilenglicol monobutiléter

Está reportado que se necesitan $10 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de dietilenglicol monobutiléter, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $600 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, sabiendo que la densidad de la benzoato bencílico es de $0.953 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios 623.5 cm^3 por día. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 624 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 19,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 19,000 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 15 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3} (15 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{10 \text{ cm}}{4} = 2.5 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 10 \text{ cm} + 2(2.5) = 20 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 20 \text{ cm} + (20.0 \times 0.2) = 24 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 19 \text{ L} + (19 \times 0.2) = 22.8 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de dietilenglicol-monobutiléter:

$$V_{\text{tanque}} = 23 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 24 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 10 \text{ cm}$$

Tanque de almacenamiento alcohol bencílico

Está reportado que se necesitan $11 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ de alcohol bencílico, es decir que para la producción diaria de 60 litros, se necesitarán $660 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ y, sabiendo que la densidad de la benzoato bencílico

es de $1.045 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, van a ser necesarios $631.5 \text{ cm}^3 \text{ día}$. A partir de esto, se puede obtener el volumen necesario para poder dimensionar el tanque de almacenamiento:

$$V = 632 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 19,000 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 19,000 \text{ cm}^3}{16 \pi}} = 15 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3} (15 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cabeza}} = \frac{10 \text{ cm}}{4} = 2.5 \text{ cm}$$

$$h_{\text{tanque}} = 10 \text{ cm} + 2(2.5) = 20 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{\text{tanque}} = 20 \text{ cm} + (20.0 \times 0.2) = 24 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 19 \text{ L} + (19 \times 0.2) = 22.8 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de almacenamiento de dietilenglicol monobutiléter:

$$V_{\text{tanque}} = 23 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 24 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 10 \text{ cm}$$

B.3 Tanques de agitación

Pretratamiento

Para el dimensionamiento de los tanques de agitación se empleó la norma API 650, subsecciones 4.22 y 5.6.11. El diseño del tanque de agitación es parecido al diseño de un tanque de almacenamiento, para determinar el volumen, altura y diámetro de tanque. Para determinar el volumen necesario, se toma en cuenta el caudal de entrada diario de 44 litros por día:

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 44,000 \text{cm}^3}{16 \pi}} = 22 \text{ cm}$$

En caso de desconocer el ángulo longitudinal, la carga muerta y las longitudes normales de techo, la norma API 650 sección 4.22 dicta que se deben sumar 0.5 m para el techo donde va a estar ubicado el motor y el 0.83 m para el fondo del tanque que va actuar como difusor para el ancla de agitación [41]. De esta manera:

$$h_{\text{tanque}} = 22 \text{cm} + 50 \text{cm} + 83 \text{cm} = 142 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(142 \text{cm}) = 95 \text{ cm}$$

Posteriormente, se calcula el ancho de pared necesario con la ecuación (10). Este resultado va a servir para compararlo con el valor estándar, expuesto en la norma API 650 S5.6.11, de 6 mm para contenedores con diámetros inferiores a 15 metros. En este sentido:

$$t = \frac{0.9026 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 142 \text{cm} \times 47 \text{cm}}{3200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 1} = 0.212 \text{ cm}$$

Dado que el ancho de pared es de 2.12 mm, se optó por el ancho estándar de la norma.

Coker estableció una guía para la selección de aspas de agitación en el que se determinó que las aspas tipo turbina eran las más adecuadas para mezclas líquidas debido a que: presentan un patrón de flujo mixto que se adapta al número de Reynolds y son las más eficientes para el intercambio de calor con serpentines [31]. También, Coker determinó que la relación entre el diámetro de las aspas debe ser la cuarta parte del diámetro del tanque y, a su vez, el ancho de estas debe ser la octava parte del diámetro de las aspas [41]. Basado en estas relaciones para tanques de agitación, se obtuvo que:

$$D_{\text{aspa}} = 12 \text{ cm}$$

$$W_{\text{aspa}} = 2.9 \text{ cm}$$

Una vez encontrado el diámetro de la aspa, se utiliza la ecuación (11), para encontrar el número de Reynolds. Como se tiene una mezcla, se tienen valores ponderados para la densidad y la viscosidad. Donde la viscosidad para el N-metil-2-pirrolidona es de $1.613 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, la del 2-pirrolidona-1-octil es de $9.1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, la del 2-pirrolidona-1-dodecil de $267 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, la del bencil benzoato de $9.74 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, la del alcohol bencílico de $5.74 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, y la del dietilglicol monobutiléter de $6.1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$.

$$\mu = \frac{1.613 + 9.1 + 267 + 9.74 + 5.74 + 6.1}{6} = 49.88 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$\rho = \frac{0.9041 + 0.92 + 1.028 + 1.118 + 0.953 + 1.045}{6} = 0.9026 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Se ha reportado que la velocidad de rotación óptima para la activación de fluazurón es de 125 rpm [41], lo que equivale a 2.083 metros por segundo. Así el número de Reynolds para la mezcla es de:

$$Re = \frac{(0.95\text{m}^2) \left(2.083 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(902.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{0.04488 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 5125$$

Con este número de Reynolds y la Figura 6, se puede determinar el número de potencia.

$$N_p \cong 1.9$$

Con el número de potencia, se emplea la ecuación (12) que permite determinar la potencia necesaria del motor:

$$P = (1.90)(0.12)^5(2.083)^3(902.6) = 8.94 \text{ W}$$

Mezcla con calentamiento

Para el dimensionamiento de los tanques de agitación se empleó la norma API 650, subsecciones 4.22 y 5.6.11. El diseño del tanque de agitación es parecido al diseño de un tanque de almacenamiento, para determinar el volumen, altura y diámetro de tanque. Para determinar el volumen necesario, se toma en cuenta el caudal de entrada diario de 60 litros por día:

$$h_{\text{cono}} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 60,000\text{cm}^3}{16 \pi}} = 26 \text{ cm}$$

En caso de no conocer el ángulo longitudinal, la carga muerta y las longitudes normales de techo, la norma API 650 sección 4.22 dicta que se deben sumar 0.5 m para el techo donde va a estar ubicado el motor y el 0.83 m para el fondo del tanque que va actuar como difusor para el ancla de agitación. De esta manera:

$$h_{\text{tanque}} = 26\text{cm} + 50\text{cm} + 83\text{cm} = 159\text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = \frac{2}{3}(159\text{cm}) = 106\text{ cm}$$

Posteriormente, se calcula el ancho de pared necesario con la ecuación (10), descrita en la sección de metodología. Este resultado va a servir para compararlo con el valor estándar, expuesto en la norma API 650 S5.6.11, de 6mm para contenedores con diámetros inferiores a 15 metros. En este sentido:

$$t = \frac{0.9026 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 159\text{cm} \times 53\text{cm}}{3200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 1} = 0.237\text{ cm}$$

Dado que el ancho de pared es de 2.37 mm, se optó por el ancho estándar de la norma.

Coker estableció una guía para la selección de aspas de agitación en el que se determinó que las aspas tipo turbina eran las más adecuadas debido a que: presentan un patrón de flujo mixto que se adapta al número de Reynolds y son las más eficientes para el intercambio de calor con serpentines [41]. También, Coker determinó que la relación entre el diámetro de las aspas debe ser la cuarta parte del diámetro del tanque y, a su vez, el ancho de estas debe ser la octava parte del diámetro de las aspas [41]. Basado en estas relaciones para tanques de agitación, se obtuvo que:

$$D_{\text{aspa}} = 26\text{ cm}$$

$$W_{\text{aspa}} = 3.2\text{ cm}$$

Una vez encontrado el diámetro de la aspa, se utiliza la ecuación (11), para encontrar el número de Reynolds. Se utiliza los mismos rpm con la única diferencia que el tiempo va a ser la variante.

$$Re = \frac{(1.06m)^2 \left(2.083 \frac{m}{s}\right) \left(902.6 \frac{kg}{m^3}\right)}{0.04488 \frac{m^2}{s}} = 2548$$

Con este número de Reynolds y la Figura 6, se puede determinar el número de potencia.

$$N_p \cong 5$$

Con el número de potencia, se emplea la ecuación (12) que permite determinar la potencia necesaria del motor:

$$P = (5)(0.26)^5(2.083)^3(902.6) = 48.46 \text{ W}$$

Finalmente, la altura del serpentín está determinada como el 80% de la altura total del tanque, por lo que:

$$h_{\text{serpentín}} = 159\text{cm} \times 0.8 = 127 \text{ cm}$$

Teniendo todas las variables definidas, se emplea la ley de Newton para determinar el calor que va a consumir el tanque de calentamiento:

$$Q = UA\Delta T_{lm}$$

En la que el coeficiente de transferencia, $U = 1,500 \frac{W}{m^2K}$, el área, $A = \pi(1.06m)(1.59m) = 5.29 m^2$ y el delta logarítmico, $\Delta T_{lm} = \frac{(25-40)-(120-125)}{\ln\left[\frac{(25-40)}{(120-125)}\right]} = 9.102$. Por lo tanto:

$$Q = 1500 \times 5.29 \times 9.102 = 72,227.48 J$$

B.4 Tanques de calentamiento

Pre calentamiento

Para el tanque de pre calentamiento, se siguió el mismo procedimiento que los tanques de almacenamiento puesto que la única diferencia es que va tener un serpentín que va elevar la temperatura en 5 °C a la mezcla con vapor proveniente de la caldera. El volumen necesario para el tanque de pre calentamiento va a ser de 52 L puesto que tiene un flujo másico diario de 51.8 L:

$$h_{cono} = \sqrt[3]{\frac{9 \times 52,000 cm^3}{16 \pi}} = 21 \text{ cm}$$

$$D_{tanque} = \frac{2}{3}(21cm) = 14 \text{ cm}$$

$$h_{cabeza} = \frac{14cm}{4} = 3,5 \text{ cm}$$

$$h_{tanque} = 14cm + 2(3.5) = 21 \text{ cm}$$

Por motivos de seguridad, se asume un sobre-dimensionamiento del 20% al volumen y altura para que el tanque esté lleno siempre al 80%.

$$h_{tanque} = 21cm + (21 \times 0.2) = 25.2 \text{ cm}$$

$$V_{\text{tanque}} = 52\text{L} + (52 \times 0.2) = 62.4 \text{ L}$$

De esta manera, se tienen las mediciones finales para el tanque de precalentamiento:

$$V_{\text{tanque}} = 63 \text{ L}$$

$$h_{\text{tanque}} = 25 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tanque}} = 14 \text{ cm}$$

La altura del serpentín está determinada como el 80% de la altura total del tanque, por lo que:

$$h_{\text{serpentín}} = 25\text{cm} \times 0.8 = 20 \text{ cm}$$

Teniendo todas las variables definidas, se emplea la ley de Newton para determinar el calor que va a consumir el tanque de calentamiento:

$$Q = UA\Delta T_{lm}$$

En la que $U = 1500 \frac{W}{m^2K}$, $A = \pi(0.14 \text{ m})(0.25 \text{ m}) = 0.0923 \text{ m}^2$ y $\Delta T_{lm} =$

$$\frac{(20-60)-(25-80)}{\ln\left[\frac{(20-60)}{(25-80)}\right]} = 47.10. \text{ Por lo tanto:}$$

$$Q = 1500 \times 0.0923 \times 47.10 = 65200.00 \text{ J}$$

Enfriamiento

Para el tanque de enfriamiento, se ha seguido el mismo procedimiento para los tanques de almacenamiento puesto que la mezcla final se va a dejar enfriar a temperatura ambiente. Para determinar el tiempo mínimo de enfriamiento, se ha empleado la ecuación (16). Debido a que se tiene una mezcla, se ha tenido que obtener el calor específico ponderado mediante la ecuación (18), donde el C_p del alcohol bencílico es de $215.90 \frac{J}{molK}$, la del benzoato bencílico de $415.95 \frac{J}{molK}$, la del N-metil-2-pirrolidona de $175 \frac{J}{molK}$, y la del dietilenglicol monobutiléter de $535 \frac{J}{molK}$.

$$C_p = \left(215.9 \frac{J}{molK} \times 0.0117\right) + \left(415.95 \frac{J}{molK} \times 0.031\right) + 1 \left(75 \frac{J}{molK} \times 0.72\right) + \left(535 \frac{J}{molK} \times 0.0107\right) = 147.14 \frac{J}{molK}$$

De esta manera, se puede calcular el coeficiente k:

$$k = \frac{1500 \times 0.122}{0.06 \times 147.14} = 0.863$$

De esta forma, se puede calcular el tiempo de enfriado:

$$t = -0.863 \ln\left(\frac{30 - 22}{120 - 22}\right) = 6.036 \text{ horas}$$

B.5 Caldera

El diseño de la caldera se basó en un criterio de selección detallado en la guía de calderas de alta presión de Rite Engineering & Co. En el cual establece que para calentar un mezcla de líquidos no reactivos y a temperaturas menores a 300 °C: recomiendan usar calderas de tubos para generación de vapor con corriente de aire y combustión (Rite Engineering, 2015). Las presiones de operación están expuestas en función de temperaturas máximas de presión de vapor: el modelo P15*, es una caldera de 628 BTU con 15 caballos de fuerza que tiene una temperatura de alta presión de 125 °C con un flujo de vapor de libras por hora de 518. A partir de esta guía, se obtuvieron las dimensiones requeridas para la caldera, la cuales están presentadas en la sección de diseño de planta.

Anexo C: Análisis Económico

C.1 Tanques de almacenamiento

Para el análisis económico, se empleó la ecuación (8). Se transformó la capacidad de los tanques a metros cúbicos y se ingresaron los datos en una hoja de cálculo para obtener los resultados expresados en la tabla:

Tabla 21. Costos preliminares para los tanques de almacenamiento en USD

Tanques de almacenamiento		
	<i>Capacidad (m³)</i>	<i>Costo (USD)</i>
1	0.154	5889
2	0.238	5956
3	0.235	5954
4	1.434	6601
5	0.0564	5794
6	0.0228	5750
7	0.0228	5750
8	0.72	6256
9	0.52	6143
	Total	54092

C.2 Mezcladoras

Para los tanques de agitación, se necesitaron las potencias necesarias para la agitación, las cuales fueron obtenidas en los cálculos de dimensionamiento. Estos valores fueron puestos en la hoja de cálculo junto con la ecuación (15), y se pudieron obtener los siguientes resultados para los costos de mezcladoras:

Tabla 22. Costos preliminares para tanques de agitación en USD

Tanques de agitación			
	<i>Capacidad (m³)</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Costo (USD)</i>
Pretratamiento	0.06	0.01	4348
Mezcla	0.72	0.05	4475
		Total	8823

C.3 Caldera

Para el análisis económico preliminar de la caldera, se empleó la ecuación (8). Dado a que se necesita el flujo de vapor en kilogramos por hora de vapor, se procedió a transformar las libras de vapor por hora proveídas por la guía de selección de Rite Engineering:

$$518 \frac{lb}{h} \times \frac{1kg}{2.2lb} = 200 \frac{kg}{h}$$

Tabla 23. Costos preliminares para caldera en USD

Caldera			
	<i>presión (bar)</i>	<i>kg/h vapor</i>	<i>Costo (USD)</i>
Calentamiento	11.4	200	8897

C.4 Método factorial detallado

Posteriormente, para calcular el costo de equipos, se empleó el método de factor detallado descrito en la ecuación (19). La suma de factores para los tanques de agitación y caldera incluyen el factor de instrumentación, mientras que, para los tanques de almacenamiento, este no es tomado en cuenta.

Tabla 24. Costos para equipos para planta de tratamiento de acaricida en USD

<i>Ce</i>	<i>Suma factores</i>	<i>Factor de material</i>	<i>fp</i>
17721	1.4	1	0.8
54092	1.1	1	0.8
Costo Total de Equipos para el Proceso (USD)			154072

Una vez obtenido los costos para equipos, se puede determinar la inversión de capital fijo, capital de trabajo, costos variables y fijos; cómo se calcularon estos, se definió en la sección de metodología. Los resultados sirven para determinar el precio unitario de venta del producto, calcular los beneficios y, así, determinar el tiempo de recuperación de inversión. El análisis de los costos variables y fijos están calculados en función de un mes de producción, estos sumados

a los costos de inversión de capital fijo y capital de trabajo da como resultado el capital de inversión necesario para montar la planta de producción de acaricida.

Una vez seleccionado el precio de venta, se calculan los ingresos totales y se le resta los costos en efectivo de producción para obtener el beneficio bruto. Posteriormente, el beneficio neto se obtiene de la resta del beneficio bruto y los impuestos. Finalmente, esto dividido para el capital de inversión va a dar como resultado el ROI (tiempo de recuperación de inversión) en meses.

Tabla 25. Balance económico para planta de tratamiento de acaricida en USD

Componentes de Costos		USD
Inversión de capital fijo	Costo ISBL	154102
	Costo OSBL	61641
	Costo Ingeniería	21574
	Costo Contingencia	32361
Capital de trabajo	Costo de producción e inventarios	10787
Fijos	Mantenimiento	450
	Impuesto a la propiedad	193
	Gastos medio ambientales	180
	Gasto salarial	400
	Supervisión	100
	Generales	618
	Operativos	800
	Depreciación de equipos	1284
FCOP	Total	4024
Variables	Costo de producción por unidad	20
	Materias Primas	10226
	Electricidad	6.60
	Agua Potable	2.78
VCOP	Total	10,235
Costos de producción	FCOP + VCOP	14,259
Beneficios	Beneficio bruto	73,941
	Beneficio mensual neto	73,748
	Beneficio anual neto	884,981
Ingresos	Precio de venta	35
	Ingresos mensuales para 2,520 unidades	88,200