

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE LA INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA FORMULADORA DE
HERBICIDAS COMO
DISOLUCIONES LÍQUIDAS EN AGUA A BASE DE
2,4-D, GLIFOSATO, 2,4-D MÁS PICLORÁN Y PARAQUAT**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA
CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA COMO
REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

MAUREN RODRÍGUEZ CASTRO

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO
SAN JOSÉ, COSTA RICA**

2013

Proyecto de graduación presentado ante la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica, como requisito final para optar por el grado de licenciada en Ingeniería Química, presentado por:

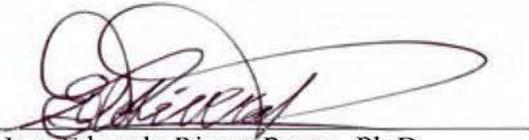
Mauren Rodríguez Castro

Aprobado por:



Ing. Adolfo Ulate Brenes, M.Sc
Profesor Asociado
Escuela de Ingeniería Química

Presidente del Tribunal



Ing. Eduardo Rivera Porras, Ph.D
Profesor Asociado
Escuela de Ingeniería Química

Director del proyecto



Ing^a. Maureen Córdoba Pérez
Profesor
Escuela de Ingeniería Química

Miembro Lector



Ing. Johnny Alfaro Pérez
Profesor
Escuela de Ingeniería Química

Miembro Lector



Ing. José Rubén Naranjo Sánchez, M.Sc.
Profesor Asociado
Escuela de Ingeniería Química

Miembro Invitado

“Salvaguardar el medio ambiente... Es un principio rector de todo nuestro trabajo en el apoyo del desarrollo sostenible; es un componente esencial en la erradicación de la pobreza y uno de los cimientos de la paz.”

Kofi Annan.

Dedicatoria

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis metas, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Agradecimientos

Les agradezco a mis padres, y hermanos, a mi tía Letty y demás familiares, por el apoyo en mis estudios, de ser así no hubiese sido posible ya que me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Un agradecimiento especial al Dr. Eduardo Rivera, por la colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre. A Adolfo Ulate, Johnny Alfaro y Maureen Córdoba por su ayuda y disposición para conclusión de este proyecto.

Al macho, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con él.

RESUMEN

Los objetivos principales de este proyecto fueron realizar el diagrama de flujo para una planta formuladora de herbicidas como disoluciones líquidas en agua a base de ácido 2,4-D, glifosato, ácido 2,4-D más piclorán y paraquat, y diseñar la ingeniería básica.

Para lograr el primer objetivo se estudió el proceso actual, las nuevas tecnologías que se desean incorporar y la literatura, considerando las especificaciones y limitaciones de la empresa, para el proceso de formulación de los herbicidas.

Se concluyó principalmente que la producción es por lotes en dos tandas de 25 m³ para cada herbicida. Además, para formular el herbicida a base de paraquat, el tiempo de mezclado recomendado es de 40 min y para los herbicidas a base del ácido 2,4-D, 2,4-D más piclorán, y glifosato que sufren una reacción exotérmica éste está controlado por el tiempo de enfriamiento (por medio de serpentines verticales), dado que es mayor que el tiempo de reacción y mezclado. Se recomienda evaluar a escala el tiempo de enfriamiento con serpentines verticales.

Para el segundo objetivo con base al diagrama de flujo y masa, se dimensionan los equipos, diseña y distribuye la planta. Se concluye que el principal material en la construcción de los equipos y tubería es el acero inoxidable y los motores de equipos deben ser a prueba de explosiones. Las dimensiones de la planta son aproximadamente 12 m de alto, 59,1 m de largo, y 27,4 m de ancho. La planta tiene un costo preliminar de US \$ 8 850 000.

Se recomienda realizar el diseño de proceso de control automático e instrumentación, dado que el manejo manual de la planta sería muy complicado y peligroso.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Herbicidas Hormonales	2
2.2 Empresa formuladora de herbicidas	3
2.3 Tanques agitados	11
2.4 Características del Flujo en Almacenamiento de sólidos	15
2.5 Equipos de transporte sólidos	19
2.6 Serpentes de enfriamiento	27
3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FORMULACIÓN DE HERBICIDAS	31
3.1 Limitaciones y procesos requeridos en la nueva planta	31
3.2 Diagramas de flujo de los procesos	32
3.3 Herbicida como disolución acuosa a base de paraquat	32
3.4 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán	35
3.5 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D	37
3.6 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de glifosato	39
4. TANQUE DE AGITACIÓN	41
4.1 Proporciones del tanque de agitación	41
4.2 Potencia, velocidad del eje, tiempo de agitación y eje del agitador	42
4.3 Serpentes de enfriamiento verticales	44
5. DISEÑO DE LA INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA	47
5.1 Equipos principales, tubería y accesorios	47
5.2 Isométrico de planta	53

6. COSTOS PRELIMINARES DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA	57
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7.1 Conclusiones	59
7.2 Recomendaciones	60
8. BIBLIOGRAFÍA	61
9. NOMENCLATURA	64
APÉNDICE	70
Apéndice A Cuadros de datos	71
Apéndice B Resultados Intermedios	76
Apéndice C Muestra de Calculo	91
ANEXOS	123
Anexo 1 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de paraquat	124
Anexo 2 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de 2,4-D más piclorán	125
Anexo 3 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de 2,4-D	126
Anexo 4 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de glifosato	127
Anexo 5 Volumen según el tipo de tapas para tanques	128
Anexo 6 Peso del manguito para turbinas de acero al carbono o acero inoxidable con cuatro aspas. (Rivera, 2002)	128
Anexo 7 Datos de conductos estándar (acero) para ced. 40	129
Anexo 8 Pérdidas de fricción por accesorios	129
Anexo 9 Silos de almacenamiento para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán, distancias en m	130
Anexo 10 Elevadores de cangilones para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán, distancias en m	131
Anexo 11 Transportadores neumáticos para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán, distancias en m	132

Anexo 12 Tanques de almacenamiento de DMA, MIPA o NH ₃ y paraquat, distancias en m.....	133
Anexo 13 Curva característica de la potencia de la bomba con respecto a la altura y flujo	134
Anexo 14 Tabla de las dimensiones de bridas.....	134
Anexo 15 Tabla de las dimensiones de accesorios de tubería	135
Anexo 16 Tabla de las dimensiones de válvulas	135
Anexo 17 Diagrama de numeración de tubería para la planta formuladora de herbicidas	136
Anexo 18 Isométrico de la planta formuladora de herbicidas separado	137
Anexo 19 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de paraquat, distancia en m.....	138
Anexo 20 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de 2,4-D más piclorán, distancia en m.....	139
Anexo 21 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de 2,4-D, distancia en m	140
Anexo 22 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de glifosato, distancia en m.....	141
Anexo 23 Isométrico de la tubería de agua para la formulación de los herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán, distancias en m.....	142
Anexo 24 Isométrico de la tubería de agua para los serpentines de enfriamiento, distancias en m	143
Anexo 25 Isométrico de la tubería de agua para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D y glifosato, distancias en m.	144
Anexo 26 Distribución de planta para la formulación de herbicidas.....	145
Anexo 27 Vista frontal del edificio para la formulación de herbicidas, distancias en m	146
Anexo 28 Edificio para la formulación de herbicidas	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Caracterización del flujo de materiales sólidos en un recipiente	15
Figura 2.2 Esquema del mecanismo de temblores en un silo	17
Figura 2.3 Transportador de tornillo sin fin	21
Figura 2.4 Transportador de banda	22
Figura 2.5 Elevadores de Cangilones	23
Figura 2.6 Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluída y de baja presión positiva	26
Figura 3.1 Diagrama de flujo para la formulación de herbicidas en disolución con agua ..	34
Figura 4.1 Proporciones del tanque de agitación de 25 m ³	41
Figura 4.2 Vista superior y lateral de los serpentines dentro del tanque de agitación, distancias en m	45
Figura 5.1 Isométrico de la planta formuladora de herbicidas	55
Figura 5.2 Distribución de la planta formuladora de herbicidas	56
Figura B.1 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del glifosato.....	80
Figura B.2 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del 2,4-D.	80
Figura B.3 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del piclorán	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Características de depósitos de flujo masa y de flujo embudo	18
Cuadro 2.2 Transportadores de materiales sólidos	20
Cuadro 3.1 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de paraquat en una tanda de 25 m ³	33
Cuadro 3.2 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán en una tanda de 25 m ³	36
Cuadro 3.3 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D en una tanda de 25 m ³	38
Cuadro 3.4 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de glifosato en una tanda de 25 m ³	39
Cuadro 4.1 Tiempo requeridos en los tanques agitados del producto	43
Cuadro 4.2 Tiempo de enfriamiento requerido para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán.....	46
Cuadro 5.1 Volumen de silos de almacenamiento para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán	48
Cuadro 5.2 Flujos volumétricos requerido en los elevadores de cangilones para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán.....	49
Cuadro 5.3 Flujos volumétricos requeridos en los transportadores neumáticos para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán.....	49
Cuadro 5.4 Volumétricos requeridos para el almacenamiento de DMA, MIPA o NH ₃ y paraquat	51
Cuadro 5.5 Potencia de las bombas requeridas en el proceso de formulación de herbicidas	52
Cuadro 6.1 Costo de los equipos, tubería y edificio.....	57

Cuadro A.1 Volúmenes requeridos por lote en la planta formuladora de herbicidas de los tanques agitadores y almacenamiento del producto	71
Cuadro A.2 Parámetros de los tanques agitados utilizados en la planta 1 actual	71
Cuadro A.3 Dimensiones del tanque utilizado en las pruebas para reducción del tiempo de formulación	71
Cuadro A.4 Tiempo y velocidad del eje obtenido por las pruebas realizadas para la reducción del tiempo de formulación (información confidencial).	71
Cuadro A.5 Parámetros para el acero inoxidable.	72
Cuadro A.6 Masas máximas requeridas por lote en la planta formuladora de herbicidas para los silos de almacenamiento de los sólidos de materia prima.....	72
Cuadro A.7 Densidad aparente de los ácidos (sustancias sólidas) de materia prima para la formulación de los herbicidas	72
Cuadro A.8 Masas máximas requeridas por lote en la planta formuladora de herbicida de almacenamiento de los líquidos de materia prima.....	72
Cuadro A.9 Densidad de las materias primas líquidas para la formulación de los herbicidas	73
Cuadro A.10 Propiedades fisicoquímicas de los herbicidas.....	73
Cuadro A.11 Propiedades fisicoquímicas del agua a 24 °C y 31,7 °C	73
Cuadro A.12 Temperatura en los tanques agitados donde se instalaran serpentines.....	73
Cuadro A.13 Características de la torre de enfriamiento deseada para suministrar el agua a los serpentines	73
Cuadro A.14 Volúmenes de agua requeridos para la formulación de herbicidas	74
Cuadro A.15 Datos de tamizado para el glifosato	74
Cuadro A.16 Datos de tamizado para el 2,4-D.....	74
Cuadro A.17 Datos de tamizado para el piclorán.....	75

Cuadro B.1 Dimensiones requeridas de los tanques agitadores y almacenamiento del producto	76
Cuadro B.2 Proporciones requeridas de los tanques agitadores del producto.....	76
Cuadro B.3 Potencia, revoluciones y tiempo requeridos en los tanques agitados del producto	76
Cuadro B.4 Parámetros requeridos para determinar las revoluciones y tiempo requeridos en los tanques agitados de paraquat.....	77
Cuadro B.5 Parámetros del eje del agitador en los tanques agitados de producto	77
Cuadro B.6 Volúmenes requeridos en los silos para la formulación de herbicidas	77
Cuadro B.7 Dimensiones requeridas en los silos de materia prima sólida para la formulación de herbicidas.....	78
Cuadro B.8 Parámetros requeridos en el elevador de cangilones para el transporte de materia prima en fase sólida a los silos.....	78
Cuadro B.9 Parámetros requeridos en el transportador neumático para el transporte de materia prima en fase sólida a los tanques agitados.	78
Cuadro B.10 Fracciones de glifosato obtenidas en cada malla para el tamizado.....	78
Cuadro B.11 Fracciones de 2,4-D obtenidas en cada malla para el tamizado.....	79
Cuadro B.12 Fracciones de piclorán obtenidas en cada malla para el tamizado.....	79
Cuadro B.13 Parámetros requeridos en los tanques de materia prima líquida para la formulación de herbicidas.....	81
Cuadro B.14 Diámetro interno y externo de la tubería utilizada para el serpentín de Ced 40, diámetro nominal 2	81
Cuadro B.15 Datos del serpentín de 2” ced 40 en los tanques de agitación.....	82
Cuadro B.16 Parámetros requeridos para determinar el coeficiente total de transferencia de calor de los serpentines para el enfriamiento de los tanques de formulación.....	82

Cuadro B.17 Parámetros requeridos para determinar el tiempo de los serpentines para el enfriamiento de los tanques de formulación	83
Cuadro B.18 Parámetros requeridos para determinar la caída de presión de los serpentines	83
Cuadro B.19 Determinación del flujo y velocidad requerida en tuberías (numeración con base a la figura del Anexo 17)	83
Cuadro B.20 Diámetro de tuberías Ced. 40 (numeración con base a la figura del Anexo 17)	86
Cuadro B.21 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de glifosato y 2,4-D.....	88
Cuadro B.22 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de glifosato y 2,4-D.....	89
Cuadro B.23 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán	89
Cuadro B.24 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán	89
Cuadro B.25 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua de enfriamiento por medio de los serpentines	90
Cuadro B.26 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua de enfriamiento por medio de los serpentines	90

1. INTRODUCCIÓN

Una empresa formuladora de agroquímicos tiene como futura visión exportar sus productos a Colombia y Venezuela. Sin embargo, la planta 1 (que es la planta formuladora de herbicidas) en este momento solo procesa 10 000 L por tanda, un volumen que es menor a la capacidad que se requiere de 25 000 L.

Por esta razón se desea demoler la planta existente y construir una nueva con mayor tamaño y mejores instalaciones, además el equipo que se utiliza actualmente (2013) está desgastado, por lo que se quiere eliminar y comprar nuevo. En esta área se formulan cuatro diferentes tipos de herbicidas; el primero es una disolución simple de paraquat y agua, los otros tres (herbicidas como disolución acuosa a base de 2,4-D, glifosato, y piclorán más 2,4-D) son ácidos sólidos insolubles en agua de los cuales al prepararse se deben reaccionar con una base, para que se forme una sal soluble en agua, esta reacción es exotérmica y hace que la temperatura de los proceso alcance aproximadamente 60 °C.

El objetivo de este proyecto es desarrollar la ingeniería básica, iniciando con la realización de un diagrama de flujo del proceso, con los equipos y corrientes principales, así como los balances de materia y energía para establecer las temperaturas y flujos de operación para todas las corrientes de proceso y de servicio.

Luego se dimensiona, diseña y distribuye en el terreno existente seleccionado los principales equipos de proceso y establecer especificaciones de compra de la planta. Además, se plantea un presupuesto de la inversión requerida.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Herbicidas Hormonales

Las hormonas son sustancias químicas que afectan procesos fisiológicos que regulan el crecimiento y desarrollo de la planta. Pueden ser naturales o sintéticas: (Puricelli & Leguizamón, 2005)

- a) Las hormonas naturales son producidas por la planta y están reguladas por procesos intrínsecos. Dentro de este grupo están las auxinas y el ejemplo más común es el ácido indolacético (AIA).
- b) Ciertos herbicidas actúan como hormonas sintéticas, ya que pueden ejercer todas las acciones que ejerce el AIA, pero no están sujetos a regulación intrínseca.
 - Fenólicos
 - Benzoicos
 - Picolínicos

Fenólicos

Son herbicidas ampliamente usados a nivel mundial. Actualmente, los herbicidas fenólicos de importancia económica son 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), sal dimetilamina del ácido metil clorofenoxiacético (MCPA) y 2,4 diclorofenoxibutírico (2,4-DB).

Si bien los herbicidas fenólicos se transloca y ejercen su acción en forma de ácido (COOH), esta formulación es solo ligeramente soluble en agua y como tal no suele usarse comercialmente. El ácido 2,4-D puede reaccionar con hidróxidos y alcoholes para formar sales y ésteres, respectivamente, con propiedades muy diferentes (Puricelli & Leguizamón, 2005).

- Las sales aminas son las formulaciones más comúnmente usadas de este herbicida. Suelen comercializarse en forma líquida. La sal dimetilamina del 2,4-D y las aminas y ésteres del 2,4-DB son sólidos, blancos y cristalinos. No son volátiles, por lo que disminuye el riesgo de deriva a cultivos colindantes que sean sensibles. Son polares, muy solubles en agua y de más lenta absorción que los ésteres.

- Los ésteres pueden ser de alta o baja volatilidad de acuerdo a la longitud de la cadena adjunta al grupo carboxílico. Son no polares y solubles en aceite. Normalmente se formulan diluidos en aceite, incorporando al mismo tiempo un agente emulsificante. Suelen comercializarse en forma líquida. Desde un punto de vista agrícola, las formulaciones ésteres son normalmente más eficaces para el control de malezas. Esto se explica ya que: a) al ser más volátiles las plantas las absorben mejor; b) la acción mojante del éster emulsionado en aceite puede facilitar su penetración; y c) al ser poco polares, la penetración por cutículas ricas en ceras puede ser más intensa debido a la mayor compatibilidad con dicha estructura foliar.

Benzoicos

Son derivados clorados del ácido benzoico. Sus propiedades como reguladores del crecimiento son similares a las de los fenoxi. El primer benzoico desarrollado fue el 2,3,6-TBA (ácido 2,3,6 triclorobenzoico). Luego se desarrollaron el dicamba y el cloramben (Puricelli & Leguizamón, 2005).

Picolínicos

Son derivados del ácido picolínico. Cabe mencionar en este grupo al triclopyr, clorpiralid y piclorán. Este último es el más utilizado y el nombre comercial más común es Tordon. Posee 100 veces más actividad fisiológica que el 2,4-D (Puricelli & Leguizamón, 2005).

2.2 Empresa formuladora de herbicidas

2.2.1 Historia

La empresa se fundó en 1975 con el objetivo de formular herbicidas a base del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). La idea inicial de los fundadores era poner una fábrica para clorar fenol en la posición 2 y 4 (diclorofenol), luego otra planta para producir ácido

cloroacético, para luego reaccionarlos en una tercera unidad, que produciría el 2,4-D. Una vez obtenido éste, se formularía para producir herbicidas hormonales.

En aquel momento cálculos preliminares indicaron que instalar todo este complejo descrito requeriría una inversión superior a los \$10 millones (US). Este monto de la inversión no estaba al alcance de los promotores del proyecto, razón por la cual en 1977 decidieron realizar todo el proyecto por etapas, comenzando con la etapa final que es la formulación de los herbicidas hormonales a partir de 2,4-D importado, la idea era que, conforme el proyecto se fuera consolidando se diera la integración vertical.

Con el transcurso de los años se ha encontrado que ha sido mejor para la empresa diversificar los productos formulados en vez de llevar a cabo la integración vertical. Por esta razón la industria hoy en día formula y comercializa más de 40 productos los cuales se describirán más adelante.

En 1978 se comenzó la construcción de la planta formuladora de herbicidas a base de 2,4-D que consistía en un tanque de formulación de 5 000 L de capacidad y un tanque de almacenamiento de igual tamaño. La planta original se instaló en un edificio aproximadamente de 1 200 m². El primer lote de producto formulado se realizó en marzo de 1979.

A través de los años se fueron añadiendo otras unidades productivas y construcciones que permitieran a la empresa formular otros productos como herbicidas de otro tipo, insecticidas, fungicidas y nematocidas.

En la actualidad la empresa exporta aproximadamente entre un 75 % a 80 % de sus productos a países de Centroamérica y Panamá (excepto Guatemala) y el resto al mercado local. De la mezcla total de productos cerca del 20 % de ellos representa el 80 % de los ingresos de la compañía. En estos momentos se están haciendo los trámites de registro para poder comercializar los principales productos en Guatemala y Venezuela (Fuente Confidencial).

2.2.2 Productos formulados

La empresa produce herbicidas, insecticidas, fungicidas y nematocidas. A continuación se presenta la lista de productos formulados. Esta lista incluye únicamente los productos que en la actualidad se están formulando y no todos aquellos que la empresa tiene registrados a su nombre (Fuente Confidencial).

Herbicidas

Los herbicidas formulados se dividen en cuatro clases.

- a) Herbicidas como disoluciones líquidas en agua a base de:
 - Ácido 2,4-D.
 - Glifosato.
 - Ácido 2,4-D y piclorán.
 - Paraquat.
- b) Herbicidas concentrados emulsificables disueltos en un disolvente orgánico a base de :
 - Oxifluorfen.
 - Triclopir.
 - Fluacifop.
 - Pendimetalina.
- c) Herbicidas sólidos, que se dividen a su vez en polvos mojables y granulados mojables (que se disuelven en agua).
 - c.1) Polvos mojables a base de:
 - Metsulfuron metilo.
 - Diuron.
 - Glifosato y metsulfuron metilo.
 - c.2) Granulados mojables a base de:
 - Metsulfuron metilo.
- d) Herbicidas como disolución concentrada a base de:

- Ametrina.

Insecticidas

Los insecticidas que se formulan en la empresa son de tres tipos:

- a) Concentrados emulsificables disueltos en un disolvente orgánico a base de:
 - Abamectrina.
 - Cipermetrina.
 - Diazinon.
 - Malation.
 - Clorpirifos.
- b) Polvos dispersables a base de:
 - Malation.
- c) Productos granulados a base de:
 - Diazinon.
 - Clorpirifos.
 - Carbofuran.
- d) Disolución líquida con metanol como disolvente a base de:
 - Oxamil.

Fungicidas

Los fungicidas se clasifican en tres grupos.

- a) Concentrados emulsificables disueltos en un disolvente orgánico a base de:
 - Propiconazol.
- b) Polvos mojables a base de:
 - Carbendazim.
 - Mancozeb.
 - Macozeb y Cimoxamil.
- c) Disolución concentrada a base de:

- Carbendazim.
- Cloratolonil.

Nematicida

Solo se producen nematicidas granulados a base de carbufuran.

2.2.3 Descripción de procesos

La empresa cuenta con normas de seguridad e higiene, sobre todo al tratarse de una empresa que trabaja con sustancias que son nocivas para el ser humano. Los trabajadores antes de ingresar deben cambiarse la ropa por el uniforme que les suministra la empresa y ponerse zapatos de seguridad, para ello se cuenta con un vestíbulo que tiene bancas, baños y casilleros. El uniforme cubre todo el cuerpo y también se usa un gorro; estos son individuales y se lavan dentro de la empresa todos los días, además cada trabajador cuenta con una mascarilla especial y un casco, pero estos se usan dependiendo de la labor que se realice. Después de haber terminado la jornada laboral cada uno debe ducharse y dejar el uniforme en una cesta.

La empresa cuenta con tres plantas, en la primera y tercera (adyacente) se lleva a cabo la formulación de herbicidas en disolución líquida y la segunda las demás clases de herbicidas, insecticidas, fungicidas y nematicidas (Fuente Confidencial).

2.2.3.1 Primera planta

En la primera planta se formulan las cuatro clases herbicidas en disolución líquida acuosa, En la planta se cuenta para cada producto un tanque agitado y su respectivo tanque de almacenamiento. En todos los procesos se utilizan bombas neumáticas hechas de polipropileno, puesto que se utilizan compuestos orgánicos que son inflamables y volátiles. En algunos casos también se utilizan bombas con motor eléctrico, y los tomacorrientes no cuentan con este tipo de protección. Al manejarse productos orgánicos, derivados del

amoníaco, que son corrosivos, todas las tuberías, llaves y bombas no deben estar hechas ni de aluminio ni de cobre ni de sus aleaciones (Fuente Confidencial).

Herbicidas a base de ácido 2,4-D

Para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D se cuenta con un tanque de agitación de 10 000 L, que produce una cantidad de aproximadamente 9 460 L de producto, construido de acero inoxidable; el tanque cuenta con una entrada hombre y dos entradas para añadir la materia prima y todas están abiertas a la atmósfera.

Para el proceso se requiere dimetilamina (DMA) que funciona como base, dado que el 2,4-D es insoluble en agua. Se hace reaccionar el ácido con la base orgánica para neutralizarlo y así puede disolverse.

La mezcla de las materias primas en el tanque es un proceso por lotes y se lleva a cabo por etapas. Primero se agrega toda el agua requerida, luego se agrega 1/3 de 2,4-D, después 1/3 de la DMA necesaria y así sucesivamente hasta completar la tanda. Durante este proceso el tanque se encuentra en constante agitación y se deja funcionar el agitador por una hora más. Como se lleva a cabo una reacción exotérmica la temperatura dentro del tanque se eleva a alrededor de 60 °C.

Además también se agrega al producto ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y un agente emulsificante.

El EDTA funciona como secuestrante de los cationes presentes en el agua dura, no solo para la utilizada durante el proceso, sino también porque el producto a la hora de aplicarse en el campo debe diluirse y por lo general esta agua se toma de ríos y pozos que puede ser dura. El EDTA secuestra los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} evitando que formen un compuesto insoluble con el ácido, de manera que el herbicida no pierda su función. El agente emulsificante permite disminuir la tensión superficial del líquido, así cuando se aplica, las gotas al caer en la planta abarquen una mayor área superficial y se pueda absorber más fácil. También se utiliza un agente antiespumante para minimizar la formación de espuma durante el proceso de formulación.

Una vez lista la disolución a base de 2,4-D se pasa a través de un filtro que elimina partículas sólidas que están presentes en la materia prima, además de las que pueden caer dentro del tanque. El fluido se bombea por succión con una bomba neumática y se envía al tanque de almacenamiento que es igual al tanque de agitación con la diferencia de que este es horizontal, pues no se cuenta con suficiente espacio vertical.

En el tanque de almacenamiento se deja enfriar pues como se dijo anteriormente, la temperatura aumenta hasta 60 °C, y el herbicida no se puede envasar de una vez, ya que el envasado es volumétrico y al bajar la temperatura a la del ambiente su volumen se reduciría y además esto causaría que la presión interna disminuyera haciendo que el envase se contraiga. Para la empresa esto es un problema ya que disminuye las tandas que se pueden realizar por día.

Se cuenta con una envasadora semiautomática que dosifica seis envases por descarga, para llenar botellas de 1 L únicamente, el resto de presentaciones deben hacerse manualmente (galones, envases de cinco y diez litros, cubetas de veinte litros y estaciones de 200 litros), para todos los herbicidas excepto el paraquat. Este tiene el problema que es considerablemente más corrosivo en comparación con los otros y además tiende a ensuciar la máquina.

Las tapas se ponen manualmente y cada una por debajo tiene un sello metálico que se pega con una selladora de inducción, y así poder asegurar al cliente que el producto no ha sido alterado y también da una protección en caso de derrames. El etiquetado y empaçado de todas las presentaciones es manual (Fuente Confidencial).

Herbicida a base de glifosato

El proceso de la formulación de este es exactamente igual al 2,4-D descrito anteriormente. La única diferencia son las materias primas que se utilizan, en este caso el ácido es el glifosato y para neutralizar la base es isopropilamina (erróneamente conocida en la industria como monoisopropilamina, MIPA) o amoníaco (NH_3). A diferencia de los

herbicidas a base de 2,4-D, a estos herbicidas a base de glifosato se les agrega un espesante (Fuente Confidencial).

Herbicida a base de paraquat

En este caso el paraquat es soluble en agua. Lo que se hace es diluir de un 42 % al 20 % (relación masa a volumen). Se lleva a cabo en un tanque hecho de fibra de vidrio, pues el paraquat es un producto muy corrosivo y la fibra tiene una vida útil más alta que el acero inoxidable y por la misma razón se requiere que las presentaciones de 1 L no se envíen a la envasadora semiautomática dado que causa muchos daños al equipo y es muy difícil lavar.

El tanque utilizado es vertical y tiene una capacidad de 10 000 L de los cuales solo pueden aprovecharse 7 161 L para la formulación del producto, ya que la formación de espuma es cuantiosa y el antiespumante no es muy eficaz. El producto terminado se bombea con una bomba neumática de polipropileno hacia el tanque de almacenamiento de igual volumen. Al producto se le agrega EDTA y emulsificante y se deja agitar por una hora. En este caso al tratarse de materias primas líquidas no es necesario un filtro para eliminar las impurezas. El envasado, etiquetado y empacado de todas las presentaciones se hace manualmente (Fuente Confidencial).

Herbicida a base de 2,4-D más piclorán

El proceso es igual al 2,4-D y el de glifosato, pero en este caso se usan dos ácidos los cuales son: el ácido 2,4-D y el ácido piclorán, y la base utilizada para neutralizarlos es la DMA. Se utiliza un tanque de una capacidad menor, de 5000 L y está fabricado de acero al carbono. La reacción exotérmica de ácido-base eleva igualmente la temperatura hasta aproximadamente los 60 °C, por lo que, es necesario dejar enfriar en el tanque de almacenamiento antes de envasar (Fuente Confidencial).

2.2.3.2 Segunda planta

En la segunda planta se cuenta con un tanque de 5 000 L para preparar todos los concentrados emulsificables y no se cuenta con un tanque de almacenamiento, por lo que,

para la preparación de otro tipo de producto es necesario esperar a que se termine de envasar y luego lavarlo, esto representa un “cuello de botella” para la empresa.

Además también hay un pantalón que es un mezclador de polvos, este equipo tiene dos entradas por donde se agregan los polvos y posteriormente gira para que se mezclen entre sí. Asimismo hay un mezclador de granulados donde se preparan insecticidas a base de diazinon, clorpiritos y carbofuran como nematicida-insecticida.

El diazinon y el clorpiritos son sustancias líquidas que se preparan en piedra pómez, lo cual es muy porosa y absorbe la disolución fácilmente. A la granuladora, que es un tanque rotatorio, se introduce la piedra y mediante un atomizador se inyecta el tipo de insecticida que va a prepararse y un colorante para distinguir entre un producto y otro. Luego mediante un tornillo sin fin se lleva a una tolva donde se empaqueta en sacos manualmente.

En el caso del carbofuran se trata de un polvo y es un producto muy tóxico, por lo que, al introducirlo al mezclador de granulados, la persona encargada de agregarlo utiliza un equipo de protección presurizado. Previamente al granulador se agrega piedra caliza y en un tanque agitado pequeño se prepara una goma a base de acetato de polivinilo junto con el tinte respectivo que se envía al atomizador, la goma se adiciona sobre la piedra y cuando estén bien mezclados entre sí, se añade el carbofuran para que se pegue con la piedra. Una vez listo con un elevador de canchales se lleva a una secadora rotatoria a una temperatura de aproximadamente 86 °C, para que la goma se seque. Después pasa por un tamiz para eliminar los grumos que se hayan formado durante el proceso y se envían a la tolva para empacar (Fuente Confidencial).

2.3 Tanques agitados

La agitación puede considerarse una operación universal, debido a que es difícil concebir un proceso u operación química donde no se presente alguna forma de agitación, ya que el éxito de muchas operaciones depende de la efectividad de la agitación o del proceso de mezclado.

Debe tenerse en cuenta que la agitación y el mezclado son dos operaciones relacionadas, pero distintas. La agitación se refiere al movimiento inducido en un material de una forma específica, normalmente en un patrón circulatorio, dentro de algún tipo de contenedor. El mezclado es una distribución aleatoria dentro y a través una de otra de dos o más fases inicialmente separadas (McCabe & Harriot, 2007).

Los principales propósitos de la agitación son: la suspensión de partículas sólidas, mezclado de líquidos miscibles, dispersión de un gas en una fase líquida, en pequeñas burbujas, formación de emulsiones, y transferencia de calor (McCabe & Harriot, 2007).

Entre los principales tipos de agitadores se encuentran los impulsores o agitador de rodete, y se dividen en dos tipos: impulsores de flujo axial e impulsores de flujo radial. Para líquidos de baja a moderada viscosidad se utilizan las hélices, turbinas e impulsores de alta eficiencia (McCabe & Harriot, 2007).

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido, tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles, de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial.

Si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete.

Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente en vez de mezcla, se produce la acción contraria, concentración (McCabe & Harriot, 2007).

2.3.1 Escalamiento de tanques agitados

El principal problema en el diseño de un tanque agitado es el escalamiento a partir de un tanque de planta piloto. El escalamiento para el equipo de agitación es uno de los más complejos. La forma más útil para la interpretación del escalamiento se basa en el principio de la similaridad, el cual puede ser de tres tipos:

1. *Semejanza geométrica*: Se presenta cuando las razones de las dimensiones correspondientes son iguales a las de otro.
2. *Semejanza cinética*: Requiere que sistemas geoméricamente similares posean iguales razones de velocidad en puntos correspondientes.
3. *Semejanza dinámica*: Ocurre cuando dos sistemas geométrica y cinéticamente similares poseen iguales razones de fuerzas en puntos correspondientes.

Cuando la potencia por unidad de volumen no varía y existe una misma configuración geométrica, la velocidad depende de $D_a^{-2/3}$, por lo tanto, esta puede expresarse como: (Herra, 1976)

$$\frac{P}{V} = \frac{N_p n^3 D_a^5 \rho}{(\pi/4) D_i^2 H} \quad (2.1)$$

Por lo que, se obtiene que:

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}} \right)^{2/3} \quad (2.2)$$

La disminución de la velocidad del impulsor en el escalamiento a P/V constante conduce a mayor tiempo de mezclado en tanques grandes. Por lo general, es impráctico tratar de mantener un tiempo de mezclado constante.

No existe una relación directa entre el consumo de potencia y la cantidad o grado de mezclado. Cuando el tiempo de mezclado es un factor importante, el mejor mezclador es aquel que mezcle en el tiempo requerido con la menor cantidad de potencia. El tiempo de mezclado es un factor que hay que considerar en el costo de energía y el costo de capital del mezclador.

El consumo de potencia en tanques grandes puede predecirse con exactitud a partir de las curvas de número de potencia (Np) y número de Reynolds (Re). Para un determinado mezclador, la potencia consumida se relaciona directamente con la velocidad de solución del gas o con la velocidad de ciertas reacciones.

La relación óptima del diámetro del impulsor con el diámetro del tanque para una potencia inicial dada, es un factor importante en el escalamiento. Para aumentar la escala se calcula la razón de aumento de escala R . Suponiendo que el recipiente original es un cilindro estándar con $D_{t1} = H_1$.

Haciendo las relaciones entre los respectivos volúmenes se obtiene:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.3)$$

Esta R se utiliza para todas las dimensiones geométricas del tanque; mientras que para determinar la rapidez del agitador n_2 se utiliza la ecuación siguiente:

$$n_2 = n \left(\frac{1}{R} \right)^n \quad (2.4)$$

Donde $n=1$ para igual movimiento de líquido, $n=3/4$ para iguales suspensión de sólidos y $n=2/3$ para iguales tasas de transferencia de masa (Rautzen, 1997).

2.4 Características del Flujo en Almacenamiento de sólidos

Dos de las definiciones más importantes de las características de flujo en un recipiente de almacenamiento son el **flujo de masa**, que significa que todos los materiales en el recipiente se desplazan cuando se retira una parte como se muestra en la Figura 2.1.a y el **flujo de embudo**, que se produce cuando fluye solo una porción del material (por lo común, en un canal en el centro del sistema) cuando se retira cualquier cantidad de material como se muestra en la Figura 2.1.b (Ravenet, 1992).

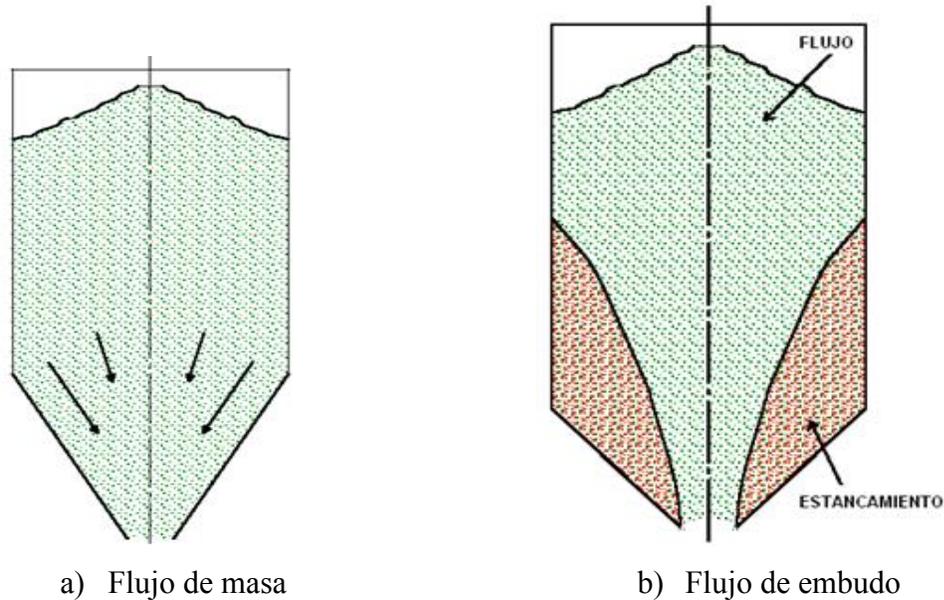


Figura 2.1 Caracterización del flujo de materiales sólidos en un recipiente (Blandón, 2008)

Los depósitos de flujo de masa tienen algunas de las características requeridas para los recipientes de almacenamiento: siempre que se abre la compuerta de fondo se obtiene un flujo. Esto significa que en todo punto dentro del depósito el material se encuentra en movimiento. Es decir que hay flujo de sólido almacenado a lo largo de las paredes verticales del depósito y de las paredes del embudo que forman la tolva. Este tipo de flujo garantiza una descarga completa a velocidades predecibles y tiene un patrón de flujo del

tipo primero entrando primero saliendo. Si el depósito está bien diseñado se produce un remezclado del material durante la descarga que contrarresta en alguna medida la segregación que pudo tener el material cuando se llenó el depósito en forma concéntrica.

Si las paredes de la tolva no tienen la inclinación suficiente o son rugosas, ocurre un flujo de tipo canalizado durante la descarga por gravedad. Esto significa que el sólido almacenado se estanca en la zona cercana a las paredes y cae desde la superficie superior del material dentro del canal de flujo vertical que se forma sobre la abertura de salida. El patrón de flujo es errático y genera problemas de segregación. El tipo de flujo es último entrado primero saliendo, que resulta inconveniente si el material se degrada con el tiempo (cereales). El flujo canalizado también trae inconvenientes con los materiales con baja permeabilidad, ya que el flujo suele causarse inyectando aire a presión lo que con lleva problemas en el flujo o bien un flujo descontrolado. El flujo de material se detiene a una distancia donde la rigidez del material estancado es suficiente para sostener un canal estable con un diámetro dado. El material dentro de ésta zona representa un almacenamiento muerto. Para que se produzca una descarga completa la abertura de salida debe ser, por lo menos del diámetro (que suele ser de varios metros), lo cual no es práctico (Ravenet, 1992).

Una desventaja adicional se causa por el flujo repentino de las zonas estancadas, producido por un aumento de la tensión vertical que actúa por encima o por una disminución de la tensión horizontal que ejerce el material dentro del canal de flujo sobre el material estancado. Debido a la velocidad relativa entre el material que fluye y el que no, se producen tensiones de corte que se dirigen hacia abajo en el material estancado produciendo un aumento de la tensión vertical. Los cambios en las tensiones que actúan en el material estancado tienen por efecto disminuir el soporte horizontal del sólido estancado y aumentar la fuerza vertical. Debido a estos cambios el material que se encuentra estancado dentro del silo y posiblemente el que se encuentra en la parte superior se deslice hacia abajo por la pared del silo. En un tiempo corto el canal de flujo se llena con material densamente empaquetado, por lo cual, el material en la zona estancada ya no puede fluir, por lo tanto, se desacelera más o menos rápidamente. Esa desaceleración produce altas

tensiones en el canal de flujo y la compresión de sólido dentro de la zona del canal y un temblor en todo el silo. Luego, una nueva descarga y el ciclo se repite: debido a la densidad alta dentro del canal de flujo el material de la zona estancada es sostenido por el material dentro del canal de flujo. Cuando el material en la zona del canal se dilata, el soporte horizontal sobre el material estancado disminuye reiniciando el ciclo que termina en un nuevo temblor. Un esquema del mecanismo se muestra en la Figura 2.2 (Pernich, 2010).

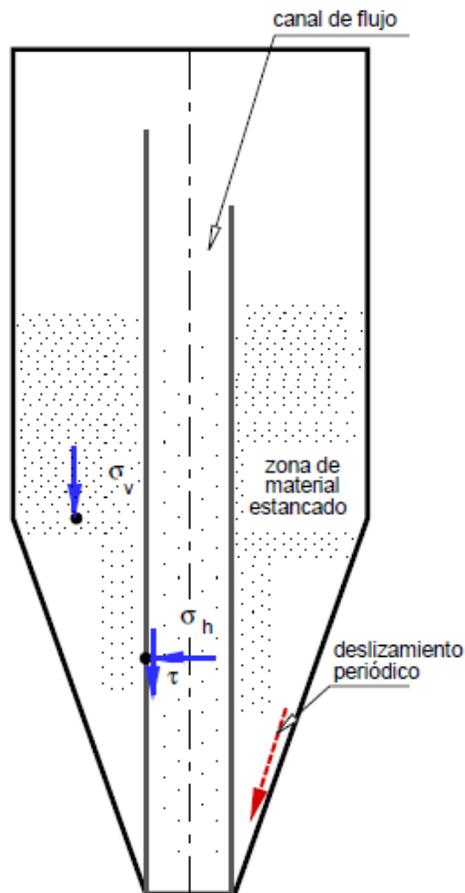


Figura 2.2 Esquema del mecanismo de temblores en un silo (Pernich, 2010)

Una ventaja del flujo canalizado es que el material estancado protege a las paredes del desgaste que la abrasión del material granular produciría al deslizarse sobre las paredes, como en el caso de productos de minería.

En general, los depósitos de forma simétrica proporcionan un mejor funcionamiento. Los de forma asimétrica a menudo inducen problemas de segregación en materiales con flujo libre y distintos tamaños de partículas, lo cual dificulta la predicción de las cargas que actúan sobre las paredes.

En el Cuadro 2.1 muestra una comparación entre las propiedades de depósitos con flujo de masa y flujo de embudo.

Cuadro 2.1 Características de depósitos de flujo masa y de flujo embudo (Perry, 2001)

Tolvas de flujo de masa	Tolvas de flujo de embudo
Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga.	Las partículas se segregan y permanecen segregadas.
Los polvos se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema.	La primera porción que entra es la última en salir.
El flujo es uniforme.	Pueden permanecer productos en puntos muertos hasta que se realiza la limpieza completa del sistema.
La densidad de flujo es constante.	Los productos tienden a formar puentes o arcos y luego a que se formen agujeros de rata durante la descarga.
Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente.	El flujo es errático.
No quedan productos en zonas muertas donde pudieran degradarse.	La densidad de flujo puede variar.
Se puede diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezclador	Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave para que puedan funcionar adecuadamente.
	Las tolvas funcionan bien con sólidos de partículas grandes y flujo libre.

Aunque evidentemente es preferible un depósito de flujo de masa a otro de flujo de embudo, es preciso justificar la inversión adicional que casi siempre se requiere. Con frecuencia esto se hace mediante la reducción de los costos operacionales, pero cuando el espacio de instalación es limitado es preciso llegar a un término medio, tal como emplear un diseño especial de la tolva e incluso a veces un alimentador. (Ravenet, 1992)

2.5 Equipos de transporte sólidos

Para la selección del equipo de transporte correcto se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos (Blandón, 2008):

- Capacidad del transportador
- Longitud de desplazamiento
- Elevación
- Requisitos de procesamiento
- Costos

Capacidad del transportador: es un factor primordial en la selección de un transportador. Los transportadores de banda, se pueden fabricar en tamaños relativamente grandes, para funcionar a velocidades elevadas, transportan económicamente grandes cantidades de materiales.

Longitud de desplazamiento: está limitada para ciertos tipos de transportadores.

Elevación: comúnmente se maneja en forma más económica mediante elevadores de cangilones verticales o inclinados, pero cuando se combinan los desplazamientos ascendentes y horizontales, es posible considerar otros transportadores.

Requisitos de procesamiento: se deben tomar en consideración tanto las características físicas como químicas de los materiales; sobre todo la fluidez. También, son importantes la capacidad de abrasión, la friabilidad y el tamaño de partícula.

Costos: El costo inicial de los transportadores se relaciona con la esperanza de vida, así como también con el índice de flujo escogido. Es necesario efectuar comparaciones de costos sobre la base del estudio específico para cada aplicación del transportador.

Para tener una guía de selección para los diferentes transportadores en el Cuadro 2.2 se muestran las alternativas en base a algunas funciones comunes.

Cuadro 2.2 Transportadores de materiales sólidos (Blandón, 2008)

Función	Tipo de transportador
Transporte horizontal de materiales	De banda articulada, de banda, normal, de flujo continuo, de arrastre de tablillas, vibratorio, de cangilones, de cangilones de volteo, de aire.
Transporte hacia arriba o hacia abajo de una pendiente	De banda articulada, de banda, de flujo continuo, de paletas, de tornillo sin fin
Elevación de materiales sobre una combinación de trayectorias horizontales y verticales	Elevador de cangilones, flujo continuo, montacarga de cajón, aire.
Distribución o colección de materiales para tolvas, depósitos, etc.	De banda, de paletas, de tornillo sin fin, de flujo continuo, de cangilones, de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire.
Retiro de materiales de vagones, camiones, etc.	Vaciados de carros, descarga de vagones de granos, agitador de vagones, pala mecánica, aire.

2.5.1 Transporte hacia arriba o hacia abajo de una pendiente

Transportadores de Tornillo

El transportador de tornillo es uno de los tipos de transportador más antiguo y versátil. Consiste en un conjunto de aspas helicoidales o seccionadas montadas en una tubería o eje y que giran en una artesa, como se observa en la Figura 2.3. La capacidad de los transportadores de tornillo se limita generalmente a alrededor de $4,72 \text{ m}^3/\text{min}$.

Además de su capacidad de transporte, los transportadores de tornillo se pueden adaptar a una gran variedad de operaciones de procesado. Se puede lograr casi cualquier grado de mezcla con transportadores de tornillo de aspas cortadas, cortadas y plegadas o reemplazadas por una serie de paletas (FAO, 1993).

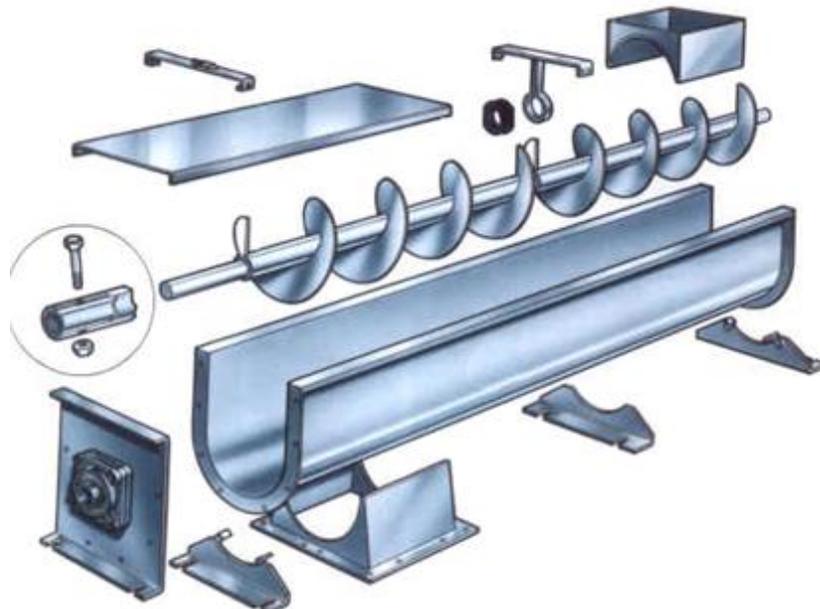


Figura 2.3 Transportador de tornillo sin fin (Díaz, 2011)

Transportadores de Banda

Estos se utilizan de manera casi universal, pueden recorrer grandes distancias a velocidades de hasta 5,08 m/s y manejar hasta 1 390 kg/s.

También pueden funcionar en distancias cortas a velocidades suficientemente lentas para la recolección manual, con capacidad de solo unos kilogramos por hora. Sin embargo, no son aplicables normalmente a las operaciones de procesamiento (Moretti & Sosa, 2012).

Las pendientes de los transportadores de banda se limitan a un máximo de aproximadamente 30°, las comunes se encuentran entre 18° y 20°. Sólo se pueden producir cambios de dirección en el plano vertical de la trayectoria de la banda y se deben diseñar cuidadosamente como curvas verticales o codos relativamente planos, como se muestra en la Figura 2.4.

Los transportadores de banda dentro de las plantas pueden tener costos iniciales más elevados que algunos otros tipos de transportadores; sin embargo, se puede esperar que un

transportador de banda con un buen mantenimiento de rutina supere a casi todos los demás tipos de transportadores.

Así pues, en función del costo por tonelada de materiales manejados, los transportadores de banda han tenido historiales económicos sobresalientes (Moretti & Sosa, 2012).



Figura 2.4 Transportador de banda (Construpedia, 2011)

Elevadores de Cangilones

Los elevadores de cangilones son las unidades más sencillas y seguras para desplazamientos verticales de materiales. Existen en una gama amplia de capacidades y pueden funcionar totalmente al aire libre o cerrados.

El elevador de cangilones puede alimentarse por un flujo continuo regulado o por un flujo no regulado que se deposita en la parte inferior del elevador, en este caso se solucionan los problemas causados por cualquier derrame que ocurra en la descarga.

El elevador puede tener descarga centrífuga del material, para esto la velocidad debe ser lo suficientemente elevada. Debido a las velocidades altas se pueden producir problemas de generación de polvo. Otra forma de descarga usa rodillos para que el ángulo de contacto de la cadena del elevador sea mayor a 180° , como se observa en la Figura 2.5 (Díaz, 2011).

Esto causa que los cangilones descarguen completamente el material que contienen.

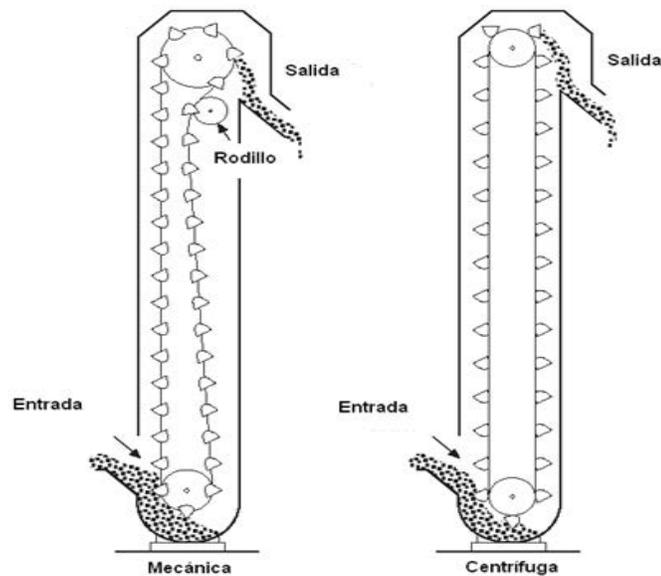


Figura 2.5 Elevadores de Cangilones (Díaz, 2011).

Transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático se utilizan ampliamente en la industria para transportar materiales secos, finos y a granel porque son extremadamente versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos.

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa, y a través de una cañería. Materiales particulados finos en el ámbito de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia, y con capacidades de hasta 280 kg/s a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro (Cabrejos, Jofré, & Rojas, 2004).

La principal ventaja del transporte neumático de sólidos a granel es que los sistemas son cerrados, y por lo tanto, no contaminantes. Además, son sistemas muy limpios, adecuados

para muchos y variados procesos, flexibles para cambiar de dirección, requieren de un reducido espacio y son fáciles de automatizar.

Dentro de las desventajas es importante destacar que no todos los materiales particulados se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sino sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad, y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir de excesiva atrición y materiales abrasivos pueden causar desgaste prematuro en las cañerías y codos. Otras limitaciones del transporte neumático son el tamaño máximo de partícula, la capacidad máxima de transporte, la distancia a transportar y el mayor consumo de energía (Cabrejos, Jofré, & Rojas, 2004).

Para lograr una eficacia alta de un sistema de transporte neumático, ya sea de presión alta en fase densa o de presión baja en fase diluida, se requiere conseguir un equilibrio óptimo de la presión. Muchos sistemas funcionan en unas condiciones de presión que hay que calificarlas de inestables o desequilibradas, pues pueden estar empleando demasiado aire comprimido o muy poco (Air, 2010).

Cuando un sistema utiliza demasiado aire comprimido, la velocidad podría ser demasiado alta con el posible deterioro del producto o el desgaste excesivo del sistema. Además, emplearía un exceso de energía y el mantenimiento sería mayor, mientras que la fiabilidad se vería reducida. Cuando es escaso el aire comprimido, la velocidad de transporte podría volverse demasiado lenta, con posible atascamiento del producto en la línea.

Es también importante entender que cada sistema tiene que batallar constantemente con las fricciones, las cuales no están repartidas uniformemente en toda la línea de transporte. Los codos, por ejemplo, tienen una fricción mucho mayor en el transporte neumático, pudiendo fácilmente representar más del 50 % de la resistencia total. Las partes rectas presentan, en efecto, un nivel de fricción muy inferior al de los codos.

Otras fuentes de fricción que también deban considerarse son las uniones de los tubos, las válvulas divergentes, los cambios de nivel, etc. El tamaño de las partículas, su densidad y la

cohesión del producto transportado constituyen otras fuentes a añadir al coeficiente de fricción, entre los impedimentos para un proceso adecuado.

En consecuencia, la resistencia que se constata por fricción variará considerablemente de un sistema a otro y a todo lo largo de un sistema dado, dependiendo de los componentes utilizados, la longitud de la línea de transporte y la velocidad. Estas fuerzas de fricción variables y desequilibradoras, si no están compensadas convenientemente, pueden causar unas condiciones de presión y velocidad inestables e indeseables, resultando un sistema de transporte ineficaz con resultado global deficiente.

A fin de crear el balance óptimo de presión en un sistema de transporte neumático, y para contrarrestar las variantes fuerzas de fricción, el aire comprimido deberá estar distribuido convenientemente y a tiempo para asegurar la fluidez uniforme del producto en la línea de transporte (Air, 2010).

El balance de presión debe ser también preciso e instantáneo. Si reaccionara demasiado lento o sobrecompensada, el flujo del producto a través de la línea se vería alterado y el rendimiento del sistema comprometido.

Sistema de fase diluída y presión baja

Diversos tipos de sistemas existen para el transporte neumático de materiales sólidos a granel, incluyendo sistemas abiertos o cerrados, de presión positiva o negativa, de flujo diluído o denso, continuos o por lotes, etc. Actualmente, los sistemas de transporte neumático de presión baja positiva, continuos, de alta velocidad y fase diluída, son los más usados en la industria debido a su mayor capacidad de transporte en cuanto a flujo, mayores distancias de transporte, el flujo es muy estable y se puede controlar y regular fácilmente, y permiten transportar materiales desde un punto de alimentación a varios puntos de descarga.

A modo de ejemplo, la Figura 2.6 muestra esquemáticamente los componentes básicos de un sistema de transporte neumático en fase diluída, continuo y de presión baja positiva (inferior a 1 bar) (Cabrejos, Jofré, & Rojas, 2004).

En este tipo de sistemas de transporte neumático, el material se transporta en suspensión dentro de la cañería, las partículas se distribuyen uniformemente en toda la sección transversal de la cañería (flujo homogéneo), la concentración de sólidos es relativamente baja (inferior a 10 kg de sólidos por kg de gas) y la velocidad de transporte es relativamente alta. El soplador provee el flujo y la presión de aire necesario para transportar al material desde el punto de alimentación hasta el punto de descarga. El alimentador introduce las partículas sólidas dentro de la cañería donde se mezclan con el gas de transporte y a un flujo controlado para evitar sobrecargar la línea.

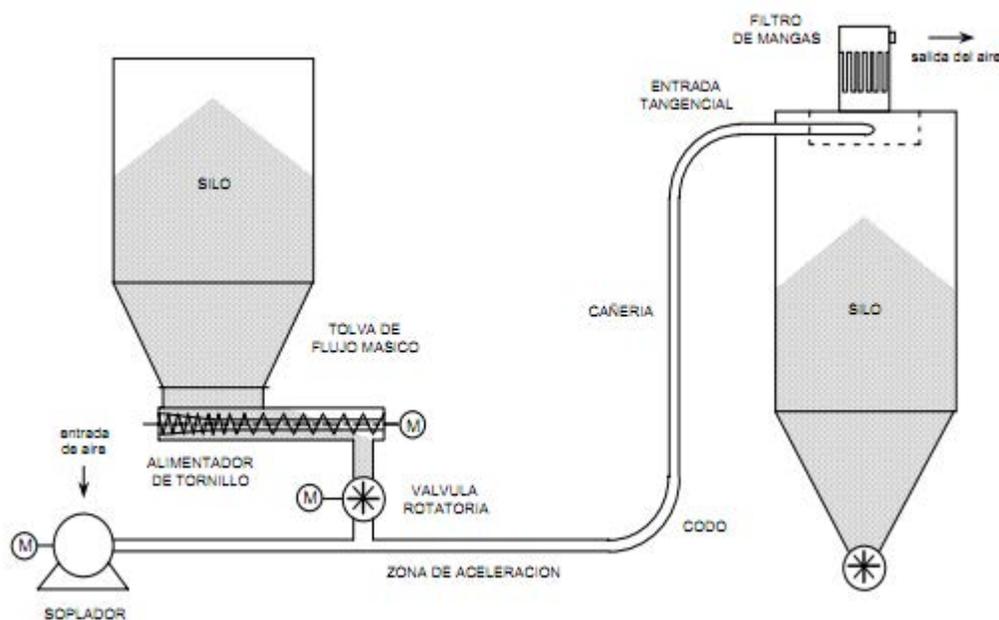


Figura 2.6 Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluída y de baja presión positiva. (Cabrejos, Jofré, & Rojas, 2004)

Los sistemas a presión positiva requieren de un mecanismo de sello para alimentar el material (generalmente a presión ambiente) dentro de la cañería que está presurizada. En el ejemplo se muestra además un tornillo de flujo másico como alimentador (para asegurar flujo másico de descarga en el silo), una válvula rotatoria tipo 'airlock', una "T" en la unión con la cañería, los silos de almacenamiento, la cañería, codos y un filtro de mangas (Cabrejos, Jofré, & Rojas, 2004).

2.6 Serpentes de enfriamiento

Un intercambiador de serpentín es un simple tubo que se dobla en forma helicoidal o vertical y se sumerge en el líquido. Se usa normalmente para tanques y puede operar por convección natural o forzada. Debido a su costo bajo y construcción rápida se improvisa fácilmente con materiales abundantes en cualquier taller de mantenimiento. Usualmente se emplea tubería lisa de 0,0190 m a 0,0508 m (3/4 pulgadas a 2 pulgadas) (Beltran & Rojas, 2002).

Para el diseño de serpentines para transferencia de calor se debe determinar el área de transmisión de calor necesaria para mantener el líquido contenido dentro del tanque a una temperatura constante o para aumentarla o disminuirla, en un tiempo determinado. Los serpentines de calentamiento se colocan en la zona baja del tanque, mientras que los de enfriamiento se sitúan en la parte alta del tanque. Pueden también estar colocados en pendiente para facilitar su drenaje.

Generalmente, los serpentines se fabrican en gran variedad de configuraciones y materiales partiendo de las aplicaciones y geometría del recipiente. Se construyen doblando longitudes variables de tubería de cobre, acero o aleaciones, para darle forma de hélices, o serpentines helicoidales dobles en los que la entrada y salida están convenientemente localizadas lado a lado. El espesor de pared a seleccionar varía con el tipo de servicio y el material. En el caso de serpentines de acero al carbón se fabrican con tubería cédula No. 80 o superior para que pueda resistir cierto grado de corrosión. Los de acero inoxidable u otras aleaciones resistentes a la corrosión, pueden utilizarse tubería cédula No. 5 o 10 para obtener costos mínimos, aunque se requieren soldaduras de alta calidad para este tipo de paredes delgadas, a fin de asegurar un servicio sin problemas (Godoy, 2003).

Los diferentes tipos de serpentines son:

- **Serpentes helicoidales de cualquier tipo:** se instalan frecuentemente en recipientes cilíndricos verticales, ya sea con agitador o sin él, y siempre se provee de espacio entre el serpentín y la pared del recipiente para circulación. Cuando estos

serpentes se usan con agitación mecánica, el eje vertical del agitador corresponde usualmente al eje vertical del cilindro.

- **Serpentes de doble espiral:** pueden instalarse dentro de corazas con sus conexiones pasando a través de la coraza o sobre su tapa. Tales aparatos son similares a un intercambiador tubular, aunque limitados a superficies pequeñas.
- **Serpentín de espiral plano:** espiral enrollado en un plano de manera que se puede localizar cerca del fondo de un recipiente para transferir calor por convección libre (Godoy, 2003).

2.7 Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en volúmenes grandes porque son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. En el interior de las torres se monta un empaque con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría. En las torres se colocan deflectores o eliminadores de niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible (Galicía, 2006).

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente. En estas condiciones el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre (Galicía, 2006).

Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, algicidas, bactericidas y floculantes; y, realizar un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro ya que éstos iones son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre (Rivera, 2002).

2.7.1 Influencias externas sobre el funcionamiento de la torre

Recirculación

La recirculación en las torres de enfriamiento se define como una adulteración de la atmósfera de entrada a la torre por la atmósfera de salida de la misma. El efecto de la recirculación se ve en un inesperado aumento de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra a la torre de enfriamiento (por encima de la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente), y un correspondiente incremento en la temperatura del agua que sale de la torre.

Dependiendo del grado de recirculación la temperatura del agua fría puede incrementarse hasta en cinco grados o más. A lo mejor esto también ocasiona que el sistema opere por encima de los parámetros de diseño. Todas las torres ofrecen un potencial riesgo de recirculación, la extensión de ésta depende de las velocidades de entrada y salida del aire. Altas velocidades de entrada incrementan el potencial para la recirculación, mientras que elevadas velocidades de salida disminuyen el riesgo de recirculación (Salas, 2009).

Restricción del flujo de Aire

A una determinada carga de calor, un flujo determinado de agua y una temperatura de bulbo húmedo particular la temperatura del agua fría producida por una torre de enfriamiento es totalmente dependiente de la cantidad de aire de entrada. Una disminución en el flujo de aire y puede elevar la temperatura del agua. Debido a la importancia del flujo de aire, los fabricantes se preocupan en diseñar correctamente los ventiladores y sus motores, puesto que estos son los que mueven el aire contra la presión estática encontrada dentro de la torre.

La presión estática es una medida de la resistencia del sistema para un determinado flujo de aire, esto resulta de las restricciones en el sistema (lo cual incrementa la velocidad del aire) y de los cambios en la dirección del flujo de aire (Salas, 2009).

Viento

Dependiendo de su velocidad y dirección, tiende a incrementar el potencial de la torre de enfriamiento a la recirculación. No solamente la curvatura creada por el aire de salida en la dirección del flujo del viento, también se crea una zona de presión baja en la cual puede formarse una porción de niebla, si la admisión de aire a la torre está en esa dirección, entonces puede contaminarse el aire de entrada con esa niebla. El grado al cual puede afectar la dirección del viento aumenta dependiendo de la relación de la velocidad de descarga de la torre respecto a la velocidad del viento (Salas, 2009).

Interferencia

Sumideros de calor ubicados cerca de una torre de enfriamiento pueden “interferir” con el desempeño térmico de la misma. Estas interferencias pueden ser causadas por otras instalaciones de la planta u otros equipos. Muchas veces consisten de contribución térmica del efluente de otra torre de enfriamiento cercana (Salas, 2009).

3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FORMULACIÓN DE HERBICIDAS

3.1 Limitaciones y procesos requeridos en la nueva planta

Basándose en las necesidades y las proyecciones de la empresa, se cuenta con algunas limitaciones y requerimientos, que se muestra a continuación:

- El espacio del edificio que se va a demoler, el cual, es el mismo donde se desea construir el nuevo edificio que es de 27 m x 59 m.
- La planta actual cuenta con una capacidad de producto de 10 m³ para 2,4-D y glifosato, 7 m³ para paraquat y 5 m³ para 2,4-D y piclorán, dos tandas por día. El mercado de estos productos se pretende extender a Venezuela y Colombia, por lo que se requiere aumentar la capacidad de cada uno a 25 m³, dos tandas por día.
- El proceso actual presenta un cuello de botella ya que los tanques para el caso del 2,4-D, glifosato, y 2-D y piclorán sufren una reacción exotérmica y el producto se calienta aproximadamente hasta 60 °C, de manera que se tiene que esperar a que enfrié para poder envasar. Para solucionar este problema se desea instalar un sistema mediante serpentines verticales en los tanques alimentados con agua, la cual es proporcionada por una torre de enfriamiento.
- Actualmente el llenado de las materia primas excepto el agua, se descarga de manera manual directamente en el tanque, esto representa una incomodidad para los trabajadores, ya que deben usar equipos de protección contra vapores y polvos dañinos, y además requiere mucho tiempo. Buscando disminuir los cuellos de botella se instalaran silos con transporte neumático a los tanques en el caso de los sólidos y tanques de almacenamiento para los líquidos.
- Solo existe una envasadora y una selladora para envasar botellas de 1 L y todas las demás presentaciones se hacen de manera manual. Para aligerar el etiquetado, envasado y sellado, se desea instalar un sistema de llenado automatizado para cada uno de los productos.

3.2 Diagramas de flujo de los procesos

El diagrama de flujo del proceso escogido para la formulación de los herbicidas, con base a la planta actual, las necesidades y requerimientos se muestra en la Figura 3.2.1. El proceso para la formulación de 25 m³ de producto final, es por lotes y cada tanda es de cuatro horas, dos veces por día. En él se observan las diferentes corrientes numeradas y los equipos que se utilizan.

También se observan las válvulas. Las recomendadas son:

- Para obtener una regulación del flujo “apagado/encendido” se usan válvulas compuerta, de un cuarto de vuelta, este tipo de vuelta permite que no haya un cierre rápido y se evite el golpe de ariete.
- Las válvulas de retención, para cerrar por completo el paso del fluido en circulación en un sentido y dejarlo libre en el contrario.
- Para las válvulas de control de flujo se utilizan válvulas de globo.

Todas las salidas de las bombas deben tener una válvula de retención o antirretorno, con el fin de evitar la descarga del fluido en dirección a la bomba, esto evita daños por la rotación inversa de la bomba, además de impedir el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha del sistema sea más rápida y segura, además protegen a la bomba durante las sobrepresiones. De igual forma se ubica inmediatamente después de la bomba una válvula de bola que permita el cierre total de la tubería en caso de algún inconveniente o emergencia.

3.3 Herbicida como disolución acuosa a base de paraquat

Para la formulación del herbicida como disolución acuosa a base de paraquat, primero se descarga el paraquat concentrado 42 % (relación masa a volumen), contenido en estañones que viene en tarimas, se utiliza una bomba de desplazamiento positivo (P-102) para succionar el líquido (Corriente 4), que se envía al tanque de almacenamiento respectivo (V-

103). De este por medio de una bomba (P-104) se dirige (Corriente 5) al tanque de formulación (V-106).

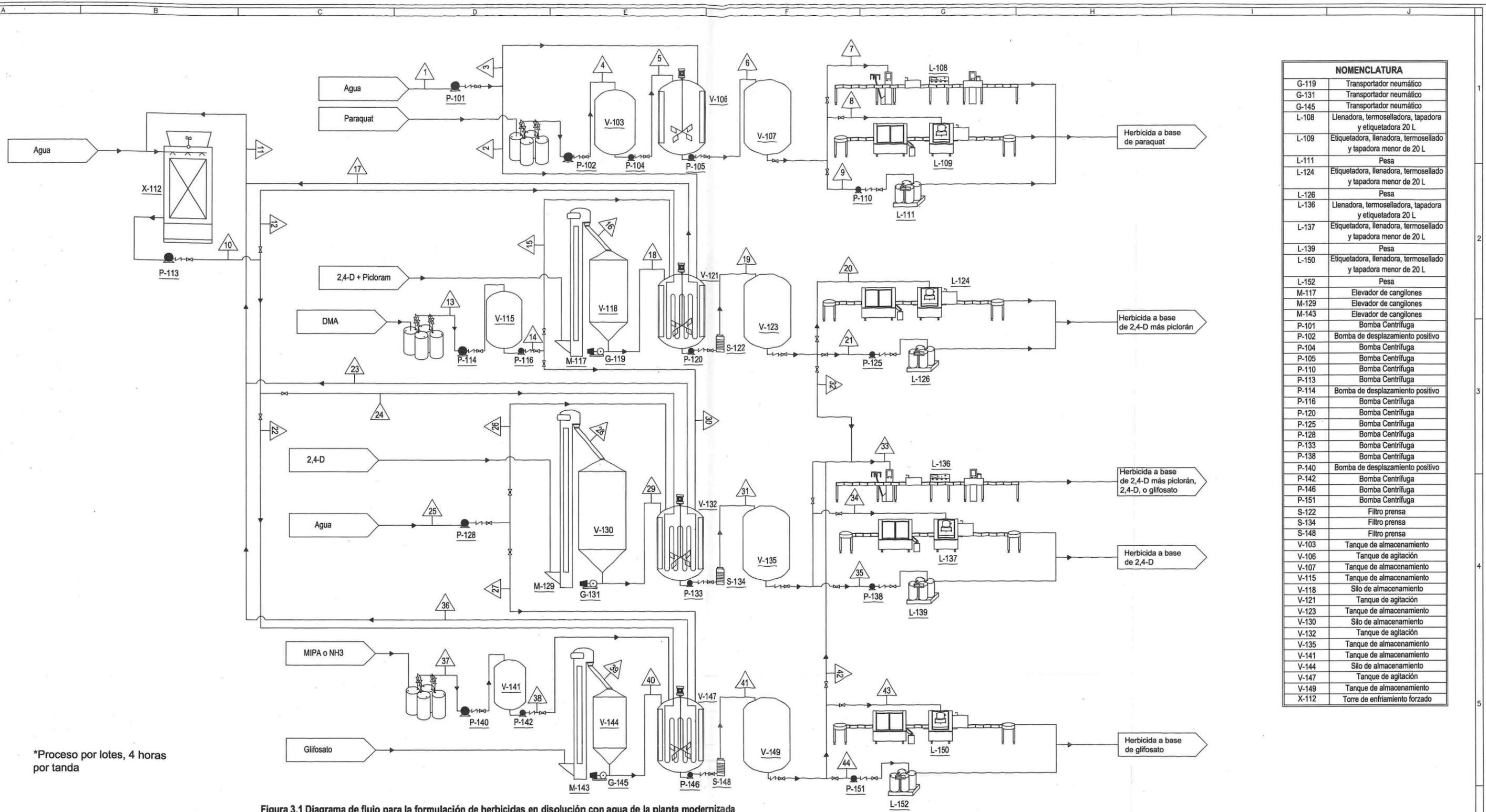
Además es necesario agregar agua, que es proporcionada por una bomba (P-101) la cual succiona el agua de un tanque subterráneo presente en la empresa. El flujo se divide en dos corrientes por medio de una “T”, una para la formulación del herbicida a base de paraquat (Corriente 3) y otra para abastecer el agua en la preparación del herbicida a base de 2,4-D más piclorán (sección 3.3), los flujos son controlados mediante válvulas de globo. En el tanque de formulación se diluye el paraquat al 20 % (relación masa a volumen) mediante agitación forzada con una turbina de cuatro aspas inclinadas.

Una vez que la mezcla se haya diluido se envía al tanque de almacenamiento de producto terminado (V-107). En el Cuadro 3.1 se observa las cantidades de materia prima para la formulación de 25 m³ de producto final.

Cuadro 3.1 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de paraquat en una tanda de 25 m³

Sustancia	Masa (kg)
Paraquat al 42 % m/v	13 000
Agua	13 750
Herbicida a base de paraquat	26 750

Al llenar estañones se utiliza una pesa (L-111), usando para ello una bomba (P-110) que permite trasegar el fluido del tanque de almacenamiento, cuando la pesa indique la masa correspondiente de 214 kg (200 L) la bomba se detiene y se tara continuando con el siguiente estañón. Las presentaciones de un 1 L, galones (4 L), envases de 5 L y 10 L, se envasarán por medio de un sistema automático (L-109), esta máquina se encarga de etiquetar, envasar, termosellar y tapar.



NOMENCLATURA	
G-119	Transportador neumático
G-131	Transportador neumático
G-145	Transportador neumático
L-108	Llenadora, termoselladora, tapadora y etiquetadora 20 L
L-109	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-111	Pesa
L-124	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-126	Pesa
L-136	Llenadora, termoselladora, tapadora y etiquetadora 20 L
L-137	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-139	Pesa
L-150	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-152	Pesa
M-117	Elevador de cangilones
M-129	Elevador de cangilones
M-143	Elevador de cangilones
P-101	Bomba Centrífuga
P-102	Bomba de desplazamiento positivo
P-104	Bomba Centrífuga
P-105	Bomba Centrífuga
P-110	Bomba Centrífuga
P-113	Bomba Centrífuga
P-114	Bomba de desplazamiento positivo
P-116	Bomba Centrífuga
P-120	Bomba Centrífuga
P-125	Bomba Centrífuga
P-128	Bomba Centrífuga
P-133	Bomba Centrífuga
P-138	Bomba Centrífuga
P-140	Bomba de desplazamiento positivo
P-142	Bomba Centrífuga
P-146	Bomba Centrífuga
P-151	Bomba Centrífuga
S-122	Filtro prensa
S-134	Filtro prensa
S-148	Filtro prensa
V-103	Tanque de almacenamiento
V-106	Tanque de agitación
V-107	Tanque de almacenamiento
V-115	Tanque de almacenamiento
V-118	Silo de almacenamiento
V-121	Tanque de agitación
V-123	Tanque de almacenamiento
V-130	Silo de almacenamiento
V-132	Tanque de agitación
V-135	Tanque de almacenamiento
V-141	Tanque de almacenamiento
V-144	Silo de almacenamiento
V-147	Tanque de agitación
V-149	Tanque de almacenamiento
X-112	Torre de enfriamiento forzado

*Proceso por lotes, 4 horas por tanda

Figura 3.1 Diagrama de flujo para la formulación de herbicidas en disolución con agua de la planta modernizada

CUADRO DE BALANCE

	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	22	24	13	14	15	16	17	23	36	18	19
Nombre de corriente	Agua	Agua	Agua	Paraquat	Paraquat	Herbicida Paraquat	Herbicida Paraquat	Herbicida Paraquat	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	DMA	DMA	DMA	2,4-D y picloram	Agua de enfriamiento	2,4-D y picloram	Herbicida 2,4-D y picloram				
Flujo (L/s)	9,5	4,5	5,0	2,8	6,3	9,5	2,0	1,7	19,5	19,5	6,5	2,1	6,3	1,3	2,6	6,5	8,0	9,5				
Temperatura (°C)									25	11	25					35						
Nombre de corriente	Herbicida 2,4-D y picloram	Herbicida 2,4-D y picloram	Agua	Agua	Agua	2,4-D	2,4-D	DMA	Herbicida 2,4-D	Herbicida 2,4-D	Herbicida 2,4-D	MIPA o NH3	MIPA o NH3	Glifosato	Glifosato	Herbicida glifosato	Herbicida glifosato	Herbicida glifosato				
Flujo (L/s)	1,7	2,0	9,5	3,6	5,9	4,4	13,3	5,0	9,5	2,0	1,7	1,5	6,3	2,6	5,3	9,5	2,0	1,7				

El llenado de cubetas de 20 L, es una de las presentaciones con poca demanda y podría utilizarse una máquina para todos los tipos de herbicidas, pero el paraquat tiene la desventaja de ser muy corrosivo, y además suele ensuciar mucho. Este es uno de los problemas actuales de la empresa (2013), cuando se compró la dosificadora de 1 L, a la hora envasar el herbicida a base de paraquat causaba daños al equipo y tardaba mucho en lavarse, por eso se decidió envasar manualmente. Por esta razón se va a contar con el equipo propio, este se encarga de llenar, termosellar, tapar y etiquetar (L-108) las cubetas.

En el Anexo 1 se muestra el diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución con paraquat.

3.4 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán

En el caso del proceso de formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán, se descarga el DMA de los estañones (Corriente 13), succionando mediante una bomba de desplazamiento positivo (P-114), para almacenarlo en el tanque respectivo (V-115), de acá el flujo se divide en dos con una “T”: un flujo (Corriente 15) se dirige al tanque de agitación (V-121) de este herbicida y el otro flujo (Corriente 30) para la formulación del herbicida a base de 2,4-D, donde por una bomba y válvulas globos se regula el flujo requerido para cada proceso.

El 2,4-D y el piclorán son sustancias sólidas inertes entre sí, de modo que se almacenarán juntos, estos viene en saconas que se descargarán en un elevador de cangilones (M-117), encargado de transportar los sólidos hasta un silo de almacenamiento (V-118) y por medio de transportador neumático (G-119) se pasarán hasta el tanque de formulación.

Además se requiere agua para el proceso (Corriente 2), proveída por la bomba (P-101).

En el tanque de formulación (V-121), se recomienda que se llene inicialmente con un cuarto del agua requerida (4 m^3), y se inicie la agitación, después se carguen las demás sustancias, para evitar que se forme una mezcla viscosa. La agitación se lleva a cabo por

medio de una turbina de cuatro aspas inclinadas. En el Cuadro 3.2 se muestra las masas requeridas de las sustancias para el proceso.

A la hora de mezclar el ácido 2,4-D con la base DMA, se forma una sal soluble en agua, se produce una reacción exotérmica elevando la temperatura de la mezcla hasta los 60 °C. Por eso, el tanque cuenta con serpentines de enfriamiento verticales, que se alimentan con agua (Corriente 12) proveniente de una torre de enfriamiento de tiro inducido (X-112), para así lograr alcanzar la temperatura ambiente más rápido, que de forma natural y evitar esperar mucho tiempo para poder envasar. El agua de los serpentines se transporta por una bomba (P-113), que por medio de “Tés” dividen las corrientes y con válvulas globo se regula el flujo, requerido para los tres herbicidas donde ocurre la reacción (2,4-D más piclorán, 2,4-D y glifosato).

Cuadro 3.2 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán en una tanda de 25 m³

Sustancia	Masa (kg)
Piclorán	3 500
2,4-D	6 500
Agua	17 340
DMA	1 600
Herbicida a base de 2,4-D más piclorán	29 340

Una vez que el proceso de agitación y enfriamiento ha finalizado, la solución de herbicida pasa a través de un filtro presurizado de platos horizontales (S-122), por medio de una bomba (P-120), para eliminar partículas sólidas dado que generalmente las materias primas 2,4-D y glifosato viene contaminadas (hojas secas, piedras) o material que no se logró reaccionar. Luego se envía al tanque de almacenamiento de producto final (V-123), de manera que después pueda envasarse.

En el llenado de estañones se cuenta con una bomba (P-125) y una pesa (L-126). El estañón se llena hasta que la pesa marca 234,7 kg (200 L), la bomba se apaga y la pesa se tara para llenar el siguiente estañón.

En el caso del llenado de las presentaciones de 1 L, galones, 5 y 10 L, se cuenta con una máquina automatizada (L-124), que se encarga del llenado, etiquetado, sellado automático y tapado. En el caso de las cubetas como se mencionó anteriormente se puede contar con una máquina para los tres herbicidas (2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán). Entonces se provee de un flujo (Corriente 32) que comunique el tanque de almacenamiento con la máquina de envasado de cubetas (L-136), esta es llenadora, etiquetadora, selladora y tapadora.

En el Anexo 2 se muestra el diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D más piclorán.

3.5 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D

El DMA es la base necesaria para que el 2,4-D forme una sal soluble con agua, éste como se mencionó en la Sección 3.3 viene de un tanque de almacenamiento, donde se dividen las corrientes para la formulación del herbicida a base de 2,4-D más piclorán y a base de 2,4-D. El flujo (corriente 30) se envía al tanque de formulación (V-132).

El 2,4-D ingresa a la empresa agroquímica como saconas, que se deben descargar en un elevador de cangilones (M-129), para ser transportado hasta un silo de almacenamiento (V-130), y con un transportador neumático (G-131) el 2,4-D se alimenta (Corriente 29) al tanque cuando se requiera la formulación.

La formulación requiere de agua, este sistema es similar que para los dos casos anteriores, pues en la empresa cuenta con otro tanque subterráneo, con el cual se quiere abastecer el agua tanto para el herbicida con 2,4-D, como para el herbicida a base de glifosato. Entonces por medio de una bomba (P-128) que succione el agua del tanque, se divide el flujo en dos con una “T” y se regula con válvulas globo. El flujo de agua (Corriente 26) para el producto con 2,4-D se envía al tanque de agitación

De igual manera que en el caso de la formulación del herbicida con 2,4-D más piclorán, se recomienda que el tanque se llene con una cuarta parte del agua requerida, y se inicie con la agitación, seguidamente se agregan el resto de las materias primas simultáneamente, esto para evitar que se forme una mezcla muy viscosa que después no permita que ocurra que la mayoría de 2,4-D reaccione. En el Cuadro 3.3 se observa la cantidad en kilogramos necesarios para formular 25 m³ de herbicida.

Cuadro 3.3 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D en una tanda de 25 m³

Sustancia	Masa (kg)
2,4-D	15 000
Agua	8 904
DMA	6 000
Herbicida a base de 2,4-D	29 902

También el tanque cuenta con serpentines de enfriamiento alimentado con agua (Corriente 24) como se indicó en el capítulo anterior, para poder alcanzar la temperatura ambiente del producto, debido a la reacción exotérmica entre el ácido (2,4-D) y la base (DMA) elevan la temperatura del tanque hasta los 60 °C y asimismo envasar el producto en menor tiempo del que si se dejara enfriar con el aire.

Después de que el proceso de agitación y enfriamiento se lleva cabo, la disolución se pasa por filtro (S-134) para eliminar partículas sólidas. Luego se envía al tanque de almacenamiento de producto terminado (V-135).

El envasado en sus diferentes presentaciones es igual que para la formulación del herbicida 2,4-D más piclorán. Para los estañones se cuenta con una pesa (L-139) y una bomba (P-138), en el caso de 1 L, galones, 5 y 10 L se cuenta un sistema automatizado (L-137) que es llenadora, etiquetadora, selladora y tapadora. El envasado de cubetas de 20 L se comparte una máquina automatizada (L-136).

En el Anexo 3 se muestra el diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de 2,4-D.

3.6 Formulación del herbicida en disolución acuosa a base de glifosato

El glifosato que es la sustancia principal, ingresa en saconas que se adicionan a un elevador de cangilones (M-143), que transporta el sólido hasta el silo de almacenamiento (V-144), de ahí pasa al tanque de agitación (V-147) mediante un transportador neumático (G-145).

El proceso requiere de una base ya sea MIPA o amoníaco, el producto viene en estañones donde el líquido se succiona por una bomba (P-140) y el flujo (Corriente 38) se envía al tanque de almacenamiento (V-141), para después enviarlo al tanque de agitación.

El agua que es proveída por la bomba (P-128) que también abastece a la formulación del herbicida a base de 2,4-D y se envía (Corriente 27) al tanque de formulación.

De igual forma que en los dos casos anteriores se recomienda agregar un cuarto de agua para evitar una mezcla y disminuir el rendimiento de la reacción y se inicia la agitación con una turbina de aspas inclinadas, finalmente se agregan las demás materias primas a la vez. En el Cuadro 3.4 se observa la cantidad en kilogramos de las sustancias para formular el herbicida.

Cuadro 3.4 Masa requerida de las diferentes materias primas para la formulación del herbicida en disolución acuosa a base de glifosato en una tanda de 25 m³

Sustancia	Masa (kg)
Glifosato	10 000
Agua	15 034
MIPA o NH ₃	5 500
Herbicida a base de Glifosato	29 032

Debido a la combinación del ácido glifosato con la base MIPA o amoníaco, ocurre una reacción que eleva la temperatura de la disolución hasta los 60 °C, por eso, dentro del tanque hay serpentines que permiten enfriar el producto hasta una temperatura lo más cercana al ambiente.

Para el envasado de las diferentes presentaciones es igual que para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D y piclorán más 2,4-D. Para estañones se utiliza la pesa (L-152),

para las presentaciones menores de 20 L el sistema automatizado (L-150), donde es llenadora, selladora, tapadora y etiquetadora, y para las cubetas de 20 L comparte el mismo sistema de envasado que los otros herbicidas (L-136).

En el Anexo 4 se muestra el diagrama de flujo exclusivo para la formulación del herbicida.

4. TANQUE DE AGITACIÓN

4.1 Proporciones del tanque de agitación

Para el diseño del tanque de agitación se utiliza las fórmulas de apuntes de agitación de Rivera (2004), considerando que la relación de altura diámetro es igual. Además es importante mencionar que para la agitación cuando se mezclan líquido-sólido el diámetro del agitador se recomienda que sea la mitad del diámetro del tanque. El fondo y la tapa son de tipo elipsoidal. En el caso del fondo su forma ayuda a la descarga correcta de productos de baja o mediana viscosidad. En la Figura 4.1 se muestra las proporciones para el tanque de 25 m³.

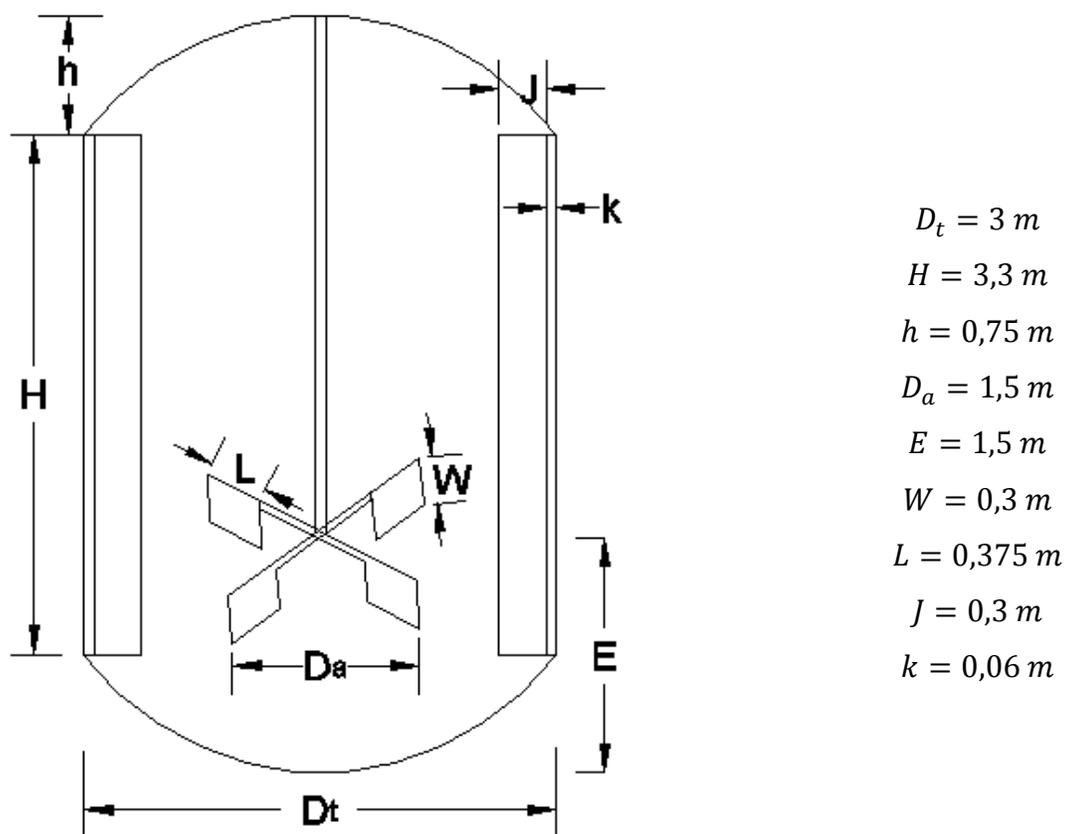


Figura 4.1 Proporciones del tanque de agitación de 25 m³

4.2 Potencia, velocidad del eje, tiempo de agitación y eje del agitador

Para determinar la potencia, se hizo un escalamiento mediante la relación potencia consumida del impulsor por unidad de volumen de líquido. En el caso de líquidos de baja viscosidad es una de las formas de lograr la agitación deseada.

Tomando como base los tanques de formulación del 2,4-D y piclorán más 2,4-D, donde el volumen es de 10 m³ y la potencia consumida es de 7,46 kW (10 hp), es decir un 0,746 kW (1 hp) por cada m³. Se determina que la potencia requerida para formular 25 m³ es de 18,65 kW (25 hp).

En la empresa se realizó un estudio con el fin de disminuir los tiempos de mezclado, y las revoluciones del eje requeridas para la formulación del 2,4-D, 2,4-D más piclorán, y glifosato. Tomando este informe y manteniendo la entrada de potencia por unidad de volumen, se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}} \right)^{2/3} \quad (4.1)$$

Tomando las revoluciones concluidas en el estudio, se determina que las revoluciones requeridas son de 70 rpm.

De igual forma se determina el tiempo de mezclado, tomando en cuenta el escalamiento del estudio realizado para la reducción del tiempo. Utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{t_{T2}}{t_{T1}} = \left(\frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)^{2/3} \quad (4.2)$$

En este caso el tiempo de mezclado varía según el producto formulado, esto solo aplica para 2,4-D, 2,4-D y piclorán, y glifosato. En el Cuadro 4.1 se observan los tiempos determinados para cada herbicida.

Para determinar las revoluciones del eje y el tiempo de mezclado en el caso del paraquat, se utilizaron las fórmulas de los apuntes de agitación de Rivera (2004), considerando que se trata de una mezcla ideal, dado que se trata de una simple disolución y considerando 3

(0,091 m/s) en la escala de agitación, característico de las tandas de agitación de la mayoría de las industrias de procesos químicos y que se trata de una mezcla de dos líquidos miscibles.

Las revoluciones requeridas son 57 rpm, para normalizar los cuatro tanques se establece que la velocidad del eje sea 70 rpm para todos. Esto facilita la instalación y compra de los motores, dado que es más fácil que todos tengan las mismas especificaciones, así como se optimizan los costos de mantenimiento.

Cuadro 4.1 Tiempo requeridos en los tanques agitados del producto

Herbicida	Tiempo estimado (min)	Tiempo de mezclado (min)
Ácido 2,4-D	5,7	40
Glifosato	17,2	40
Ácido 2,4-D más piclorán	5,7	40
Paraquat	19	40

Como se observa en el Cuadro 4.1, el tiempo de reacción y mezclado es corto para el ácido 2,4-D y ácido 2,4-D más piclorán, en comparación con el paraquat y glifosato que es mayor. Tomando el tiempo de mezclado mayor de 19 minutos y definiendo un margen de seguridad del mismo valor, el tiempo efectivo de agitación sería de 38 minutos. Para efectos prácticos, se tomaran 40 minutos como el tiempo efectivo de agitación para todos los herbicidas.

El eje del tanque es en voladizo, por lo que se pueden aplicar los apuntes de Rivera (2002). Inicialmente se propuso un eje relleno, pero la velocidad de agitación representaba un 70 % de la frecuencia natural. Entonces como una opción se propone utilizar un eje hueco, para remover peso innecesario, usando una tubería de 0,1143 m (3 in) ced.40 de acero inoxidable, hizo que la velocidad de agitación bajara a un 50 % de la frecuencia natural, que no excede el 65 %, por tanto, el diámetro del eje así como el uso de tubería Ced. 40 son válidos.

4.3 Serpientes de enfriamiento verticales

Como se ha mencionado anteriormente, en las formulaciones de herbicidas base de 2,4-D, glifosato y 2,5-D más piclorán, ocurre una reacción exotérmica debido a la combinación de estos ácidos con sus respectivas bases, con el fin de formar una sal para que la solución sea soluble en agua, provocando que la solución alcance los 60 °C.

Como una medida para enfriar la solución se propone colocar dentro de los tanques de formulación serpentines verticales. Se propone este tipo para disminuir el espacio utilizado dentro del tanque en comparación a los serpentines en forma de espiral. Para este proyecto se tomó como base el trabajo de Miranda (2011), el cual determina el número de Nusselt para serpentines de tubos verticales y turbina de cuatro aspas inclinadas.

Además se utilizan las ecuaciones 18.10 y 18.11 para serpentines en tanques por lotes, medio enfriante no isotérmico de Kern (1999). Estas dos ecuaciones permiten determinar ya sea el área requerida o el tiempo requerido de enfriamiento. En un principio se estableció el tiempo, para poder determinar el área de transferencia de calor, dado que ya se cuenta con el tiempo de agitación efectivo (40 min), Sin embargo, esto implicó usar una tubería de 6" ced. 40, esto resulta impráctico, ya que es un diámetro muy grande y abarcaría mucho espacio dentro del tanque, por lo que, se aumenta el tiempo a una hora, pero tampoco se logra un diámetro de tubería aceptable. Por lo tanto se decide determinar el tiempo tomando como base una tubería de 2" ced. 40, que es un diámetro tolerable. En la Figura 4.2 se puede observar una vista lateral y superior de los serpentines dentro del tanque de agitación.

La Figura 4.2 permite observar la distribución de los serpentines, el espacio entre el deflector y el serpentín (vista superior) y la distancia entre el fondo del tanque y el codo de retorno del serpentín (vista lateral), tomando como referencia el tanque a escala realizado por Miranda (2011). Además se puede observar el número de vueltas (entiéndase como el recorrido entre la mitad del codo de retorno hasta la otra mitad) y por ende el área de transferencia de calor, que en este caso es 20,5 m².

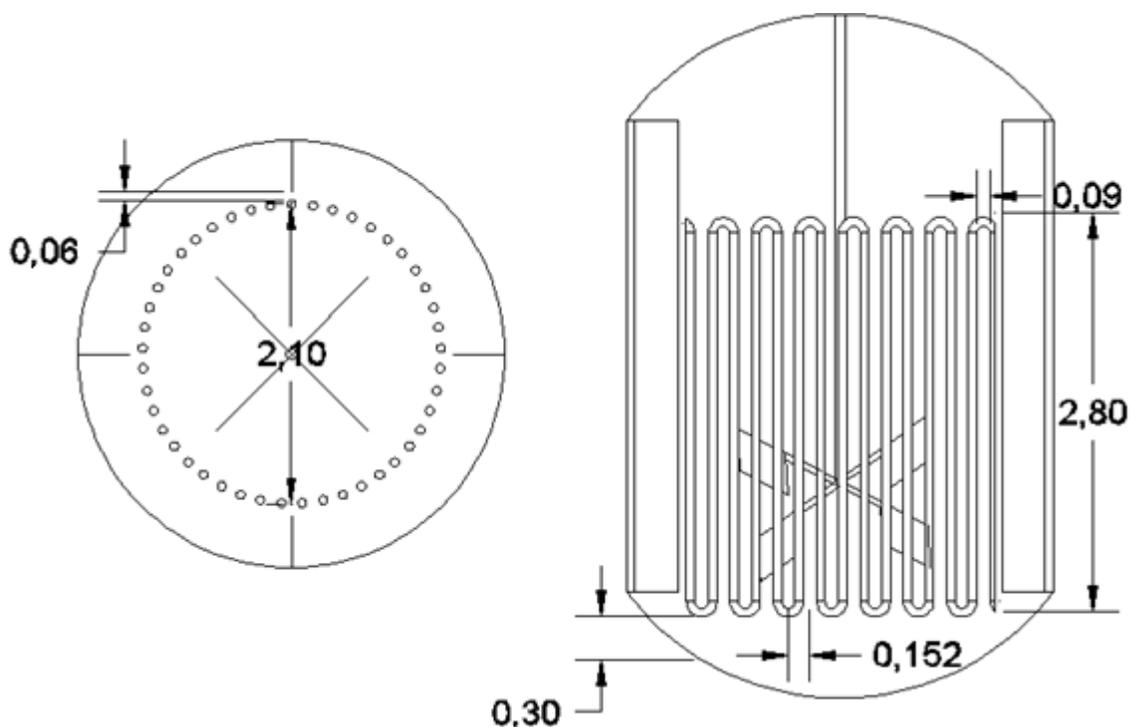


Figura 4.2 Vista superior y lateral de los serpentines dentro del tanque de agitación, distancias en m

Es necesario determinar la caída de presión en los serpentines, esta es de 283 kPa, una magnitud que se considera aceptable, según Rivera experto en el tema. (Comunicación personal)

Según los cálculos realizados el tiempo de enfriamiento requerido se observa en el Cuadro 4.2.

Como se observa en el Cuadro 4.2 los tiempos de enfriamiento ronda entre 2 h y 3 h, tiempos del más del doble que el período de agitación. No obstante, este tiempo en la práctica del todo no es correcto, porque las ecuaciones utilizadas suponen que la solución dentro del tanque está inicialmente a 60 °C, cuando en realidad todos los productos que se alimentan al tanque se encuentran a temperatura ambiente y la reacción se va dando conforme se vayan agregando, esto implicaría que el tiempo puede disminuir

significativamente. Pero como no se cuentan con datos prácticos, se decide mantener estos tiempos y se recomienda iniciar el proceso de enfriamiento cuando el tanque este a un cuarto de su capacidad ($6,25 \text{ m}^3$).

Cuadro 4.2 Tiempo de enfriamiento requerido para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán

Tipo de herbicida	Tiempo (h)
2,4-D	1,8
Glifosato	3,3
2,4-D más piclorán	1,9

5. DISEÑO DE LA INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA

5.1 Equipos principales, tubería y accesorios

Tomando como base el diagrama de flujo y masa, se describirán los equipos principales requeridos. En todos los casos los motores de equipos deberán ser a prueba de explosión. Aquellos procesos donde se utilizan productos derivados del amoníaco, que son corrosivos como el MIPA y el amoníaco utilizado para la formulación de glifosato, las tuberías, válvulas y bombas no deben estar hechas ni contener partes de aluminio ni de cobre ni de sus aleaciones

Tanques de formulación

En Capítulo 4 se detallaron las proporciones de los tanques, así como de la turbina de cuatro aspas inclinadas y el eje. Los tanques deben ser hechos de acero inoxidable dado que se manejan productos corrosivos y requieren de un motor de 18,65 kW (25 hp) a prueba de explosiones.

Tanques de almacenamiento de producto final

Después que la agitación y el enfriamiento se han llevado a cabo, el herbicida se envía a un tanque de almacenamiento de 25 m³. Los tipos de tanques tienen las mismas simetrías que los tanques de proceso, donde la relación de diámetro altura es igual y las tapas son elipsoidales. Solo que en este caso no necesita de deflectores ni del sistema de agitación. Igualmente deben construirse de acero inoxidable.

Silos para el almacenamiento de sólidos de materia prima

Dado que el 2,4-D, glifosato y piclorán son sólidos, es necesario implementar silos para el almacenamiento.

En el diseño de la tapa superior del silo tiene un ángulo de 30° que es generalmente usado en la industria. El ángulo de inclinación del fondo recomendado para silos de polvo según la experiencia es de 45°. La relación de diámetro altura en esta caso es de 1,5.

En el Cuadro 5.1 se observa el volumen requerido para los tres silos

Cuadro 5.1 Volumen de silos de almacenamiento para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán

Solido	Volumen (m³)
2,4-D	32,0
Glifosato	12,6
2,4-D más piclorán	18,2

El diámetro requerido en la entrada se basa con respecto a la salida de material del elevador de cangilones y la salida con respecto al diámetro del ducto del transportador neumático.

Además para asegurar la descarga correcta del material y que no se estanque o formen temblores se colocarán vibradores neumáticos, ya que la aireación suelta el producto, permitiéndole fluir con mayor facilidad. La membrana del vibrador obliga al aire a moverse a lo largo de la pared del silo, despegando el producto y garantizando un vaciado integral y la vibración suave mantiene el flujo del producto, sin permitir que se compacte o se atasque.

También se debe instalar un colector de polvo que lo separa del flujo de aire, por un elemento filtrante de elementos residuales que serán devueltos hacia el interior del silo.

En el Anexo 9 se muestra los silos de almacenamiento con sus respectivas cotas.

Elevadores de cangilones

Para descargar el 2,4-D, glifosato y piclorán en el silo se utilizará un elevador de cangilones. El flujo requerido se calcula con respecto al volumen a transportar en un tiempo sugerido máximo de 2,2 h. En el Cuadro 5.2 se observa el flujo requerido en cada caso.

El tipo de cangilón requerido es de descarga centrífuga, uno de los más utilizados dada sus grandes velocidades de desplazamiento. La carga se efectúa por dragado del material depositado en la parte inferior. El elevador de cangilones debe ser cerrado para evitar el escape de estos polvos.

Cuadro 5.2 Flujos volumétricos requerido en los elevadores de cangilones para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán

Solido	Flujo volumétrico (m³/h)
2,4-D	16,0
Glifosato	6,3
2,4-D más piclorán	9,5

Los elevadores de cangilones se compran por paquete especificando el tipo de sólido y los flujos. En el Anexo 10 se observa los elevadores con sus respectivas cotas.

Transportador Neumático

Para el caso de la descarga de los sólidos desde el silo hasta el tanque de formulación se utilizará un transportador neumático. El flujo se basa con respecto al volumen que se requiere transportar para una tanda con respecto al tiempo deseado de la descarga (45 min). En el Cuadro 5.3 se observa los flujos requeridos en el transportador.

Cuadro 5.3 Flujos volumétricos requeridos en los transportadores neumáticos para 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán

Solido	Flujo volumétrico (m³/h)
2,4-D	48,0
Glifosato	19
2,4-D más piclorán	28,5

El transportador neumático escogido es de presión baja positiva, dado que a menor velocidad del aire en las tuberías menor es el desgaste, consiguiendo así una mayor duración de las mismas y reduciendo sus costos de mantenimiento, además al poder utilizar ventiladores de presión baja, el sistema es más simple, eliminando sistemas complicados de soplado que exigen mantenimientos mayores y más costosos, y al necesitar menor presión para el mismo transporte, la instalación es más segura y necesita de menos sistemas de vigilancia, disminuyendo su costo.

También es continuo en fase diluida, ya que es ideal para este tipo de productos que son de media densidad, no abrasivos, que no se degradan y pueden manejarse a velocidades altas (20 m/s) en distancias cortas. Para manejar el caudal se debe poner una esclusa rotativa justo después de la salida del silo y la conexión con el ducto de transporte neumático.

Las pérdidas por fricción dentro de la tubería en los codos que representa más del 50 % de la resistencia total, ya que los sólidos los cuales normalmente, se encuentran en suspensión en tramos rectos horizontales o verticales, tienden a sedimentar en los codos debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre las partículas cuando lo transitan. A razón de esto, las partículas se desaceleran y luego se resuspenden y se reaccelerán luego de transitar un codo, resultando en pérdidas de carga elevadas asociada a los codos.

Por lo tanto, para evitar estas pérdidas se utilizarán “tes” ciegas, ya que la teoría es que se forma un “cojín” de partículas estancadas en la rama cegada de la “T”, y las partículas transportadas colisionan con las partículas estancadas en la “T” en vez de hacerlo en la superficie metálica, como sucede en los codos. Se ha determinado que la vida útil de la te es mucho mayor que cualquier otra configuración (quince veces mayor que la de los codos) y que la pérdida de carga y la abrasión de las mismas son aproximadamente iguales a las observadas en los codos (ITESCAM).

Como el transportado maneja aire a presión es necesario agregar en el tanque de formulación un colector de polvos, que permita separar el aire del sólido que se devuelva al silo.

En el Anexo 11, se muestra el isométrico de los transportadores neumáticos con sus respectivas cotas.

Tanques de almacenamiento para las materia primas líquidas

Dado que la DMA, MIPA o NH_3 y paraquat son sustancias líquidas, es necesario que se requiera implementar tanques para el almacenamiento. La masa para almacenar es la máxima requerida para la formulación del herbicida en un lote. Los tipos de tanques sigue el mismo tipo de cálculo que los tanques de almacenamiento de producto final.

En el Anexo 12, se observan las dimensiones de los tanques de almacenamiento de materia prima líquida.

En el Cuadro 5.4 se muestra el volumen requerido para los tanques.

Cuadro 5.4 Volumétricos requeridos para el almacenamiento de DMA, MIPA o NH₃ y paraquat

Solido	Volumen (m³)
DMA	11,2
MIPA o NH ₃	8,0
Paraquat	15,5

Torre de enfriamiento

Para enfriar el agua que pasa por los serpentines en el tanque de formulación se dispondrá de una torre de enfriamiento, dado que se trata de un flujo de agua grande (19,5 L/s) y es una de las soluciones más económicas en la industria.

Para evitar la recirculación y no aumente la temperatura del agua que sale de la torre, se usara una torre de tiro inducido, dado que ésta proporciona un control total sobre el caudal de aire suministrado. Además son torres compactas con sección transversal y altura de bombeo pequeñas en comparación con las de tiro natural y proporcionan un control preciso de la temperatura del agua a la salida.

La torre se ubica en la zona sureste, pues es una zona libre y disponible cerca de donde se planea construir la nueva planta y también presenta una buena ventilación.

Bombas

Para la succión de materia prima líquida se recomienda una bomba de desplazamiento positivo dado que es mejor para caudales bajos y presiones elevadas. Esto se debe básicamente al modo en que se produce la presión, en la centrífuga es frenando un fluido, mientras que en la otra es presionándolo reduciendo su volumen.

Para el transporte de fluidos se utilizarán bombas centrífugas, ya que son muy versátiles en sus capacidades y presiones. Además el caudal es constante, manejan una presión uniforme, son sencillas, su tamaño es reducido en comparación a otras, requieren bajo mantenimiento, flexibilidad de regulación, poseen una vida útil prolongada, no tienen movimientos alternativos y son las más utilizadas en la industria.

En el caso de las bombas P-101, P-113 y P-128 la potencia de las bombas se determina con la ecuación de Bernoulli, además estas se encuentran fuera del edificio de formulación, de manera que no están expuestas a vapores y polvos de sustancias orgánicas volátiles.

Para el resto de las bombas las pérdidas por fricción se considera despreciables, y a la hora de determinar la potencia de la bomba mediante Bernoulli da magnitudes muy bajas. Por lo que, se utilizan curvas de bombas de flujo contra altura (Anexo 13). En este caso las bombas sí se encuentran dentro del edificio deben ser a prueba de explosiones.

En el Cuadro 5.5 se muestra la potencia requeridas de cada bomba con base a la nomenclatura del diagrama de flujo (Figura 3.1)

Cuadro 5.5 Potencia de las bombas requeridas en el proceso de formulación de herbicidas

Bombas	Tipo	Potencia (kW)
P-101, P-128	Centrífuga	5,5
P-110, P-138, P-125, P-151	Centrífuga	0,55
P-102, P-140, P-114	Desplazamiento positivo	0,55
P-104, P-116, P-142	Centrífuga	2,2
P-105, P-120, P-133, P-146	Centrífuga	4
P-113	Centrífuga	75

Tubería principal y accesorios

Para las tuberías que se encuentren antes de una bomba se recomienda una velocidad de 2 m/s, siempre y cuando los tramos sean cortos de manera que las pérdidas por fricción no sean significativas, de igual forma después de la bomba se utiliza una velocidad de 3 m/s.

Todos los tubos deben ser Cédula 40 debido a la corrosividad alta de los reactivos comprendidos y de acero inoxidable. En el Cuadro B.20 del apéndice se muestran los diámetros requeridos.

Además las dimensiones de bridas, codos, tes, válvulas y reducciones se toman del Perry's Chemical Engineers' Handbook (2008) (Anexos 14, 15 y 16).

5.2 Isométrico de planta

El isométrico de planta es un factor importante en el ordenamiento físico de la planta, además de facilitar las labores del personal de operación de la planta, y el movimiento de materias primas y productos terminados.

Tomando en cuenta el equipo y espacio disponible de 27,4 m x 59,1 m, se desarrolla un espacio físico apropiado para la operación de la planta.

Las dimensiones generales están pensadas para que los espacios libres permitan el acceso a todas las secciones de los equipos sin tener que desmantelar la planta o detener la operación y para que sea posible la inspección visual del proceso y de los equipos. También para que permitan el descongestionamiento de tuberías y válvulas, utilizando la menor cantidad posible de tubería total.

El isométrico de la planta completa se muestra en la Figura 5.1. En se observa de manera conjunta los equipos y tuberías.

Sin embargo en el Anexo 18 se muestra el isométrico separado por líneas continuas, en él se observa con mayor detalle cómo se distribuyen los equipos, tuberías y accesorios, además se aprecian las corrientes que van de un equipo a otro.

A la hora de diseñar se debe considerar que no debe haber tubería situada encima de la bomba, ya que esto puede generar un mal soporte aumentando la fatiga de flexión cuando la bomba está operando y el equipo se vuelve inaccesible y congestionado. Además se tienen

que evitar las válvulas en tramos verticales para evitar que el líquido quede retenido en algún codo o cambio de dirección.

En los Anexos 19 al 22 se muestra el isométrico para cada proceso, así también en el Anexo 23 el isométrico de la tubería de agua para la formulación de los herbicidas paraquat y 2,4-D más piclorán, en el Anexo 24 la tubería de agua para los serpentines de enfriamiento y en el Anexo 25 la tubería de agua para la formulación de los herbicidas 2,4-D y glifosato.

En la Figura 5.2 se observa la distribución de planta y en el Anexo 26 se muestra marcado con cotas.

También, en el área de formulación, la iluminación e instalación eléctrica debe ser a prueba de explosión.

De igual modo para el tratamiento adecuado de las aguas residuales de la planta, ya sea por el lavado de los equipos y tanques, o porque algún producto debe desecharse, es necesario aumentar la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales actual (2013) en 2,5 veces su flujo.

Además el edificio para este proyecto debe cumplir con los siguientes requerimientos, según el Decreto N° 28659-S Reglamento de Expendios y Bodegas de Agroquímicos (2000):

- La planta debe contar con sistema adecuado de diques de contención para tanques de almacenamiento de líquidos.
- Los pisos deben tener un desnivel del 1 %, dirigido hacia el sistema de retención de derrames.
- El techo deberá contar con una altura mínima de 2,5 metros, medidos del piso al cielo raso o cercha.
- Área de ventilación natural, no inferior al 20 % de la superficie del piso. En este caso se dispondrán de rejillas de ventilación en las paredes, un área de 324 m².

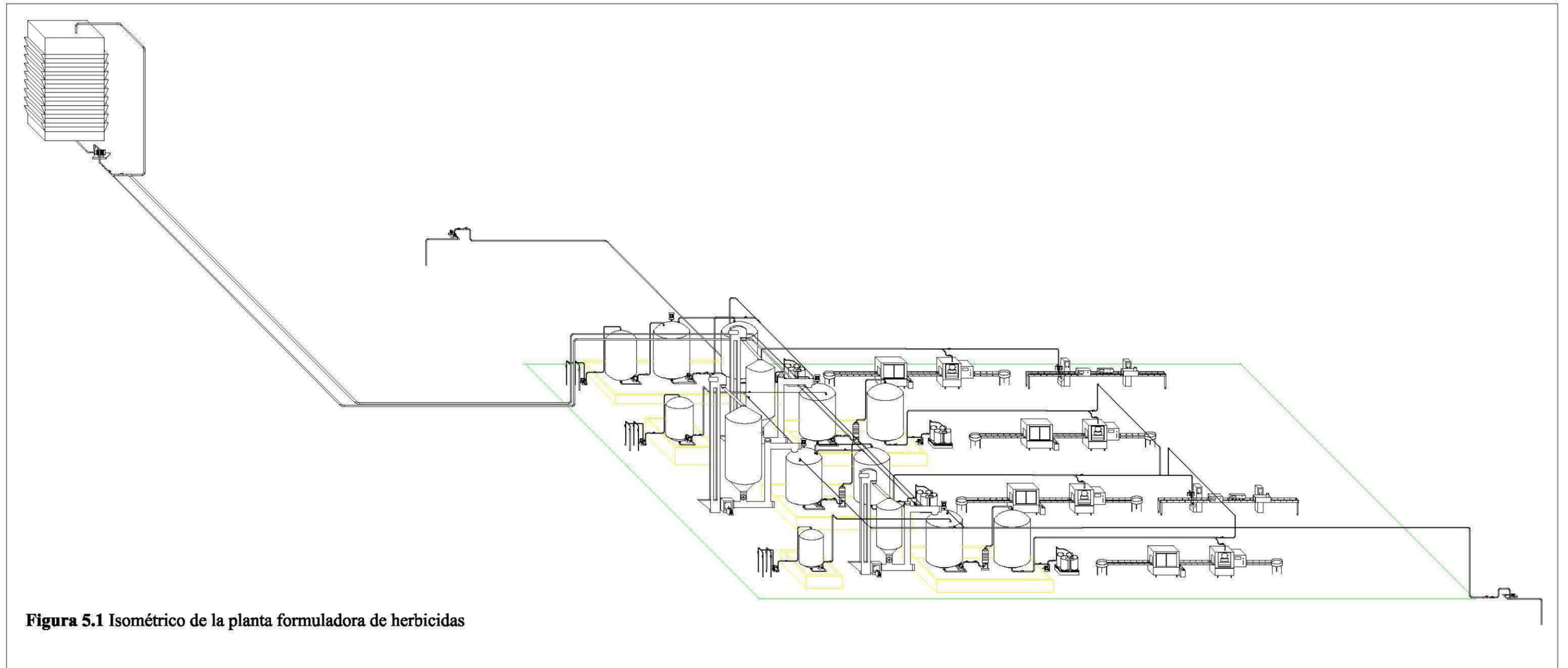


Figura 5.1 Isométrico de la planta formuladora de herbicidas

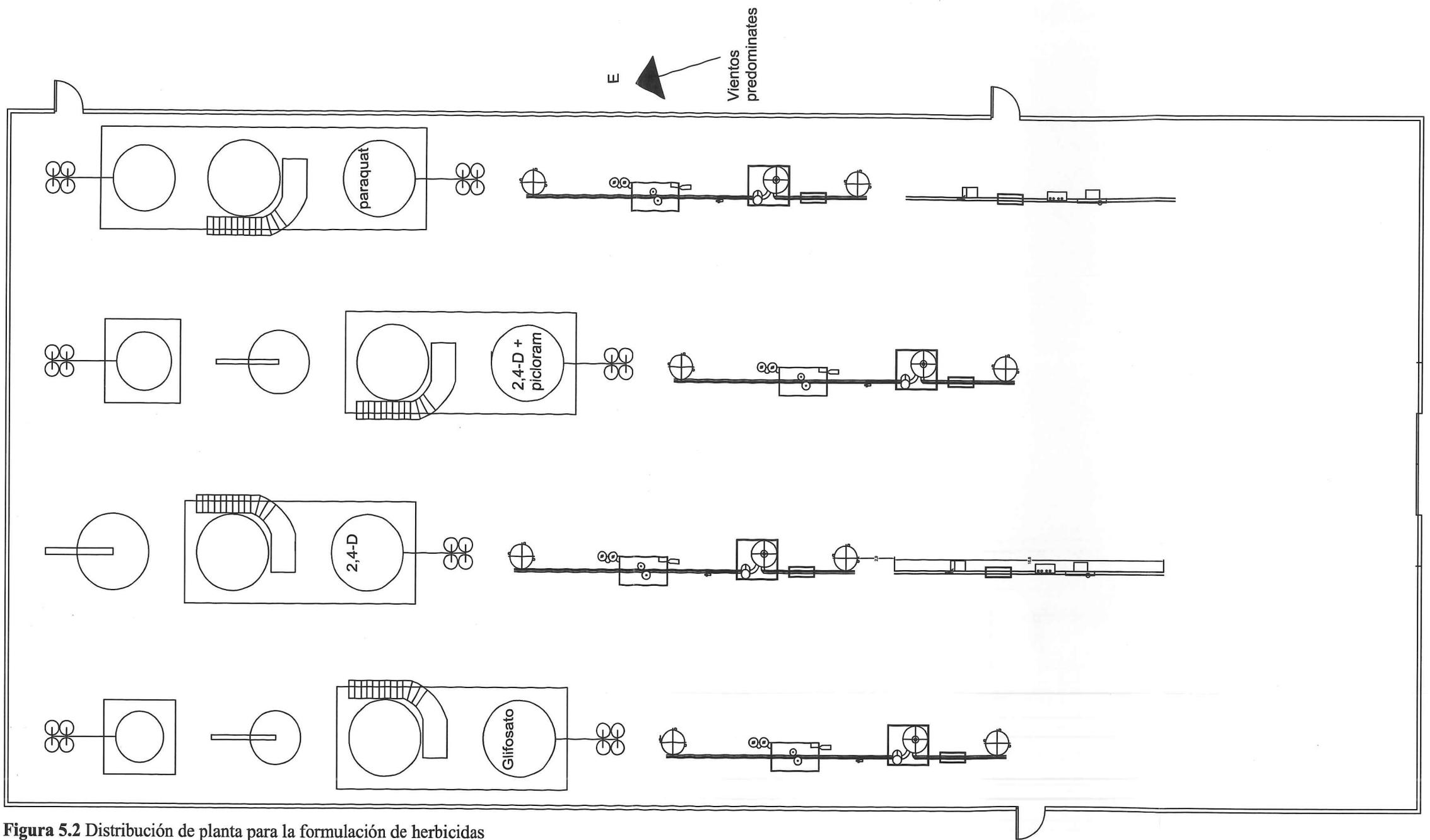


Figura 5.2 Distribución de planta para la formulación de herbicidas

6. COSTOS PRELIMINARES DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

La evaluación financiera es un aspecto importante en el diseño de toda planta. Es un factor decisivo para el empresario que le permite determinar si el proyecto es económicamente viable.

En este capítulo, se estima a cuánto asciende solamente el costo de los equipos, tuberías y edificio. Se excluyen en este capítulo, los costos de instalaciones complementarias, acondicionamiento del recinto e instrumentación y control automático. No se realiza tampoco la estimación del capital de trabajo. Los resultados obtenidos de costos se muestran en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 Costo de los equipos, tubería y edificio

Cantidad	Equipo	Monto \$ US
	Transportadores neumáticos	62 240
3	Llenadoras automáticas de 20 L	96 280
2	4 pesas	4 400
4	Llenadoras automáticas para envases menores de 20 L	973 500
3	Elevadores de cangilones	30 300
3	Bombas de desplazamiento positivo	5 900
14	Bombas centrífugas a prueba de explosiones	817 200
3	Bombas centrífugas	45 700
3	Filtros	8 316
4	Tanques de agitación	357 300
4	Tanques de almacenamiento de producto	232 200
3	Tanques de almacenamiento materia prima líquida	108 734
3	Silos	8 358
4	Motores para agitación de 25 hp	34 240
1	Torre de enfriamiento	11 572
	Total del costos de equipo	2 796 240
	Tubería y accesorios	866 834
	Edificio	785 802
	Planta de tratamiento de aguas residuales	30 000
	Improvistos	2 389 946
	Total	8 849 261

Para determinar el costo de los equipos se solicitan cotizaciones, tanto a empresas nacionales como internacionales. En lo concerniente a tuberías, válvulas y accesorios se utilizó los datos de Peters y Timmerhaus (2003), donde para el tipo de planta solido-líquido representa un 31 % del total del equipo principal.

El costo del edificio se determina con el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva (2012), que contiene una descripción detallada de cada tipo de construcción, instalación y obra complementaria con respecto a sus componentes, vidas útiles y valores.

En cuanto a la planta de tratamiento de aguas residuales se contactó a Bernardo Mora experto en el tema, donde se estimó un aproximado de US \$ 30 000 (comunicación personal).

Los imprevistos de igual forma se determinan mediante el Peters y Timmerhaus (2003), que constituye un 37 % de la inversión total.

De esta manera, el costo aproximado de la planta formuladora de herbicidas, es de US \$ 8 850 000.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El tamaño de planta formuladora de producción industrial, es de 50 m³/día, es un proceso por lotes en dos tandas de 25 m³.
- Para la formulación de herbicida a base de paraquat, el tiempo de mezclado recomendado es de 40 min.
- El enfriamiento de los herbicidas a base de 2,4-D, 2,4-D más piclorán, y glifosato requieren de serpentines verticales de enfriamiento dentro del tanque, con diámetro de tubería de 2" ced. 40, con un área de transferencia de calor de 20,5 m² y el flujo agua requerido para cada proceso es de 9,5 L/s.
- El enfriamiento del agua de los serpentines se realizará mediante una torre de tiro inducido para evitar la recirculación.
- El tiempo de formulación de los herbicidas a base de 2,4-D, 2,4-D más piclorán, y glifosato está liderado por el tiempo de enfriamiento, dado que es mayor que el tiempo de reacción y mezclado.
- El principal material en la construcción de los equipos y tubería es el acero inoxidable. Los equipos y tubería seleccionada tienen partes de acero inoxidable y de polímeros químicamente neutros.
- Las dimensiones de la planta son aproximadamente 12 m de alto, 59,1 m de largo, y 27,4 m de ancho.
- La planta se diseña con los motores de equipos a prueba de explosiones y cerrados para evitar polvos en la atmosfera de trabajo.

- El costo preliminar total de los equipos, accesorios e instrumentos, es de US \$ 8 850 000.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda mediante experimentación a escala que se estudie el tiempo de enfriamiento con serpentines verticales para evaluar el tiempo requerido para lograr al menos un temperatura de 30 C en el producto final.
- Se recomienda realizar el diseño de proceso de control automático e instrumentación, dado que el manejo manual de la planta sería muy complicado y peligroso.
- Se recomienda implementar un sistema contra incendios para garantizar la protección de la vida y la inversión, cumpliendo con normas como la NFPA y OSHA.
- Se recomienda una nueva ubicación de la planta, que posea mayor espacio, dado que la distribución de la planta a lo ancho, se encuentra en límites mínimos.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado para estimar un flujo total para una planta industrial más exacto que permita determinar si el proyecto es viable o no.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Air, D. (2010). *16 Conceptos de Transporte Neumático*. Recuperado el 10 de enero de 2011, de Dynamic Air Conveying Systems: <http://www.dynamicair.com/pdf/9906-7-es.pdf>
- Beltran, C., & Rojas, W. (2002). *Diseño y construcción de un intercambiador de calor como herramienta didáctica en procesos de transferencia de calor y aplicaciones en la energía solar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Blandón, S. (22 de setiembre de 2008). *Fundamento de las operaciones con sólidos*. Recuperado el 2 de diciembre de 2011, de Operaciones mecánicas en la Ingeniería Agroindustrial: slbn.files.wordpress.com/2008/09/unidad-iii_op_mec_sesion1ver.pp
- Bominox. (2009). *Bomba centrífuga para atmósferas explosivas*. España: Bominox.
- Cabrejos, F., Jofré, M. I., & Rojas, J. (2004). *Transporte Neumático de Materiales Sólidos Granel*. Recuperado el 10 de enero de 2011, de Congreso CONAMET/SAM 2004: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/laserena/21.pdf>
- Chacón, G. (2007). *Apuntes de clase sobre Fenómenos de Transporte de Cantidad de Movimiento, Calor y Masa. Cuadros*. San Pedro: Universidad de Costa Rica.
- Construpedia. (2011). *Construmática*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, de Cinta Transportadora: http://www.construmatica.com/construpedia/Cinta_Transportadora
- Díaz, V. (2011). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, de Tornillos Sin Fin: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos_sin_fin.pdf
- Díaz, V. (2011). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 18 de marzo de 2012, de Elevadores de Cangilones: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos_sin_fin.pdf
- Domingo, A. (2003). *Departamento de Ingeniería Química y Textil*. Recuperado el 13 de marzo de 2013, de Universidad de Salamanca: http://web.usal.es/~tonidm/DEI_06_Depositos.pdf
- Domingo, A. (2006). *Diseño de Equipos e Instalaciones*. Recuperado el 4 de agosto de Poder Ejecutivo. (2000). *Decreto N° 28659-S Reglamento de Gastos y Bodegas de Agroquímicos*. San José: Gobierno de Costa Rica.

- FAO. (1993). *Deposito de Documentos de la FAO*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, de Instalaciones y material de los centros de almacenamiento a granel: <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041S06.htm>
- Galicia, M. L. (marzo de 2006). *Manuales de laboratorio, Generalidades de torres de enfriamiento de agua*. Recuperado el 17 de agosto de 2011, de Departamento de Ingeniería Química Universidad Autónoma de México: <http://depa.pquim.unam.mx/~luimary/generalidades.html>
- Godoy, P. (2003). *Evaluación de alternativas para la recuperación de calor de un reactor de surfactante en la industria de agroquímicos*. Recuperado el 14 de agosto de 2011, de Escuela de Ingeniería Química, Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0859_Q.pdf
- Hacienda. (2012). *Manual de valores Base Unitarios por Tipología Constructiva*. San José: Ministerio de Hacienda.
- Herra, A. (1976). *Diseño y construcción de un equipo de transferencia de calor en tanques agitados*. San José: Universidad de Costa Rica.
- INEC. (2012). *INEC*. Recuperado el 20 de enero de 2012, de Sistema de Consulta de Comercio Exterio: <http://www.inec.go.cr/sicceweb/default.aspx>
- ITESCAM. (s.f.). *Ingeniería de las operaciones físicas I*. Recuperado el 15 de marzo de 2013, de Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, México: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r83107.PDF>
- Kern. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. México: Continetal S.A.
- McCabe, S., & Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química* (7ma ed.). México: McGraw Hill.
- Miranda, B. (2011). *Determinación del coeficiente de película externo en serpentines mediante transferencia de calor por convección en tanques utilizando fluidos newtonianos*. San Pedro: Universidad de Costa Rica Tesis de Maestría.
- Mora, B. (31 de mayo de 2013). Plantas de tratamiento de aguas residuales. (Rodríguez, M, Entrevistador)
- Moretti, D., & Sosa, G. (2012). *Universidad de la República - Uruguay Facultad de Ingeniería*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, de Bandas: <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/transind/teorico/Clase4-Cintas.pdf>

- Pernich, A. (2010). *Predicción Numérica de los Campos de Tensiones Durante el Llenado y la Descarga de Silos de Almacenamiento de Materiales Granulares*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Perry. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Transport and storage of fluids* (octava ed.). Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Perry, R. (2001). *Manual del ingeniero químico*. España: McGraw-Hill.
- Peters, & Timmerhaus. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Puricelli, E., & Leguizamón, E. (2005). *Produccion animal de Argentina*. Recuperado el 21 de enero de 2012, de Herbicidas Hormonales: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_combate_de_plagas_y_mal_ezas/51-herbicidas_hormonales.pdf
- Rautzen, R. (Octubre de 1997). How to Use Scale-Up Methods for Turbine Agitators. *Chemical Engineering*.
- Ravenet, J. (1992). *Silos* (3 era ed.). Barcelona: IMGESA.
- Rivera, E. (2002). *Procesos y operaciones integrados*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Rivera, E. (2004). *Apuntes de agitación*. San José: Universidad de Costa Rca.
- Salas, C. L. (2009). *Torres de enfriamiento*. Recuperado el 20 de agosto de 2011, de Departamento de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química de la Universidad de los Andes: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OPIV/torres1.pdf>

9. NOMENCLATURA

$2,4 - D$	= Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	<i>Adim</i>
A	= Área (ec. C.2.10)	m^2
A	= Constante para el tiempo de agitación (ec. C.2.10)	Adim
C	= Capacidad calórica del líquido en el tanque de lote	J/kgK
D	= Diámetro	m
DMA	= Dimetilamina	Adim
E	= Espacio entre el fondo del tanque y el agitador	m
Fm	= Corrección de las propiedades del acero	Adim
G	= Masa velocidad	kg/m^2s
H	= Altura del tanque sin considerar tapas	m
H_p	= Potencia de la bomba por flujo másico	m^2/s^2
J	= Ancho del deflector	m
K	= Coeficiente de pérdidas por fricción	Adim
L	= Ancho de la hoja de la turbina	m
L'	= Longitud del eje	m
M	= Momento	$in - lb$
MIPA	= Monoisopropilamina	Adim
N_c	= Frecuencia natural del sistema	rpm
K_2	= Constante de flujo de calor para serpentines por lotes	Adim
N	= Numero	Adim
NH_3	= Amoniaco	Adim
Un	= Numero de Nusselt	

P	= Potencia	Hp
P	= Presión	Pa
Pr	= Número de Prandtl	Adim
Q	= Capacidad de bombeo efectiva del impulsor	m^3/s
Re	= Número de Reynolds	Adim
S	= Corrección del diámetro	Adim
Sb	= Espacio entre cojinetes	in
T	= Temperatura del líquido caliente	$^{\circ}C$
T_Q	= Torque	$in - lb$
U	= Coeficiente de transferencia de calor total	$W/m^2 \cdot K$
V	= Volumen	m^3
\dot{V}	= Flujo volumétrico	m^3/s
W	= Ancho de la hoja de la turbina (C.2.2)	m
W	= Peso (ec. C.2.22)	lb
W_p	= Potencia de la bomba	W
Z	= Altura	m
c	= Capacidad Calórica	J/kgK
d	= Diámetro del eje del agitador (ec. C.2.19)	m
d	= Diámetro (ec. C.7.2)	m
f	= Factor de fricción	Adim
g	= Gravedad	m/s^2
h	= Altura (ec C.1.1)	m
h	= Coeficiente de película de transferencia de calor (ec. C.7.4)	W/m^2K

h_f	= Factor de fricción	m^2/s^2
k	= Constante de caída para el tiempo de agitación (ec. C.2.14)	1/s
k	= Conductividad térmica (ec. C.7.4)	W/mK
k	= Separación entre la pared y los deflectores (ec. C.2.6)	m
l'	= Longitud entre el primer cojinete y la tapa superior del tanque	m
l	= Longitud	m
m	= Masa	kg
\dot{m}	= Flujo másico	kg/h
n	= Velocidad del eje	rpm
r_d	= Factor de ensuciamiento	$m^2 \cdot K/W$
t	= Temperatura del líquido frío (ec C.7.16)	°C
t	= Tiempo	s
v	= Velocidad	m/s
w	= Fracción retenida de sólido	Adim
w	= flujo másico de agua	Kg/s
\emptyset	= Relación de viscosidad	Adim
α	= factor de cinética	Adim
ε	= Porosidad	m
η	= Eficiencia	Adim
ρ	= Densidad	kg/m ³
σ	= Esfuerzo permisible	psi
θ	= Angulo (C.3.10)	°
θ	= Tiempo de enfriamiento (C.7.14)	S

ϖ	= Peso por longitud del eje	<i>lb/in</i>
μ	= Viscosidad	<i>kg/m s</i>
ψ	= Corrección de la viscosidad	Adim
ΔP	= Caída de presión	Pa

Subíndices

1	= Tanque real
2	= Tanque a escalar
2,4-D	= Ácido 2,4-diclorofenoxiacético
A	= Punto A
B	= Punto B
C	= Contracción
D	= Diseño
DMA	= Dimetilamina
L	= Limpio
M	= Mezclado
N	= Tamiz
Q	= Flujo
S	= Sólido
SyN	= Sólido más tamiz
T	= Tanque
a	= Agitador
avs	= Ancho de una vuelta del serpentín

<i>b</i>	= Turbina
<i>b</i>	= cuerpo del líquido en el tanque
<i>cil</i>	= Cilindro
<i>e</i>	= Externo
<i>e</i>	= Expansión
<i>e'</i>	= Equivalente
<i>f</i>	= Accesorios
<i>i</i>	= Interno
<i>ini</i>	= Inicial
<i>io</i>	= Coeficiente interno a la superficie externa
<i>ls</i>	= Largo de un vuelta del serpentín
<i>M</i>	= Medio
<i>max</i>	= Máximo
<i>man</i>	= Manguito
<i>o</i>	= Externo
<i>rs</i>	= Codo de retorno del serpentín
<i>st</i>	= Serpentín total
<i>s</i>	= Cortante
<i>t</i>	= Tiempo de formulación
<i>t</i>	= Tensión
<i>tap</i>	= Tapas
<i>tot</i>	= Total
<i>tci</i>	= Tapa del cono inferior

tcs = Tapa del cono superior

tot = Total

w = Pared

Superíndices

k = Constante de caída para el tiempo de agitación

t = Tiempo de formulación

APÉNDICE

Apéndice A Cuadros de datos

Cuadro A.1 Volúmenes requeridos por lote en la planta formuladora de herbicidas de los tanques agitadores y almacenamiento del producto

Herbicida formulado	Volumen (L)
Ácido 2,4-D	25 000
Glifosato	25 000
Ácido 2,4-D y piclorán	25 000
Paraquat	25 000

Cuadro A.2 Parámetros de los tanques agitados utilizados en la planta 1 actual

Dimensión	Valor
Volumen (m ³)	10
Diámetro del agitador (m)	0,812
Potencia (m)	10
Revoluciones (rpm)	85

Cuadro A.3 Dimensiones del tanque utilizado en las pruebas para reducción del tiempo de formulación

Dimensión	Valor
Volumen (m ³)	0,016
Diámetro del tanque (m)	0,275
Diámetro del agitador	0,11

Cuadro A.4 Tiempo y velocidad del eje obtenido por las pruebas realizadas para la reducción del tiempo de formulación (información confidencial).

Herbicida	Velocidad del eje (rpm)	Tiempo (s)
2,4-D	350	60
2,4-D y piclorán	400	180
Glifosato	400	60

Cuadro A.5 Parámetros para el acero inoxidable.

Parámetro	Valor
Esfuerzo cortante permisible (psi)	6 000
Esfuerzos tensión permisibles (psi)	10 000
Peso por longitud de eje ced. 40 (lb/in)	0,2865
Aspereza (m)	0,00001

Cuadro A.6 Masas máximas requeridas por lote en la planta formuladora de herbicidas para los silos de almacenamiento de los sólidos de materia prima

Herbicida formulado	Masa (kg)
Ácido 2,4-D	15 000
Glifosato	10 000
Ácido 2,4-D (2,4-D mas piclorán)	6 500
Piclorán	3 500

Cuadro A.7 Densidad aparente de los ácidos (sustancias sólidas) de materia prima para la formulación de los herbicidas

Materia prima	Densidad (kg/m³)
Ácido 2,4-D	604
Glifosato	792
Piclorán	471

Cuadro A.8 Masas máximas requeridas por lote en la planta formuladora de herbicida de almacenamiento de los líquidos de materia prima

Herbicida formulado	Masa (kg)
Dimetilamina (2,4-D)	6 000
Dimetilamina (2,4-D mas picloran)	1 600
Monoisopropilamina	5 500
Paraquat	13 000

Cuadro A.9 Densidad de las materias primas líquidas para la formulación de los herbicidas

Materia prima	Densidad (kg/m³)
Paraquat	1 130
Dimetilamina	680
Monoisopropilamina	694

Cuadro A.10 Propiedades fisicoquímicas de los herbicidas

Herbicida\Propiedad	Densidad (kg/m³)	Viscosidad (kg/m s)	Capacidad calórica (J/kg K)
Ácido 2,4-D	1 196,1	0,0091	1 841,55
Glifosato	1 161,3	0,0137	3 567,01
Ácido 2,4-D y piclorán	1 173,5	0,0042	2 018,40
Paraquat	1070	0,007	-----

Cuadro A.11 Propiedades fisicoquímicas del agua a 24 °C y 31,7 °C (Chacón, 2007)

Propiedad	24 °C	31,7 °C
Densidad (kg/m ³)	997,3	995,09
Viscosidad (kg/m s)	0,000915	0,000847
Capacidad calórica (J/kg K)	4 182,4	4 178.4
Conductividad térmica (W/m K)	0,608	0,618

Cuadro A.12 Temperatura en los tanques agitados donde se instalaran serpentines

Herbicida	Temperatura de la reacción (°C)	Temperatura final deseada (°C)
Ácido 2,4-D	60	30
Glifosato	60	30
Ácido 2,4-D y piclorán	60	30

Cuadro A.13 Características de la torre de enfriamiento deseada para suministrar el agua a los serpentines

Características	Valor (°C)
Temperatura de salida de la torre	25
Diferencial de temperatura	60
Temperatura de bulbo húmedo	20

Cuadro A.14 Volúmenes de agua requeridos para la formulación de herbicidas

Herbicida	Volúmenes (m³)
Ácido 2,4-D	8,93
Glifosato	15,08
Ácido 2,4-D y piclorán	17,39
Paraquat	13,79

Cuadro A.15 Datos de tamizado para el glifosato

Número de malla	Abertura de la malla (mm)	Masa de la malla (g)	Masa de la malla y el producto (g)
45	0,354	391	393
60	0,250	375	387
80	0,175	370	388
120	0,126	349	499
140	0,106	356	443
170	0,090	348	360
Fondos	---	333	333

Cuadro A.16 Datos de tamizado para el 2,4-D

Número de malla	Abertura de la malla (mm)	Masa de la malla (g)	Masa de la malla y el producto (g)
45	0,354	391	391
60	0,250	375	376
80	0,175	370	383
120	0,126	349	429
140	0,106	356	428
170	0,090	348	387
Fondos	---	333	377

Cuadro A.17 Datos de tamizado para el piclorán

Número de malla	Abertura de la malla (mm)	Masa de la malla (g)	Masa de la malla y el producto (g)
45	0,354	391	457
60	0,250	375	400
80	0,175	370	412
120	0,126	349	430
140	0,106	356	407
170	0,090	348	371
Fondos	---	333	347

Apéndice B Resultados Intermedios

Cuadro B.1 Dimensiones requeridas de los tanques agitadores y almacenamiento del producto

Dimensión	Valor (m)
Diámetro del tanque	3,0
Altura de tapa y fondo tipo elipsoidal	0,75
Altura cilíndrica	3,3
Altura total	4,8

Cuadro B.2 Proporciones requeridas de los tanques agitadores del producto

Dimensión	Valor (m)
Diámetro del agitador	1,5
Altura de la hoja de la turbina	0,3
Ancho de la hoja de la turbina	0,375
Espacio entre el fondo del tanque y el agitador	1,5
Ancho del deflector	0,3
Separación entre la pared y los deflectores	0,06

Cuadro B.3 Potencia, revoluciones y tiempo requeridos en los tanques agitados del producto

Herbicida	Potencia (hp)	Revoluciones (rpm)	Tiempo de mezclado calculado (min)	Tiempo de mezclado (min)
Ácido 2,4-D	25	70	5,7	40
Glifosato	25	70	17,2	40
Ácido 2,4-D y piclorán	25	70	5,7	40
Paraquat	25	70	19	40

Cuadro B.4 Parámetros requeridos para determinar las revoluciones y tiempo requeridos en los tanques agitados de paraquat

Parámetro	Valor
Área de la sección transversal del tanque (m ²)	21,2
Capacidad de bombeo efectiva del impulsor (m ³ /s)	1,929
Velocidad del impulsor (rpm)	57
Reynolds (Adim)	3,27x10 ⁵
Numero de razón de mezclado	0,5
Constante de caída (s ⁻¹)	0,386

Cuadro B.5 Parámetros del eje del agitador en los tanques agitados de producto

Parámetro	Valor
Par Transmitido (in-lb)	22 508,9
Longitud del eje (in)	140
Momento máximo de pandeo (in-lb)	16 088
Diámetro mínimo del eje para esfuerzo cortante (in)	2,86
Diámetro mínimo del eje para esfuerzo de tensión (in)	2,81
Diámetro del eje (in)	3
Peso de la turbina de cuatro aspas (lb)	160,5
Peso del manguito y turbina (lb)	200,5
Peso equivalente del sistema (lb)	210,6
Separación entre cojinetes (in)	12
Frecuencia natural (rpm)	140

Cuadro B.6 Volúmenes requeridos en los silos para la formulación de herbicidas

Herbicida formulado	Volumen (m³)
Ácido 2,4-D	32,0
Glifosato	12,6
Ácido 2,4-D y piclorán	18,2

Cuadro B.7 Dimensiones requeridas en los silos de materia prima sólida para la formulación de herbicidas

Dimensión	Ácido 2,4-D (m)	Glifosato (m)	Ácido 2,4-D y piclorán (m)
Diámetro del silo	3	2,10	2,40
Altura de tapa del fondo de 45°	1,50	1,05	1,20
Altura cilíndrica	5	3,46	4
Altura de la tapa superior de 30°	0,79	0,55	0,63
Altura total	7,30	5,10	5,83
Distancia entre el piso y la tapa cónica inferior	1	1	1

Cuadro B.8 Parámetros requeridos en el elevador de cangilones para el transporte de materia prima en fase sólida a los silos

Parámetro	Ácido 2,4-D	Glifosato	Ácido 2,4-D y piclorán
Flujo másico (kg/h)	9 500	5 000	5 000
Flujo volumétrico (m ³ /h)	16	6,3	9,5

Cuadro B.9 Parámetros requeridos en el transportador neumático para el transporte de materia prima en fase sólida a los tanques agitados.

Parámetro	Ácido 2,4-D	Glifosato	Ácido 2,4-D y piclorán
Flujo másico (kg/h)	27 870	14 700	14 700
Flujo volumétrico (m ³ /h)	48	19	28,5

Cuadro B.10 Fracciones de glifosato obtenidas en cada malla para el tamizado

Número de malla	Peso del producto (g)	Fracción retenida	Fracción acumulada	Diámetro medio (mm)
45	2	0,0070	0,0070	0,3540
60	12	0,0428	0,0498	0,3020
80	18	0,0640	0,1139	0,2125
120	150	0,5340	0,6477	0,1505
140	87	0,3100	0,9573	0,1160

Cuadro B.10 (Continuación) Fracciones de glifosato obtenidas en cada malla para el tamizado

Número de malla	Peso del producto (g)	Fracción retenida	Fracción acumulada	Diámetro medio (mm)
170	12	0,0430	1,0000	0,0980
Fondos	0	0,0000	1,0000	---

Cuadro B.11 Fracciones de 2,4-D obtenidas en cada malla para el tamizado

Número de malla	Peso del producto (g)	Fracción retenida	Fracción acumulada	Diámetro medio (mm)
45	2	0,0000	0,0000	0,3540
60	1	0,0040	0,0040	0,3020
80	13	0,0522	0,0562	0,2125
120	80	0,3213	0,3775	0,1505
140	72	0,2892	0,6667	0,1160
170	39	0,1566	0,8233	0,0980
Fondos	44	0,1767	1,0000	---

Cuadro B.12 Fracciones de piclorán obtenidas en cada malla para el tamizado

Número de malla	Peso del producto (g)	Fracción retenida	Fracción acumulada	Diámetro medio (mm)
45	66	0,2185	0,2185	0,3540
60	25	0,0828	0,3013	0,3020
80	42	0,1391	0,4404	0,2125
120	81	0,2682	0,7086	0,1505
140	51	0,1689	0,8775	0,1160
170	23	0,0762	0,9536	0,0980
Fondos	14	0,0464	1,0000	---

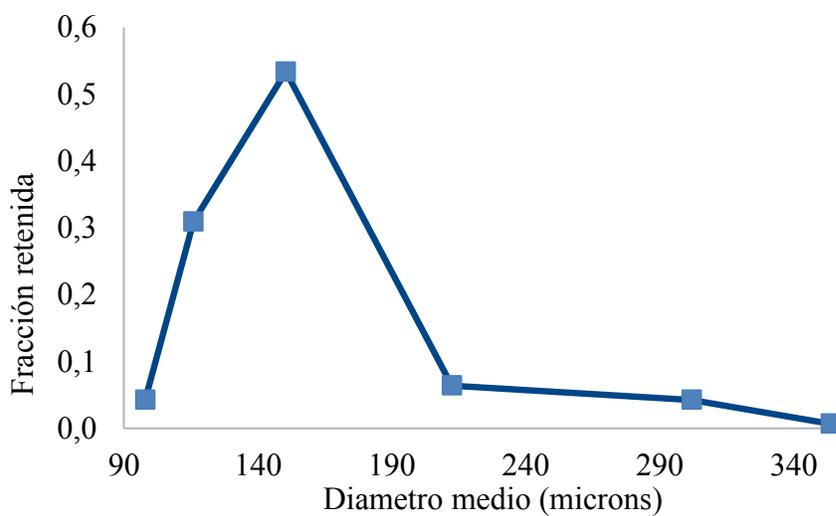


Figura B.1 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del glifosato.

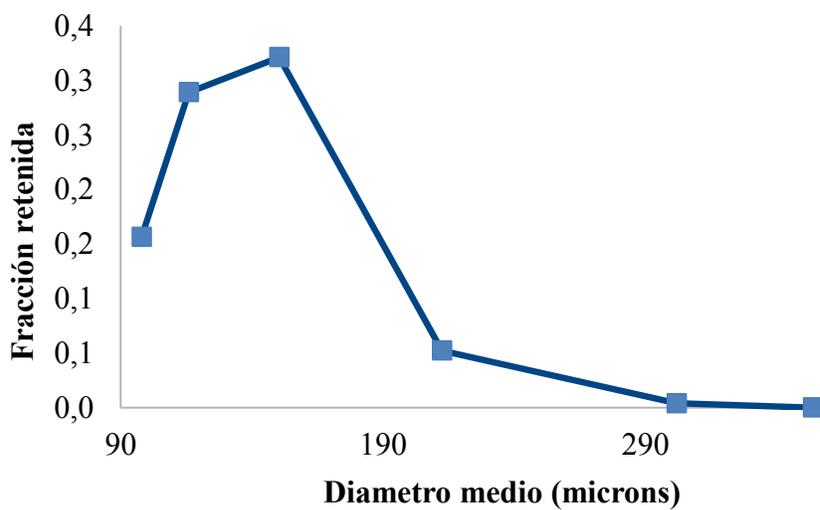


Figura B.2 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del 2,4-D.

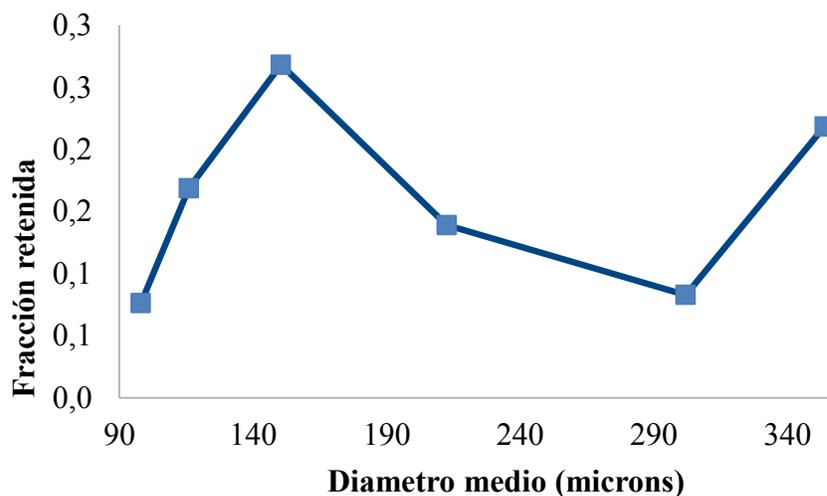


Figura B.3 Distribución de partícula de la prueba de tamizado del piclorán

Cuadro B.13 Parámetros requeridos en los tanques de materia prima líquida para la formulación de herbicidas

Dimensión	DMA	MIPA	Paraquat
Volumen (m ³)	11,2	8	15,05
Diámetro del tanque (m)	2,300	2,000	2,600
Altura de las tapas (m)	0,575	0,500	0,650

Cuadro B.13 (continuación) Parámetros requeridos en los tanques de materia prima líquida para la formulación de herbicidas

Dimensión	DMA	MIPA	Paraquat
Altura cilíndrica (m)	2,530	2,200	2,860
Altura total (m)	3,700	3,200	4,200

Cuadro B.14 Diámetro interno y externo de la tubería utilizada para el serpentín de Ced 40, diámetro nominal 2

Herbicida	Medida (m)
Diámetro interno	0,0525
Diámetro externo	0,0603

Cuadro B.15 Datos del serpentín de 2" ced 40 en los tanques de agitación

Dato	Valor
Número de vueltas	43
Área total del serpentín (m ²)	20,5
Flujo volumétrico requerido de agua de enfriamiento (m ³ /s)	0,0065

Cuadro B.16 Parámetros requeridos para determinar el coeficiente total de transferencia de calor de los serpentines para el enfriamiento de los tanques de formulación

Parámetro	2,4-D	Glifosato	2,4-D y piclorán
Número de Reynolds (adim)	345028,85	222511,86	733437,50
Conductividad térmica (W/m K)	0,4944	0,4944	0,4944
Número de Prandtl (adim)	33,90	98,84	17,15
Relación de viscosidad (adim)	1	1	1
Corrección del diámetro del agitador (adim)	0,5	0,5	0,5
Número de Nusselt (adim)	776,37	1307,12	764,66
Coefficiente de película externo (W/m ² K)	7311,19	12309,33	7200,96
Coefficiente de película interno (W/m ² K)	7949,14	7949,14	7949,14
Coefficiente de película interno a la superficie externa (W/m ² K)	6920,89	6920,89	6920,89
Coefficiente total limpio (W/m ² K)	3555,34	4430,09	3529,07
Factor de ensuciamiento (m ² K/W)	5,28x10 ⁻⁴	5,28x10 ⁻⁴	5,28x10 ⁻⁴
Coefficiente total de diseño (W/m ² K)	1235,7	1326,74	1232,50

Cuadro B.17 Parámetros requeridos para determinar el tiempo de los serpentines para el enfriamiento de los tanques de formulación

Parámetro	2,4-D	Glifosato	2,4-D y piclorán
Flujo másico del agua por la capacidad calorífica (W/K)	27 040,61	27 040,61	27 040,61
Constante de serpentín en tanques por lotes, medio enfriante no isotérmico (Adim)	2,55	2,73	2,54
Masa del herbicida 2,4-D por la capacidad calorífica (J kg/K)	55 066 948	103 559 217	59 214 810
Tiempo de enfriamiento (s)	6 516	11 749	7 018

Cuadro B.18 Parámetros requeridos para determinar la caída de presión de los serpentines

Parámetro	Valor
Área de flujo (m ²)	0,00216
Masa velocidad (kg/m ² s)	2 989
Reynolds (adim)	185 380
Factor de faning (Adim)	0,0067
Longitud equivalente (m)	127
Caída de presión (kPa)	283

Cuadro B.19 Determinación del flujo y velocidad requerida en tuberías (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Volumen a transportar (m³)	Tiempo de carga o descarga (s)	Flujo volumétrico (m³/s)	Velocidad recomendada (m/s)
1	35,16	3 701	0,0095	2
2	35,16	3 701	0,0095	3
3	16,83	3 701	0,0045	3
4	18,33	3 701	0,0050	3
5	15,05	5 400	0,0028	2
6	15,05	5 400	0,0028	3
°7	15,05	2 390	0,0063	2

Cuadro B.19 (continuación) Determinación del flujo y velocidad requerida en tuberías (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Volumen a transportar (m³)	Tiempo de carga o descarga (s)	Flujo volumétrico (m³/s)	Velocidad recomendada (m/s)
8	15,05	2 390	0,0063	3
9	25	2 631	0,0095	2
10	25	2 631	0,0095	3
11	25	6 756	0,0037	2
12	25	6 756	0,0037	2
13	25	12 500	0,0020	2
14	25	14 705	0,0017	2
15	25	12 500	0,0020	2
16	25	12 500	0,0020	3
25	--	--	0,0065	3
26	11,2	5400	0,0021	2
27	11,2	5400	0,0021	3
28	11,2	1778	0,0063	2
29	11,2	1778	0,0063	3
30	2,35	1778	0,0013	3
31	8,85	1778	0,0050	3
32	25	2 631	0,0095	2
33	25	2 631	0,0095	3
34	25	2 631	0,0095	3
35	25	6 756	0,0037	2
36	25	6 756	0,0037	2
37	25	12 500	0,0020	2
38	25	14 705	0,0017	2
39	25	12 500	0,0020	2
40	25	12 500	0,0020	3
41	--	--	0,0065	3
42	--	--	0,0065	3
43	--	--	0,0065	3

Cuadro B.19 (continuación) Determinación del flujo y velocidad requerida en tuberías (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Volumen a transportar (m³)	Tiempo de carga o descarga (s)	Flujo volumétrico (m³/s)	Velocidad recomendada (m/s)
44	--	--	0,0065	3
45	24,34	2562	0,0095	2
46	24,34	2562	0,0095	3
47	9,26	2562	0,0036	3
48	15,08	2562	0,0059	3
49	25	2 631	0,0095	2
50	25	2 631	0,0095	3
51	25	2 631	0,0095	3
52	25	6 756	0,0037	2
53	25	6 756	0,0037	2
54	25	12 500	0,0020	2
55	25	12 500	0,0020	2
56	25	12 500	0,0020	2
57	25	14 705	0,0017	2
58	25	12 500	0,0020	2
59	25	12 500	0,0020	3
60	8	5400	0,0014	2
61	8	5400	0,0014	3
62	8	1270	0,0063	2
63	8	1270	0,0063	3
64	25	2 631	0,0095	2
65	25	2 631	0,0095	3
66	25	2 631	0,0095	3
67	25	6 756	0,0037	2
68	25	6 756	0,0037	2
70	25	14 705	0,0017	2
69	25	12 500	0,0020	2
71	25	12 500	0,0020	2
72	25	12 500	0,0020	3

Cuadro B.20 Diámetro de tuberías Ced. 40 (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Diámetro interno calculado (m)	Diámetro nominal ced 40 (in)
1	0,0777	3
2	0,0635	2 ½
3	0,0439	2
4	0,0458	2
5	0,0421	1 ½
6	0,0344	1 ¼
7	0,0633	2 ½
8	0,0517	2
9	0,0777	3
10	0,0635	2 1/2
11	0,0485	2
12	0,0485	2
13	0,0357	1 ½
14	0,0328	1 ½
15	0,0357	1 ½
16	0,0269	1 ¼
17	0,0910	4
18	0,0910	4
19	0,0910	4
20	0,1114	5
21	0,0910	4
22	0,0525	2
23	0,0743	3
24	0,0743	3
25	0,0525	2
26	0,0363	1 ¼
27	0,0297	1 ¼
28	0,0633	2 ½
29	0,0517	2
30	0,0230	1
31	0,0461	2

Cuadro B.20 (continuación) Diámetro de tuberías Ced. 40 (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Diámetro interno calculado (m)	Diámetro nominal ced 40 (in)
32	0,0777	3
33	0,0635	2 1/2
34	0,0635	2 1/2
35	0,0485	2
36	0,0485	2
37	0,0357	1 ½
38	0,0328	1 ½
39	0,0357	1 ½
40	0,0269	1 ¼
41	0,0525	2
42	0,0525	2
43	0,0525	2
44	0,0525	2
45	0,0777	3
46	0,0635	2 ½
47	0,0391	2 ½
48	0,0499	2
49	0,0777	3
50	0,0635	2 1/2
51	0,0635	2 1/2
52	0,0485	2
53	0,0485	2
54	0,0357	1 ½
55	0,0357	1 ½
56	0,0357	1 ½
57	0,0328	1 ½
58	0,0357	1 ½
59	0,0269	1 ¼

Cuadro B.20 (continuación) Diámetro de tuberías Ced. 40 (numeración con base a la figura del Anexo 17)

Número de corriente	Diámetro interno calculado	Diámetro nominal ced 40
	(m)	(in)
60	0,0307	1 ¼
61	0,0251	1
62	0,0633	2 ½
63	0,0517	2
64	0,0777	3
65	0,0635	2 1/2
66	0,0635	2 1/2
67	0,0485	2
68	0,0485	2
69	0,0357	1 ½
70	0,0328	1 ½
71	0,0357	1 ½
72	0,0269	1 ¼

Cuadro B.21 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de glifosato y 2,4-D

Número de corriente	Reynolds	Factor de fricción (adim)
45	169 437	0,00425
46	204 564	0,00419
47	133 439	0,00460
48	171 285	0,00436

Cuadro B.22 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de glifosato y 2,4-D

Parámetro	Valor
Pérdidas de fricción por contracción (adim.)	1,45
Pérdidas de fricción por expansión (adim.)	0
Pérdidas de fricción por accesorios (adim.)	22,88
Pérdidas por fricción (m^2/s^2)	206,1
Trabajo de bomba (m^2/s^2)	278,2
Potencia de la bomba (kW)	5,5

Cuadro B.23 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán

Numero de corriente	Re	Factor de fricción (adim)
1	169 437	0,00426
2	204 564	0,00420
3	171 285	0,00436
4	171 285	0,00436

Cuadro B.24 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán

Parámetro	Valor
Pérdidas de fricción por contracción (adim.)	0,1301
Pérdidas de fricción por expansión (adim.)	0

Cuadro B.24 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán

Parámetro	Valor
Pérdidas de fricción por contracción (adim.)	0,1301
Pérdidas de fricción por expansión (adim.)	0
Pérdidas de fricción por accesorios (adim.)	31,58
Perdidas por fricción (m^2/s^2)	192,63
Trabajo de bomba (m^2/s^2)	273,57

Cuadro B.24 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua a la formulación de herbicidas a base de paraquat y 2,4-D más piclorán

Parámetro	Valor
Potencia de la bomba (kW)	5,5

Cuadro B.25 Determinación del factor de fricción en la tubería que proporciona agua de enfriamiento por medio de los serpentines

Numero de corriente	Reynolds	Factor de fricción (adim)
17	333762	0,0038
18	333762	0,0038
19	333762	0,0038
20	278842	0,0038
21	333762	0,0038
22	171285	0,0044
23	254155	0,0040
24	254155	0,0040
25	171285	0,0044
41	171285	0,0044
42	171285	0,0044
43	171285	0,0044
44	171285	0,0044

Cuadro B.26 Determinación de la potencia de la bomba que proporciona agua de enfriamiento por medio de los serpentines

Parámetro	Valor
Pérdidas de fricción por contracción (adim.)	0,57
Pérdidas de fricción por expansión (adim.)	1,88
Pérdidas de fricción por accesorios (adim.)	169,74
Pérdidas por fricción (m^2/s^2)	971,6
Trabajo de bomba (m^2/s^2)	1 831
Potencia de la bomba (kW)	75

Apéndice C Muestra de Calculo

C.1 Diseño de los tanques de proceso y almacenamiento de producto

Para la relación de las tapas superior e inferior tipo elipsoidal, se puede aplicar la siguiente relación altura diámetro:

$$h_{tap} = \frac{D_T}{4} \quad (C.1.1)$$

El volumen de las tapas elipsoidales, se determina con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{24} D_T^3 \quad (C.1.2)$$

El volumen del tanque sin considerar la tapa superior se obtiene de la siguiente manera:

$$V = \frac{\pi}{24} D_T^3 + \frac{\pi}{4} D_T^3 \quad (C.1.3)$$

El volumen definido por la empresa para los ocho tanques, tomando el dato del Cuadro A.1 fila 2, columna 2:

$$25 = \frac{\pi}{24} D_T^3 + \frac{\pi}{4} D_T^3$$

Resolviendo mediante solver

$$D_T = 3,01 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.1 fila 2, columna 2.

Resolviendo para h a partir de la ecuación C.1.1, tomando el dato del Cuadro B.1 fila 2, columna 2.

$$h_{tap} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ m}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.1 fila 3, columna 2.

La altura del cilindro del tanque está dada por un 10 % más del diámetro inicial obtenido.

$$H = 1,1 * D_T \quad (\text{C.1.4})$$

Tomando el dato del Cuadro B.1 fila 2, columna 2 y sustituyendo en la ecuación anterior:

$$H = 1,1 * 3 \text{ m} = 3,3 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.1 fila 4, columna 2.

La altura total de los tanques se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_{tot} = H + 2h \quad (\text{C.1.5})$$

Sustituyendo la ecuación con los datos que se muestran en el Cuadro B.1 columna 2, fila 3 y 4.

$$H_{tot} = 3,3 + 2 * 0,75 = 4,8 \text{ m}$$

El dato obtenido se muestra en el Cuadro B.1 fila 5, columna 2.

C.2 Proporciones de los tanques agitados de producto

Diámetro del agitador

Para suspensión de sólidos en un tanque agitado, el diámetro del agitador se recomienda un 50 % del diámetro del tanque. Utilizando la siguiente ecuación:

$$D_a = \frac{1}{2} * D_T \quad (\text{C.2.1})$$

Utilizando el dato del Cuadro B.1 fila 2, columna 2.

$$D_a = \frac{1}{2} * 3 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

El dato se tabula del Cuadro B.2 fila 2, columna 2.

Altura de la hoja de la turbina

$$W = \frac{D_a}{5} \quad (\text{C.2.2})$$

Tomando el dato del Cuadro B.2 fila 2, columna 2.

$$W = \frac{1,5 \text{ m}}{5} = 0,3 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.2 fila 3, columna 2.

Ancho de la hoja de la turbina

$$L = \frac{D_a}{4} \quad (\text{C.2.3})$$

Tomando el dato del Cuadro B.2 fila 2, columna 2.

$$L = \frac{1,5 \text{ m}}{4} = 0,375 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.2 fila 4, columna 2.

Espacio entre el fondo del tanque y el agitador

$$E = D_a \quad (\text{C.2.4})$$

Utilizando el dato del Cuadro B.2 fila 2, columna 2.

$$E = 1,5 \text{ m}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.2 fila 5, columna 2.

Ancho de deflectores

Se utilizaran cuatro deflectores para cada uno de los tanques agitados.

$$J = \frac{D_T}{10} \quad (\text{C.2.5})$$

A partir del dato que se muestra en el Cuadro B.1 fila 2, columna 2.

$$J = \frac{3 m}{10} = 0,3 m$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.2 fila 6, columna 2.

Separación entre la pared y los deflectores

Esta separación se utiliza en la agitación con solidos

$$k = \frac{J}{5} \tag{C.2.6}$$

A partir del dato que se muestra en el Cuadro B.2 fila 6, columna 2.

$$k = \frac{0,3 m}{5} = 0,06 m$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.2 fila 7, columna 2.

Potencia del agitador

La potencia consumida del impulsor por unidad de volumen de líquido mediante escalamiento, se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$\left(\frac{P}{V}\right)_1 = \left(\frac{P}{V}\right)_2 \tag{C.2.7}$$

Se utilizan los datos del Cuadro A.1 columna 2, fila 2 y del Cuadro A.2 columna 2, fila 2 y 4, sustituyendo en la ecuación C.2.7 los valores de la siguiente manera:

$$\left(\frac{10 hp}{10 m^3}\right)_1 = \left(\frac{P}{25 m^3}\right)_2$$

$$P = 25 hp$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.3 fila 2, columna 2, para el caso del herbicida a base de 2,4-D. La potencia es la misma para todos pues la relación volumen potencia se conserva. Los resultados se muestran en el Cuadro B.3 columna 2, fila 3 a 5.

Velocidad del eje requerida para 2,4-D, piclorán, y 2,4-D y glifosato

Si la entrada de potencia por unidad de volumen ha de ser la misma al escalar, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}} \right)^{2/3} \quad (\text{C.2.8})$$

En este caso las revoluciones por minuto varían según el producto formulado, esto solo aplica para 2,4-D, 2,4-D y piclorán, y glifosato; en el caso del Paraquat se trata diferente. Entonces para el caso de 2,4-D, a partir de los datos del Cuadro A.3 columna 2, fila 4 y del Cuadro A.4 columna 2, fila 2.

$$n_2 = 350 \text{ rpm} \left(\frac{0,11 \text{ m}}{1,5 \text{ m}} \right)^{2/3} = 61,3 \text{ rpm} \approx 70 \text{ rpm}$$

Este cálculo se realiza para cada herbicida del Cuadro A.4 (excepto paraquat) y se obtienen los valores del Cuadro B.3 filas 2 a 4, columna 3.

Tiempo de mezclado para 2,4-D, piclorán, y 2,4-D y glifosato

En este caso se toma en cuenta el escalamiento de pruebas para la reducción del tiempo de mezclado para cada tipo de herbicida. Dado que se conserva la relación de potencia por volumen entonces se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{t_{R2}}{t_{R1}} = \left(\frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)^{2/3} \quad (\text{C.2.9})$$

En este caso el tiempo de mezclado varía según el producto formulado, esto solo aplica para 2,4-D, 2,4-D y piclorán, y glifosato; en el caso del paraquat se tratara diferente. Entonces para el caso de 2,4-D, a partir de los datos del Cuadro A.3 columna 2, fila 4 y del Cuadro A.4 columna 3, fila 2.

$$t_{R2} = 60 \text{ s} * \left(\frac{1,5}{0,11} \right)^{2/3} = 342,46 \text{ s} \approx 5,7 \text{ min}$$

Este cálculo se realiza para cada herbicida del Cuadro A.4 (excepto paraquat) y se obtienen los valores del Cuadro B.3 filas 2 a 4, columna 4.

Velocidad del eje requerida para paraquat

El área de la sección transversal del tanque se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$A = \frac{\pi}{4} D_T^2 \quad (\text{C.2.10})$$

Tomando el Dato del Cuadro B.1 fila 2, columna 2.

$$A = \frac{\pi}{4} (3 \text{ m})^2 = 21,2 \text{ m}^2$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.4 columna 2, fila 2.

Se considera 3 (0,091 m/s) en la escala de agitación, característico de las tandas de agitación de la mayoría de las industrias de procesos químicos y dado que se trata de una mezcla de dos líquidos miscibles.

La capacidad de bombeo efectiva del impulsor para generar una velocidad del cuerpo del líquido es de 0,091 m/s en el recipiente, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q = v_b \cdot A \quad (\text{C.2.11})$$

A partir del dato del Cuadro B.4 fila 2, columna 2.

$$Q = 0,091 \text{ m/s} * 21,2 \text{ m}^2 = 1,929 \text{ m}^3/\text{s}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.4 fila 3, columna 2.

A partir de la Figura 2 de los apuntes de agitación de Rivera (2004), considerando que la agitación ocurre bajo condiciones totalmente turbulentas y la relación $\frac{D_a}{D_T} = 0,5$, se encuentra que $N_Q = 0,6$.

Se realiza un primer tanteo para determinar la velocidad del impulsor, utilizando la siguiente ecuación.

$$n = \frac{Q}{N_Q D_a^3} \quad (\text{C.2.12})$$

A partir de los datos del Cuadro B.2 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.4 fila 3, columna 2.

$$n = \frac{1,929 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 * (1,5 \text{ m})^3} = 0,95 \text{ s}^{-1} = \frac{0,95}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 57 \text{ rpm}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.4 fila 4, columna 2.

Sustituyendo la velocidad en el número de Reynolds para determinar si el flujo es turbulento.

$$Re = \frac{n D_a^2 \rho}{\mu} \quad (\text{C.2.13})$$

A partir de los datos del Cuadro A.10 fila 2 y 3, columna 5, Cuadro B.2 fila 2, columna 2, y Cuadro B.4 fila 4, columna 2.

$$Re = \frac{0,95 \text{ 1/s} * (1,5 \text{ m})^2 * 1070 \text{ kg/m}^3}{0,007 \text{ kg/ms}} = 3,27 \times 10^5$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.4 fila 5, columna 2.

En la Figura 2 de los apuntes de agitación se comprueba que con este Reynolds $N_Q = 0,6$.

Tiempo de mezclado para el paraquat

Para determinar el tiempo de reacción se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = 2e^{-kt} \quad (\text{C.2.14})$$

Se considera $A = 0,001$ (Rivera, 2004)

La constante de caída se determina mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{n}{N_M} \left(\frac{D_a}{D_T} \right)^{2,3} \quad (\text{C.2.15})$$

Considerando que la turbina de aspas inclinadas se comporta como turbina normal, a partir de la Figura 2 de los apuntes de agitación de Rivera, el número de razón de mezclado para un $Re = 3,27 \times 10^5$, es $N_M = 0,5$.

Tomando los datos del Cuadro B.1 fila 2, columna 2, Cuadro B.2 fila 2, columna 2, Cuadro B.4 fila 4 y 6, columna 2, sustituyendo en la ecuación C.2.15.

$$k = \frac{0,95 \text{ 1/s}}{0,5} \left(\frac{1,5}{3} \right)^{2,3} = 0,386 \text{ 1/s}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.4 fila 7, columna 2.

Tomando el dato del Cuadro B.4 fila 7, columna 2 y sustituyendo en la ecuación C.2.14

$$0,001 = 2e^{-0,386 \text{ 1/s} \cdot t}$$

$$t = 19 \text{ s}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.3 fila 5, columna 4.

Diseño del eje del agitador

El eje del tanque es voladizo por lo que se puede aplicar los apuntes de procesos de Rivera (2002). En este caso se utilizara el sistema de unidades inglesas.

Par transmitido

El par transmitido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_{Q(máx)} = \sum \left(\frac{63025 \cdot P}{n} \right) \quad (\text{C.2.16})$$

Tomando los datos del Cuadro B.3 columna 2 y 3, fila 2, y que solo cuenta con una turbina, sustituyendo en la ecuación anterior.

$$T_{Q(m\acute{a}x)} = \frac{63025 * 25 \text{ hp}}{70 \text{ rpm}} = 22\,508,9 \text{ in} - \text{lb}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.5 fila 2, columna 2.

Momento máximo de pandeo

El momento máximo de pandeo se puede determinar con la ecuaci3n:

$$M_{m\acute{a}x} = \sum \left(\frac{19000 P \cdot L'}{nD_a} \right) \quad (\text{C.2.17})$$

Para determinar la longitud del eje se puede utilizar la siguiente ecuaci3n:

$$L' = H_{tot} - E + l' \quad (\text{C.2.18})$$

A partir de los datos del Cuadro B.1 fila 5, columna 2, del Cuadro B.2 fila 5, columna 2, y considerando que l' es aproximadamente 0,254 m.

$$L' = 4,8 \text{ m} - 1,5 \text{ m} + 0,254 \text{ m} = 3,554 \text{ m} = 140 \text{ in}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.5 fila 3, columna 2.

Tomando los datos del Cuadro B.1 columna 2, fila 2; del Cuadro B.3 columna 2 y 3, fila 2, y del Cuadro B.5 columna 2, fila 3. Solo cuenta con una turbina, sustituyendo en la ecuaci3n C.2.17.

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{19000 * 25 \text{ hp} * 140 \text{ in}}{70 \text{ rpm} * 59,05 \text{ in}} = 16\,088 \text{ in} - \text{lb}$$

El resultado se tabula en el cuadro B.5 fila 4, columna 2.

Diámetro mínimo del eje para esfuerzo cortante

El diámetro mínimo del eje para esfuerzo cortante se obtiene mediante la ecuaci3n:

$$d_s = \left[\frac{16 \sqrt{(T_{Q(m\acute{a}x)})^2 + (M_{m\acute{a}x})^2}}{\pi \sigma_s} \right]^{1/3} \quad (\text{C.2.19})$$

Sustituyendo a partir del dato tabulado en el Cuadro A.5 columna 2, fila 2 y del Cuadro B.X columna 2, fila 2 y 4.

$$d_s = \left[\frac{16\sqrt{(22\,508,9 \text{ in} - lb)^2 + (16\,088)^2}}{\pi * 6\,000 \text{ psi}} \right]^{1/3} = 2,86 \text{ in}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.5 fila 5, columna 2.

Diámetro mínimo del eje para esfuerzo de tensión

La siguiente ecuación permite determinar el diámetro mínimo del eje para esfuerzo de tensión:

$$d_t = \left\{ \frac{16 \left[M_{\text{máx}} + \sqrt{(T_{Q(\text{máx})})^2 + (M_{\text{máx}})^2} \right]}{\pi \sigma_t} \right\}^{1/3} \quad (\text{C.2.20})$$

Sustituyendo a partir del dato tabulado en el Cuadro A.5 columna 2, fila 3 y del Cuadro B.5 columna 2, fila 2 y 4.

$$d_t = \left\{ \frac{16 \left[16\,088 \text{ in} - lb + \sqrt{(22\,508 \text{ in} - lb)^2 + (16\,088 \text{ in} - lb)^2} \right]}{\pi * 10\,000 \text{ psi}} \right\}^{1/3} = 2,81 \text{ in}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.5 columna 2, fila 6.

Para cumplir con requisitos de corte y tensión se recomienda un diámetro de 3 in. El resultado se muestra en el Cuadro B.5 columna 2, fila 7.

Peso de la turbina de cuatro aspas

$$W_b = \left(0,35 D_a^3 \frac{P}{n} \right)^{1/2} \quad (\text{C.2.21})$$

Tomando el dato del Cuadro B.2 columna 2, fila 2, y del Cuadro B.3 columna 2 y 3, fila 2.

$$W_b = \left(0,35 * (59,05 \text{ in})^3 \frac{25 \text{ hp}}{70 \text{ rpm}}\right)^{1/2} = 160,5 \text{ lb}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.5 columna 2, fila 8.

Peso del manguito y turbina

$$W = W_b + W_{man} \quad (\text{C.2.22})$$

A partir del Anexo 6 fila 5, columna 2 y del Cuadro B.5 columna 2, fila 8.

$$W = 160,5 \text{ lb} + 40 \text{ lb} = 200,5 \text{ lb}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.5 fila 9, columna 2.

Peso equivalente del sistema

$$W_{e'} = W + W_1 \left(\frac{L'_1}{L'}\right)^3 + \dots + W_n \left(\frac{L'_n}{L'}\right)^3 + \frac{\varpi L'}{4} \quad (\text{C.2.23})$$

Tomando los datos de Cuadro A.5 fila 4, columna 2, y del Cuadro B.5 fila 3 y 8, columna 2.

$$W_{e'} = 200,5 \text{ lb} + \frac{0,2865 \text{ lb/in} * 140 \text{ in}}{4} = 210,6 \text{ lb}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.5 columna 2, fila 9.

Frecuencia natural del sistema

$$N_c = \frac{0,388 \times 10^6 * (d^2 Fm)}{L' \sqrt{W_{e'}} \cdot \sqrt{L' + S b'}} \quad (\text{C.2.24})$$

En este caso $Fm = 1$, pues se trata se utiliza acero inoxidable. Tomando los datos del Cuadro B.5 columna 2, fila 3, 7, 9 y 10.

$$N_c = \frac{0,388 \times 10^6 * (3 \text{ in})^2}{140 \text{ in} * \sqrt{210,6 \text{ lb}} \cdot \sqrt{140 + 12 \text{ in}}} = 140 \text{ rpm}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.5 columna 2, fila 11.

La velocidad de agitación representa un 50 % de la frecuencia natural, que no excede el 65 %, por tanto, el diámetro del eje es válido mientras se use una tubería de 3 in ced.40 de acero inoxidable.

C.3 Diseño de silos para el almacenamiento de sólidos de materia prima

Dado que el 2,4-D, glifosato y piclorán son sólidos, requiere implementar silos para el almacenamiento. Se realiza el cálculo para el caso del 2,4-D.

La masa para almacenar es la máxima requerida para la formulación del herbicida en un lote. El volumen requerido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (\text{C.3.1})$$

Tomando el dato del cuadro A.6 fila 2, columna 2 y del cuadro A.7 fila 2, columna 2 y aplicando un factor de un 20 % de seguridad sustituyendo en la ecuación C.3.1

$$V_{2,4-D} = \frac{15\,000 \text{ kg}}{609 \text{ kg/m}^3} * 1,2 = 29,5 \text{ m}^3 \approx 30 \text{ m}^3$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.6 fila 2, columna 2. Este cálculo se realiza para cada herbicida del Cuadro A.6 y se obtienen los valores del Cuadro B.6 filas 3 a 4, columna 2.

El ángulo de inclinación recomendado para silos de polvo es de 45°.

El volumen del silo está dado por la siguiente ecuación:

$$V = V_{cil} + V_{tci} \quad (\text{C.3.2})$$

El volumen del cilindro está determinado por la relación diámetro altura que este caso es:

$$V_{cil} = \frac{\pi}{4} \cdot D_T^2 \cdot h_{cil} \quad (C.3.3)$$

Estableciendo que la altura con respecto al diámetro como se muestra en la siguiente ecuación:

$$h_{cil} = \frac{3}{2} \cdot D_T \quad (C.3.4)$$

Por lo tanto sustituyendo la ecuación C.3.4 en la ecuación C.3.3, se obtiene que el volumen de la parte cilíndrica del silo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_{cil} = \frac{3\pi}{8} \cdot D_T^3 \quad (C.3.5)$$

El volumen del cono se da con la siguiente ecuación:

$$V_{tci} = \frac{\pi}{12} \cdot D_T^2 \cdot h_{tci} \quad (C.3.6)$$

Al tratarse de un triángulo rectángulo de 45° la altura del cono es igual al radio.

$$h_{tci} = \frac{D_t}{2} \quad (C.3.7)$$

Por lo tanto, sustituyendo la ecuación C.3.7 en la ecuación C.3.6.:

$$V_{tci} = \frac{\pi}{12} \cdot D_T^3 \quad (C.3.8)$$

Remplazando las ecuaciones C.3.5 y C.3.8 en la ecuación C.3.2 el volumen total es:

$$V = \frac{3\pi}{8} D_T^3 + \frac{\pi}{12} D_T^3 \quad (C.3.9)$$

Resolviendo la ecuación C.3.9, a partir del dato del Cuadro B.6 columna 2, fila 2.

$$\frac{3\pi}{8} D_T^3 + \frac{\pi}{12} D_T^3 = 30 \text{ m}^3$$

Resolviendo la ecuación se obtiene que el diámetro de la tolva es:

$$D_T = 2,81 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.7 columna 2, fila 2.

Por lo tanto, la altura del cono, sustituyendo el dato del Cuadro B.7 fila 2, columna 2, en la ecuación C.3.7:

$$h_{tci} = \frac{3 \text{ m}}{2} = 1,5 \text{ m}$$

El resultado se ubica en el Cuadro B.6 fila 3, columna 2.

La altura del cilindro se calcula a partir de la ecuación C.3.4, tomando los datos del Cuadro B.7 fila 2, columna 2:

$$h_{cil} = \frac{3}{2} * 3 \text{ m} = 4,5 \text{ m}$$

A esta altura del cilindro se agrega un factor de seguridad de un 10 %:

$$H = 4,5 \text{ m} * 1,1 = 4,95 \approx 5 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.7 fila 4, columna 2.

La tapa superior del silo tiene un ángulo de 30°, por lo tanto, la altura de la tapa se puede calcular mediante la tangente, donde “a” se calcula por las dimensiones del elevador de cangilones:

$$h_{tcs} = \frac{(D_t - a)}{2} \tan\theta \quad (\text{C.3.10})$$

A partir del Cuadro B.7 fila 2, columna 2 y a es 0,266 m con base a una cotización de un proveedor de elevadores de cangilones:

$$h_{tcs} = \frac{(3 \text{ m} - 0,266 \text{ m})}{2} \tan 30 = 0,79 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.7 fila 5, columna 2.

Por lo tanto la altura total del silo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_{tot} = H + h_{tci} + h_{tcs} \quad (\text{C.3.11})$$

Los datos se toman del Cuadro B.10 fila 3,4 y 5, columna 2.

$$H_{tot} = 5 m + 1,5 m + 0,79 m = 7,3 m$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.7 fila 56 columna 2.

La distancia entre el piso y la tapa cónica inferior es 1 m.

Estos cálculos se realizan para los demás sólidos de Cuadro B.6 y se obtiene el Cuadro B.7.

C.4 Elevadores de cangilones

Para el caso de la descarga del 2,4-D en el silo se utiliza un elevador de cangilones. El flujo requerido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad (\text{C.4.1})$$

El tiempo sugerido máximo es de 2,2 h. Se utiliza un factor de seguridad de 20 % para evitar complicaciones. El dato se toma del Cuadro A.6 fila 2, columna 2.

$$\dot{m} = \frac{15\,000\text{ kg}}{2,2\text{ h}} * 1,2 = 9\,500\text{ kg/h}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.8 fila 2, columna 2.

El flujo volumétrico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{C.4.2})$$

Tomando los datos del Cuadro A.7 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.8 fila 2, columna 2:

$$\dot{V} = \frac{9\,500\text{ kg/h}}{604\text{ kg/m}^3} = 15,7\text{ m}^3/\text{h} \approx 16\text{ m}^3/\text{h}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.8 fila 3, columna 2.

Los cálculos se realizan para los demás sólidos del Cuadro A.6 y se obtienen los datos del Cuadro B.8.

C.5 Transportador Neumático

Para el caso de la descarga del 2,4-D desde el silo hasta el tanque de formulación se utiliza un transportador neumático. El flujo requerido mediante la ecuación C.4.1, el dato se toma del Cuadro A.6 fila 2, columna 2, el tiempo sugerido máximo es de 0,75 h (45 min). Se utiliza un factor de seguridad de 10 % para evitar complicaciones:

$$\dot{m} = \frac{15\,000\text{ kg}}{0,75\text{ h}} * 1,1 = 27\,000\text{ kg/h}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.9 fila 2, columna 2.

El flujo volumétrico se calcula mediante la ecuación C.4.2. Tomando los datos del Cuadro A.7 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.9 fila 2, columna 2:

$$\dot{V} = \frac{27\,000\text{ kg/h}}{604\text{ kg/m}^3} = 47,7\text{ m}^3/\text{h} \approx 48\text{ m}^3/\text{h}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.9 fila 3, columna 2.

Además se hace un análisis de tamizado para determinar la distribución de la partícula. Para el cálculo de la cantidad de sólido residual se emplea la siguiente ecuación:

$$m_S = m_{S_{yN}} - m_N \quad (\text{C.5.1})$$

Utilizando los datos del Cuadro A.15, columnas 3 y 4, fila 2, se obtiene el dato del cuadro B.10, columna 2, fila 2.

$$m_S = 393\text{ g} - 391\text{ g} = 2\text{ g}$$

De igual forma se calculan los datos de los cuadros B.10 (el resto), B.11 y B.12, columna 2; empleando los datos del cuadro A.15, A.16 y A.17, columnas 3, 4.

Para el cálculo de las fracciones retenidas de producto se emplea la siguiente fórmula,

$$w = \frac{m_S}{\sum_{P=1}^P m_S} \quad (\text{C.5.2})$$

Se emplean los datos del Cuadro B.10, columna 2, se obtiene el dato del Cuadro B.10, columna 2, fila 2.

$$w = \frac{2 \text{ g}}{2 \text{ g} + 12 \text{ g} + 18 \text{ g} + 150 \text{ g} + 87 \text{ g} + 12 \text{ g} + 0 \text{ g}} = 0,007$$

De igual forma se calculan los datos para los Cuadros B.10 (el resto), B.11 y B.12, columna 2; a partir de los datos de los Cuadros B.10, B.11 y B.12, columna 2.

Para el cálculo de estas fracciones de producto acumuladas se emplea la siguiente fórmula,

$$w = \sum w \quad (\text{C.5.3})$$

Se utiliza los datos del Cuadro B.10, columna 2, filas 2 y 3 para obtener el dato del Cuadro B.10, columna 3, fila 3.

$$w = 0,007 \text{ g} + 0,0428 \text{ g} = 0,0478 \text{ g}$$

De forma análoga se calculan los datos de los cuadros B.10 (el resto), B.11 y B.12, columna 3; empleando los datos del Cuadro B.10, B.11, B.12, columna 2.

Para el cálculo del diámetro medio se emplea la siguiente fórmula,

$$d_m = \frac{a_N + a_{N+1}}{2} \quad (\text{C.5.4})$$

Se utiliza los datos del Cuadro B.10, columna 2, filas 2 y 3 para obtener el dato del Cuadro B.10, columna 5, fila 3.

$$d_m = \frac{0,354 \text{ mm} + 0,250 \text{ mm}}{2} = 0,302 \text{ mm}$$

De forma análoga se calculan los datos de los cuadros B.10 (el resto), B.11 y B.12, columna 5; empleando los datos del Cuadro B.10, B.11, B.12, columna 2.

Finalmente se grafica el diámetro medio Cuadro B.10 columna 5, versus fracción retenida Cuadro B.10 columna 2, como se muestra en la Figura B.1. De forma análoga se grafican las Figuras B.2 y B.3 tomando los datos de los cuadros B.11 y B.12, columna 5 y del Cuadro B.11 y B.12, columna 2.

C.6 Diseño de los tanques de almacenamiento para las materias primas líquidas

Dado que la DMA, MIPA y paraquat son sustancias líquidas, se requiere implementar tanques para el almacenamiento. La masa para almacenar es la máxima requerida para la formulación del herbicida en un lote. Los tipos de tanques sigue el mismo tipo de cálculo que para *C.1 Diseño de los tanques de proceso y almacenamiento de producto*.

Para el caso de la DMA se utiliza un solo tanque para la formulación de los herbicidas 2,4-D y 2,4-D más piclorán. Mediante la ecuación C.3.1, tomando los datos del Cuadro A.8 fila 2 y 3, columna 2, y del Cuadro A.9 fila 3, columna 2, el volumen requerido es:

$$V_{DMA} = \frac{6\,000\text{ kg} + 1600\text{ kg}}{680\text{ kg}/\text{m}^3} = 11,17\text{ m}^3 \approx 11,2\text{ m}^3$$

El resultado se ubica en el Cuadro B.13 fila 2, columna 2.

El diámetro requerido para el tanque se calcula con la ecuación C.1.3 y tomando el dato del Cuadro B.13 fila 2, columna 2.

$$11,2 = \frac{\pi}{24} D_T^3 + \frac{\pi}{4} D_T^3$$

Resolviendo mediante solver

$$D_T = 2,300\text{ m}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.13 fila 3, columna 2.

Para determinar la altura de las tapas ya que igualmente estas son tapas elipsoidales se utiliza la ecuación C.1.1, tomando los datos del Cuadro B.13 fila 3, columna 2 y sustituyendo:

$$h = \frac{2,300 \text{ m}}{4} = 0,575 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.13 fila 4, columna 2.

La altura del cilindro del tanque está dada por la ecuación C.1.1, tomando los datos del Cuadro B.X fila 4, columna 2.

$$H = 1,1 * D_T$$

$$H = 1,1 * 2,300 \text{ m} = 2,530 \text{ m}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.13 fila 5, columna 2.

La altura total del tanque está dada por la ecuación C.1.4, tomando los datos del Cuadro B.13 fila 5, columna 2.

$$H_{tot} = 2,530 \text{ m} + 2 * 0,575 \text{ m} = 3,680 \text{ m}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.13 fila 6, columna 2.

Los mismos cálculos se realizan con el resto de los datos del Cuadro A.8 columna 2, y del Cuadro A.9 columna 2 y los resultados se muestran en el Cuadro B.13.

C. 7 Diseño de Serpentes de tubos verticales

Los serpentines se requieren en los tanques agitados que se calienta debido a las reacciones, es decir para los herbicidas a base de 2,4-D, 2,4-D y piclorán, y glifosato. Los cálculos se realizan para el caso del herbicida a base de 2,4-D.

En todos los casos se hacen las siguientes suposiciones:

- La temperatura alcanzada es 60 °C.

- La temperatura deseada es de 30 °C.
- La temperatura de agua de enfriamiento (diferencial de temperatura) es 10 °C.

Tomando que el serpentín es de 2" y se establecen distancias con respecto al tanque como se muestra en la Figura 4.3.1.

La cantidad de "vueltas" que el serpentín da dentro del tanque se muestra en la siguiente ecuación:

$$N_{vueltas} = \frac{\pi \cdot D_{st}}{l_{avs}} \quad (C.7.1)$$

Tomando los datos de la Figura 4.3.1 y sustituyendo se obtiene:

$$N_{vueltas} = \frac{\pi * 2,1 \text{ m}}{0,152 \text{ m}} = 43,4 \approx 43 \text{ vueltas}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.15 fila 2, columna 2.

El área total del serpentín se determina mediante la siguiente ecuación:

$$A = N_{vueltas} \cdot \pi \cdot d_i \cdot (l_{ls} + l_{rs}) \quad (C.7.2)$$

Tomando los datos de la Figura 4.3.1, del Cuadro B.14 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.15 fila 2, columna 2.

$$A = 43 * \pi * 0,0525 * (2,8 + 0,09) = 20,5 \text{ m}^2$$

El dato se muestra en el Cuadro B.15 fila 3 columna 2.

La velocidad óptima dentro de los serpentines para el agua es de 3 m/s y se considera el diámetro del serpentín tuberías de Ced 40, diámetro nominal 2, es decir, con un diámetro interno de tubería de 0,0525 m.

El requerimiento del flujo volumétrico agua de enfriamiento se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot v \quad (C.7.3)$$

Sustituyendo los datos mediante las afirmaciones previamente dichas y tomando el dato de Cuadro B.14 fila 2, columna 2:

$$\dot{V} = \frac{\pi}{4} * (0,0525 \text{ m})^2 * 3 \text{ m/s} = 0,0065 \text{ m}^3/\text{s}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.15 columna 2, fila 2.

El coeficiente de película externo se calcula mediante el número de Nusselt:

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{d_i} \quad (C.7.4)$$

Para calcular el número de Nusselt para serpentines de tubos verticales y turbina de 4 aspas inclinadas, se usa la siguiente ecuación: (Miranda, 2011)

$$Nu = 0,00499 \cdot Re^{2/3} \cdot Pr^{0,76} \cdot \phi^{0,14} \cdot S^{-1,12} \quad (C.7.5)$$

El número de Reynolds se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{n \cdot D_a \cdot \rho}{\mu} \quad (C.7.6)$$

A partir de los datos del Cuadro A.10 fila 2, columna 2 y 3, del Cuadro B.2 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.3 fila 2, columna 3.

$$Re = \frac{\frac{70 \text{ rpm}}{60 \text{ s/min}} * (1,5 \text{ m})^2 * 1196,1 \text{ kg/m}^3}{0,0091 \text{ kg/ms}} = 345028$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 3, columna 2.

El número de Prandtl se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{k} \quad (C.7.7)$$

Se supondrá que la conductividad térmica del 2,4-D es el 80 % de la del agua.

$$k = 0,618 \text{ W/mK} * 0,8 = 0,494 \text{ W/mK}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 3, columna 2.

Tomando los datos del Cuadro A.10 fila 2, columna 3 y 4 y del Cuadro B.16 fila 3, columna 2.

$$Pr = \frac{1841,55 \text{ J/kgK} * 0,0091 \text{ kg/ms}}{0,494 \text{ W/mK}} = 33,9$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 4, columna 2.

La relación de la viscosidad del fluido y la viscosidad a la pared del tubo se determina:

$$\phi = \frac{\mu}{\mu_w} \quad (C.7.8)$$

Para la relación de viscosidad, no se conoce la viscosidad a la pared del tubo, se asume que será igual a la viscosidad de la temperatura calórica, por lo que la relación es igual a 1.

$$\phi = 1$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 5, columna 2.

La corrección del diámetro del agitador con respecto al diámetro del tanque se calcula:

$$S = \frac{D_a}{D_T} = \frac{1,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,5 \quad (C.7.9)$$

Tomando los datos del Cuadro B.1 fila 2, columna 2 y del Cuadro B.2 fila 2, columna 2.

$$S = \frac{1,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0,5$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 6, columna 2.

Sustituyendo en la ecuación de Nusselt C.7.5, los datos del Cuadro B.16 columna 2, fila 3, 4, 5 y 6.

$$Nu = 0,00499 * (345\ 028)^{2/3} * (33,9)^{0,76} * (1)^{0,14} * (0,5)^{-1,12} = 776,3$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 7, columna 2.

El coeficiente de película externo ecuación C.7.4, sustituyendo los datos del Cuadro B.14 fila 2, columna 2, y del Cuadro B.16 fila 3 y 7, columna 2:

$$h_o = \frac{776,3 * 0,494 \text{ W/mK}}{0,0525 \text{ m}} = 7311,19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 8, columna 2.

El coeficiente de película de transferencia de calor interno se obtiene de la Figura 25, pág. 940 del Kern.

$$h_i = 2000 \text{ } \frac{BTU}{hft^2\text{ }^\circ F}$$

Aplicando el factor de corrección para el diámetro interno de la misma figura, se obtiene:

$$\varphi = 0,7$$

Aplicando el factor de corrección y pasando el coeficiente a unidades SI

$$h_i = \frac{2000 \text{ } BTU}{hft^2\text{ }^\circ F} * 0,7 * \frac{1 \text{ } h}{3600 \text{ } s} * \frac{1055 \text{ } J}{1 \text{ } BTU} * \frac{1,8 \text{ } ^\circ F}{1 \text{ } C} * \frac{1 \text{ } ft^2}{(0,3048 \text{ } m)^2} = 7494,14 \text{ } W/m^2K$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 9, columna 2.

Refiriendo el coeficiente de película de transferencia de calor interno a la superficie externa.

$$h_{io} = h_i \frac{d_i}{d_o} \tag{C.7.10}$$

Tomando los datos del Cuadro B.13 fila 2 y 3, columna 2 y del Cuadro B.16 fila 9, columna 2.

$$h_{io} = 7494,14 \text{ } W/m^2K * \frac{0,0525 \text{ } m}{0,0603 \text{ } m} = 6920,77 \text{ } W/m^2K$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 10, columna 2.

El coeficiente total limpio se determina con la siguiente ecuación:

$$U_L = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \tag{C.7.11}$$

Tomando los datos del Cuadro B.16 fila 9 y 10, columna 2.

$$U_L = \frac{6920,77 \text{ } W/m^2K * 7494,14 \text{ } W/m^2K}{6920,77 \text{ } W/m^2K + 7494,14 \text{ } W/m^2K} = 3555,34 \text{ } W/m^2K$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 11, columna 2.

El factor de ensuciamiento se obtiene del Perry (2008), pág. 10-39, Cuadro 10-10:

$$r_d = \frac{0,003 \text{ hft}^2\text{°F}}{\text{BTU}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ BTU}}{1055 \text{ J}} * \frac{(0,348 \text{ m})^2}{1 \text{ ft}^2} * \frac{1 \text{ C}}{1,8 \text{ °F}} = 5,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.16 fila 12, columna 2.

El coeficiente total de diseño de transferencia de calor es:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_L} + r_d \quad (\text{C.7.12})$$

Tomando los datos del Cuadro B.16 fila 11 y 12, columna 2.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{3555,34 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}} + 5,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{K}/\text{W} = 0,00081 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$U_D = \frac{1}{0,00081 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}} = 1235,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

El resultado se tabula en el Cuadro B.16 fila 13, columna 2.

El flujo másico del agua por la capacidad calorífica se determina de la siguiente manera:

$$wc = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \quad (\text{C.7.13})$$

Tomando los datos del Cuadro A.11 fila 2 y 4, columna 2, y del Cuadro B.15 fila 2, columna 2.

$$wc = 0,0065 \text{ m}^3/\text{s} * 996,3 \text{ kg}/\text{m}^3 * 4179,05 \text{ J}/\text{kgK} = 27\ 040 \text{ W}/\text{K}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.17 fila 2, columna 2.

Utilizando la ecuación serpentín en tanques por lotes, medio enfriante no isotérmico del Kern (1999) ecuación 18.10, se determina la constante:

$$K_2 = e^{UA/wc} \quad (\text{C.7.14})$$

Tomando los datos del Cuadro B.15 fila 3, columna 2, Cuadro B.16 fila 13, columna 2, Cuadro B.17 fila 2, columna 2:

$$K_2 = e^{1235,7 \text{ Wm}^2/\text{K} * 20,5 \text{ m}^2 / 27\ 040 \text{ WK}} = 2,55$$

El dato se muestra en el Cuadro B.17 fila 3, columna 2.

La masa del herbicida 2,4-D por la capacidad calorífica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$MC = V \cdot \rho \cdot C \quad \text{C.7.15}$$

Tomando los datos del Cuadro A.1 fila 2, columna 2 y Cuadro A.10 fila 2, columna 2 y 4.

$$MC = 25 \text{ m}^3 * 1196,1 \text{ kg/m}^3 * 1841,55 \text{ J/Kkg} = 55\ 066\ 948 \text{ J/K}$$

Los datos se muestran en el Cuadro B.17 fila 4, columna 2.

El tiempo se determina mediante la siguiente ecuación 18.11 del Kern:

$$\ln \frac{T_{ini} - t_{ini}}{T_{final} - t_{final}} = \frac{wc}{MC} \left(\frac{K_2 - 1}{K_2} \right) \theta \quad \text{C.7.14}$$

Sustituyendo los datos del Cuadro A.12 fila 2, columna 2 y 3, Cuadro A.13 fila 2, columna 2, y el Cuadro B.17 fila 2-4, columna 2, en la ecuación:

$$\ln \frac{60 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{30 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{27\ 040 \text{ W/K}}{55\ 066\ 948 \text{ J/K}} \left(\frac{2,55 - 1}{2,55} \right) \theta$$

Resolviendo la ecuación mediante solver se obtiene que:

$$\theta = 6516 \text{ s}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.17 fila 5, columna 2.

Caída de presión

La caída de presión para los tres serpentines es la misma dado que el diámetro, longitud y el flujo de agua son iguales.

El área de flujo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad \text{(C.7.15)}$$

Tomando los datos del Cuadro B.14 fila 2, columna 2.

$$A = \frac{\pi}{4} (0,0525 \text{ m})^2 = 0,00216 \text{ m}^2$$

El dato se muestra en el siguiente Cuadro B.18 fila 2, columna 2.

La masa velocidad se determina con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\rho \cdot \dot{V}}{A} \quad (C.7.16)$$

Tomando los datos del cuadro A.11 fila 2, columna 2, del Cuadro B.15 fila 4, columna 2 y del Cuadro B.18 fila 2, columna 2.

$$G = \frac{996,3 \text{ kg/m}^3 * 0,0065 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00216 \text{ m}^2} = 2989 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.18 fila 3, columna 2.

El número de Reynolds se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{d_i \cdot G}{\mu} \quad (C.7.17)$$

Tomando los datos del Cuadro A.11 fila 3, columna 2, Cuadro B.14 fila 2, columna 2, Cuadro B.18 fila 3, columna 2.

$$Re = \frac{0,0525 \text{ m} * 2989 \text{ kg/m}^2\text{s}}{8,47 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}} = 185\,380$$

El dato se muestra en el Cuadro B.18 fila 4, columna 2.

Para el acero inoxidable la porosidad es $\varepsilon = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$ (Chacón, 2007). Mediante la ecuación de Swamee.Jain:

$$f = 0,33125 \left\{ \ln \left(0,27 \frac{\varepsilon}{D} + 5,74 Re^{-0,9} \right) \right\}^{-2} \quad (C.7.18)$$

Tomando los datos de Cuadro B.18 fila 4, columna 2 y el Cuadro B.14 fila 2, columna 2.

$$f = 0,33125 \left\{ \ln \left(0,27 \frac{1 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,0525 \text{ m}} + 5,74 (185\,380)^{-0,9} \right) \right\}^{-2} = 0,0067$$

El dato se muestra en el Cuadro B.18 fila 5, columna 2.

La longitud total de los serpentines se determina con la siguiente ecuación:

$$L = N_{vueltas} \cdot (l_{ls} + l_{rs}) \quad (C.7.19)$$

Tomando los datos del Cuadro B.15 fila 2, columna 2 y de la Figura 4.3.1.

$$L = 43 \cdot (2,8 \text{ m} + 0,09 \text{ m}) = 124,27 \text{ m}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.18 fila 5, columna 2.

La caída de presión en los serpentines de enfriamiento se determina mediante la siguiente ecuación, la corrección de la viscosidad se considera 1:

$$\Delta P = 4 \left(\frac{f}{\Psi} \right) \frac{G^2 \cdot L}{2d_i} \times 10^{-6} \quad (\text{C.7.20})$$

Tomando los datos del Cuadro B.14 fila 2, columna 2, del Cuadro B.18 fila 3 y 6, columna 2.

$$\Delta P = 4 \left(\frac{0,0067}{1} \right) \frac{(2989 \text{ kg/m}^2\text{s})^2 * 124,27\text{m}}{2 * 0,0525 \text{ m}} \times 10^{-6} = 283 \text{ kPa}$$

El dato de presión se muestra en el Cuadro B.18 fila 6, columna 2. La caída de presión es aceptable.

C.8 Diámetro de tubería para corrientes líquidas

Para ejemplificar los cálculos se considera las tuberías que hay entre la bomba del tanque de agitación y el tanque de almacenamiento del herbicida a base de paraquat como se puede observar en la Figura C.8.1.

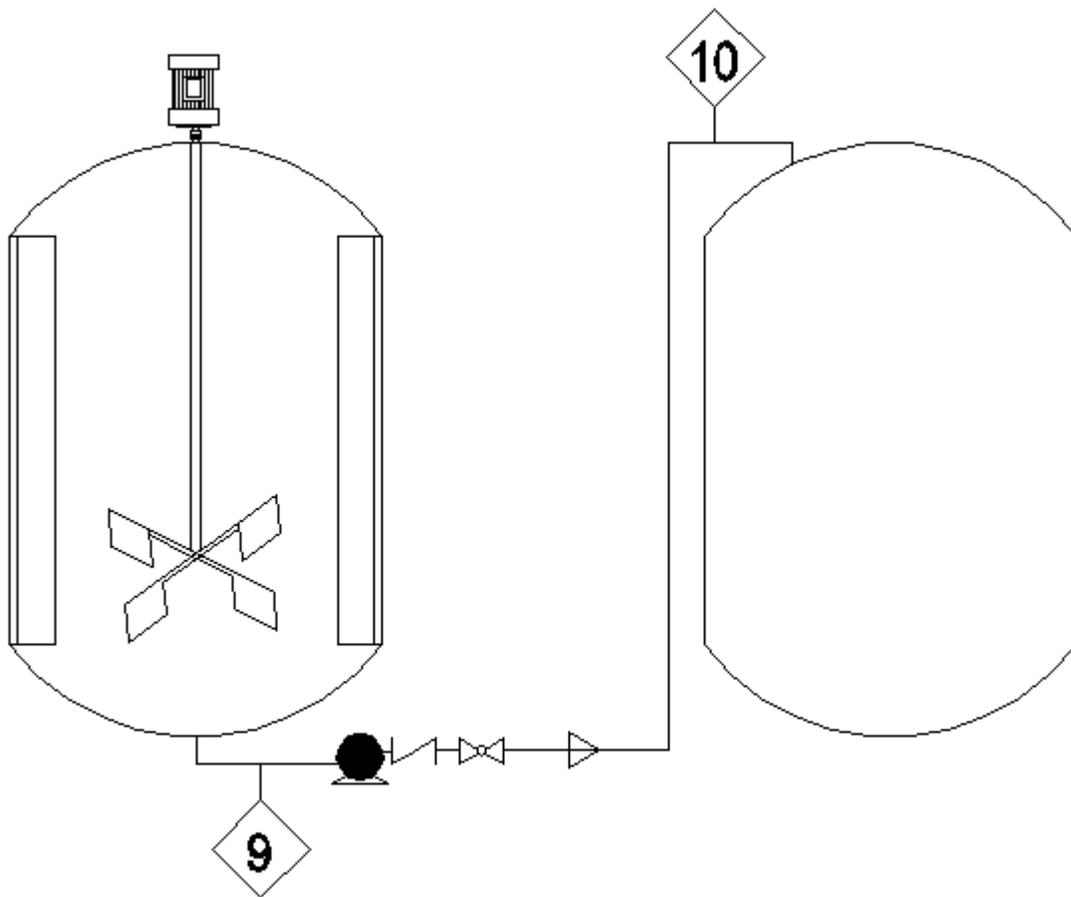


Figura C.8.1 Flujo de tuberías entre la bomba del tanque de agitación y el tanque de almacenamiento del herbicida a base de paraquat

Para la tubería #9 antes de la bomba se recomienda una velocidad de 2 m/s:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (\text{C.8.1})$$

Tomando los datos del Cuadro B.19 fila 2, columna 2 y 3. Sustituyendo en la ecuación:

$$\dot{V} = \frac{25 \text{ m}^3}{2631 \text{ s}} = 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.19 fila 2, columna 4.

El diámetro de la tubería se determina mediante la ecuación:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v}} \quad (\text{C.8.2})$$

Tomando los datos del Cuadro B.19 fila 2, columna 4 y 5.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 2 \text{ m/s}}} = 0,076 \text{ m}$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.20 fila 2, columna 2.

A partir de las tablas de Chacón (2007) para una tubería de Ced 40 (Anexo 8), se puede utilizar un diámetro nominal de 3 in, lo que implica un $d_i = 0,077 \text{ m}$. El dato se muestra en el Cuadro B.20 fila 2, columna 3.

De igual forma después de la bomba se recomienda una velocidad de 3 m/s. El diámetro de la tubería #10 se determina mediante la ecuación C.8.2, tomando los datos del Cuadro B.19 fila 2, columna 4 y 5.

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0092 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 3 \text{ m/s}}} = 0,062 \text{ m}$$

El dato se muestra en el Cuadro B.20 fila 2, columna 2.

A partir de las tablas de Gerardo Chacón (Anexo 8) para una tubería de Ced 40, se puede utilizar un diámetro nominal de 2 ½, lo que implica un $d_i = 0,062 \text{ m}$. El resultado se adjunta en el Cuadro B.20 fila 2, columna 3.

C.9 Potencia de las bombas

Tomando como ejemplo el Anexo 25, donde se calculara la potencia de la bomba (P-140) requerida para proporcionar agua a la formulación de herbicidas a base de glifosato y 2,4-D.

La ecuación de Bernoulli es la base para determinar la potencia de la bomba como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{P_A}{\rho} + gZ_A + \frac{\alpha_A \cdot v_A^2}{2} + H_p = \frac{P_B}{\rho} + gZ_B + \frac{\alpha_B \cdot v_B^2}{2} + h_f \quad (\text{C.9.1})$$

Despejando la ecuación para determinar el trabajo de la bomba, considerando el factor de cinética $\alpha = 1$:

$$H_p = \frac{P_B - P_A}{\rho} + g(Z_B - Z_A) + \frac{(v_B^2 - v_A^2)}{2} + h_f \quad (\text{C.9.2})$$

Entonces considerando que la velocidad en A es despreciable debido al gran diámetro del tanque en comparación con la tubería. Además las presiones tanto como para A y B son la presión atmosférica, dado que los tanques tienen boquillas de ventilación. La ecuación se simplifica de la siguiente forma.

$$H_p = g(Z_B - Z_A) + \frac{v_B^2}{2} + h_f \quad (\text{C.9.3})$$

Las pérdidas de fricción se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = \left(4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f \right) \frac{\bar{v}^2}{2} \quad (\text{C.9.4})$$

El factor de fricción se calcula con la siguiente ecuación:

$$f = 0,33125 \left\{ \ln \left[0,27 \frac{e}{D} + 5,75 \left(\frac{1}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} \quad (\text{C.9.5})$$

Para determinar Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{d_i v \rho}{\mu} \quad (\text{C.9.6})$$

Para el tramo de tubería #45, tomando los datos del Cuadro A.10 fila 2 y 3, columna 4, del Cuadro B.19 fila 48, columna 5 y del Cuadro B.20 fila 48, columna 2 y 3, y tomando el dato del Anexo 7 fila 9, columna 4.

$$Re = \frac{0,0779 \text{ m} * 2 \text{ m/s} * 995,09 \text{ kg/m}^3}{0,000915 \text{ kg/ms}} = 163 \ 376$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.21 fila 2, columna 2.

El factor de fricción para el tramo #45 de tubería se calcula, tomando el dato del Cuadro A.5 fila 5, columna 2, del Cuadro del B.20 fila 48, columna 3 y del Cuadro B.21 fila 2, columna 2, y del Anexo 7 fila 9, columna 4:

$$f = 0,33125 \left\{ \ln \left[0,27 \frac{0,00001}{0,0779} + 5,75 \left(\frac{1}{169 \ 437} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,0031$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.21 fila 2, columna 3.

El coeficiente de pérdida por contracción se determina con la ecuación:

$$K_C = 0,4 \left(1 - \frac{d_b}{d_a}\right) \quad (C.9.7)$$

Para la tubería #46 hay dos contracciones debido a la división de flujos después de la “T” basándose en el Anexo 25, y tomando los datos del Cuadro B.20 columna 3, fila 48-51, y del Anexo 7 fila 5-7, columna 4.

$$K_C = 0,4 \left(1 - \frac{0,0409}{0,0627}\right) + 0,4 \left(1 - \frac{0,0525}{0,0627}\right) = 1,45$$

El dato se muestra en el Cuadro B.22 fila 2, columna 2.

El coeficiente de pérdida por expansión se determina con la ecuación:

$$K_e = \left(1 - \frac{d_a}{d_b}\right)^2 \quad (C.9.8)$$

En este caso no hay expansiones en la tubería.

El coeficiente de pérdida por accesorios se determina con base al Anexo X y la ecuación:

$$\sum K_f = K_1 + K_2 + \dots \quad (C.9.9)$$

De igual forma tomando como base la Figura X, se observa que hay 8 codos, 1 “T”, 2 uniones, 1 válvula check abierta, 1 válvula bola y 2 válvulas globo, y tomando los datos del Anexo X columna 2, filas 2, 7, 10, 11 y 13.

$$\sum K_f = 8 * 0,8 + 1,0 + 2 * 0,04 + 0,2 + 0,2 + 2 * 7,5 = 22,88$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.22 fila 4, columna 2.

Para las pérdidas por fricción se toman los datos del Cuadro B.21 fila 2-5, columna 3, del Cuadro B.20 columna 3, fila 48-51, y del Anexo 7 fila 5-7, columna 4, con sus respectivas longitud tomando la figura X, y los datos del Cuadro B.22 fila 2-4, columna 2, la velocidad para las tuberías #46, 47 y 48 es 3 m/s excepto la tubería #45 que es 2 m/s, sin embargo, este tramo es corto con respecto a los otros, por lo que se considera que la velocidad promedio es 3 m/s.

$$h_f = \left(4 * \left(0,00425 * \frac{3,8 \text{ m}}{0,0779 \text{ m}} + 0,00419 * \frac{48,9 \text{ m}}{0,0627} + 0,00460 * \frac{15,5 \text{ m}}{0,0409} + 0,00436 * \frac{1,8 \text{ m}}{0,0525 \text{ m}}\right) + 1,45 + 0 + 22,88\right) * \frac{\left(3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 206,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

El dato se muestra en el Cuadro B.22 fila 5, columna 2.

Para determinar el trabajo de la bomba por unidad de flujo másico, se toman los datos del Cuadro B.22 fila 5, columna 2, la velocidad para B es la velocidad promedio después de la bomba como se observa en el Cuadro B.20 fila 48-51, columna 5, la velocidad es 3 m/s y tomando la Figura X y estableciendo como punto de referencia con respecto a la altura A, entonces Z_A es 0 m.

$$H_p = 9,8 \text{ m/s}^2 * (6,9 \text{ m} - 0 \text{ m}) + \frac{(3 \text{ m/s})^2}{2} + 206,1 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 278,2 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

El resultado se muestra en el Cuadro B.22 fila 6, columna 2.

Para determinar el trabajo de la bomba considerando el flujo másico se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta W_p = H_p \rho \dot{V} \quad (\text{C.9.10})$$

Tomando los datos del Cuadro A.10 fila 2, columna 4, Cuadro B.19 fila 48, columna 4 y Cuadro B.22 fila 6, columna 2, y considerando una eficiencia de la bomba de un 60 %:

$$W_p = \frac{278,2 \text{ m}^2/\text{s}^2 * 995,09 \text{ kg}/\text{m}^3 * 0,0095 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6} = 4\,383 \text{ W}$$

Aplicando un factor de seguridad de un 20 %, al trabajo de la bomba:

$$W_p = 4\,383 \text{ W} * 1,2 * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 5,3 \text{ kW} \approx 5,5 \text{ kW}$$

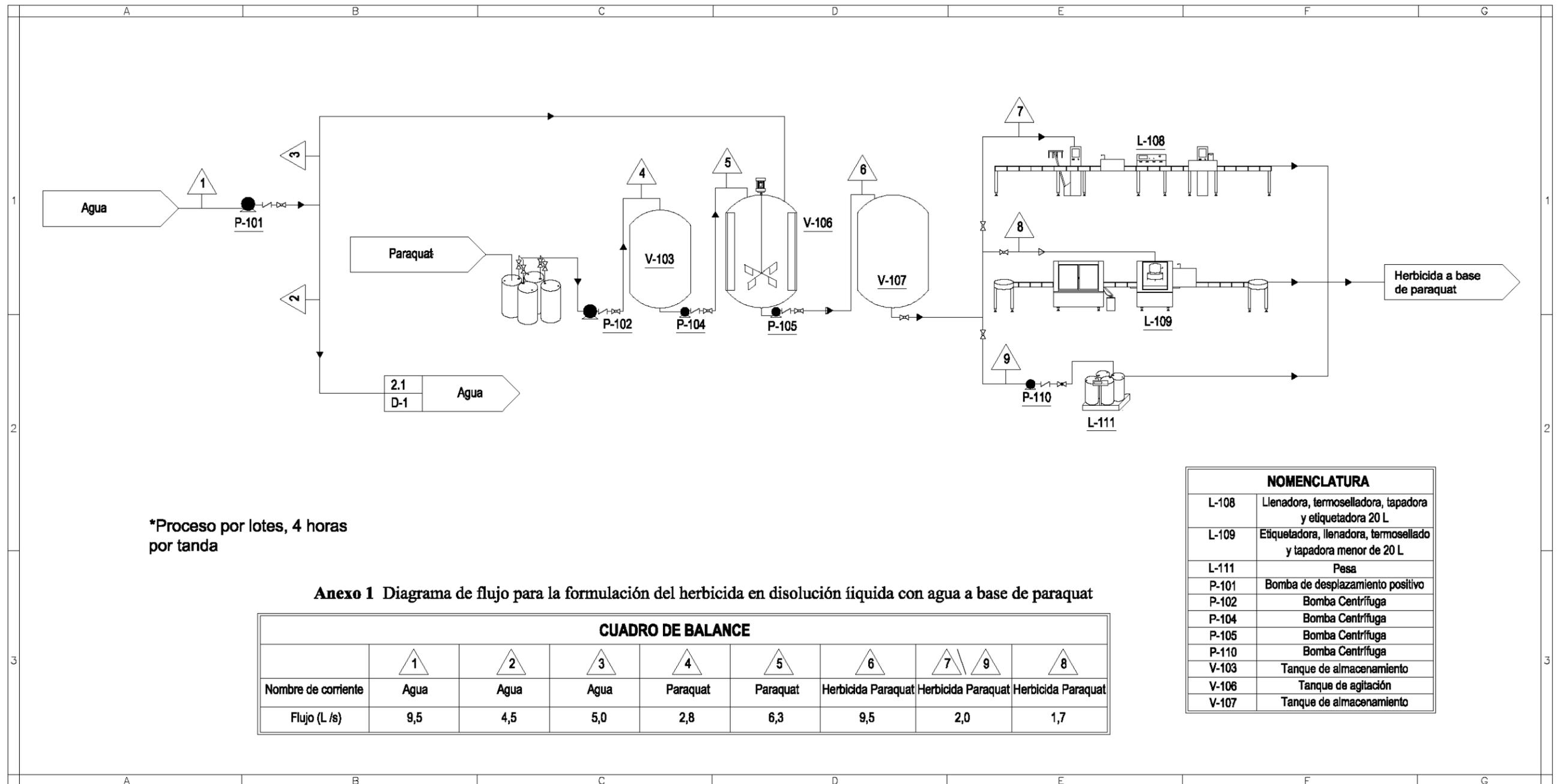
El dato se muestra en el Cuadro B.22 fila 7, columna 2.

Estos cálculos se realizan también para la bomba (P-101) que transporta el agua al tanque de formulación del herbicida a base de 2,4-D más piclorán y paraquat, y la bomba (P-113) que es la encargada del agua de los serpentines de enfriamiento.

Para las demás bombas los tramos de tubería son cortos, de manera que las pérdidas de fricción son despreciables y se utiliza un gráfico de la potencia requerida de la bomba según el flujo y la cabeza (Anexo 13).

Los resultados se muestran en el Cuadro 5.1.5.

ANEXOS

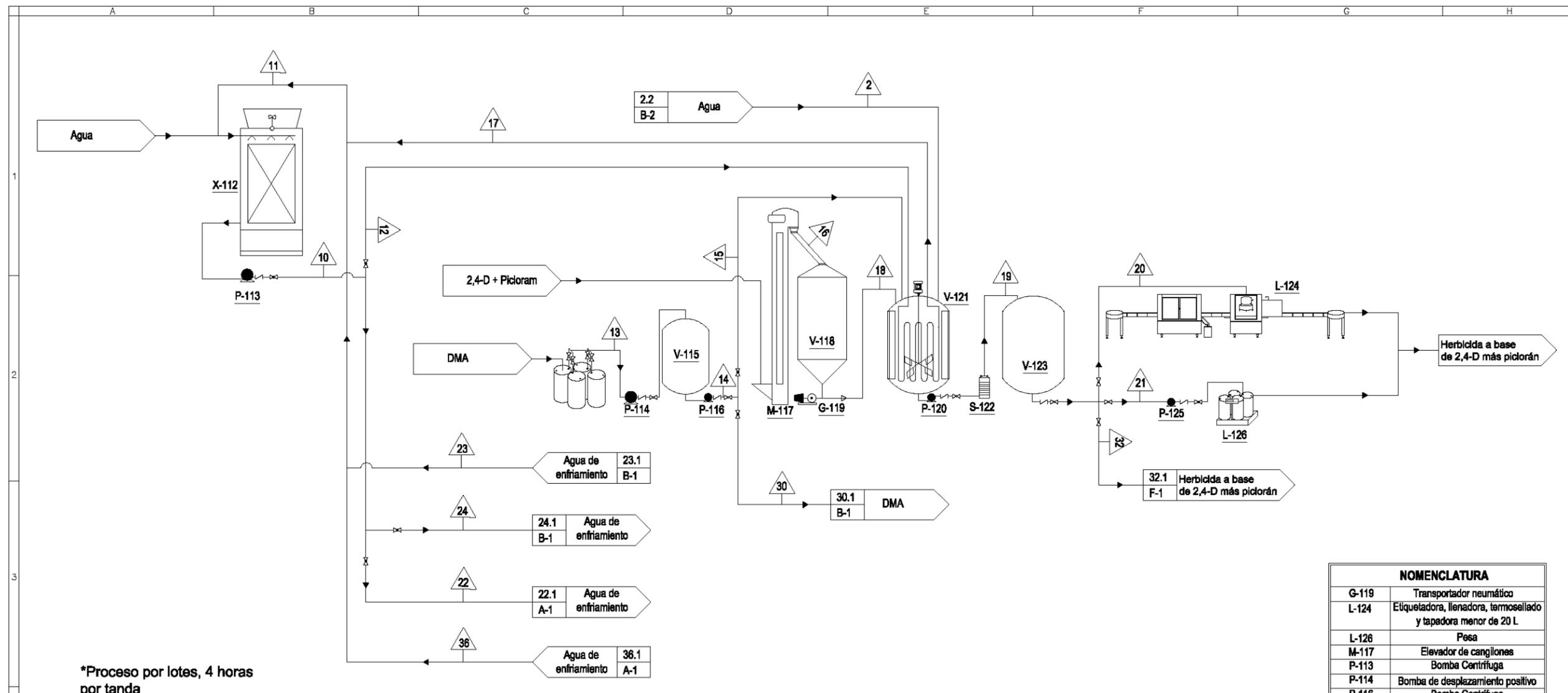


*Proceso por lotes, 4 horas por tanda

Anexo 1 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de paraquat

CUADRO DE BALANCE								
	1	2	3	4	5	6	7 \ 9	8
Nombre de corriente	Agua	Agua	Agua	Paraquat	Paraquat	Herbicida Paraquat	Herbicida Paraquat	Herbicida Paraquat
Flujo (L./s)	9,5	4,5	5,0	2,8	6,3	9,5	2,0	1,7

NOMENCLATURA	
L-108	Llenadora, termoselladora, tapadora y etiquetadora 20 L
L-109	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-111	Pesa
P-101	Bomba de desplazamiento positivo
P-102	Bomba Centrífuga
P-104	Bomba Centrífuga
P-105	Bomba Centrífuga
P-110	Bomba Centrífuga
V-103	Tanque de almacenamiento
V-106	Tanque de agitación
V-107	Tanque de almacenamiento

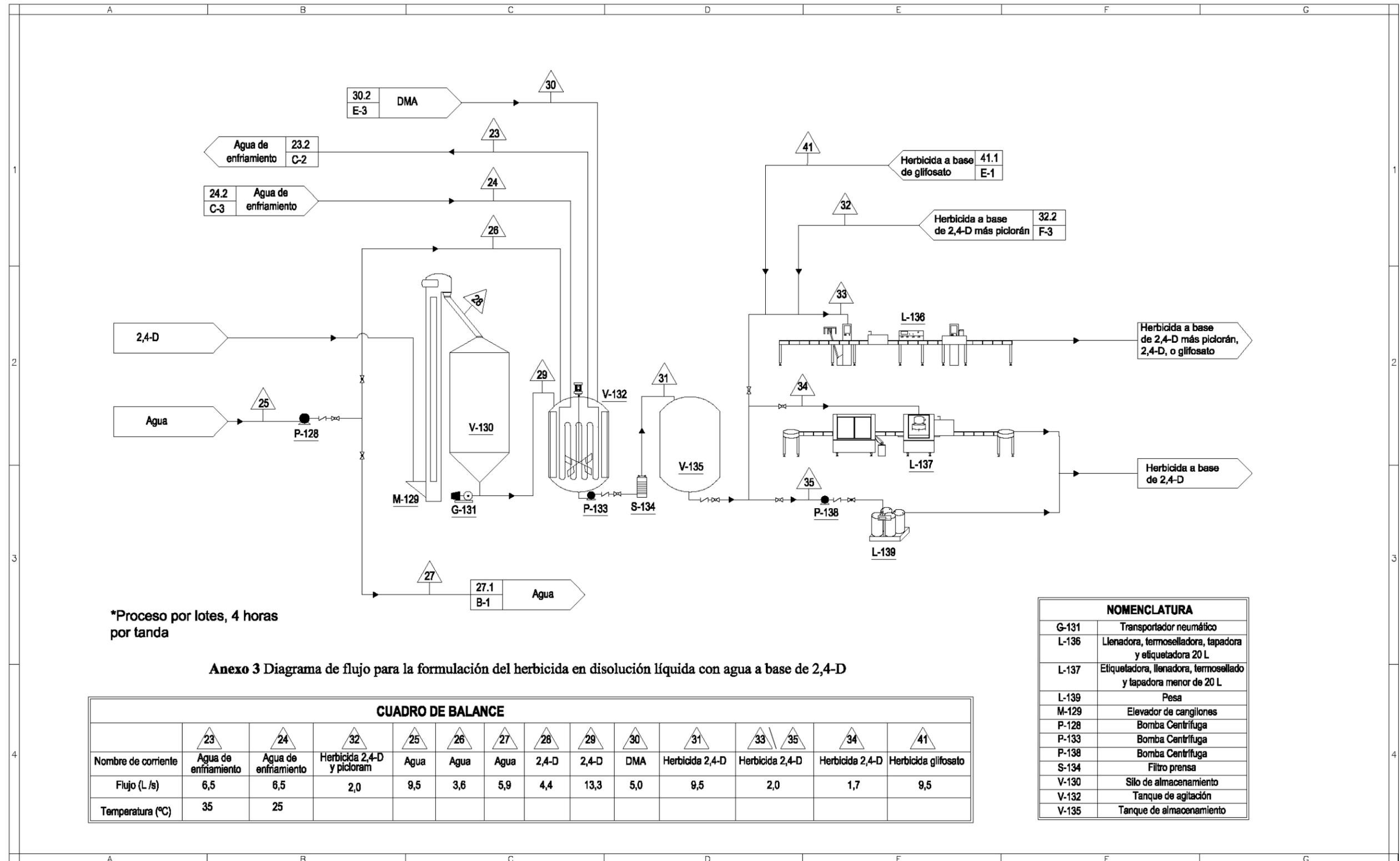


*Proceso por lotes, 4 horas por tanda

Anexo 2 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de 2,4-D más piclorán

CUADRO DE BALANCE																			
	2	10	11	12	22	24	13	14	15	16	17	23	35	18	19	20	21	32	
Nombre de corriente	Agua	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	DMA	DMA	DMA	2,4-D y picloram	Agua de enfriamiento	2,4-D y picloram	Herbicida 2,4-D y picloram							
Flujo (L/s)	4,5	19,5	19,5	6,5	2,1	6,3	1,3	2,6	6,5	8,0	9,5	1,7	2,0						
Temperatura (°C)		25	11	25															

NOMENCLATURA	
G-119	Transportador neumático
L-124	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-126	Pesa
M-117	Elevador de cangilones
P-113	Bomba Centrífuga
P-114	Bomba de desplazamiento positivo
P-116	Bomba Centrífuga
P-120	Bomba Centrífuga
P-125	Bomba Centrífuga
S-122	Filtro prensa
V-115	Tanque de almacenamiento
V-118	Silo de almacenamiento
V-121	Tanque de agitación
V-123	Tanque de almacenamiento
X-112	Torre de enfriamiento forzado

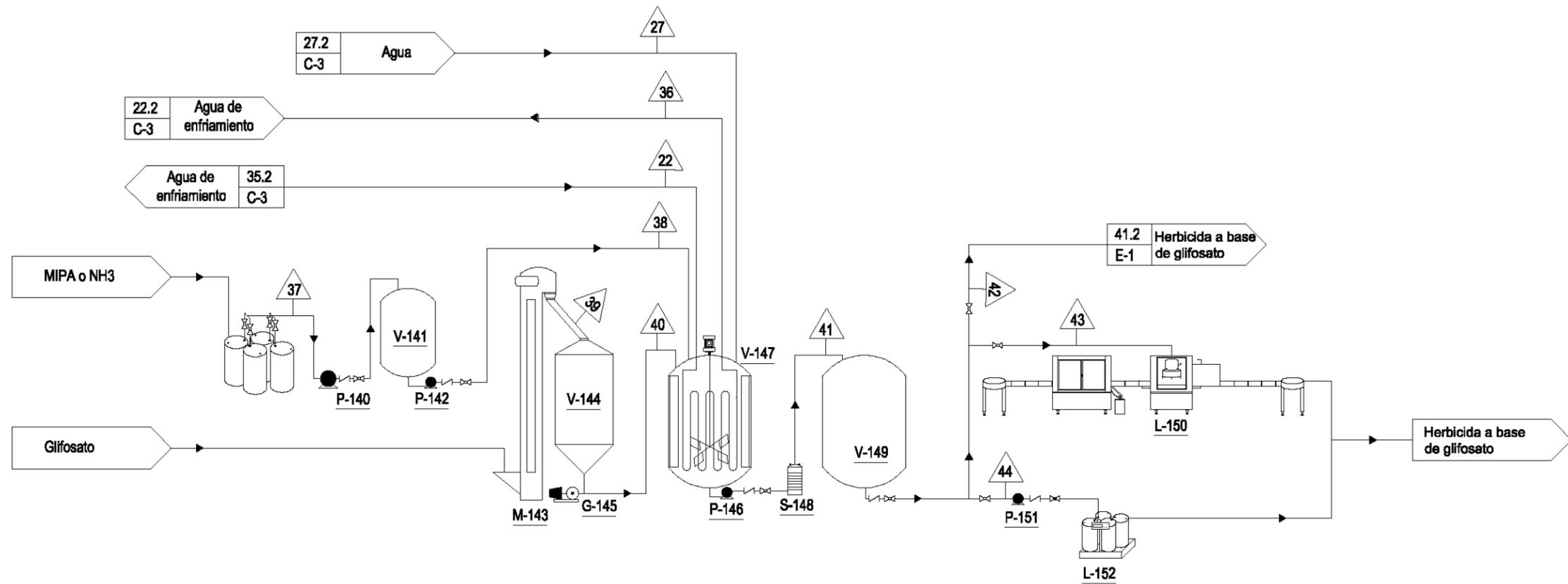


*Proceso por lotes, 4 horas por tanda

Anexo 3 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de 2,4-D

CUADRO DE BALANCE														
	23	24	32	25	26	27	28	29	30	31	33	35	34	41
Nombre de corriente	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	Herbicida 2,4-D y picloram	Agua	Agua	Agua	2,4-D	2,4-D	DMA	Herbicida 2,4-D	Herbicida 2,4-D	Herbicida 2,4-D	Herbicida 2,4-D	Herbicida glifosato
Flujo (L/s)	6,5	6,5	2,0	9,5	3,6	5,9	4,4	13,3	5,0	9,5	2,0		1,7	9,5
Temperatura (°C)	35	25												

NOMENCLATURA	
G-131	Transportador neumático
L-136	Llenadora, termoselladora, tapadora y etiquetadora 20 L
L-137	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-139	Pesa
M-129	Elevador de cangilones
P-128	Bomba Centrífuga
P-133	Bomba Centrífuga
P-138	Bomba Centrífuga
S-134	Filtro prensa
V-130	Silo de almacenamiento
V-132	Tanque de agitación
V-135	Tanque de almacenamiento



*Proceso por lotes, 4 horas por tanda

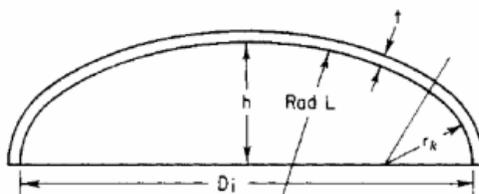
Anexo 4 Diagrama de flujo para la formulación del herbicida en disolución líquida con agua a base de glifosato

CUADRO DE BALANCE												
	22	36	27	34	37	38	39	40	41	42	44	43
Nombre de corriente	Agua de enfriamiento	Agua de enfriamiento	Agua	Herbicida 2,4-D	MIPA o NH3	MIPA o NH3	Glifosato	Glifosato	Herbicida glifosato	Herbicida glifosato	Herbicida glifosato	Herbicida glifosato
Flujo (L /s)	6,5	6,5	5,9	1,7	1,5	6,3	2,6	5,3	9,5	2,0		1,7
Temperatura (°C)	25	35										

NOMENCLATURA

G-145	Transportador neumático
L-150	Etiquetadora, llenadora, termosellado y tapadora menor de 20 L
L-152	Pesa
M-143	Elevador de cangilones
P-140	Bomba de desplazamiento positivo
P-142	Bomba Centrífuga
P-146	Bomba Centrífuga
P-151	Bomba Centrífuga
S-148	Filtro prensa
V-141	Tanque de almacenamiento
V-144	Silo de almacenamiento
V-147	Tanque de agitación
V-149	Tanque de almacenamiento

Anexo 5 Volumen según el tipo de tapas para tanques (Domingo, 2003)



Type of head	Knuckle radius, r_k	h	L	Volume	% Error	Remarks
Standard dished	Approx. $3t$		Approx. D_i	Approx. $0.050D_i^3 + 1.65tD_i^2$	± 10	h varies with t
Torispherical or A.S.M.E.	$0.06L$		D_i	$0.0809D_i^3$	± 0.1	} r_k must be the larger of $0.06L$ and $3t$
Torispherical or A.S.M.E.	$3t$		D_i	Approx. $0.513hD_i^2$	± 8	
Ellipsoidal		$D_i/4$		$\pi D_i^2 h / 6$	0	Standard proportions
Ellipsoidal		$D_i/2$		$\pi D_i^2 / 24$	0	
Hemispherical			$D_i/2$	$\pi D_i^3 / 12$	0	Truncated cone h = height d = diameter at small end
Conical				$\pi h (D_i^2 + D_i d + d^2) / 12$	0	

*Use consistent units.

Anexo 6 Peso del manguito para turbinas de acero al carbono o acero inoxidable con cuatro aspas. (Rivera, 2002)

Díámetro de eje (in)	Peso del manguito (lb)
1,5	10
2,0	20
2,5	25
3,0	40
3,5	50
4,0	60
4,5	70
5,0	100
5,5	125
6,0	150

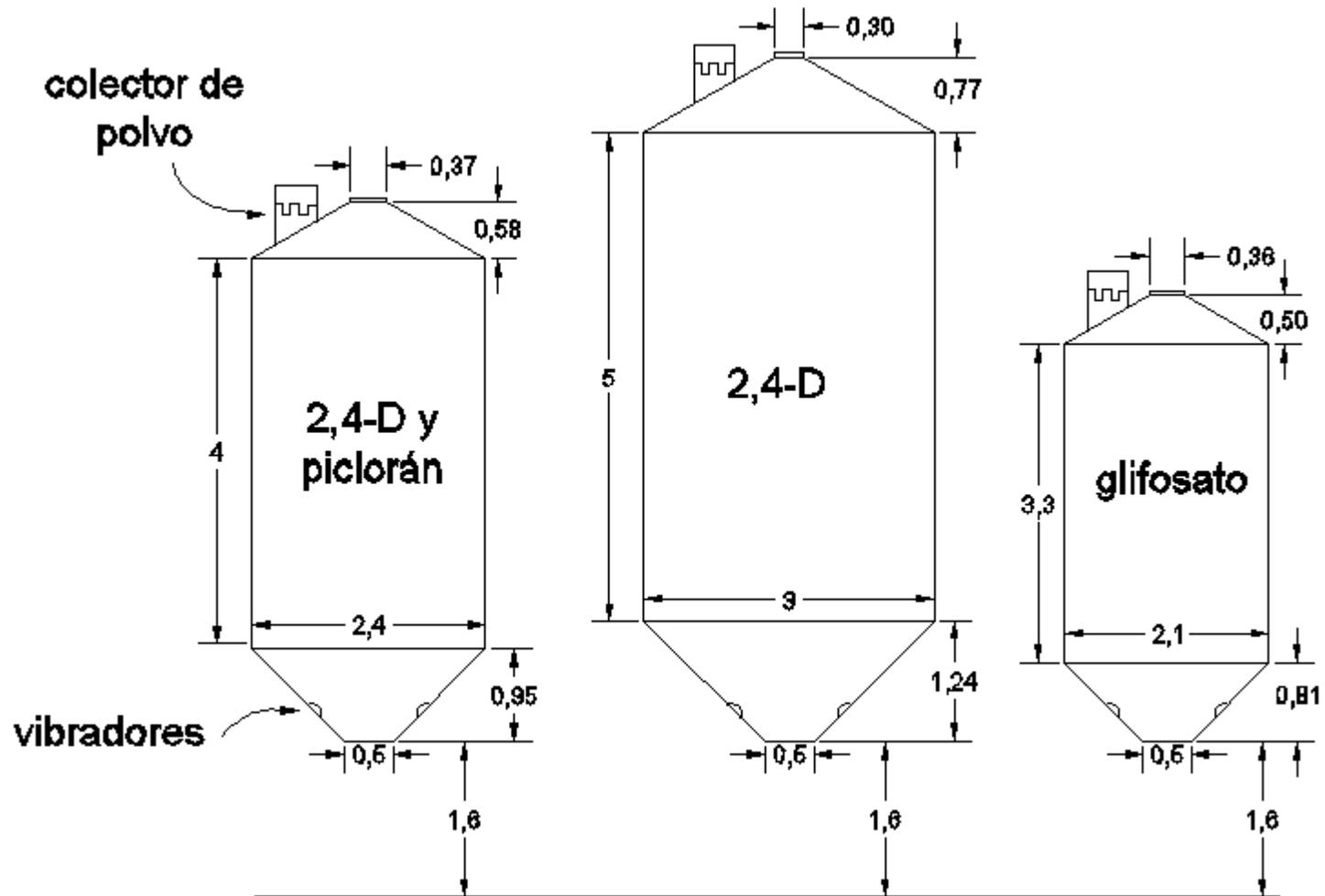
Anexo 7 Datos de conductos estándar (acero) para ced. 40 (Chacón, 2007)

Nominal	Diámetro		Espesor (mm)	Diámetro interno (m)
	Externo (m)			
3/4	0,0267		2,9	0,0209
1	0,0334		3,4	0,0266
1 ¼	0,0422		3,6	0,0351
1 ½	0,0483		3,7	0,0409
2	0,0603		3,9	0,0525
2 ½	0,0730		5,2	0,0627
3	0,0889		5,5	0,0779
4	0,1143		6,0	0,1023
5	0,1413		6,6	0,1282

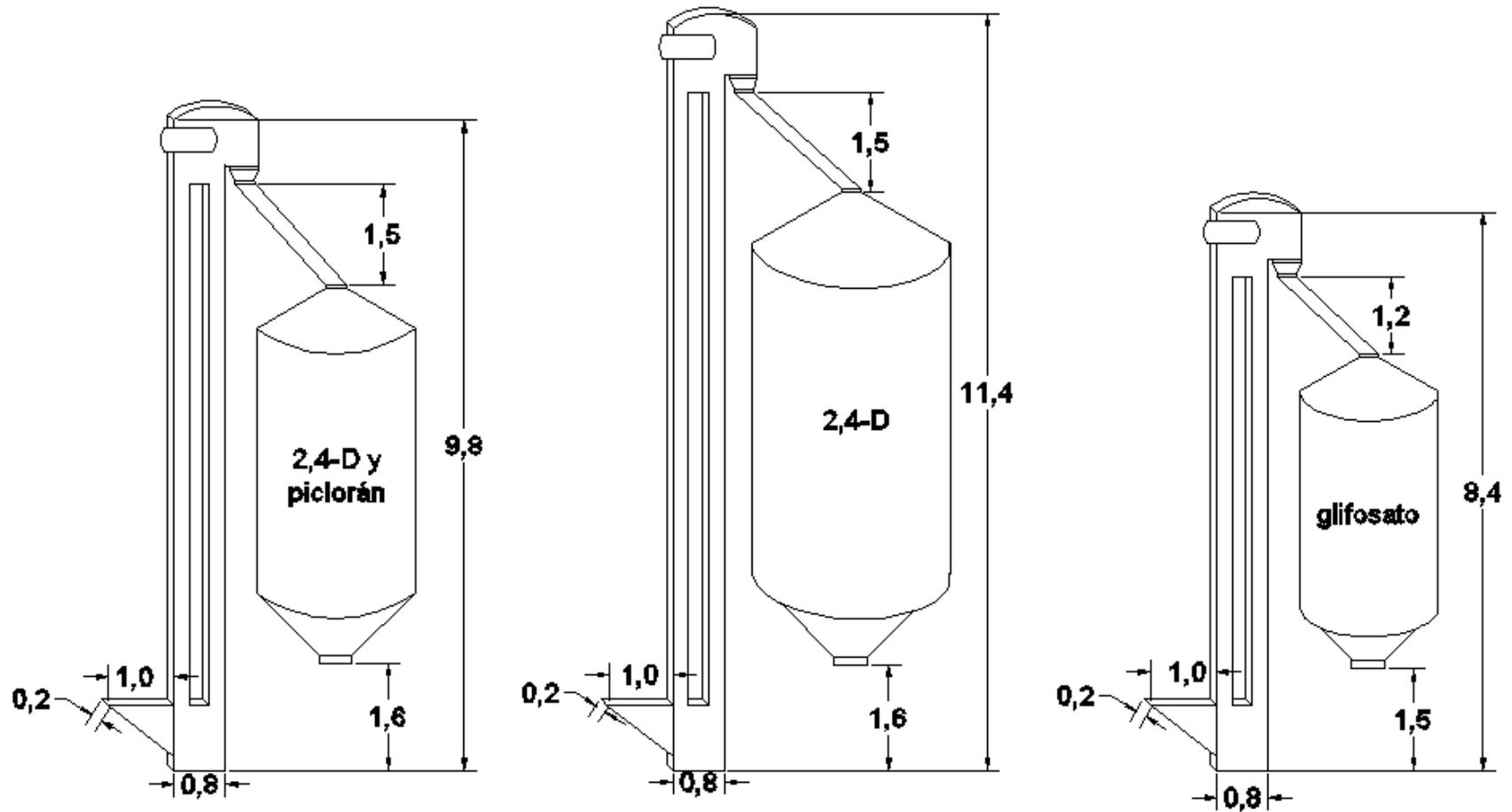
Anexo 8 Pérdidas de fricción por accesorios (Chacón, 2007)

Accesorio		Rosca	Brida
Codos	90° estándar	0,7-08	0,3
	90° radio largo	0,5-0,7	0,2
	90° recto	1,3-1,5	0,3
	45° estándar	0,3-0,4	
	180° retorno	1,2-1,7	0,2
Tes	Entrada lateral	1,0	
	Paso en línea	0,4-0,9	0,2
	Salida lateral	1,3-2,0	1,0
Acoples y uniones		0,04	0,0
Válvula compuerta	Abierta	0,13-0,20	0,10
	½ abierta	3,8-4,5	
Globo	Abierta	6,0-7,5	0,5
	½ abierta	8,5-9,5	
	En ángulo	2-4	
Medidores de flujo		6-15	

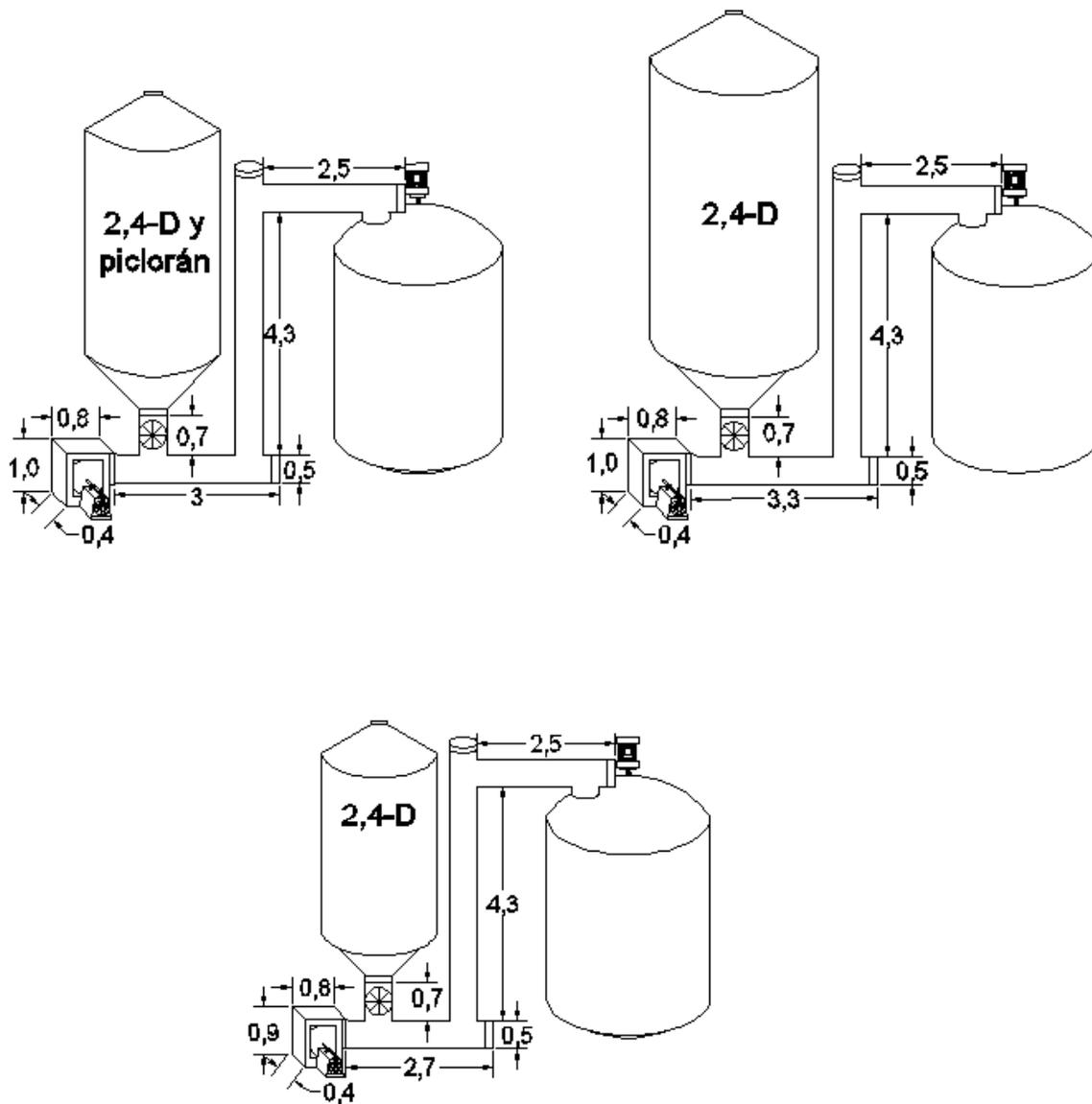
Anexo 9 Silos de almacenamiento para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán, distancias en m



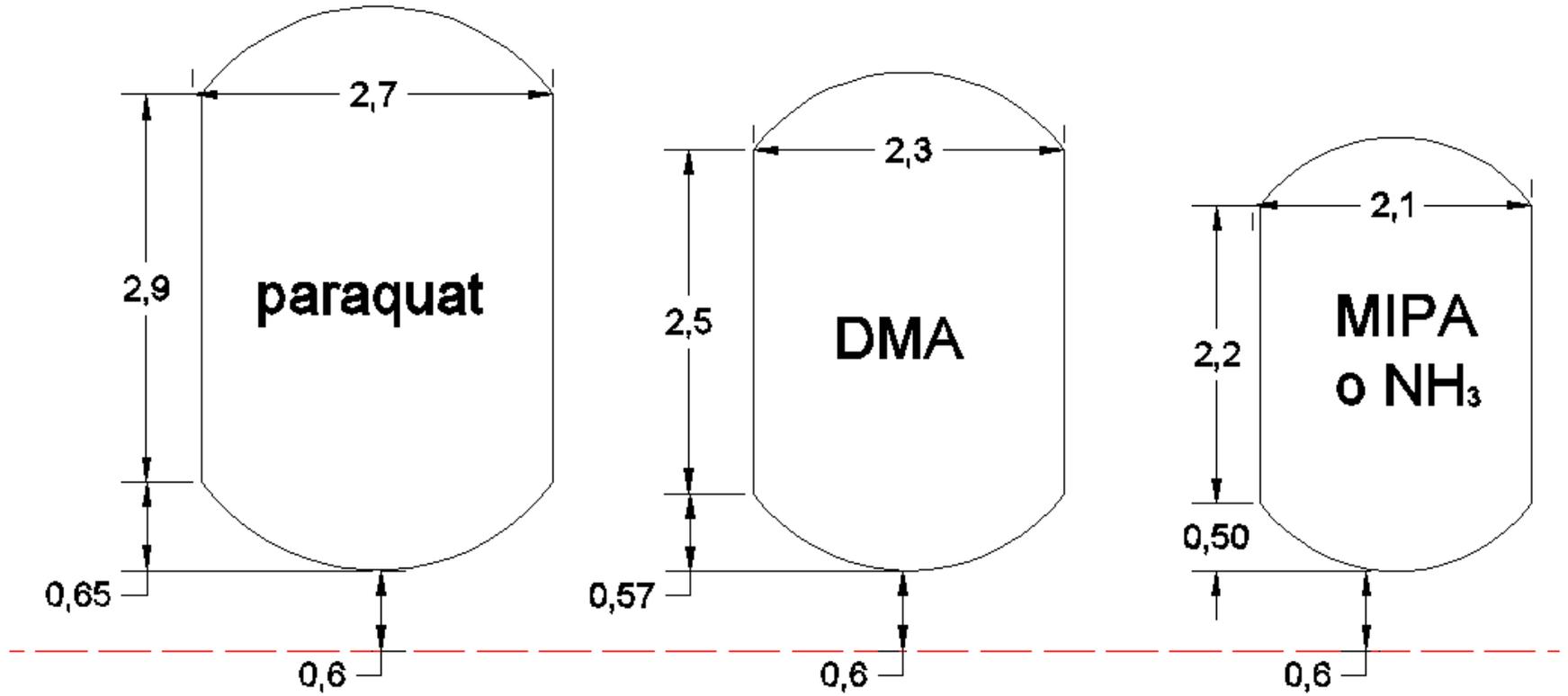
Anexo 10 Elevadores de cangilones para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán, distancias en m



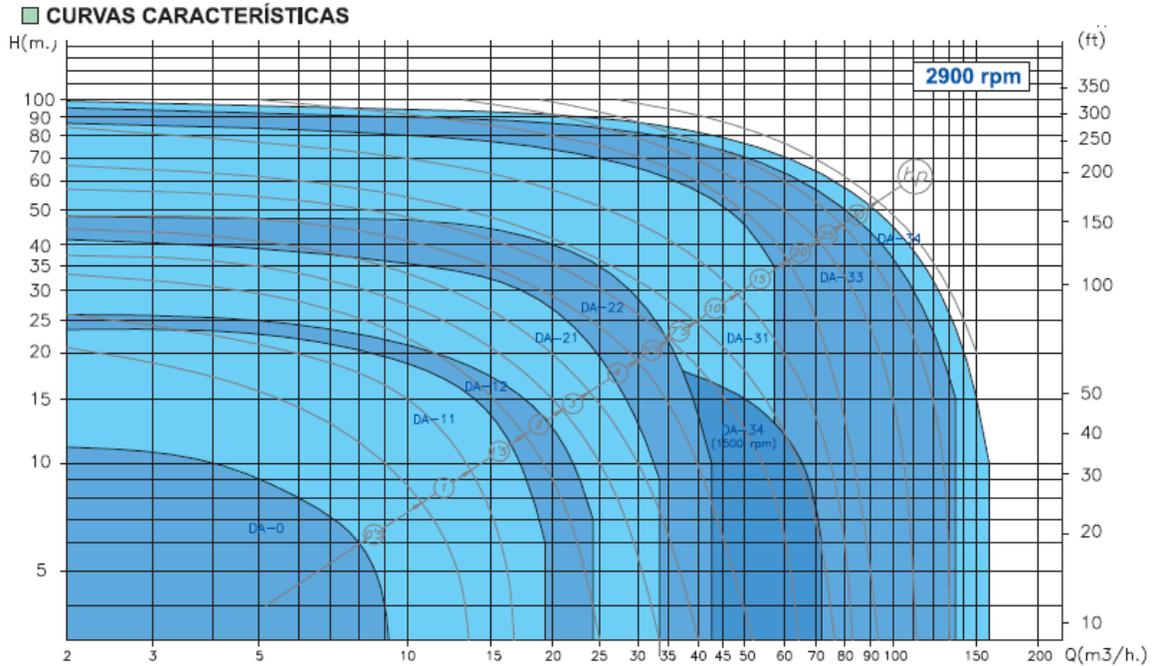
Anexo 11 Transportadores neumáticos para el 2,4-D, glifosato y 2,4-D más piclorán,
distancias en m



Anexo 12 Tanques de almacenamiento de DMA, MIPA o NH_3 y paraquat, distancias en m



Anexo 13 Curva característica de la potencia de la bomba con respecto a la altura y flujo
(Bominox, 2009)



Anexo 14 Tabla de las dimensiones de bridas (Perry, 2008)

TABLE 10-23 Dimensions of ASME B16.5 Class 150 Flanges*

All dimensions in inches

Nominal pipe size	Outside diameter of flange	Thickness of flange, minimum	Diameter of bolt circle	Diameter of bolts	No. of bolts	Length through hub			
						Threaded slip-on socket welding	Lap joint	Welding neck	ANSI B16.1, screwed (125-lb)
½	3.50	0.44	2.38	½	4	0.62	0.62	1.88	
¾	3.88	0.50	2.75	½	4	0.62	0.62	2.06	
1	4.25	0.56	3.12	½	4	0.69	0.69	2.19	0.69
1¼	4.62	0.62	3.50	½	4	0.81	0.81	2.25	0.81
1½	5.00	0.69	3.88	½	4	0.88	0.88	2.44	0.88
2	6.00	0.75	4.75	¾	4	1.00	1.00	2.50	1.00
2½	7.00	0.88	5.50	¾	4	1.12	1.12	2.75	1.12
3	7.50	0.94	6.00	¾	4	1.19	1.19	2.75	1.19
3½	8.50	0.94	7.00	¾	8	1.25	1.25	2.81	1.25
4	9.00	0.94	7.50	¾	8	1.31	1.31	3.00	1.31
5	10.00	0.94	8.50	¾	8	1.44	1.44	3.50	1.44
6	11.00	1.00	9.50	¾	8	1.56	1.56	3.50	1.56
8	13.50	1.12	11.75	¾	8	1.75	1.75	4.00	1.75
10	16.00	1.19	14.25	¾	12	1.94	1.94	4.00	1.94
12	19.00	1.25	17.00	¾	12	2.19	2.19	4.50	2.19
14	21.00	1.38	18.75	1	12	2.25	3.12	5.00	2.25
16	23.50	1.44	21.25	1	16	2.50	3.44	5.00	2.50
18	25.00	1.56	22.75	1¼	16	2.69	3.81	5.50	2.69
20	27.50	1.69	25.00	1¼	20	2.88	4.06	5.69	2.88
24	32.00	1.88	29.50	1¼	20	3.25	4.38	6.00	3.25

*Dimensions from ASME B16.5-2003, unless otherwise noted. To convert inches to millimeters, multiply by 25.4.

Anexo 15 Tabla de las dimensiones de accesorios de tubería (Perry, 2008)

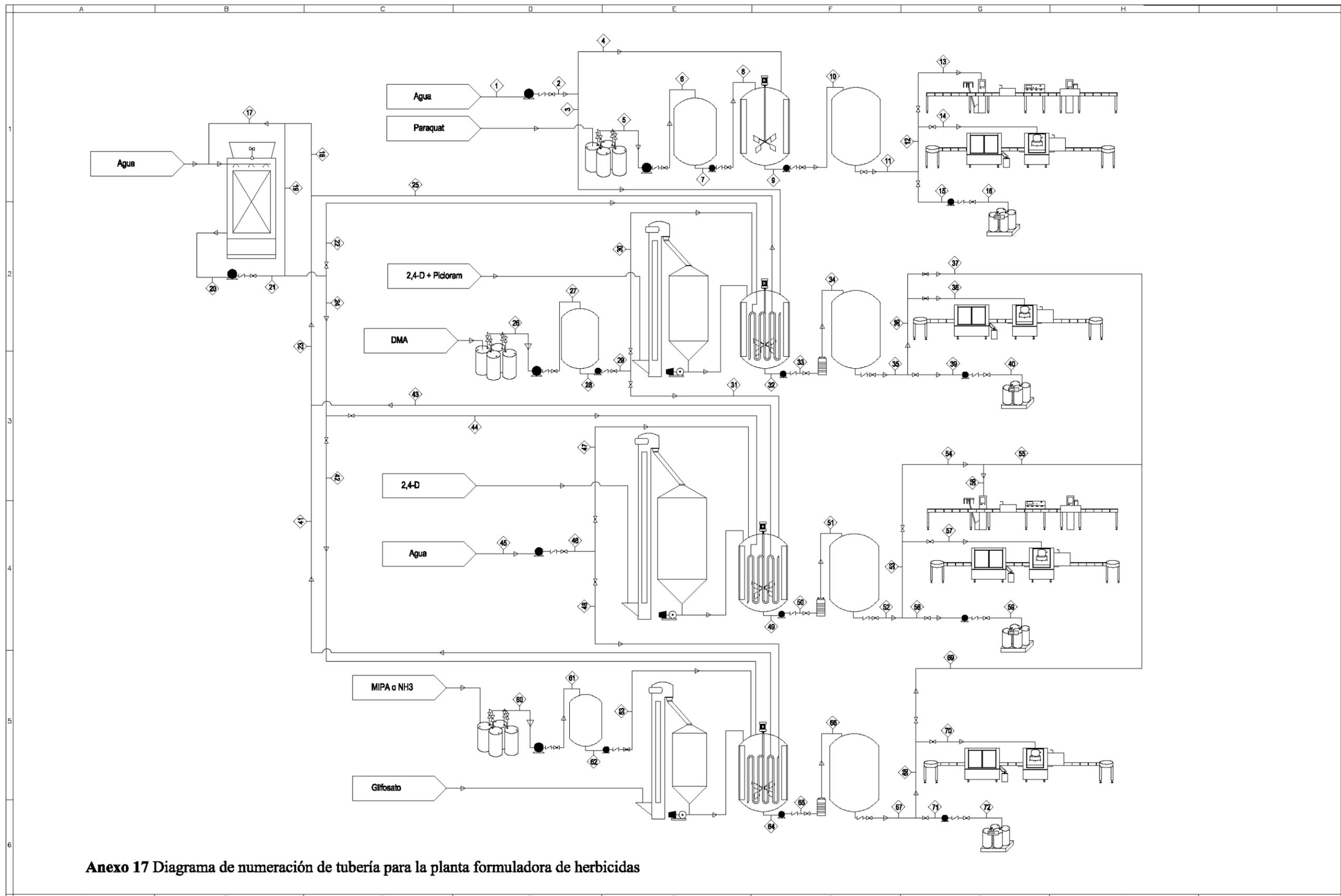
TABLE 10-30 Dimensions of Flanged Fittings*
All dimensions in inches

Nominal pipe size	ASME B16.5, Class 150 ASME B16.1, Class 125						ASME B16.5, Class 300 ASME B16.1, Class 250						ASME B16.5, Class 400					ASME B16.5, Class 600				
	AA	BB	CC	EE	FF	GC	AA	BB	CC	EE	FF	GC	AA	CC	EE	FF	GC	AA	CC	EE	FF	GC
1/2																		3.25	2.00	5.75	1.75	5.00
3/4																		3.75	2.50	6.75	2.00	5.00
1	3.50	5.00	1.75	5.75	1.75	4.50	4.00	5.00	2.25	6.50	2.00	4.50						4.25	2.50	7.25	2.25	5.00
1 1/4	3.75	5.50	2.00	6.25	1.75	4.50	4.25	5.50	2.50	7.25	2.25	4.50						4.50	2.75	8.00	2.50	5.00
1 1/2	4.00	6.00	2.25	7.00	2.00	4.50	4.50	6.00	2.75	8.50	2.50	4.50						4.75	3.00	9.00	2.75	5.00
2	4.50	6.50	2.50	8.00	2.50	5.00	5.00	6.50	3.00	9.00	2.50	5.00						5.75	4.25	10.25	3.50	6.00
2 1/2	5.00	7.00	3.00	9.50	2.50	5.50	5.50	7.00	3.50	10.50	2.50	5.50						6.50	4.50	11.50	3.50	6.75
3	5.50	7.75	3.00	10.00	3.00	6.00	6.00	7.75	3.50	11.00	3.00	6.00						7.00	5.00	12.75	4.00	7.25
3 1/2	6.00	8.50	3.50	11.50	3.00	6.50	6.50	8.50	4.00	12.50	3.00	6.50						7.50	5.50	14.00	4.50	7.75
4	6.50	9.00	4.00	12.00	3.00	7.00	7.00	9.00	4.50	13.50	3.00	7.00	8.00	5.50	16.00	4.50	8.25	8.50	6.00	16.50	4.50	8.75
5	7.50	10.25	4.50	13.50	3.50	8.00	8.00	10.25	5.00	15.00	3.50	8.00	9.00	6.00	16.75	5.00	9.25	10.00	7.00	19.50	6.00	10.25
6	8.00	11.50	5.00	14.50	3.50	9.00	8.50	11.50	5.50	17.50	4.00	9.00	9.75	6.25	18.75	5.25	10.00	11.00	7.50	21.00	6.50	11.25
8	9.00	14.00	5.50	17.50	4.50	11.00	10.00	14.00	6.00	20.50	5.00	11.00	11.75	6.75	22.25	5.75	12.00	13.00	8.50	24.50	7.00	13.25
10	11.00	16.50	6.50	20.50	5.00	12.00	11.50	16.50	7.00	24.00	5.50	12.00	13.25	7.75	25.75	6.25	13.50	15.50	9.50	29.50	8.00	15.75
12	12.00	19.00	7.50	24.50	5.50	14.00	13.00	19.00	8.00	27.50	6.00	14.00	15.00	8.75	29.75	6.50	15.25	16.50	10.00	31.50	8.50	16.75
14	14.00	21.50	7.50	27.00	6.00	16.00	15.00	21.50	8.50	31.00	6.50	16.00	16.25	9.25	32.75	7.00	16.50	17.50	10.75	34.25	9.00	17.75
16	15.00	24.00	8.00	30.00	6.50	18.00	16.50	24.00	9.50	34.50	7.50	18.00	17.75	10.25	36.25	8.00	18.50	19.50	11.75	38.50	10.00	19.75
18	16.50	26.50	8.50	32.00	7.00	19.00	18.00	26.50	10.00	37.50	8.00	19.00	19.25	10.75	39.25	8.50	19.50	21.50	12.25	42.00	10.50	21.75
20	18.00	29.00	9.50	35.00	8.00	20.00	19.50	29.00	10.50	40.50	8.50	20.00	20.75	11.25	42.75	9.00	21.00	23.50	13.00	45.50	11.00	23.75
24	22.00	34.00	11.00	40.50	9.00	24.00	22.50	34.00	12.00	47.50	10.00	24.00	24.25	12.75	50.25	10.50	24.50	27.50	14.75	53.00	13.00	27.75

Anexo 16 Tabla de las dimensiones de válvulas (Perry, 2008)

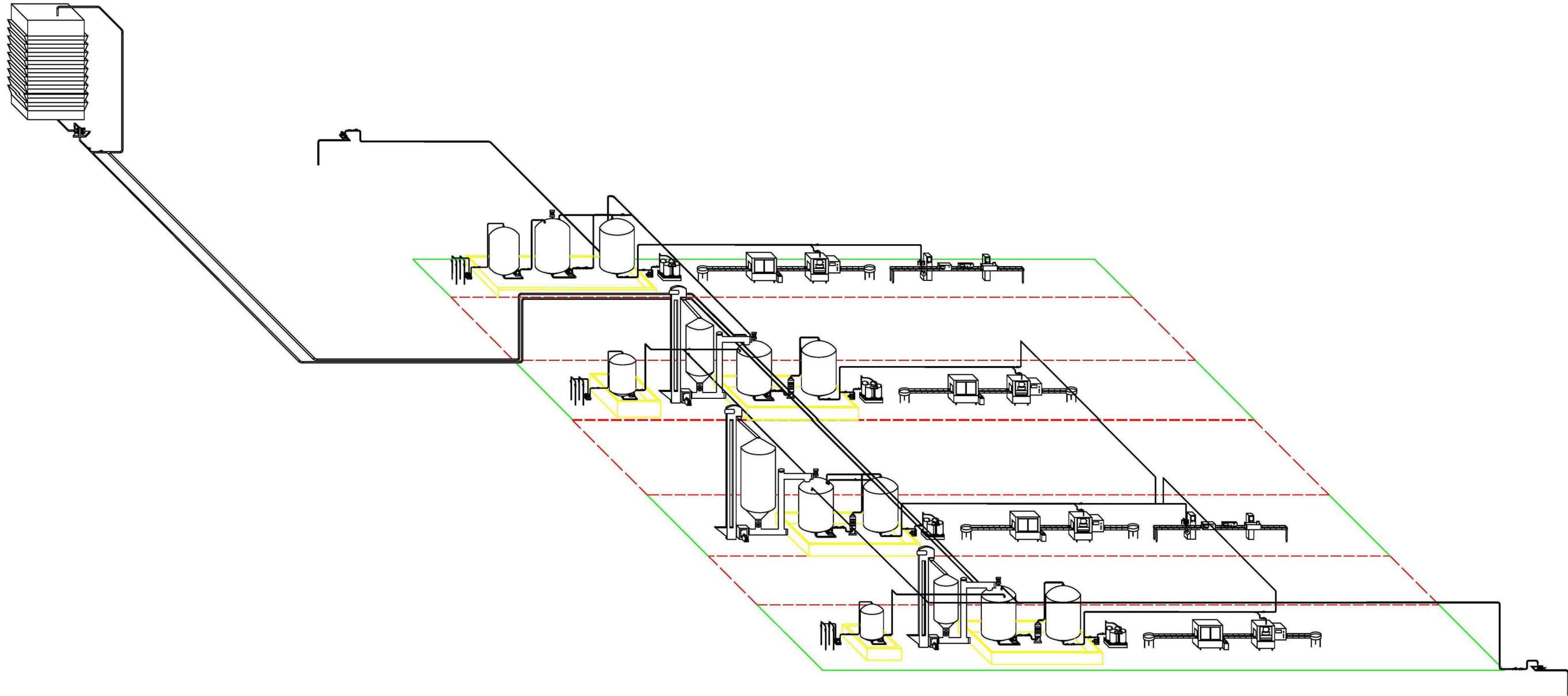
TABLE 10-32 Dimensions of Valves*
All dimensions in inches

Nominal valve size	Class 300 steel					Class 400 steel					Class 600 steel				
	Flanged end and welding end					Flanged end and welding end					Flanged end and welding end				
	Gate	Globe and lift check	Angle and lift check	Swing check		Gate	Globe, lift check, and swing check	Angle and lift check		Gate	Regular globe, regular lift check, swing check	Short pattern globe, short pattern lift check	Angle and lift check		
A and B	A and B	D and E	A and B		A and B	A and B	A and B	D and E	A and B	A and B	B	D and E	E		
1/2	5 1/2	6	3		6 1/2	6 1/2	3 1/2		6 1/2	6 1/2	3 1/2		3 1/2		
3/4	6	7	3 1/2		7 1/2	7 1/2	3 3/4		7 1/2	7 1/2	3 3/4		3 3/4		
1	6 1/2	8	4	8 1/2	8 1/2	8 1/2	4	8 1/2	8 1/2	4	8 1/2	5 1/4	4 1/4		
1 1/4	7 1/2	8 1/2	4 1/4	9	9	9	4 1/2	9	9	4 1/2	9	5 1/4	4 1/2		
1 1/2	7 1/2	9	4 1/2	9 1/2	9 1/2	9 1/2	4 3/4	9 1/2	9 1/2	4 3/4	9 1/2	6	4 3/4		
2	8 1/2	10 1/2	5 1/4	10 1/2	11 1/2	11 1/2	5 1/4	11 1/2	11 1/2	5 1/4	11 1/2	7	5 1/4	4 1/4	
2 1/2	9 1/2	11 1/2	5 3/4	11 1/2	13	13	6 1/2	13	13	6 1/2	13	8 1/2	6 1/2	5	
3	11 1/2	12 1/2	6 1/4	12 1/2	14	14	7	14	14	7	14	10	7	6	
4	12	14	7	14	16	16	8	17	17	8	17	12	8 1/2	7	
5	15	15 1/4	7 1/2	15 1/4	18	18	9	20	20	15	20	15	10	8 1/2	
6	15 1/2	17 1/2	8 1/4	17 1/2	19 1/2	19 1/2	9 1/4	22	22	18	22	18	11	10	
8	16 1/2	22	11	21	23 1/2	23 1/2	11 1/4	26	26	23	26	23	13		
10	18	24 1/2	12 1/4	24 1/2	26 1/2	26 1/2	13 1/4	31	31	28	31	28	15 1/2		
12	19 1/2	28	14	28	30	30	15	33	33	32	33	32	16 1/2		
14	30				32 1/2	30 1/2		35	35	35					
16	33				35 1/2	35 1/2		39	39	39					
18	36				38 1/2	38 1/2		43	43	43					
20	39				41 1/2	41 1/2		47	47	47					
22	43				45	45		51	51	51					
24	45				48 1/2	48 1/2		55	55	55					

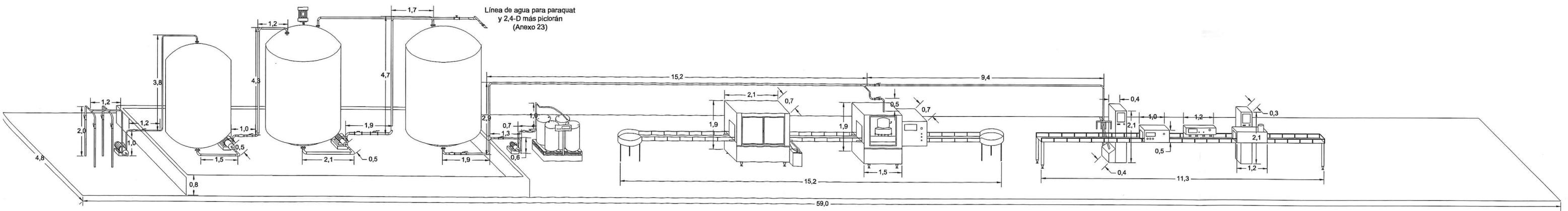


Anexo 17 Diagrama de numeración de tubería para la planta formuladora de herbicidas

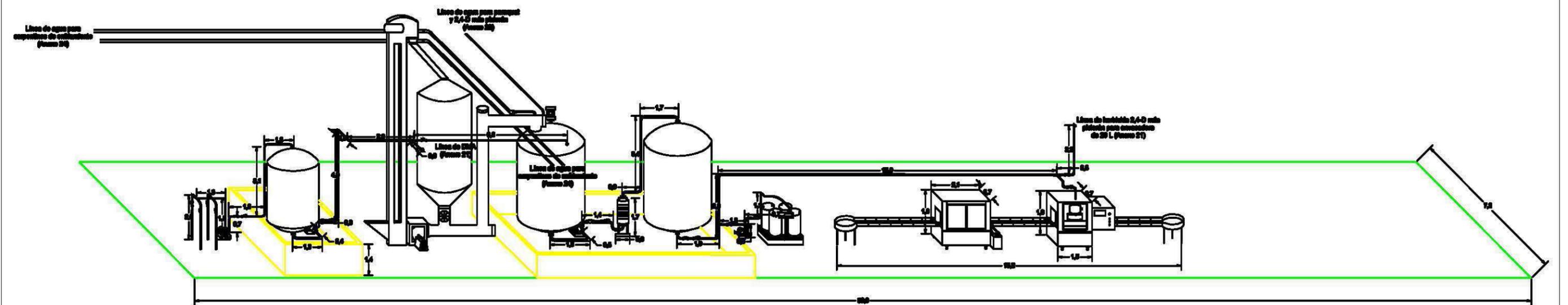
Anexo 18 Isométrico de la planta formuladora de herbicidas separado



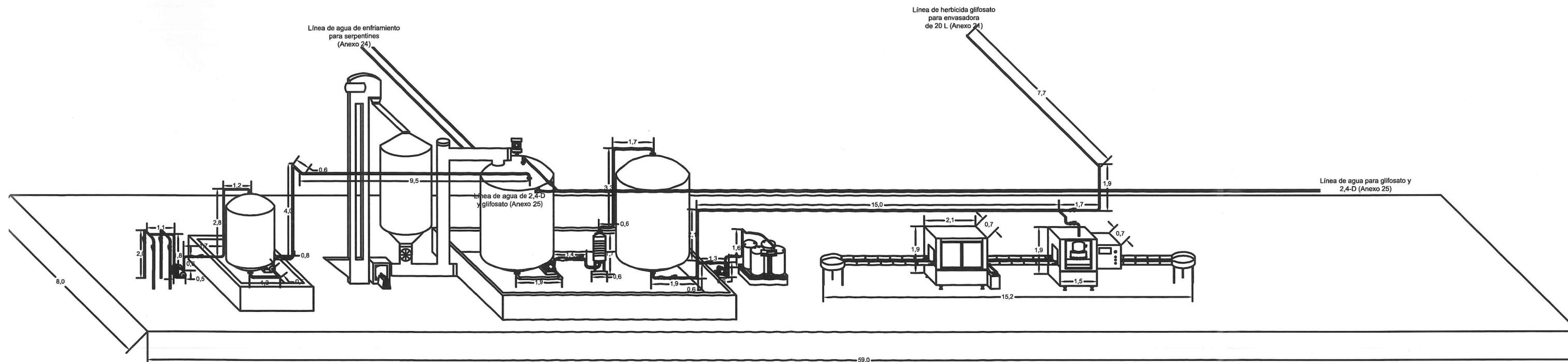
Anexo 19 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de paraquat, distancia en m



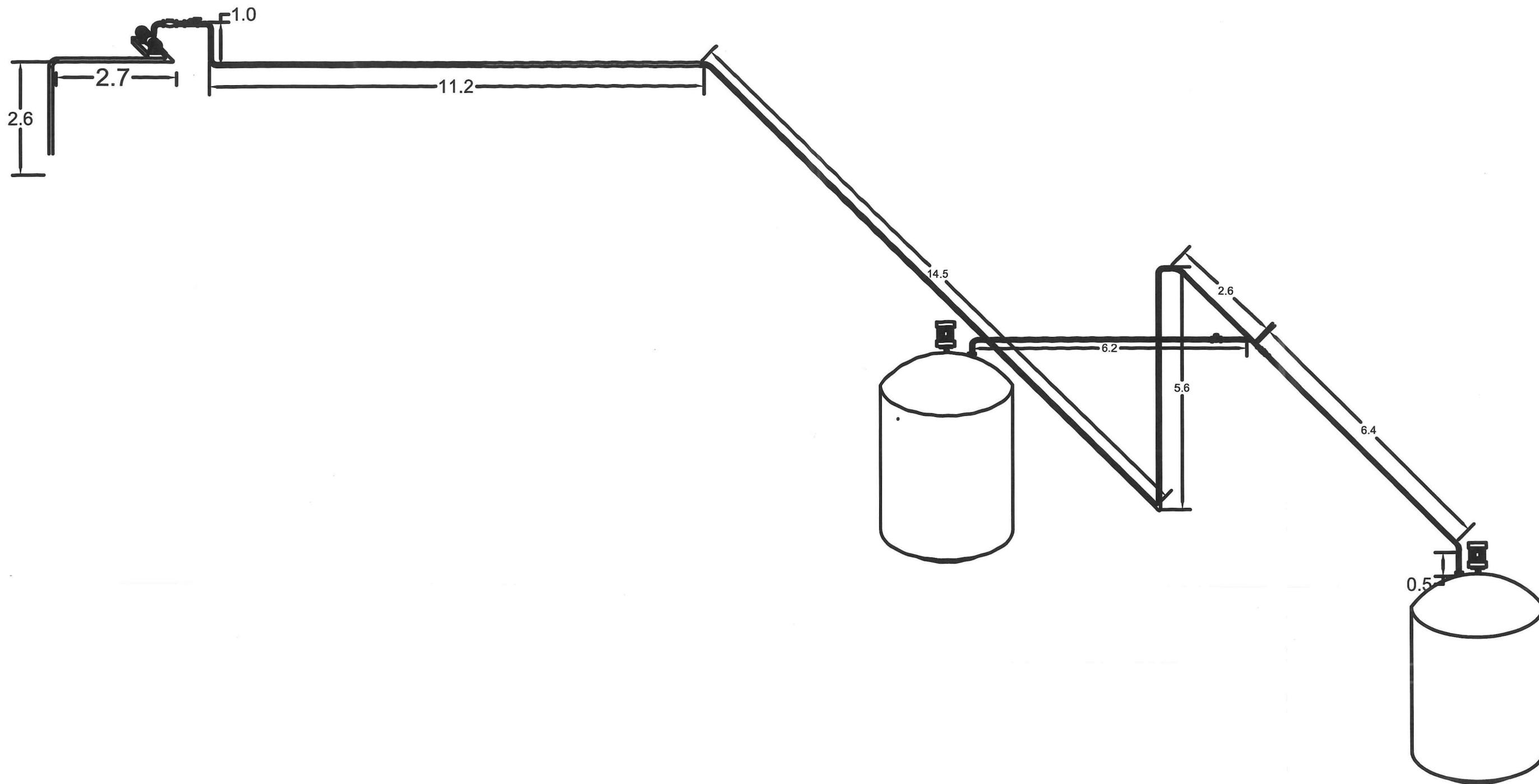
Anexo 20 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de 2,4-D más piclorán, distancia en m



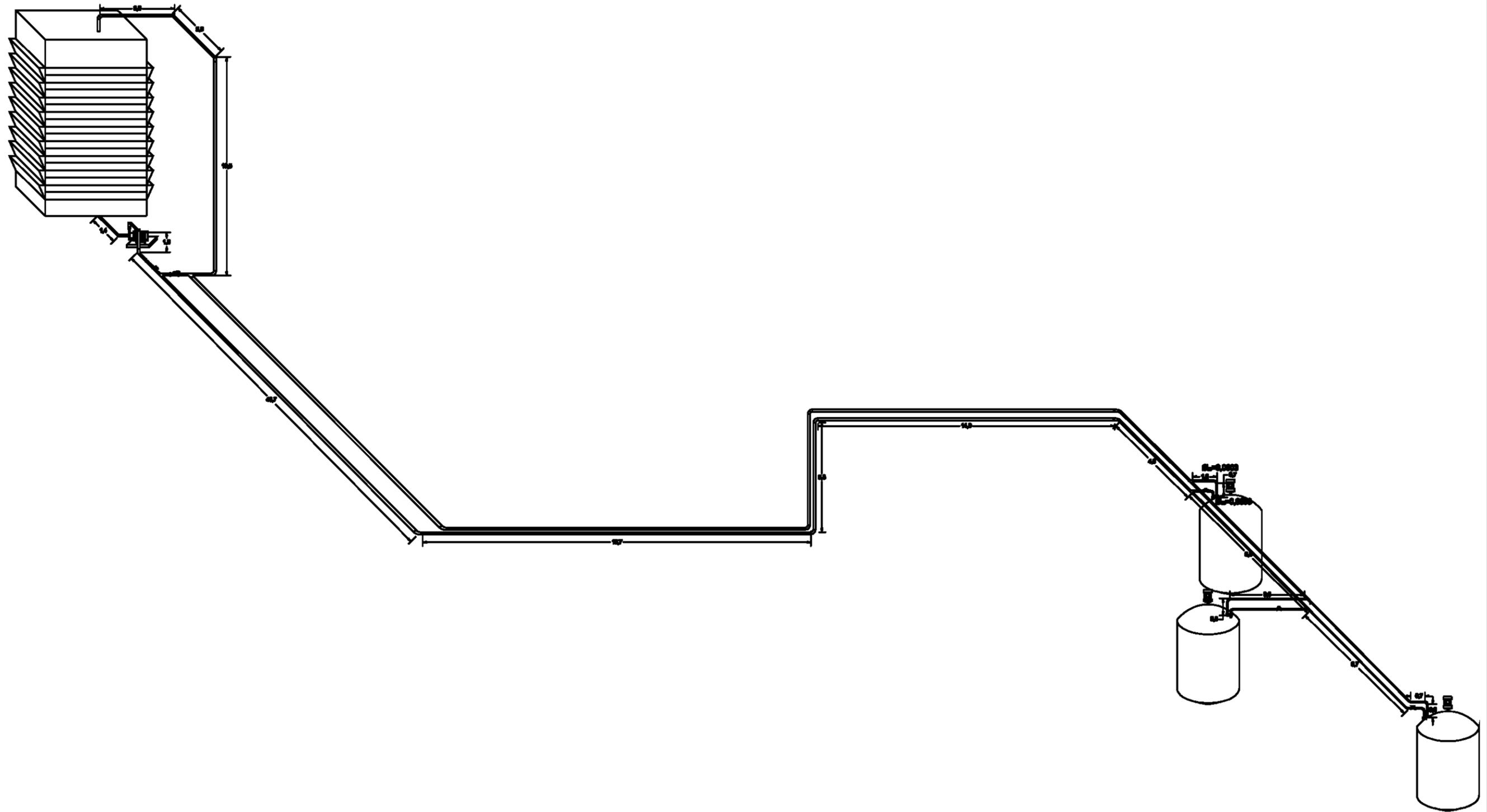
Anexo 22 Isométrico de la formulación del herbicida en disolución con agua a base de glifosato, distancia en m



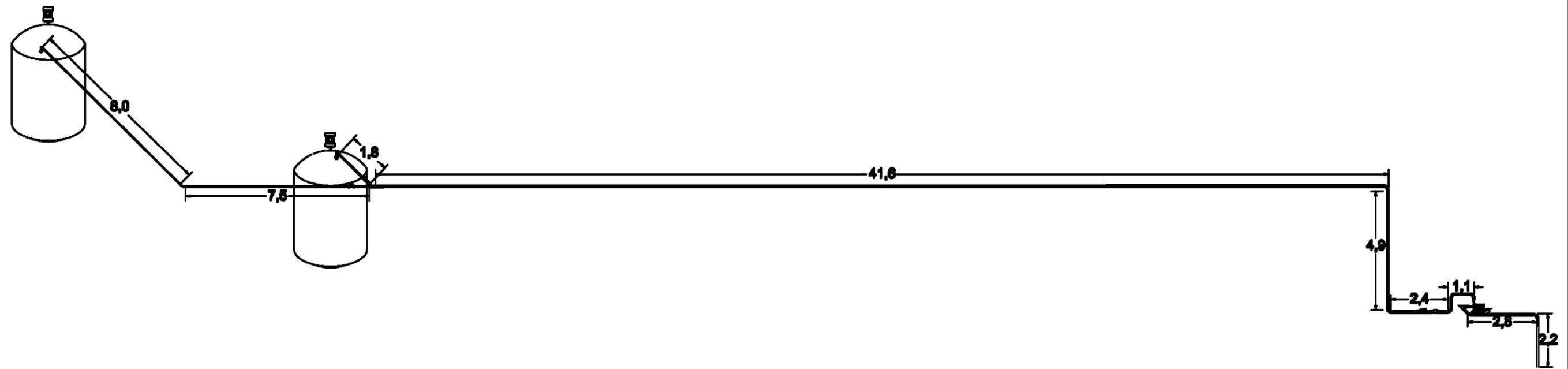
Anexo 23 Isométrico de la tubería de agua para la formulación de los herbicidas paraquat y 2,4-D más piclorán, distancias en m.

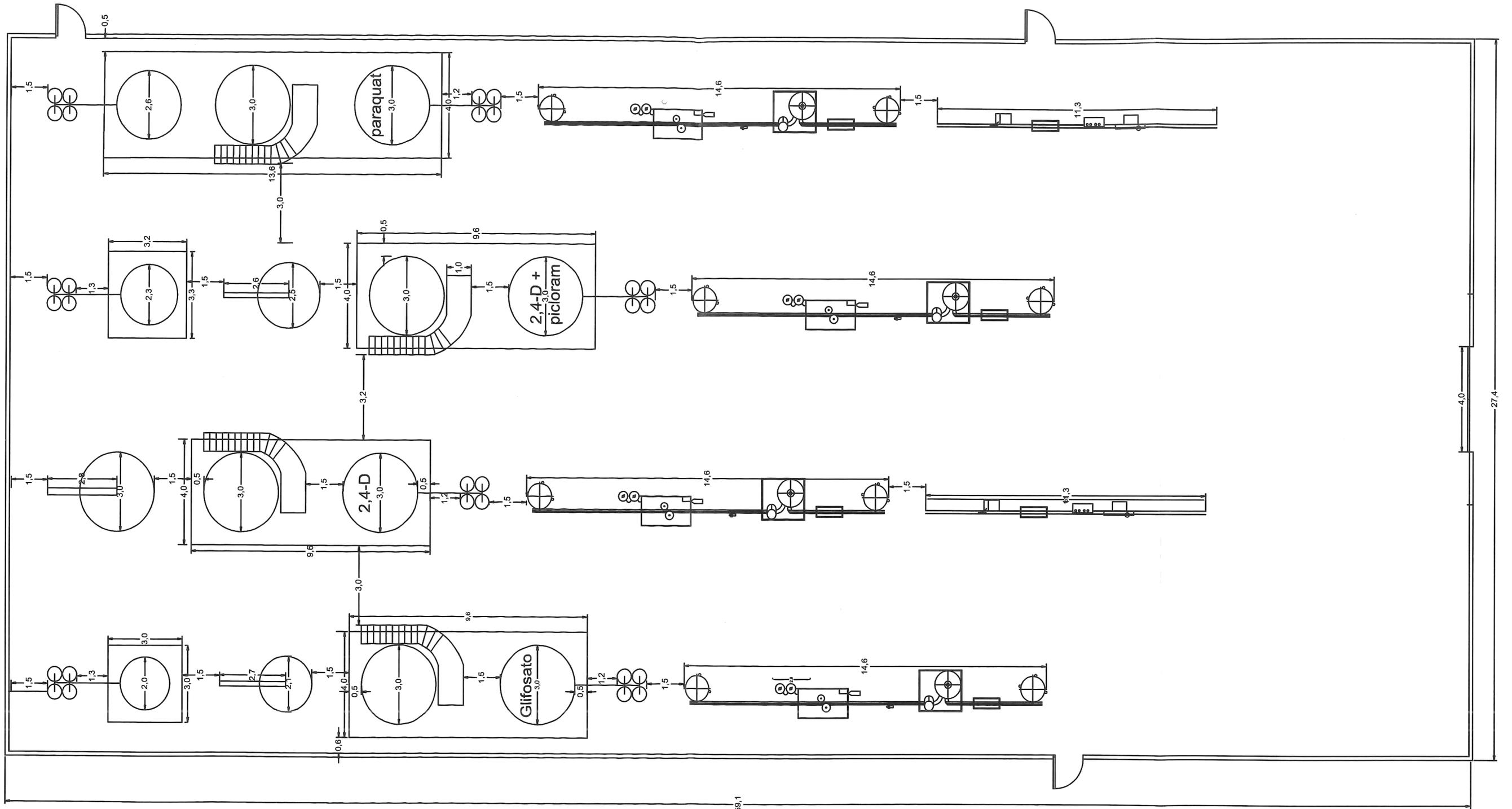


Anexo 24 Isométrico de la tubería de agua para los serpentines de enfriamiento, distancias en m



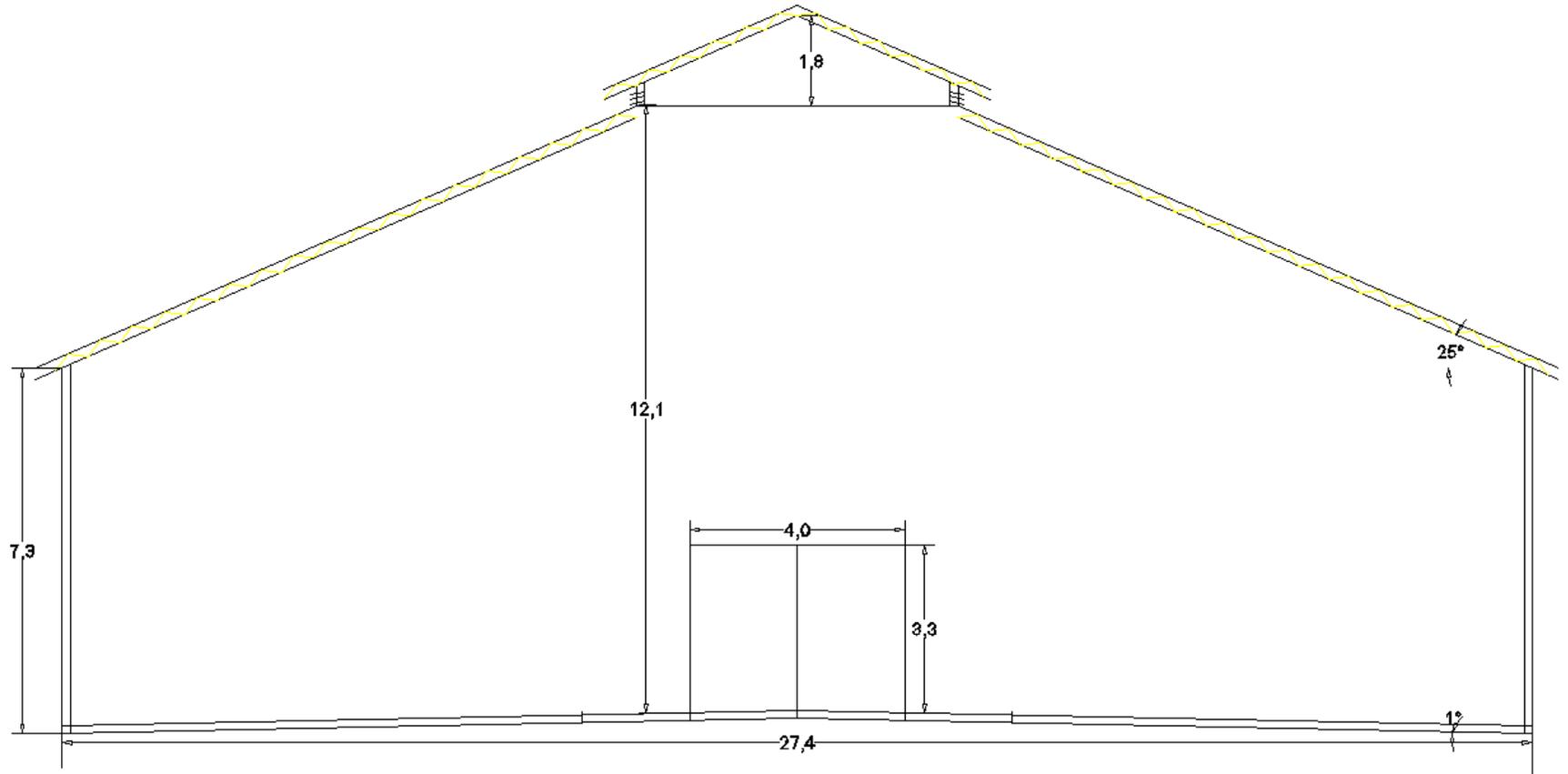
Anexo 25 Isométrico de la tubería de agua para la formulación de los herbicidas a base de 2,4-D y glifosato, distancias en m





Anexo 26 Distribución de planta para la formulación de herbicidas, distancias en m

Anexo 27 Vista frontal del edificio para la formulación de herbicidas, distancias en m



Anexo 28 Edificio para la formulación de herbicidas

