**Universidad de Cienfuegos**
**Facultad de Ingeniería Mecánica**
**Maestría en Producción más limpia**

# Diseño ambientalmente sostenible de los fertilizantes líquidos NPK en la Empresa Química de Cienfuegos

*Tesis en opción al nivel académico de*

*Máster en Producción Más Limpia*

*Autor:* **Ing. Yoel Alberto Calderón Rosendi**

*Tutores:* **Dr. C. Juan Cogollos Martínez**
**Dr. C. Iván L. Rodríguez Rico**

**"Año 59 de la Revolución"**
**Cienfuegos, 2017**

# Declaración de Autoridad

Hago constar que la presente Memoria Escrita en opción al grado de **Máster en Producción más limpia** fue realizada en la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios de dicho Programa de Maestría. Autorizo a que la misma sea utilizada por la Universidad para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentada en evento, ni publicada sin la aprobación de la Universidad.

Firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del año _____.

| **Nombres y Apellidos del Autor:** | **Firma del Autor:** |
|---|---|
| Yoel Alberto Calderón Rosendi | |

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según las normas establecidas en nuestro centro y que el mismo cumple los requerimientos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

| **Nombres y Apellidos del tutor:** | **Firma del Tutor:** |
|---|---|
| Dr. C. Juan Cogollos Martínez | |

| **Nombres y Apellidos del Registrador del CRAIC:** | **Firma del Registrador del CRAIC:** |
|---|---|
| | |

| **Anotación del Tribunal de Defensa de la Memoria Escrita** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Fecha de la Defensa** | | | **Calificación** | **Firma del Presidente** |
| **Día** | **Mes** | **Año** | | |
| | | | | |

**Universidad de Cienfuegos**
**Facultad de Ingeniería Mecánica**

# Diseño ambientalmente sostenible de los fertilizantes líquidos NPK en la Empresa Química de Cienfuegos

*Tesis en opción al nivel académico de*

*Máster en Producción Más Limpia*

*Autor:* **Ing. Yoel Alberto Calderón Rosendi**

*Tutores:* **Dr. Juan Cogollos Martínez**
**Dr. Iván L. Rodríguez Rico**

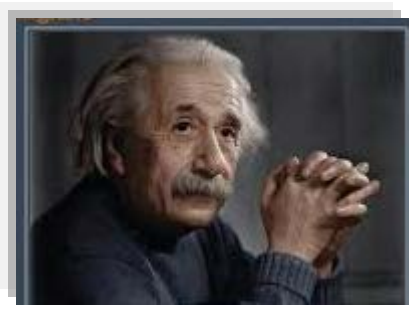
**"Año 59 de la Revolución"**
**Cienfuegos, 2017**

# Pensamiento

# *Pensamiento*

- *Debe evitarse hablar a los jóvenes del éxito como si se tratase del principal objetivo en la vida. La razón más importante para trabajar en la escuela y en la vida es el placer de trabajar, el placer de su resultado y el conocimiento del valor del resultado para la comunidad.*

***Albert Einstein.***



# Dedicatoria

# *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo a personas muy especiales en mi vida:*

- *A mi hija, por ser mi gran inspiración y el regalo más hermoso que la vida me ha dado.*
- *A mi esposa por su amor, paciencia y confianza en todos estos años juntos.*
- *A mis abuelos queridos Onelia y Eddy, por toda la enseñanza que me han dado y que me ha valido mucho en mi formación como profesional. Ustedes los son todo para mí.*
- *A mi mamá, hermanos y a mi papá Pedro por su amor, apoyo y confianza depositada en mí.*
- *A mi abuela Nélida por su constante ejemplo como profesional y mi tía Nereida por todo su amor, cariño y confianza.*

# Agradecimientos

# *Agradecimientos*


- *Agradezco, en primer lugar, a todos mis familiares, y en especial a mis abuelos por guiarme a tener una grandiosa formación profesional y llena de buenos valores.*
- *A mi esposa, por acompañarme en este sueño y apoyarme en cada momento, por estar ahí y creer en mí. Te Amo.*
- *A la Dirección de la Empresa Química de Cienfuegos EQUIFA, por darme la confianza de poder desarrollar este sueño profesional.*
- *A los profesores, Dr. C. Juan Cogollos Martínez y el Dr. C. Iván L. Rodríguez Rico, por el apoyo incondicional ofrecido que hicieron posible la realización de esta investigación.*
- *A todos los profesores de la Maestría en Producción Más Limpia de la UCF.*
- *A todos mis amigos y colegas de trabajo, por su apoyo incondicional en todo momento.*
- *A todos los que confiaron y seguirán confiando en mí.*

*A todos, de corazón:*

*Muchas gracias*

# Resumen

# Resumen

En el presente trabajo titulado *"Diseño ambientalmente sostenible de los fertilizantes líquidos NPK en la Empresa Química de Cienfuegos"*, se expone el análisis de todo el ciclo de vida de los fertilizantes líquidos NPK mediante el método de Ecodiseño PILOT. Para para ello se realiza la modelación matemática del proceso de producción a emplear, proponiéndose una metodología para el dimensionamiento de los equipos tecnológicos que conformarán la planta de producción.

Como resultado, se obtiene que dentro de las fases del ciclo de vida del producto analizado la correspondiente a la extracción y obtención de las materias primas, es donde resultan los impactos ambientales más significativos, debido a que, en los diferentes procesos tecnológicos utilizados para la obtención de estas, se encuentran asociados riesgos medioambientales caracterizados por altos impactos.

Finalmente, como resultado de la evaluación y análisis del ciclo de vida del producto, se presentan las estrategias de Ecodiseño, proponiéndose además medidas de mejora ambiental, las cuales permiten minimizar los impactos ambientales del producto. Estas estrategias están caracterizadas fundamentalmente por: llevar a cabo una gestión eficiente de los residuales de la planta (residuales líquidos y desechos sólidos) y aplicar prácticas adecuadas en relación a las condiciones de almacenamiento de las materias primas, entre otras; permitiendo todo lo anterior, por tanto, un diseño ambientalmente sostenible de los fertilizantes líquidos NPK.

# Summary

# Summary

In this paper entitled "Environmentally sustainable design of liquid fertilizers NPK in the Chemical Company of Cienfuegos", the analysis of the entire life cycle of NPK liquid fertilizers is presented using the Ecodiseño PILOT method. To do this, the mathematical modeling of the production process to be used is carried out, proposing a methodology for the dimensioning of the technological equipment that will make up the production plant.

As a result, it is obtained that within the phases of the life cycle of the product analyzed the one corresponding to the extraction and obtaining of the raw materials, is where the most significant environmental impacts result, because, in the different technological processes used for the Obtaining these, are associated environmental risks characterized by high impacts.

Finally, as a result of the evaluation and analysis of the life cycle of the product, the Ecodesign strategies are presented, proposing also measures of environmental improvement, which allow minimizing the environmental impacts of the product. These strategies are fundamentally characterized by efficient management of plant waste (liquid waste and solid waste) and applying appropriate practices in relation to the storage conditions of raw materials, among others allowing all of the above, therefore, an environmentally sustainable design of NPK liquid fertilizers.

# Índice

# Índice


| *Contenido* | *Página* |
|---|---|
| *Introducción* | 1 |
| *Capítulo I: Estudios documentales.* | 6 |
| 1.1.- Aspectos generales de la Producción más limpia. | 6 |
| 1.2.- Prevención de la contaminación. | 7 |
| 1.3.- Conceptos básicos de Ecodiseño. | 8 |
| 1.3.1.- ¿Que es el Ecodiseño? | 8 |
| 1.3.2.- ¿Cuáles son los aspectos ambientales de un producto? | 9 |
| 1.3.3.- ¿Cuáles son los impactos ambientales de un producto? | 10 |
| 1.3.4.- ¿En qué consiste el Ciclo de Vida de un producto? | 11 |
| 1.3.5.- Ecodiseño con enfoque en el Ciclo de Vida. | 12 |
| 1.4.- Beneficios del Ecodiseño. | 14 |
| 1.5.- Herramienta de Ecodiseño PILOT. | 15 |
| 1.5.1.- Aspectos del Ecodiseño a lo largo del Ciclo de Vida. | 16 |
| 1.5.2.- Aplicación del ECODESIGN PILOT. | 17 |
| 1.5.2.1.- Pensando en el Ciclo de Vida. | 17 |
| 1.5.2.2.- Selección de estrategias de Ecodiseño. | 19 |
| 1.5.2.3.- Selección de medidas de Ecodiseño. | 20 |
| 1.6.- Origen y desarrollo de los fertilizantes líquidos. | 21 |
| 1.6.1.- Consumo mundial de fertilizantes fluidos. | 23 |
| 1.6.2.- Clasificación de los fertilizantes líquidos. | 24 |
| 1.6.3.- Especificaciones de los fertilizantes líquidos. | 25 |
| 1.6.3.1.- Riqueza fertilizante. | 26 |
| 1.6.3.2.- Densidad. | 26 |
| 1.6.3.3.- pH. | 27 |
| 1.6.3.4.- Temperatura de Aparición de cristales (TAC). | 27 |
| 1.6.4.- Métodos de obtención de los fertilizantes líquidos. | 27 |
| 1.6.5.- Fuentes de Materias Primas. | 29 |
| 1.6.6.- Ventajas y desventajas en la utilización de fertilizantes líquidos. | 31 |
| 1.6.7.- La industria de los fertilizantes y el medio ambiente. | 33 |
| 1.6.7.1.- Aspectos ambientales asociados a la producción de fertilizantes. | 33 |
| 1.6.7.2.- Impactos ambientales potenciales en la industria de los fertilizantes. | 34 |
| *Conclusiones parciales* | 36 |

*Capítulo II: Dimensionamiento del equipamiento de la planta de producción.* 37

2.1.- Descripción del proceso tecnológico. 37
2.1.1.- Nivel de operación estimado. 38
2.1.2.- Materias Primas del proceso. 38
2.2.- Balances de Masa y Energía del proceso. 39
2.2.1.- Etapa de Mezclado. 40
2.2.2.- Etapa de Filtración. 43
2.2.3.- Sistemas de bombeo de la instalación. 44
2.3.- Dimensionamiento de los equipos tecnológicos. 55
2.3.1.- Etapa de mezclado. 55
2.3.2.- Etapa de filtración. 60

*Conclusiones parciales* 66

*Capítulo III:* Diseño ambiental de los fertilizantes líquidos NPK. 67

3.1.- Ciclo de vida de los fertilizantes líquidos NPK. 67
3.2.- Aplicación de la metodología ECODESIGN PILOT. 68
3.2.1.- Pensando en ciclo de vida del producto. 68
3.2.1.1.- Fase I. Extracción y fabricación de las materias primas. 68
3.2.1.2.- Fase II: Fabricación del producto. 74
3.2.1.3.- Fase III: Distribución del producto. 77
3.2.1.4.- Fase IV: Uso del producto. 78
3.2.1.5.- Fase V: Fin de Vida del producto. 78
3.3.- Análisis del producto con el ECODESING Assistant. 78
3.4.- Selección de estrategias de Ecodiseño. 80
3.5.- Selección de medidas de Ecodiseño. 80

*Conclusiones parciales* 82

*Conclusiones generales* 83

*Recomendaciones* 84

*Referencias bibliográficas* 85

# Introducción

# Introducción

Durante muchos años, gran parte de los esfuerzos de control ambiental en la industria, estuvieron centrados, principalmente, en el tratamiento de los residuos líquidos, gaseosos y sólidos. Sin embargo, las graves crisis ambientales sufridas por muchos países industrializados en las últimas décadas, han modificado drásticamente tales enfoques. Los problemas ambientales generados por las emisiones de residuos de producción, por el excesivo consumo de recursos naturales y por los accidentes en el transporte y procesamiento de materiales peligrosos, han tenido repercusiones que van más allá de las fronteras de los países individuales. Ello se ha traducido en fuertes presiones económicas y legales, a nivel internacional, para lograr niveles de desempeño ambiental cada vez más exigentes, en todos los sectores industriales. (Colectivo de autores, 2007)

Las nuevas estrategias para reducir el impacto ambiental derivado de la actividad industrial, se basan en un enfoque integral preventivo, que pone énfasis en una mayor eficiencia en la utilización de los recursos materiales y energéticos, incrementando simultáneamente la productividad y la competitividad. Ello involucra la introducción de medidas tecnológicas y de gestión, orientadas a reducir los consumos de materiales y energía, prevenir la generación de residuos en su fuente misma, reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de todo el proceso de producción. (Colectivo de autores, 2007)

Aun sin darse cuenta, las decisiones que toman las empresas en el diseño de sus productos o servicios determinan en gran medida sus impactos sobre el medio ambiente. Así, desde el punto de vista ambiental, la elección de las materias primas, el proceso de fabricación, la distribución, el uso y la valorización o eliminación final son aspectos muy importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar nuevos productos/servicios o rediseñar los existentes. (Ecodesing Manual, 2011)

En el mundo muchas empresas ya se encuentran trabajando, de forma voluntaria o por obligaciones impuestas en la normativa, en el diseño de productos menos contaminantes. Así el ecodiseño, puede ser una importante herramienta para la competitividad de las empresas, reduciendo los consumos de materias primas y recursos energéticos, optimizando los procesos de producción y transporte y, en general, dotando a sus productos de características que refuercen su imagen frente a los consumidores. (Ecodesing Manual, 2011)

Todos los productos y servicios tienen, en mayor o menor medida, un impacto ambiental, que empieza con la extracción de las materias primas, que pueden pasar por varias transformaciones antes de llegar al fabricante. Durante el proceso productivo

también se generan una serie de impactos: consumos de agua y energía, generación de residuos, emisiones a la atmósfera, vertidos de aguas residuales, etc. El producto acabado se envasa o se embala, lo que supone el consumo de recursos (papel, cartón, plástico, vidrio, etc.) y la generación de residuos cuando, a través de la distribución, llega al consumidor final. También el transporte supone un impacto ambiental, principalmente por el consumo de recursos energéticos, generalmente no renovables, y por las consiguientes emisiones a la atmósfera. Finalmente, una vez acabada su vida útil, el producto se convierte en un residuo. (IHOBE, 2000).

Actualmente el consumidor, tanto doméstico como industrial, demanda productos más seguros, “más limpios” y más saludables; impulsando a las empresas hacia una producción más eficiente y más limpia, lo que aumenta el valor de sus productos y por lo tanto la competitividad global.

Pero, para aprovechar esta oportunidad, es necesario reformular los productos empezando por la concepción de los mismos y continuando con una actuación proactiva a lo largo de todo su ciclo de vida: desde la obtención de las materias primas -que en muchos casos son recursos naturales -, hasta el fin de su vida útil –cuando se convierte en un residuo-, pasando por su fabricación, transporte y uso –asociados a otros impactos ambientales -. (Ecodesing Manual, 2011)

Al aplicar el Ecodiseño el medio ambiente se transforma en el copiloto en el desarrollo de un producto, lo cual permite definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño. En otras palabras, a través del Ecodiseño se coloca al medio ambiente a la misma altura que otros valores industriales más tradicionales: ganancias, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen, calidad, etc. El Ecodiseño implica la necesidad de equilibrar los requerimientos ecológicos con los económicos, al mismo tiempo que se lleva a cabo el desarrollo del producto. En último término, el Ecodiseño conduce hacia una producción sostenible y un consumo más racional de recursos. (Ecodesing Manual, 2011)

La industria química tributa con gran cantidad de renglones productivos al progreso de un país, se considera una rama de base ya que permite el crecimiento de los factores propios de la industria, como el empleo, el valor bruto de sus producciones y las inversiones posibles en escenarios de crecimiento razonable. La influencia de este sector sobre el desarrollo de la economía es mucho mayor, pues tener una industria química competitiva, permite un sinnúmero de industrias secundarias o de aplicaciones, que posibilitan el desarrollo de las diferentes esferas y el progreso sustentable del país.

La Química constituye una rama de gran complejidad por la diversidad de sus producciones y las tecnologías que la caracterizan. Dentro de la división de la industria química cubana y sus respectivos sectores productivos, figuran los siguientes:

*Divisiones y sectores productivos de la industria química:*

1. *Sustancias y productos químicos de uso intermedio.* Dentro de los sectores productivos que comprenden esta división, se encuentran: la producción de sustancias y productos químicos básicos, los agroquímicos y fertilizantes, y las especialidades químicas.

2. *Productos químicos de uso final*. En esta división se encuentran las producciones de: productos de limpieza y cuidado personal, pinturas y barnices, cosméticos, y productos farmacéuticos y medicinales.

La industria química cubana está presente en diferentes esferas de la economía, como: Ligera, Energía y Minas, Alimentaria, Azucarera, Farmacéutica y la rama Química, en esta última se agrupan ocho actividades fundamentales: Goma, Gases Industriales y Medicinales, Cloro, Sosa Cáustica y sus derivados, Papel, Cartón y su conversión, Vidrio, Fertilizantes, Ácido Sulfúrico y Plaguicidas; no encontrándose desarrolladas tecnologías transformativas de la industria petroquímica. Gran parte de la tecnología de las producciones químicas presentan atraso y envejecimiento, imponiéndose la renovación y modernización.

Como parte del desarrollo de la industria química en nuestro país y específicamente en la industria de los fertilizantes, en la Empresa Química de Cienfuegos (EQUIFA) se proyecta el diseño y montaje de una planta de producción de fertilizantes líquidos NPK, con vistas además al avance en la sustitución de importaciones de estos productos.

En Cuba no se producen fertilizantes líquidos NPK. Los que se utilizan son importados como, por ejemplo, el Bayfolan Forte que proviene de la firma Alemana Bayer Crop Science AG y contiene 11.5% de nitrógeno, 8% de fósforo como $P_2O_5$, 6% de potasio como $K_2O$ y una gran cantidad de micronutrientes (Pro-Agro, 2015). Este producto se importa en nuestro país a alrededor de 7.00 USD el litro (Mercado Libre, 2015).

Se conoce, además, que en nuestro país solo se han realizado pequeñas producciones de fertilizantes líquidos y ninguna institución los fabrica habitualmente a escala industrial. En tal sentido, en el Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas CIIQ, perteneciente al Grupo Empresarial de la Industria Química GEIQ, se han ejecutado proyectos de investigación e innovación tecnológica con vistas a la obtención y validación agroeconómica de fertilizantes líquidos por la importancia que reviste su empleo, desde el punto de vista técnico y económico, fundamentalmente en los sistemas de riego localizado, donde en la actualidad no se utilizan los productos más adecuados. Actualmente, este centro cuenta con varias formulaciones registradas bajo la marca FERTCOM, otorgada por la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI).

En el CIIQ existe una planta semi-industrial multipropósito para la producción de fertilizantes líquidos, donde se han elaborado las partidas experimentales para la realización de los estudios agroeconómicos de los fertilizantes de la marca FERTCOM, así como de otros fertilizantes, escalando los procesos desarrollados a escala de laboratorio. En el desarrollo de los fertilizantes líquidos no se reporta la aplicación de metodologías de producción que garanticen una minimización de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se plantea el siguiente *Problema Científico* a resolver:

*No se reportan metodologías de producción de fertilizantes líquidos NPK que garanticen minimizar los impactos ambientales en el ciclo de vida del producto.*

Para darle solución al problema anteriormente enunciado, se plantea la siguiente *Hipótesis:*

*Utilizando el método PILOT es posible lograr un diseño ambientalmente sostenible de la planta para fabricar los fertilizantes líquidos NPK en las condiciones de nuestro país.*

## *Objetivo general.*

Lograr el diseño ambientalmente sostenible de plantas para fabricar fertilizantes líquidos NPK en las condiciones de Cuba.

## *Objetivos específicos.*

1. Realizar la modelación matemática del proceso de producción de los fertilizantes líquidos NPK.

2. Realizar el Análisis de Ciclo de Vida de los fertilizantes líquidos NPK mediante la aplicación de la metodología PILOT.

3. Definir la metodología de diseño de la planta para la fabricación de los fertilizantes líquidos NPK que garantice los menores impactos ambientales.

## *Estructura del trabajo de investigación.*

En el **Capítulo I** se realiza un estudio documental sobre el tema de Ecodiseño y se resalta la importancia de aplicar este como herramienta de gestión empresarial, cuya aplicación aporta numerosos y variados beneficios. Se realiza, además, una búsqueda bibliográfica relacionada con los principios y conceptos básicos relacionados con los fertilizantes líquidos, así como de los métodos de producción.

En el **Capítulo II** se desarrolla el dimensionamiento del equipamiento tecnológico a utilizar en el proceso de obtención del producto objeto de estudio, mediante la modelación matemática del proceso, teniéndose en cuenta criterios y relaciones básicos de diseño reportados en la literatura.

En el **Capítulo III** se desarrolla el método PILOT aplicado a los fertilizantes líquidos NPK y se proponen medidas de Ecodiseño con vistas a alcanzar mejoras en el desempeño ambiental una vez en proceso de fabricación del producto objeto de estudio.

# Capítulo I

# Capítulo I: Estudios documentales.

## 1.1 Aspectos generales de la Producción más limpia.

Desde la década de 1990, la Producción más Limpia ha sido promovida a nivel mundial, como una visión novedosa para involucrar las actividades empresariales con los programas y proyectos relacionados con la conservación y protección del medio ambiente. Debido al enfoque preventivo de la Producción más limpia, diferente a los enfoques tradicionales basados en tratamientos "al final del tubo", la Producción más limpia busca implementar proyectos que generen beneficios económicos para las empresas y beneficios para el medio ambiente y los trabajadores. (Van Hoof, Monroy, & Saer, 2008)

Históricamente, las empresas han respondido a la contaminación causadas por sus actividades productivas de cuatro maneras:

- En primer lugar, **ignorando el problema.** Esto siempre conlleva a un daño máximo al medio ambiente. Este daño no se limita sólo a escala local, sino que puede ocurrir a nivel regional y en algunos casos incluso a escalas globales.
- En segundo lugar, mediante la prescripción de que **"la solución a la contaminación es la dilución"**. Es decir, mediante la dilución o dispersión de la contaminación a fin de que sus efectos sean menos nocivos aparentemente.
- En tercer lugar, al tratar la contaminación a través del enfoque llamado "end of pipe" o **"al final del tubo"**.
- En cuarto lugar (el más reciente), a través de la **prevención de la contaminación y la generación de residuos en la misma fuente**. (UNEP/UNIDO, 2004)

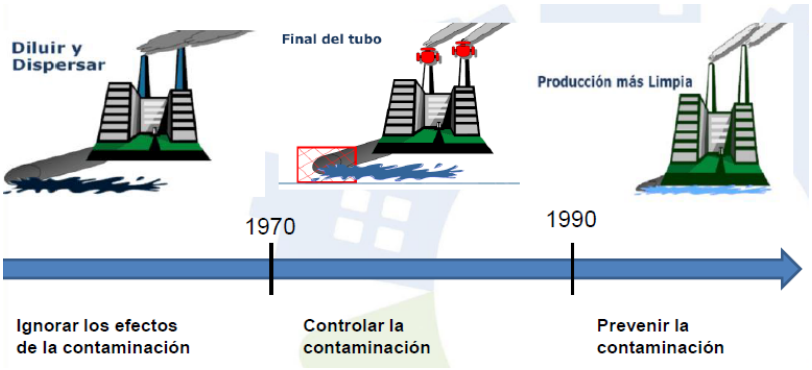



***Figura 1.1*** Estrategias ambientales.

## 1.2 Prevención de la contaminación

El concepto fue introducido en los Estados Unidos en 1990 en el "Acta de Prevención de la Contaminación" y fue la primera ley ambiental de ese país que se centró en la reducción de la contaminación en la fuente en lugar de en la remediación o captura de contaminantes. Se la define -a partir de la idea de reducción en la fuente - como toda práctica que permita reducir la cantidad de cualquier sustancia peligrosa que ingrese a la corriente de residuos o que sea liberada al ambiente de otra forma (incluyendo las emisiones accidentales) previas al reciclado, tratamiento o disposición final reduciendo, en consecuencia, los riesgos para la salud pública o el ambiente asociados con la liberación de estas sustancias.

Sus objetivos son:

- Reducir la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que ingresan a cualquier flujo de residuos o que puedan ser liberadas al medio ambiente (incluyendo las emisiones accidentales) antes del reciclado, tratamiento o disposición.

- Reducir los riesgos para la salud pública y ambiental asociados con la liberación de estas sustancias.

Para lograr estos objetivos recurre a modificaciones en equipamiento, tecnologías y procedimientos durante el proceso, reformulación o rediseño de productos, sustitución de materias primas y mejoras en mantenimiento, entrenamiento y controles de inventario.

La minimización en la generación de contaminantes introduciendo mejoras en la gestión (que fue una de las primeras estrategias preventivas puestas en práctica en el mundo) produce los cambios más rápidos y fáciles de implementar y es la aproximación que tiene mejor relación costo/beneficio. De acuerdo con el Banco Mundial se aceptan cómo valores guía reducciones del 20-30% en la generación de contaminantes sin realizar ninguna inversión de capital y una reducción de un 20% adicional con inversiones que se recuperan en períodos de meses.

El proceso de reducción de la contaminación se realiza en 4 niveles de acción, tal como se muestra en la ***figura 1.2*** dentro de los cuales se encuentran los niveles preventivos, la reducción y el reciclaje o reutilización, y los de control que son el tratamiento y disposición final

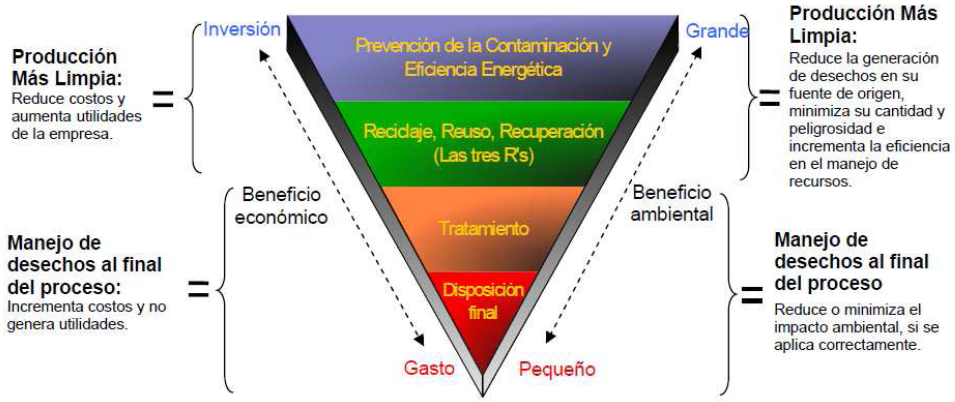



***Figura 1.2*** Esquema piramidal de los niveles de reducción de contaminación. Tomado de (CPTS), 2005)

### 1.3 Conceptos básicos sobre Ecodiseño.

#### 1.3.1 ¿Qué es el Ecodiseño?

El Ecodiseño es planteado como la *"integración de aspectos ambientales en el diseño y desarrollo del producto con el objetivo de reducir los impactos ambientales adversos a lo largo del ciclo de vida de un producto"* (entendido como cualquier bien o servicio).

El propósito principal del Ecodiseño es el desarrollo de los productos que llevan a la sostenibilidad, reduciendo su carga ambiental a través de TODO su Ciclo de Vida, considerando también otros requisitos convencionales de los productos y de los clientes como la funcionalidad, calidad, seguridad, coste, manufacturabilidad, ergonomía y estética (véase la ***figura 1.3)***.

Por tanto, Ecodiseño significa que el medio ambiente es tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones durante el proceso de desarrollo de productos, como un factor adicional a los que tradicionalmente se han tenido en cuenta.

***Figura 1.3.*** Criterios para el desarrollo del producto, incluyendo el Medio Ambiente. (IHOBE, 2000)

Se puede afirmar que el concepto de Ecodiseño se originó en el año 1992 en los EE.UU., como resultado de los esfuerzos de algunas importantes firmas electrónicas que incorporaron la concienciación medioambiental al desarrollo de sus productos. *"Diseño para el medio ambiente"* es la denominación clásica que aparece en la bibliografía estadounidense. En Europa se suele optar por *"Ecodiseño"*, o como término intermedio *"diseño respetuoso (o consciente) con el medio ambiente"*. El Ecodiseño nace de la convergencia de dos fuerzas integradoras, "la integración empresarial" y "el desarrollo sostenible", las cuales están transformando la naturaleza de la fabricación en todo el mundo (Fiksel, 2012).

Todos los productos pueden provocar algún impacto en el medio ambiente, el cual puede producirse en cualquiera o en todas las fases del ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta los procesos de fabricación, distribución, uso y fin de vida. Los impactos en el ciclo de vida pueden ir de ligeros a significativos; pueden ser a corto o a largo plazo; y pueden producirse a nivel local, regional o mundial. La integración de las consideraciones ambientales desde las fases tempranas del proceso de desarrollo del producto constituye la forma más eficaz de introducir los cambios que influyen positivamente en todas las fases del ciclo de vida**.** Se estima que el 80% de los impactos ambientales de los productos se determinan durante la fase de diseño de los mismos de modo que el Ecodiseño constituye un planteamiento muy prometedor para el consumo y la producción sostenibles, aplicado en un gran número de productos de múltiples sectores económicos. (Rocha, 2011)

### 1.3.2 ¿Cuáles son los Aspectos Ambientales de un producto?

Dentro de un proyecto de Ecodiseño el primer paso es conocer cuáles son los aspectos ambientales de un producto y evaluar su importancia, de manera que podamos identificar prioridades para realizar mejoras.

Los aspectos ambientales, según la norma ISO 14001, *"son todos aquellos elementos de actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente".*

Podríamos clasificar los aspectos ambientales de un producto en tres grupos: los relacionados con el consumo de materias primas y auxiliares, los relacionados con el consumo de energía y los relacionados con emisiones tóxicas o contaminantes (en el sentido más amplio de la palabra, es decir, incluyendo emisiones, al aire, residuos, vertidos de aguas residuales, ruido, contaminación del suelo, etc.)

Por otro lado, podríamos clasificar los aspectos ambientales en tres grupos: aquellos aspectos que pueden ser gestionados y controlados directamente por la empresa (por

ejemplo: los derivados de su proceso productivo), aquellos sobre los que la empresa no tiene un control directo pero puede influir en su gestión (por ejemplo: características de las materias primas suministradas por el proveedor) y aquellos sobre los que no tiene ninguna capacidad de gestión (por ejemplo: requisitos fijados por el cliente, origen de la energía utilizada).

### 1.3.3 ¿Cuáles son los Impactos Ambientales de un producto?

*"Un impacto ambiental es cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización".* (NC ISO:14001, 2015)

Es importante también conocer los impactos ambientales asociados a los aspectos identificados,

Los impactos ambientales más importantes son los siguientes:

- Contaminación del agua
- Ocupación y contaminación del suelo
- Disminución de los recursos naturales
- Efecto invernadero
- Agotamiento de la capa de ozono
- Lluvia ácida
- Smog fotoquímico

En la ***tabla 1.1*** se relacionan los principales tipos de aspectos ambientales con los impactos que pueden derivarse de ellos:

***Tabla 1.1*** Principales tipos de aspectos ambientales e impactos asociados. Fuente: (CEPYME ARAGÓN, 2010)

| Aspectos Ambientales | Impactos Asociados |
|---|---|
| Consumo de materiales | ➢ Disminución de recursos naturales |
| Consumo de sustancias peligrosas | ➢ Disminución de recursos naturales.<br>➢ Contaminación del suelo por gestión inadecuada de residuos peligrosos.<br>➢ Contaminación del aire o del agua. |
| Consumo de agua | ➢ Disminución de recursos naturales |
| Consumo de energía eléctrica | ➢ Consumo de recursos naturales.<br>➢ Efecto invernadero (por su generación). |
| Consumo de combustibles | ➢ Consumo de recursos naturales<br>➢ Efecto invernadero<br>➢ Smog fotoquímico<br>➢ Contaminación del suelo (por su almacenamiento). |
| Generación de emisiones atmosféricas | ➢ Efecto invernadero<br>➢ Reducción de la capa de ozono<br>➢ Lluvia ácida<br>➢ Smog fotoquímico. |
| Generación de residuos peligrosos | ➢ Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas<br>➢ Contaminación de la atmósfera |
| Generación de residuos no peligrosos | ➢ Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas |
| Generación de aguas residuales | ➢ Contaminación del agua |
| Generación de ruidos y vibraciones | ➢ Afección de la salud humana<br>➢ Afección a la fauna |

### 1.3.4 ¿En qué consiste el Ciclo de Vida de un producto?

Según la (NC ISO 14044, 2009), *el ciclo de vida del producto abarca todas las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.*

El Ciclo de Vida de un producto comprende las siguientes etapas:

1. *Obtención de las materias primas.* Se considera la extracción de las materias primas, el acondicionamiento de estas previo a su transformación y su consumo energético asociado.

2. *Producción.* Se tienen en cuenta los procesos de transformación a los que son sometidos los materiales y distintos componentes hasta la obtención del producto acabado.

3. *Distribución.* Se incluyen todas las acciones relacionadas con el proceso de embalaje, distribución y comercialización, tanto del producto acabado como de las materias iniciales y componentes que darán lugar al producto final.

4. *Uso.* Comprende la vida útil del producto y su interacción con el resto de los recursos auxiliares (consumibles, energía, mantenimiento…) que hacen posible que el producto en cuestión pueda realizar su función, así como su mantenimiento.

5. *Fin de vida.* Son los diferentes escenarios de eliminación antes ante los que se encuentra un producto, una vez se ha agotado su vida útil para las funciones a las que estaba destinado. Los escenarios son los siguientes:

- ❑ Reutilización
- ❑ Valorización
- ❑ Depósito en vertedero

### 1.3.5 Ecodiseño con enfoque en el Ciclo de Vida.

En el núcleo del Ecodiseño se encuentra el concepto del ciclo de vida del producto, (véase la ***figura 1.4).*** En cada una de estas fases existen aspectos ambientales (entradas y salidas) y sus impactos asociados (como el cambio climático, agotamiento de los recursos, toxicidad, contaminación atmosférica, del agua y del suelo, etc.). El término “pensando en el ciclo de vida” (Life Cycle Thinking) se refiere al planteamiento integral que debe de aplicarse con vistas a diseñar productos más ecológicamente compatibles, lo cual requiere a menudo la implicación de otros elementos de la cadena de valor, además de la del productor, es decir, los proveedores, distribuidores, gestores de residuos, etc. (Ecodesing Manual, 2011).

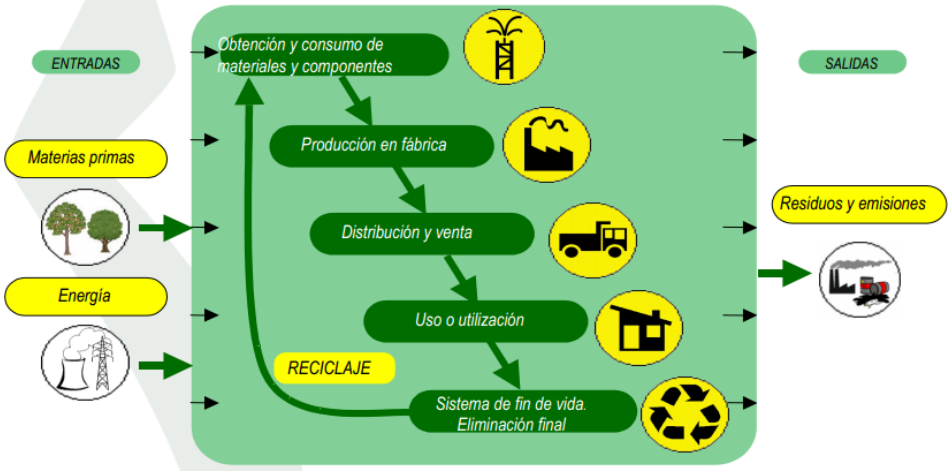



***Figura 1.4*** Ciclo de vida de un producto. (IHOBE, 2000)

Como puede observarse en la figura mostrada, la producción en fábrica es sólo una de las etapas y este nuevo enfoque tiene importancia porque en muchos casos, los principales impactos ambientales no se producen en la propia fábrica, y el productor tiene capacidad para influir también sobre el resto de las etapas, mejorando con ello las características ambientales de su producto.

La importancia del planteamiento de todo el Ciclo de Vida del producto radica en que permite identificar de un modo claro todas las entradas y salidas del proceso que suponen un impacto ambiental (no sólo las producidas en la propia fábrica o en una etapa concreta del ciclo). El siguiente paso será reducir al mínimo la cantidad y la toxicidad de las entradas (materiales y energía) y las salidas (emisiones y residuos) en cada fase de dicho Ciclo de Vida del producto, o lo que es mejor, buscar el balance adecuado para minimizar el impacto global del producto en todo su Ciclo de Vida. (IHOBE, 2000).

La consideración de todo el ciclo de vida del producto pretende asegurar que:

- ❑ No se excluya arbitrariamente ningún material;
- ❑ Todas las características ambientales de un producto se tomen en cuenta;
- ❑ El punto de mira no esté únicamente en el producto en sí, sino también en el sistema dentro del cual el producto va a funcionar;
- ❑ Los impactos ambientales no se trasladen desde una fase del ciclo de vida a otra o desde un medio (aire, agua, suelo) a otros.

Para este propósito, hace falta aplicar métodos y herramientas específicos basados en el conocimiento científico. La evaluación del ciclo de vida ayudará a identificar los impactos más significativos dentro del ciclo de vida del producto y, por tanto, a identificar las estrategias más apropiadas para la mejora del producto. Ayuda a definir la orientación de

las decisiones de diseño, fomentando las medidas en los puntos del ciclo de vida del producto donde se vayan a generar, probablemente, más beneficios para el medio ambiente y también para la empresa desde el punto de vista del negocio. (Ecodesing Manual, 2011)

### 1.4 Beneficios del Ecodiseño.

El factor más importante para que el ecodiseño tenga éxito es la motivación y, para ello, es fundamental que se asignen los recursos necesarios para que el equipo de Ecodiseño disponga del tiempo necesario para el análisis y la recopilación de la información antes de comenzar a buscar nuevas ideas para el producto. Por ello, el compromiso de la gerencia es también crucial para que el proyecto tenga éxito. Si el ecodiseño va acompañado de motivación al personal y se le da prioridad representa un enfoque eficaz y beneficioso para cualquier empresa.

El Ecodiseño puede ser útil tanto en empresas bien organizadas como en aquellas más informales y tradicionales. Aunque, por supuesto, el resultado puede ser distinto en cada caso. De hecho, para el segundo tipo de empresas, las mejoras en la gestión y en la documentación, pueden ser iguales a las mejoras obtenidas en los productos.

Las ventajas que aporta a la empresa la implantación del Ecodiseño, como herramienta de gestión empresarial, son numerosas y variadas (Ecodesing Manual, 2011):

- Al reducir el consumo de recursos energéticos se reduce el impacto ambiental y los costes de producción.
- Al minimizar la cantidad de material utilizado por producto, se reducen los costes de materia prima y se reduce el consumo de recursos; también es posible utilizar materiales renovables, con menor contenido energético o más fácil de reciclar.
- Al optimizar las técnicas de producción, es posible mejorar la capacidad innovadora de la empresa, reducir los pasos de producción, mejorar el tiempo de entrega y minimizar los impactos ambientales de los procesos.
- Al optimizar el uso del espacio en los medios de transporte, se reduce el gasto por transporte, se consumen menos combustibles fósiles y se genera una menor cantidad de gases de combustión perjudiciales a la atmósfera.
- Al identificar opciones para minimizar la cantidad y el tipo de material de embalaje, se facilita la introducción de innovaciones que resultan en una mejor calidad de los productos o de su presentación.

- Al ecodiseñar un producto es posible hacer que el mismo sea más fácil de instalar y operar, más sencillo y barato su mantenimiento y así aumentar su vida útil.

- Al cumplir los requisitos ambientales aplicables, se mejora la gestión ambiental de una organización, se abren las oportunidades de hacer negocios "verdes" y mejorar la imagen ambiental de la organización con los clientes y la comunidad.

- Al introducir nuevos criterios de diseño, como son en este caso los ambientales, la empresa puede crear o rediseñar sus productos dotándoles de nuevas características, que son evaluadas de manera positiva por parte de los consumidores y que refuerzan la imagen de la marca y el producto debido a la sensibilización por temas ambientales y la actitud innovadora.

### 1.5 Herramienta de Ecodiseño *PILOT*.

El proceso de desarrollo de productos puede variar enormemente entre una empresa y otra e incluso entre distintos productos dentro de una misma empresa. En las grandes organizaciones el proceso de diseño suele estar formalizado y documentado con hitos que facilitan su gestión. Por el contrario, las empresas pequeñas pueden llevar a cabo dicho proceso de una manera mucho más intuitiva e informal.

El *ECODESIGN PILOT* (**P**roduct **I**nvestigation, **L**earning and **O**ptimization **T**ool, por sus siglas en inglés) es una herramienta utilizada en el desarrollo de un producto, que apoya la decisión de hacer un proceso de diseño de un producto y contribuye a encontrar medidas de Ecodiseño apropiadas a las mejoras de las propiedades medioambientales del mismo. Por consiguiente, el PILOT propone un procedimiento de valoración para la evaluación del diseño del producto.

Además, es una herramienta de aprendizaje concebida para reforzar la comprensión del complejo asunto de Ecodiseño. El objetivo es estimular el interés en la innovación del producto relacionado con el medio ambiente, proporcionando consejos claros en la aplicación de Ecodiseño para los productos específicos. (Wimmer & Züst, 2001)

El PILOT es un instrumento interactivo que ofrece tres puntos de acceso de Ecodiseño: *Vida del producto*, *Desarrollo* y *Mejora* (ver ***figura 1.5***).

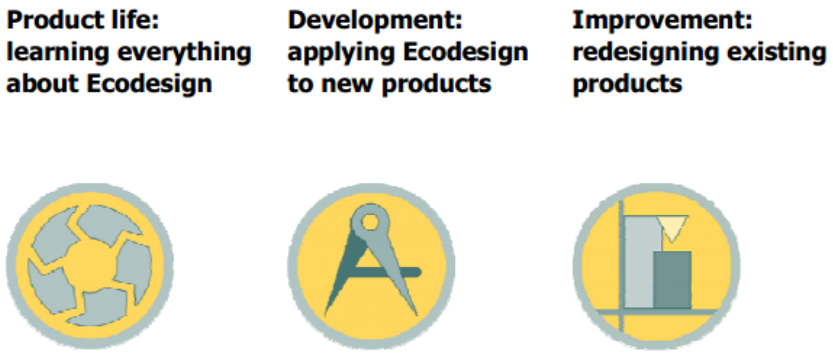



***Figura 1.5*** Puntos de acceso *ECODESIGN PILOT* (Wimmer & Züst, 2001). Recuperado de http://www.ecodesign.at

### 1.5.1 Aspectos del Ecodiseño a lo largo del Ciclo de Vida.

El primer acercamiento consiste en identificar todos los aspectos relacionados directa o indirectamente con el diseño del producto. Una lista completa de estos aspectos se muestra en la ***tabla 1.2.*** En una fase posterior, ayudará a distribuir varias medidas de Ecodiseño a lo largo del ciclo de vida del producto.

***Tabla 1.2*** Aspectos de Ecodiseño a lo largo del Ciclo de Vida del producto. (Wimmer & Züst, 2003)

| Ciclo de Vida | Aspectos de ecodiseño |
|---|---|
| Materias primas | Tipo de material<br>Cantidad de material<br>Origen del material |
| Fabricación | Tecnología de producción<br>Demanda de energía para la producción.<br>Procesos y materiales auxiliares para la producción.<br>Residuos y emisiones de la producción.<br>Partes y componentes externos.<br>Ensamblaje |
| Distribución | Embalaje del producto.<br>Transportación del producto |
| Uso | Funcionalidad del producto.<br>Vida de servicio.<br>La conducta del usuario en la fase del uso.<br>Ergonomía del producto.<br>Seguridad ambiental en el uso del producto. |

| | |
|---|---|
| | Demanda de energía durante la operación.<br>Materiales auxiliares y del proceso durante la operación.<br>Condiciones generales de uso.<br>Residuos/emisiones generados durante el uso.<br>Mantenimiento del producto.<br>Reparación del producto. |
| Fin de vida | Retorno del producto.<br>Desmontaje.<br>Restauración del producto.<br>Reuso de partes.<br>Reciclaje de materiales.<br>Disposición de partes inutilizables del producto. |

### 1.5.2 Aplicación del *ECODESIGN PILOT*.

Para el proceso de diseño es importante la identificación de aquellas medidas que son más relevantes para una mejora efectiva del producto. El primer paso consiste en la identificación de la fase del ciclo de vida del producto que causa el mayor impacto ambiental ("tipo básico"), identificándose posteriormente las estrategias de Ecodiseño y, como un próximo paso, se seleccionan las medidas de Ecodiseño apropiadas y adaptadas al diseño del producto. (Wimmer & Züst, 2001)

En primer lugar, para la identificación de los puntos débiles de un producto y evaluar posteriormente las estrategias de mejora potenciales, deben llevarse a cabo análisis específicos. Es bastante simple y común para una empresa, determinar el consumo de energía y materiales en el sitio de producción. Sin embargo, el impacto medioambiental puede ser mucho más significativo en el lugar de uso del producto que en el lugar de su producción (Wimmer & Züst, 2001). Las dificultades de decisión para proyectistas y fabricantes derivan del hecho que ellos tienen que imaginar las fases individuales del ciclo de vida de antemano y prever su influencia en los costos y el impacto potencial en el medio ambiente. La aplicación del ECODESIGN PILOT a un producto específico, consiste en un procedimiento de tres pasos, los cuales se detallan a continuación:

#### 1.5.2.1 Pensando en el Ciclo de Vida.

Para la identificación de la (las) fase (s) del ciclo de vida del producto donde los impactos ambientales se consideran significativos, es imprescindible, primeramente, el reconocimiento y modelación del Ciclo de Vida del producto.

El objetivo del proceso de *Pensando en el Ciclo de Vida* es la identificación de la (las) fase (s) donde ocurren los mayores impactos ambientales y el resultado de esta evaluación ambiental es la descripción específica del producto (***figura 1.6***).

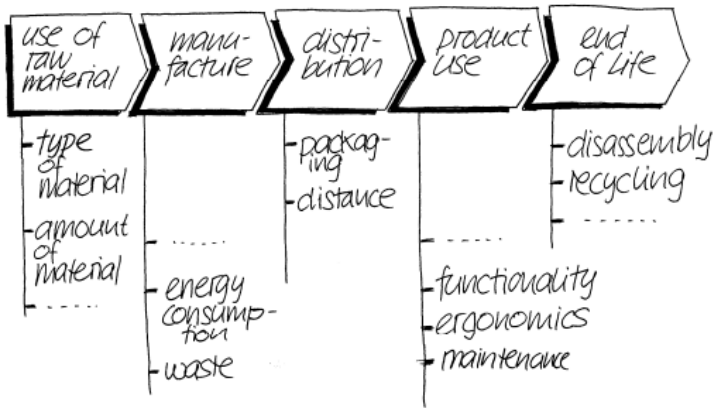



***Figura 1.6*** Fases del ciclo de vida de un producto y aspectos del Ecodiseño (Wimmer & Züst, 2001). Recuperado de http://www.ecodesign.at

El método PILOT caracteriza los productos por medio de "tipos básicos", ellos son:

- *Tipo A: Materia prima intensivo.* El tipo A causa la mayor parte de su carga ambiental en la primera fase de su ciclo de vida. Los procesos de extracción de materias primas causan la mayor parte del impacto ambiental. La cantidad de energía y materiales para producir las materias primas usadas en el producto determinan el desempeño ambiental de todo el producto. Productos típicos podrían ser: computadoras, dispositivos electrónicos con bajo consumo de energía, etc.

- *Tipo B: Fabricación intensivo.* La transformación de las materias primas en la producción causa la carga ambiental principal. El consumo de energía y materiales durante la producción determinan el desempeño ambiental del producto completo. Productos típicos pudieran ser: mueles, mesa, etc.

- *Tipo C: Transportación intensivo.* La carga ambiental total es determinada por la distribución. El transporte y el empaquetado son dominantes para el impacto ambiental total del producto. Productos típicos podrían ser: empaques, botellas, etc.

- *Tipo D: Uso intensivo.* El consumo de energía y/o materiales o la cantidad de desechos generados durante el uso dominan el desempeño ambiental del producto. Productos típicos podrían ser: lavadoras de platos, lavadora de ropa, etc.

- *Tipo E: Disposición intensivo.* La disposición causa el impacto ambiental principal. Sustancias dañinas que se disponen dominan el desempeño ambiental del producto. Productos típicos podrían ser: baterías, dispositivos que contienen sustancias tóxicas, etc.

Este proceso puede realizarse usando los siguientes métodos:

- Análisis de Ciclo de Vida;
- Análisis de Ciclo de Vida a través del formulario de indicadores;
- Evaluación del consumo de energía y materiales durante todo el ciclo de vida del producto;
- Ecodesing PILOT Assistant (recuperado de: http://www.ecodesign.at/assist.).

El ECODESIGN PILOT Assistant permite la identificación y clasificación por tipo básico la fase del ciclo de vida del producto con altos impactos ambientales. Para esto, el Assistant requiere de datos específicos para cada una de las fases (materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida), ingresando estos datos de manera separada. Estos datos consisten en valores numéricos, tales como: consumo de energía, distancia de transportación del producto, tratamiento de residuos, tipo de empaque, etc. (recuperado de: http://www.ecodesign.at/assist.).

### 1.5.2.2 Selección de estrategias de Ecodiseño.

El PILOT define a 19 estrategias diferentes que ayudan a mejorar los diferentes tipos del producto, dependiendo de la fase de ciclo de vida con mayor impacto medioambiental.

Una vez identificada y clasificada la fase del ciclo de vida con mayor impacto ambiental, se selecciona las estrategias de Ecodiseño. A continuación, se muestran las estrategias de mejoras definidas por el método PILOT:

1. Seleccionar materiales adecuados;
2. Reducir la entrada de materiales;
3. Reducir el consumo de energía en el proceso de producción;
4. Optimizar el tipo y cantidad de materiales en proceso;
5. Evitar desecho en el proceso de producción;
6. Obtención ecológica de componentes externos;
7. Reducir el empaquetado;
8. Reducir la transportación;
9. Optimizar el empleo del producto;
10. Optimizar la funcionalidad del producto;
11. Incrementar la durabilidad del producto;
12. Asegurar un rendimiento medioambiental seguro;
13. Reducir el consumo en la etapa de uso;
14. Evitar los desechos en la etapa de uso;
15. Mejorar el mantenimiento;
16. Mejorar la capacidad de reparación;

17. Mejorar el desmontaje;
18. Reutilizar partes del producto;
19. Reciclar materiales.

### 1.5.2.3 Selección de medidas de Ecodiseño.

El PILOT contiene una lista de comprobación para cada una de las estrategias seleccionadas. Cada lista de contiene un grupo de estrategias relacionadas con las pautas de Ecodiseño, permitiendo verificar si el producto o parte del mismo cumple con los requisitos de Ecodiseño.

Las listas de comprobación incluyen una pregunta de valoración para cada solución de Ecodiseño que apunta a una mejora potencial y por consiguiente debe contestarse, aunque no todas las preguntas de valoración presentan igual importancia para un producto dado.

Las soluciones de Ecodiseño más prometedoras se caracterizan por un valor de prioridad P alto. Las actividades deben enfocarse en estas soluciones, ya que estas poseen una mejora potencial para el producto en cuestión.

La figura que a continuación se muestra, resume los pasos anteriormente explicados.

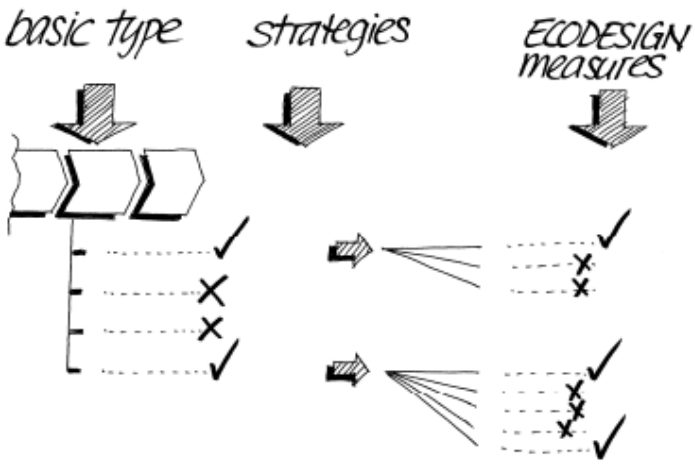



***Figura 1.7*** Pasos para la mejora de un producto mediante el PILOT (Wimmer & Züst, 2001) Recuperado de http://www.ecodesign.at

### 1.6 Origen y desarrollo de los fertilizantes líquidos.

La utilización de los fertilizantes fluidos se remonta a tiempos ancestrales. Así, en Grecia se transportaban residuos orgánicos urbanos, que se destinaban a huertas y naranjos, constituyendo una forma temprana de uso de fertilizantes fluidos. En China se utilizaban prácticas similares. Posteriormente el gran desarrollo de la industria y adopción de fuentes fluidas tuvo lugar principalmente en EE.UU y en menor medida, en algunos países europeos, asiáticos y Australia.

Durante finales del siglo XVIII los agricultores utilizaban reservorios para recolectar estiércol líquido y residuos orgánicos provenientes de corrales, que se aplicaban en los campos. Recién a comienzos del 1800 comenzaron a realizarse experimentos con soluciones utilizando sales solubles y en 1923 se instala en California la primera planta de fertilizantes fluidos comercialmente exitosa, basada en la disolución de sales solubles en agua. Posteriormente, tuvo lugar cierta adopción del uso de formulaciones líquidas basadas en la disolución de sales solubles en agua, aplicados con diferentes sistemas como hidroponía o fertirriego (***tabla 1.3***).

***Tabla 1.3*** Primeros estadios del uso de los fertilizantes fluidos durante el siglo XIX. (Melgar & Torres Duggan, 2014)

| *Año* | *Estadio en desarrollo de Fertilizantes fluidos* | *Hitos destacados* |
|---|---|---|
| *1930* | Hidroponía | Uso de soluciones diluidas, económicamente inviables, aunque se avanzó en el conocimiento de soluciones líquidas. |
| *1940* | Fertirriego | Aplicación directa de ácido fosfórico a través de sistemas de riego en el oeste de EE.UU. |
| *1953* | Primeras mezclas de fertilizantes | Se realizan las primeras mezclas de ácido fosfórico y amoníaco en solución. Esta solución con alta temperatura se la mezclaba con fuentes de potasio (e.g. 4-10-10) y luego comenzó a utilizarse urea como materia prima obteniendo formulaciones como 9-9-9 y 12-6-6. En este estadio, el desarrollo de los equipos de aplicación de fertilizantes fluidos era muy pobre |

Los hitos más importantes que se destacan en la primera mitad del siglo XX son la adopción generalizada de soluciones nitrogenadas, en particular las formuladas a partir de urea y nitrato de amonio (UAN), como así también el uso de soluciones presurizadas de amoníaco. Entre los fosfatos fluidos, el desarrollo de un reactor tubular simple desarrollado por técnicos del TVA (Tennessee Valley Authority) en 1972 permitió la

amoniación del ácido superfosfórico y la consiguiente elaboración de polifosfatos de amonio (APP) a bajo costo, facilitando su rápida expansión. (Melgar & Torres Duggan, 2014)

Una vez superada la etapa inicial del desarrollo de los fertilizantes fluidos, comenzó un significativo crecimiento en la adopción de este tipo de fuentes, debido a diferentes causas: (1) desarrollo del ácido superfosfórico y de soluciones de APP, (2) producción de suspensiones y (3) desarrollo de equipos de aplicación. La producción del ácido superfosfórico, permitió concentrar el ácido fosfórico hasta alcanzar contenidos de $P_2O_5$ de 68-70% el cual contiene alrededor de 20-35% de polifosfatos. Esta innovación fue el pilar central para el posterior desarrollo de los APP en sus diferentes grados equivalentes (11-34-0, 10-34-0, 11-37-0). Estas soluciones representaron un gran progreso, debido a las interesantes propiedades de este tipo de fuentes, como su capacidad de secuestro de cationes, estabilidad en almacenamiento, reducción de problemas de taponamiento de emisores en sistemas de riego, entre otros. (Melgar & Torres Duggan, 2014)

Los avances mencionados previamente determinaron un rápido crecimiento de los fertilizantes fluidos, que tuvo su mayor tasa de crecimiento durante el período 1965-1985. La participación del mercado de fertilizantes fluidos aumentó marcadamente hasta comienzo de los años 80. Posteriormente se estabilizó en una participación de mercado del 40% sobre el total de consumo de fertilizantes, siendo actualmente un mercado maduro (Fertilizer Manual, 1998).

La gran expansión en la adopción de fertilizantes fluidos que tuvo lugar a partir de la década del 60 en EE.UU y en menor medida en algunos países europeos (Francia, Alemania, Reino Unido, España), se puede vincular con los siguientes atributos y ventajas de éste tipo de fertilizantes (Melgar & Torres Duggan, 2014):

» Posibilidad de utilización de materias primas de bajo costo en las plantas de producción.

» Alta eficiencia de uso de nutrientes y menor riesgo ambiental debido a la aplicación como arrancador o en fertirriego.

» Excelentes vehículos para la aplicación de micronutrientes, ya que permiten una exacta y uniforme distribución de los mismos en el suelo.

» Posibilidad de aplicación conjunta con agroquímicos, en especial herbicidas, reduciendo la cantidad de aplicaciones.

» Facilidad, rapidez y mayor precisión de aplicación en relación a fuentes sólidas.

### 1.6.1 Consumo mundial de fertilizantes fluidos.

Como se mencionó antes, el gran desarrollo y adopción del uso de fertilizantes fluidos tuvo lugar en EE.UU, tanto con fuentes presurizadas (amoniaco anhidro o agua amoniacal) como aquellas que se transportan, distribuyen y aplican a presión atmosférica, como las soluciones nitrogenadas y suspensiones.

El UAN es el producto más importante en el consumo de fertilizantes fluidos, y en particular dentro de los nitrogenados, siendo mucho menor el volumen de fertilizantes fluidos fosfatados y potásicos. En la ***tabla 1.4*** se muestra el consumo de fertilizantes en EE.UU en el período 2009-2010 según tipo de fertilizante y su proporción relativa. Es importante resaltar que EE.UU, es el segundo país en términos de demanda de fertilizantes y el principal en fuentes fluidas. Puede verse que aun sin considerar las suspensiones o soluciones que incluyen potasio (ambas producidas a partir de fuentes sólidas), los fertilizantes fluidos simples comprenden algo más del 40% del total de los fertilizantes demandados.

***Tabla 1.4*** Total de fertilizantes simples consumidos en EE.UU discriminados por tipo de nutriente principal. (Commercial Fertilizers, AFFCO, 2009 y 2010)

| | ***Media 2009-2010*** | ***% s/total*** | ***% s/clase*** |
|---|---|---|---|
| | T x 1000 | | |
| ***Total fertilizantes Nitrogenados*** | **23.721** | **63%** | |
| *Urea* | 4.855 | | 20% |
| *Otros sólidos nitrogenados* | 4.893 | | 21% |
| *Soluciones nitrogenadas* | 9.960 | | 42% |
| *Amoniaco (gas + solución amoniacal)* | 4.014 | | 17% |
| | | | **100%** |
| ***Total Fertilizantes Fosfatados*** | 5.797 | **15%** | |
| *DAP+MAP* | 3.979 | | 69% |
| *Otros sólidos fosfatados* | 549 | | 9% |
| *Ácido fosfórico* | 114 | | 2% |
| *Polifosfatos amoniacados líquidos* | 1.155 | | 20% |
| ***Total Fertilizantes Potásicos*** | 4.465 | 12% | **100%** |
| *Secundarios y Micronutrientes* | 3.580 | 10% | |
| *Total Fertilizantes Minerales Simples* | 37.563 | 100% | |

### 1.6.2 Clasificación de los fertilizantes líquidos.

Los fertilizantes fluidos se clasifican según su estado de agregación en fuentes gaseosas (N anhidro) y fuentes líquidas. También se los suele clasificar en soluciones (ya sean gaseosas o líquidas) y suspensiones.

Existe una gran diversidad de tipos de fertilizantes fluidos utilizados en los agro-sistemas, dependiendo del país; fase del desarrollo del mercado de fertilizantes; condiciones agro-ecológicas; características de los sistemas de producción (escala de las explotaciones, tipo de cultivos, tecnologías de procesos), entre otros factores. En la ***tabla 1.5*** se presentan los principales tipos de fertilizantes fluidos utilizados en la agricultura.

***Tabla 1.5*** Principales fertilizantes fluidos utilizados en la agricultura. (Melgar & Torres Duggan, 2014)

| *Tipo de fertilizante* | *Ejemplo* |
|---|---|
| *Nitrogenados* | *N anhidro; UAN; soluciones de urea; soluciones de nitrato de amonio; soluciones de agua amoniacal* |
| *Fosfatados* | *Polifosfatos de amonio; suspensiones; soluciones ácidas* |
| *Potásicos* | *Tiosulfato de potasio; soluciones de cloruro de potasio, suspensiones NPK con cloruro de potasio* |
| *Azufrado* | *Soluciones de tiosulfato de amonio o sulfato de amonio; suspensiones de azufre elemental* |
| *Micronutrientes* | *Quelatos de Zn y Cu; sulfatos de Zn y Cu; Solubor* |
| *Mezclas* | *Suspensiones NKP; soluciones NPK o NS; soluciones ácidas NP o NPS* |

A diferencia de EE.UU, donde el N anhidro y/o las suspensiones representan fuentes fluidas importantes en términos de volumen comercializado, en América del Sur las principales fuentes fluidas utilizadas son soluciones líquidas nitrogenadas, nitro-azufradas o multielementales y en menor medida soluciones fosfatadas líquidas. Dentro de las soluciones se pueden diferenciar dos grupos: 1) nitrógeno anhidro (82% de N), que se almacena y transporta en forma presurizada en estado líquido y se convierte a gas en el suelo durante su aplicación (inyección en profundidad) y 2) soluciones mono o multinutrientes. De estas últimas, las nitrogenadas no presurizadas, son las más difundidas a nivel global (Melgar & Torres Duggan, 2014).

Las soluciones son sistemas materiales homogéneos donde los ingredientes utilizados (solutos), que son fertilizantes utilizados como materias primas, se encuentran en solución acuosa. Dentro de este grupo se encuentran las soluciones nitrogenadas muy difundidas tanto en EE.UU como en la Argentina (e.g. UAN, soluciones nitro-azufradas). También existen soluciones fosfatadas como los polifosfatos de amonio y las soluciones NP a partir de ácido fosfórico neutralizadas con amoniaco. Todas estas soluciones, se almacenan, transportan y aplican a presión atmosférica. Por otro lado, el hecho que no se requiere su inyección en profundidad, les otorga un atributo de gran valor para ser utilizado en sistemas de siembra directa, donde se aplican en superficie. (Melgar & Torres Duggan, 2014)

### 1.6.3 Especificaciones de los fertilizantes líquidos.

Las especificaciones son los requisitos con los que un fertilizante se muestra conforme y sobre los que están de acuerdo tanto el comprador como el vendedor. Las especificaciones de un fertilizante implican diferentes requisitos dependiendo del uso o intención de las mismas, si bien, en el caso de fertilizantes líquidos, dejando de lado las que se refieren a la forma de presentación del producto y condiciones de venta, consisten básicamente en la expresión de: *grado fertilizante* (riquezas garantizadas del producto), *la densidad*, *el pH* del mismo y *la TAC* (Temperatura de Aparición de Cristales). En ocasiones, no obstante, desde el punto de vista agronómico, se precisa información adicional para facilitar el manejo y dosificación del producto. Esta información puede incluir datos diversos, según necesidades. (Ficha de divulgación técnica, 2003).

En caso de que el producto se aplique mediante fertirrigación, resulta especialmente importante que, como complemento a las especificaciones del fertilizante, se aporten datos relativos a las características de su interacción con el agua de riego. En este sentido, es preciso reseñar, no obstante, que el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva resultante de la dilución, a una dosis dada, de cualquier fertilizante en un agua de riego particular, depende directamente de las características concretas de ésta. Por este motivo, cuando este tipo de datos se refieren a un fertilizante fabricado “a medida”, se suelen obtener experimentalmente mediante interacción con el agua de riego sobre la que se va a diluir, siendo éste un servicio complementario que algunos fabricantes somos capaces de suministrar al agricultor. (Ficha de divulgación técnica, 2003).

### 1.6.3.1 Riqueza fertilizante.

La riqueza garantizada, se indica en porcentaje en peso (%p/p) de cada elemento expresado de la forma en la que se señala en la ***figura 1.8***. De esta manera es como se etiquetan y expresan, por tanto, los contenidos de cada elemento en las especificaciones de cualquier fertilizante líquido. En cualquier caso, no cabe duda que, hoy día, es discutible la conveniencia agronómica de que las expresiones de algunos elementos se deban realizar todavía en forma de óxidos, cuyo origen se remonta a las primeras prácticas en que los químicos determinaron los elementos por combustión y pesada de óxidos. De hecho, el manejo de la mayoría de estos productos requiere una transformación de unidades que, algunos fabricantes, ya optan por facilitar como datos complementarios a las especificaciones.

| Elemento | Forma de Expresión | |
|---|---|---|
| Para todas las formas de: | | |
| **Nitrógeno** | **N** | (nitrógeno) |
| **Fósforo** | **$P_2O_5$** | (anhídrido fosfórico) |
| **Potasio** | **$K_2O$** | (oxido de potasio) |
| **Calcio** | **CaO** | (oxido de calcio) |
| **Magnesio** | **MgO** | (oxido de magnesio) |
| **Sodio** | **$Na_2O$** | (oxido de sodio) |
| **Azufre** | **S ó $SO_3$** | (azufre ó anhídrido sulfúrico) |
| **Boro** | **B** | (boro) |
| **Cobalto** | **Co** | (cobalto) |
| **Cobre** | **Cu** | (cobre) |
| **Hierro** | **Fe** | (hierro) |
| **Manganeso** | **Mn** | (manganeso) |
| **Molibdeno** | **Mo** | (molibdeno) |
| **Zinc** | **Zn** | (zinc) |

***Figura 1.8*** Formas de expresión de la riqueza garantizada de cada elemento. Fuente: (Ficha de divulgación técnica, 2003).

### 1.6.3.2 Densidad.

El dato de densidad es imprescindible entre las especificaciones de un fertilizante líquido, ya que estos fertilizantes se compran por peso, pero, en general, se dosifican por unidad de volumen. Por tanto, es preciso conocer su densidad para realizar las correspondientes transformaciones de masa a volumen. (Ficha de divulgación técnica, 2003).

### 1.6.3.3 pH.

Si bien desde el punto de vista de su manejo, en cuanto a la adecuación de los materiales que estén en contacto con el producto puro, el pH de los fertilizantes líquidos es un dato de importante consideración, y, por tanto, debe estar incluido entre los parámetros especificados, el pH que tiene verdadero significado agronómico es el de la solución nutritiva resultante de la dilución del producto en el agua de riego. En este sentido, conviene tener en cuenta que dos fertilizantes líquidos de pH similar, pero diferente composición química, pueden presentar distinta capacidad de acidificación o, en su caso, alcalinización del agua de riego. (Ficha de divulgación técnica, 2003).

### 1.6.3.4 Temperatura de Aparición de cristales (TAC).

La temperatura de cristalización de un fertilizante líquido es aquella a la que se inicia la formación de cristales de las sales que lo componen, como consecuencia de las disminuciones de solubilidad de éstas por efecto de descensos de temperatura, y depende de la naturaleza y concentración de las mismas. Todo fertilizante líquido ("a medida") se formula, por tanto, manteniendo como premisa que su temperatura de cristalización sea suficientemente baja para que, en las condiciones ambientales tipo de la época en la que se va a utilizar, no determine riesgo de cristalización, de forma que ésta sólo se producirá, inevitablemente, en caso de fríos excepcionales. En este sentido, en regiones de clima mediterráneo los fertilizantes líquidos formulados para su uso durante el invierno presentan, como norma general, temperaturas de cristalización inferiores a los 4ºC, siendo esto suficiente para que, en condiciones normales, no presenten ningún problema de esta naturaleza. (Ficha de divulgación técnica, 2003).

Los fertilizantes líquidos deben tener una temperatura de aparición de cristales (TAC) preferiblemente muy próxima a los 0ºC, aunque en las condiciones tropicales de nuestro país se admite un máximo de 10ºC, para asegurar el mantenimiento de sus propiedades durante el almacenamiento. (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014)

## 1.6.4 Métodos de obtención de los fertilizantes líquidos.

La formulación de mezclas NPK (soluciones líquidas) a nivel de plantas de distribución minorista es una práctica habitual en algunos países, principalmente en EE.UU. Se utilizan sistemas de *mezclado en frío* o *mezclado en caliente*.

El sistema de ***mezclado en frío*** es el más sencillo, donde no ocurre liberación de calor durante la mezcla. Este sistema consiste en la mezcla de los portadores de nutrientes seleccionados, teniendo en cuenta el orden de adición de los mismos para lograr el producto deseado. La tecnología de este tipo de sistema es muy sencilla y consta de varias operaciones unitarias; *Agitación y Mezclado,* que ocurre dentro de un tanque agitado mediante un impelente mecánico, para luego pasar a la *Filtración* con el objetivo de eliminar impurezas presentes, que dependen fundamentalmente de los portadores empleados. En el ***anexo A*** se ofrecen las principales características y especificaciones de calidad de los materiales más empleados como materias primas (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014).

Según (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014), han sido desarrolladas múltiples variantes de esquemas tecnológicos, pudiendo resumirse según el esquema que a se muestra en el ***anexo B.***

Por su parte, el sistema de ***mezclado caliente***, consiste en la neutralización del ácido fosfórico (de extracción o térmico) con amoníaco hasta pH 6.5. En dependencia del esquema de obtención puede emplearse como agente neutralizante el amoníaco acuoso (solución amoniacal) o anhidro. Existen dos clases de fertilizantes líquidos que se diferencian según la forma del fósforo empleado para su obtención: ácido ortofosfórico y ácido superfosfórico (el último presenta en sí una mezcla de ácido orto y polifosfórico con contenido de $P_2O_5$ de 72 a 80%). El aumento del contenido de nitrógeno en la formulación se consigue al añadir nitrato de amonio, urea o una mezcla de ambos, y la cantidad de $K_2O$ necesaria se aporta con una sal de potasio que generalmente es el cloruro de potasio (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014)

La diferencia del mezclado en caliente, respecto al mezclado en frío, es que la reacción exotérmica generada por el ácido fosfórico y el agua amoniacal o N anhidro, provee el calor necesario para lograr la disolución de los fertilizantes durante el mezclado. Por lo tanto, no se utilizan fuentes externas de calor, como agua caliente o vapor.

El grado de la formulación depende de los siguientes factores:

- Tipo de materias primas utilizadas
- Temperatura de cristalización deseado
- Temperatura de almacenamiento
- Solubilidad de los fertilizantes utilizados en la mezcla
- Solubilidad de las sales utilizadas en la mezcla final
- Contenido de APP en la mezcla

Algunos productores minoristas reducen el tiempo de mezclado utilizando agua caliente o vapor para calentar la mezcla. La necesidad de calor es importante debido a la reacción endotérmica del cloruro de potasio, urea y otros fertilizantes sólidos, que se utilizan como materia prima (Melgar & Torres Duggan, 2014).

### 1.6.5 Fuentes de Materias Primas:

Dentro de las fuentes de materias primas más empleadas en la producción de fertilizantes líquidos NPK figuran las siguientes (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014)

*Portadores nitrogenados:*

- *Urea:* Es un excelente material para la producción de fertilizantes líquidos, posee un alto contenido de nitrógeno (46%) y una buena solubilidad en agua, es poco corrosivo, higroscópico absorbiendo agua fácilmente del aire, reacciona con el ácido fosfórico para dar un fosfato de urea ($NH_2CONH_3H_3PO_4$) el cuál se disuelve rápidamente en agua.

- *Nitrato de amonio ($NH_4NO_3$):* Es la forma más generalizada de fertilizantes nitrogenados, contiene 34% de nitrógeno y su asimilación es muy fácil para las plantas, es un producto higroscópico, puede causar ciertos riesgos de incendios, es corrosivo, en presencia de sales de potasio forma nitrato de potasio que es poco soluble a bajas temperaturas. El nitrato de amonio se disuelve fácilmente en agua con absorción de calor.

- *Amoniaco anhidro ($NH_3$)*: Es el fertilizante que más se usa para la aplicación directa en el mundo, contiene 82% de nitrógeno y menos de 5 ppm de aceite, es la fuente más económica y necesita condiciones especiales para su manipulación, transportación, almacenamiento y aplicación, ya que es una solución con presión.

- *Soluciones de urea - nitrato de amonio (UAN):* Son soluciones sin presión, su consumo se ha incrementado considerablemente en los últimos años debido a las ventajas técnico-económicas, se producen diferentes grados tales como 28-0-0; 30-0-0; 32-0-0 en dependencia de la temperatura de aparición de cristales (TAC), se componen de Nitrato de Amonio y Urea en proporciones adecuadas para alcanzar la máxima solubilidad.

- *Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$:* Contiene 21% de nitrógeno, su solubilidad en agua es baja y por tanto no es un material de interés para la producción de fertilizantes líquidos.

- *Agua amoniacal:* La solución más empleada contiene alrededor de 20% a un 25% de amoníaco y no ejerce presión manométrica a temperaturas inferiores a los $36^0$C, para su aplicación directa hay que inyectarla a cierta profundidad en el suelo (menor que la del amoníaco anhidro).

- *Tiosulfato de amonio:* Fertilizante líquido muy ampliamente usado en Estados Unidos. Aporta además cantidades considerables de azufre.

*Portadores fosfatados:*

- *Ácido fosfórico (orto):* Su contenido de $P_2O_5$ varía entre 54 y 62%. Constituye más del 90 % de la producción de fertilizantes fosfatados. Se obtiene en lo general por dos procesos: vía húmeda y vía térmica. Hay que tener en cuenta para la producción de fertilizantes líquidos, su contenido de impurezas tales como hierro, magnesio y carbono.

- *Fosfatos de amonio:* Son los fertilizantes fosfatados más extendidos, fundamentalmente el fosfato diamónico (DAP), por su alta concentración y buenas propiedades físicas, aporta además nitrógeno y sus calidades varían: 11-55-0; 18-46-0; 13-52-0 y 16-48-0, entre otras.

*Portadores potásicos:*

Hay cuatro fertilizantes potásicos disponibles para ser empleados en la producción de fertilizantes líquidos, los cuales se mencionan seguidamente en orden creciente de importancia del anión acompañante en la molécula que satisface las necesidades de nutrientes de los cultivos (Kafkafi &Tarchitzky, 2012):

- *Cloruro de potasio:* Es la principal fuente de potasio en la obtención de fertilizantes líquidos. Posee 60% de $K_2O$ y su costo es relativamente más bajo, se pueden obtener soluciones de hasta 9% de $K_2O$.

- *Sulfato de potasio:* Posee un 50% de $K_2O$, su solubilidad es baja y por este motivo no es de interés para la producción de fertilizantes líquidos.

- *Fosfato de potasio:* Aporta además fósforo y se emplea solo en casos especiales por su elevado costo, pueden obtenerse con él soluciones de alto contenido de potasio.

- *Nitrato de potasio:* Su calidad comercial es 13-0-44, aportando además nitrógeno, su empleo en fertilizantes líquidos está limitado a formulaciones con menos del 6% de $K_2O$, debido a su baja solubilidad.

En el ***anexo D*** se ofrece la solubilidad de algunas sales de las descritas con anterioridad, para ilustrar su factibilidad de empleo en la producción de fertilizantes líquidos.

### 1.6.6 Ventajas y desventajas en la utilización de fertilizantes líquidos.

Los fertilizantes líquidos cumplen la misma función de suministrar los nutrientes a las plantas que los tradicionales fertilizantes sólidos. Sin embargo, estos fertilizantes líquidos presentan frente a los fertilizantes habituales una serie de ventajas, la principal de ellas es que están listos para su aplicación junto a la fertirrigación, y por ello (Molina, 2003):

*Ventajas*

Los nutrientes que contiene están totalmente disueltos y fácilmente asimilables por la planta, no necesitando ser diluidos sino aplicados directamente al agua de riego para la fertilización del cultivo.

- Facilitan el manejo ya que basta con colocarlos en un tanque y regular la dosis necesaria a través de la bomba de inyección de la máquina de riego.
- Son diluciones perfectas y no provocan precipitaciones ni obturaciones en los sistemas de riego localizado.
- Su manejo es más rápido, eficiente y seguro que los fertilizantes sólidos siempre y cuando se cumpla las normas básicas de Manejo de Fertilizantes Líquidos.
- Los distintos fertilizantes se pueden combinar en función del estado fenológico del cultivo, el suelo, el agua, etc., cambiando fácilmente la solución nutritiva final o usando una fórmula en cada fase del desarrollo, debido al constante equilibrio de nutrientes.
- Facilidad de manipulación por medio de bombas y tuberías, mientras que en los sólidos se complica por el uso de palas mecánicas, transportadoras, trasiego de sacos, etc. Esto representa un ahorro de mano de obra en todos los sectores.
- Esquemas tecnológicos más sencillos, eliminándose etapas como evaporación, granulación y enfriamiento de sólidos.
- Tiene el máximo de flexibilidad en formulación, igualados solo por el método de obtención de complejos con pre neutralizador.

- Se eliminan los factores negativos que acompañan a los fertilizantes sólidos, en polvo fundamentalmente, como son la segregación y la compactación.
- Aplicación más simple con máquinas sencillas de bajo costo de inversión al tratarse de líquidos sin presión. Puede citarse el uso de un tanque móvil en el campo que alimenta una tubería perforada.
- La velocidad de aplicación puede aumentarse al doble o más en base al aumento de la marcha del tractor y el ancho de la faja a cubrir.
- Posibilidad de utilizar el regadío en todas sus formas, para la dosificación de fertilizantes.
- Se asegura un mejor cubrimiento del suelo y una distribución homogénea de los nutrientes.
- La posibilidad de la aplicación del fertilizante al realizar alguna labor de cultivo mediante adaptaciones sencillas.
- La posibilidad de la aplicación simultánea de plaguicidas, formulando en el mismo campo, utilizando los mismos equipos.
- La forma en que se presenta el fósforo es totalmente soluble en agua.
- Son menores las necesidades de energía y no se requieren ni evaporación ni secado.
- No hay problemas de polvo, de humos y vapores en la fabricación o en el uso de los líquidos.
- El almacenamiento, la manutención y la carga para le expedición, son menos costosas y requieren menos mano de obra que en el caso de los sólidos.

*Desventajas*

- Fórmulas de menor concentración de nutrimentos que los fertilizantes sólidos debido a limitaciones de solubilidad en agua
- Requiere equipo de almacenamiento y aplicación.
- El fertilizante líquido es corrosivo por lo que deben tomarse precauciones para proteger el equipo de aplicación, bombas, etc.
- En algunos casos el costo por unidad de nutrimentos es más alto que en productos sólidos.

### 1.6.7 La industria de los fertilizantes y el medio ambiente.

### 1.6.7.1 Aspectos ambientales asociados a la producción de fertilizantes.

Todos los proyectos de producción de fertilizantes requieren la fabricación de compuestos que proporcionan los nutrientes para las plantas: *nitrógeno, fósforo y potasio* (NPK), sea individualmente (fertilizantes "simples"), o en combinación (fertilizantes "mixtos").

La fabricación de fertilizantes a partir de productos químicos lleva asociadas unos riesgos medioambientales caracterizados por las materias primas empleadas, los procesos utilizados en su transformación o por los subproductos y productos obtenidos. La industria de los fertilizantes sintetiza productos químicos ricos en fósforo, nitrógeno y potasio. La función de estos productos es enriquecer el suelo en compuestos con estos elementos, imprescindibles para el desarrollo de cualquier vegetal.

Dentro de la industria de los fertilizantes, podemos encontrar dos grandes grupos de industrias:

- Industrias que sintetizan productos químicos de base, como amoniaco, ácido sulfúrico y ácido fosfórico, y posteriormente se fabrican con ellos sus fertilizantes. Dentro de este grupo podemos diferenciar entre la industria de los derivados del nitrógeno y la de los derivados del fósforo;

- Industrias que, a partir de la compra de productos químicos de base, realizan sus mezclas para producir fertilizantes sólidos o líquidos.

Los principales aspectos medioambientales que caracterizan a la industria de los fertilizantes son:

- Emisiones a la atmósfera en el proceso productivo de diferentes gases según los diferentes procesos de síntesis que tengan lugar ($SO_x$, $SH_2$ en la síntesis de amoníaco, $NO_x$ en la del ácido nítrico, amoníaco en la síntesis de urea, fluorhídrico y tetracloruro de silicio en la industria del fósforo en general, etc.).

- Emisiones a la atmósfera de partículas como consecuencia de la manipulación de las materias primas y los productos fertilizantes finales en estado sólido a lo largo de las operaciones de carga, descarga, triturado, granulado o envasado.

- Emisiones a la atmósfera de $NO_x$, $SO_2$ y partículas como consecuencia del consumo de combustibles en calderas para suministrar energía y vapor a las plantas.

- Emisiones difusas a la atmósfera de los parques de tanques de almacenamiento, durante la operación normal o simplemente debido a cambios de temperatura. Éstas hacen que a través de los venteos o accesorios de los tanques se produzcan emisiones continuas de los productos que contienen.

- Vertidos de aguas de proceso en los casos en que se realice síntesis de productos de base, que contendrán, entre otros compuestos: nitratos, amoniaco, fosfatos, fluoruros y metales pesados según los diferentes procesos de síntesis.

- Vertidos de líquidos peligrosos (ácido sulfúrico, amoniaco, ácido fosfórico) como consecuencia de derrames durante la operación o fugas en el almacenamiento.

- Vertidos de agua de lavado de tanques, cisternas e instalaciones contaminadas con los productos del proceso.

- Residuos de fosfoyesos procedentes del tratamiento de la roca madre en la síntesis del ácido fosfórico.

- Residuos de filtrados, derrames, envases y catalizadores gastados, son otros de los potenciales focos de generación de residuos.

- Vertidos y emisiones debidos a accidentes graves en los almacenamientos.

### 1.6.7.2 Impactos ambientales potenciales en la industria de los fertilizantes.

*Contaminación atmosférica.*

Los contaminantes atmosféricos contienen partículas provenientes de las calderas, trituradores de piedra de fosfato, flúor (el contaminante atmosférico principal que se originan en las plantas de fosfato), neblina ácida, amoníaco y óxidos de azufre y nitrógeno.

*Generación de residuos sólidos.*

Los desechos sólidos que se producen durante la fabricación de fertilizantes, son muy complejos, y estos no pueden ser arrojados, indiscriminadamente, en el suelo. Los materiales potencialmente peligrosos contienen: catalizadores usados de vanadio, provenientes de las plantas de ácido sulfúrico, y lodos de arsénico, de las fábricas de ácido sulfúrico que utilizan piritas; requieren un manejo y eliminación especial. Si el yeso está contaminado con metales tóxicos, puede ser difícil eliminarlo. La eliminación de la ceniza de las plantas de amoniaco que utilizan gasificación de carbón puede ser un problema. El área de terreno debe ser suficiente para poder almacenar adecuadamente

los desperdicios sólidos. Existen oportunidades para reutilizar estos desechos sólidos y éstas deben ser evaluadas para cada proyecto.

*Contaminación de las aguas.*

Las aguas servidas constituyen un problema fundamental. Pueden ser muy ácidas o alcalinas y, dependiendo del tipo de planta, pueden contener algunas sustancias tóxicas para los organismos acuáticos, si las concentraciones son altas: amoniaco o los compuestos de amonio, urea de las plantas de nitrógeno, cadmio, arsénico y flúor de las operaciones de fosfato, si está presente como impureza en la piedra de fosfato. Además, es común encontrar en los efluentes, sólidos totales suspendidos, nitrato y nitrógeno orgánico, fósforo, potasio, y, como resultado, mucha demanda de oxígeno bioquímico ($DOB_5$); y, con la excepción de la demanda de oxígeno bioquímico, estos contaminantes ocurren también en las aguas de lluvias que escurren de las áreas de almacenamiento de los materiales y desechos.

Los desechos líquidos se originan en los procesos, torres de enfriamiento y purgación de las calderas, causando derrames, fugas y escurrimiento. Sin embargo, existe la oportunidad de reutilizar estas aguas dentro de las plantas, y reducir las demandas de la planta sobre las existencias locales.

## Conclusiones parciales.

1. La aplicación del Ecodiseño como herramienta de gestión empresarial aporta una serie de ventajas, tales como:

    - Reducción del impacto ambiental y los costes de producción del producto.
    - Reducción de los costes de materias primas y recursos.
    - Mejora la capacidad innovadora de la organización.
    - Reducción de los gastos de transporte.

2. El *ECODESIGN PILOT* es una herramienta de eco-innovación y de fácil aplicación en el proceso de desarrollo y diseño de productos, teniendo como principal enfoque, los problemas ambientales a lo largo de todo el Ciclo de Vida del producto.

3. La utilización de los fertilizantes líquidos completos NPK se plantean como una alternativa de fertilización, tanto en términos de eficiencia nutricional, como de eficiencia en costos, ofreciendo una serie de ventajas técnico-económicas en comparación con las formas sólidas.

# Capítulo II

# Capítulo II: Dimensionamiento del equipamiento tecnológico de la planta de producción.

El presente capitulo se realiza el dimensionamiento de los equipos tecnológicos fundamentales que conforman la instalación para la producción de fertilizantes líquidos NPK por el método en frío, estableciéndose para ello balances de materiales y de energía en las diferentes etapas del proceso.

En el proyecto está considerado para el desarrollo productivo de diversas fórmulas fertilizantes, ya que la tecnología a utilizar permitirá realizar cambios en las fórmulas sin necesidad de realizar modificaciones tecnológicas. Para la realización de los cálculos antes mencionados, se toma como base la fórmula 6-6-6, correspondiendo con una relación de nutrientes 1-1-1.

## 2.1 Descripción del proceso tecnológico.

El proceso comienza con el pesado de las materias prima sólidas (sales fertilizantes), mediante el empleo de una báscula digital. La cantidad de las mismas estará de acuerdo a la fórmula que se desee producir. Una vez pesadas son transportadas al área de producción mediante una grúa viajera (polipasto), la cual tendrá acoplada un depósito donde previamente son depositadas cada una de ellas, de manera independiente, para ser alimentadas hacia los tanques de mezclado, contando en ese momento los mezcladores con el agua requerida por la formulación, siendo esta previamente calentada hasta una temperatura de 80°C. Depositadas todas las sales involucradas en el proceso en cada mezclador, comienza la operación mediante agitación mecánica, contando cada equipo con un agitador mecánico tipo paletas.

Transcurrido el tiempo de mezclado, el producto resultante (suspensión fertilizante) es bombeado hacia el filtro al vacío, para de esta manera filtrar dicha la suspensión, la cual puede llegar a presentar hasta un 5% en peso de sólidos en suspensión, obteniéndose un líquido claro (filtrado) por el fondo del equipo y el sólido (torta) por el tope del mismo. Seguidamente, la solución filtrada (solución fertilizante) es bombeada hacia los tanques de retención del batch mediante bombas centrífugas para su posterior envasado, etiquetado y embalado, para luego ser enviado hacia el almacén de producción terminada para su posterior comercialización.

En el ***anexo # C*** se puede observar el diagrama de flujo tecnológico propuesto de la instalación.

### 2.1.1 Nivel de operación estimado.

Los niveles de producción esperados del esquema tecnológico propuesto son los siguientes:

La capacidad de cada mezclador es de 1,5 $m^3$ de solución limpia, por lo que dos mezcladores tendrán la capacidad de 3,0 $m^3$, siendo la dilución el proceso limitante del sistema. La capacidad de producción diaria está determinada por la cantidad de templas posibles a producir en el tiempo de trabajo diario, estimando trabajar diariamente un turno de 8 horas, de lunes a viernes, por las características del proceso, que consume varias horas en el proceso de dilución no se considera descontar tiempos de preparación de condiciones, tiempo de almuerzo y merienda ni otro tipo de tiempo, se considera como tiempo de producción las 8 horas netas.

La planta puede procesar con dos mezcladoras 4 templas diarias de 1,5 $m^3$ cada una para un total diario de 6,0 $m^3$.

Días del año: 365 días
Reparación general: 30 días
Sábados y domingos: 104
Feriados: 10 días
No laborables: 144 días
Laborables: 221 días

Por tanto,

La *capacidad instalada* de la planta será de 6 $m^3$ x 365 días = **2190 $m^3$/año.**

La *capacidad disponible* de la planta será: 6 $m^3$ x 221 días = **1326 $m^3$/año.**

Considerando una eficiencia industrial del 85%, la *capacidad efectiva anual* de la planta será de 1326,0 x 0,85 = ***1127 $m^3$/año.***

### 2.1.2 Materias Primas del proceso.

Como se planteó en el ***Capítulo I*** del presente trabajo, la industria de los fertilizantes en general utiliza diferentes materias primas como portadoras de uno o dos de los tres nutrientes primarios.

En la tabla que a continuación se muestra, se ofrecen las materias primas propuestas utilizar, así como sus principales características.

***Tabla 2.1*** Materias primas propuestas a emplear en la producción de fertilizantes líquidos NPK.

| Producto | Composición química (%peso) |
|---|---|
| Urea | 46% nitrógeno |
| Fosfato diamónico (DAP) | 18% nitrógeno<br>46% $P_2O_5$ |
| Cloruro de potasio | 60% $K_2O$ |

La utilización de la urea sobre las otras fuentes nitrogenadas, fue debido a su mayor contenido de nitrógeno (46%), a su buena solubilidad en agua, además de que la utilización de las soluciones nitrogenadas UAN (30-0-0 o 32-0-0) o el Nitrato de Amonio, se eleva la TAC (Temperatura de Aparición de Cristales) de la solución, debido a la formación de nitrato de potasio ($KNO_3$), que presenta menor solubilidad a bajas temperaturas. También utilizando urea es posible obtener soluciones más concentradas y con mayor contenido de potasio.

## 2.2 Balances de Masa y Energía del proceso.

Tomando como base el diagrama de bloque que a continuación se muestra, se realizan los balances de masa y energía correspondientes a cada etapa del proceso.

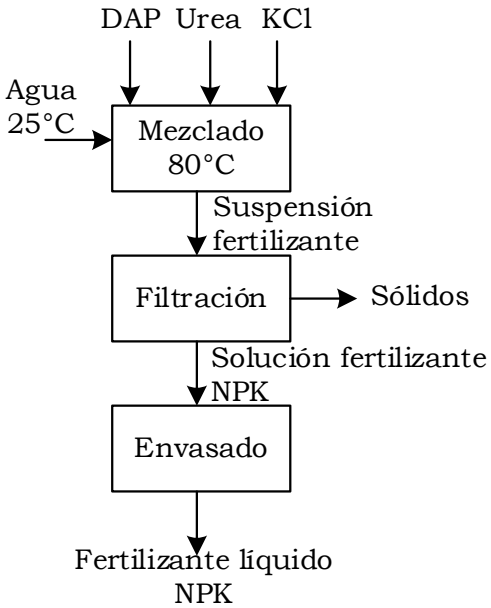



***Figura 2.1*** Diagrama de bloques del proceso tecnológico. Elaboración propia.

### 2.2.1 ***Etapa de Mezclado.***

*Descripción de la operación.*

La operación de mezclado es considerada una etapa física dentro del proceso tecnológico, la cual consiste en lograr la dilución de las sales fertilizantes empleadas como materias primas. Debido a que de manera general estas sales presentan un comportamiento endotérmico en el proceso de dilución, provocando la absorción de calor del medio, lo cual genera un enfriamiento de la mezcla, se plantea la necesidad de calentar el agua utilizada en la formulación del producto en el propio equipo hasta una temperatura de 80°C.

*Balance de materiales*

Para la realización de los balances de masa del proceso se parte de la definición del régimen operación de la instalación:

Con vistas a un mejor entendimiento del proceso, las corrientes del proceso serán designadas por letras, planteándose de la siguiente manera:

| Corriente | Denominación |
|---|---|
| DAP | D |
| Urea | Q |
| KCl | C |
| Agua | A |
| Suspensión fertilizante | S |

*Balance Total.*

Tomando como base de cálculo 1 batch de producción de la fórmula 6-6-6 y conocida la densidad de la suspensión fertilizante igual a 1200 kg/m$^3$, tenemos:

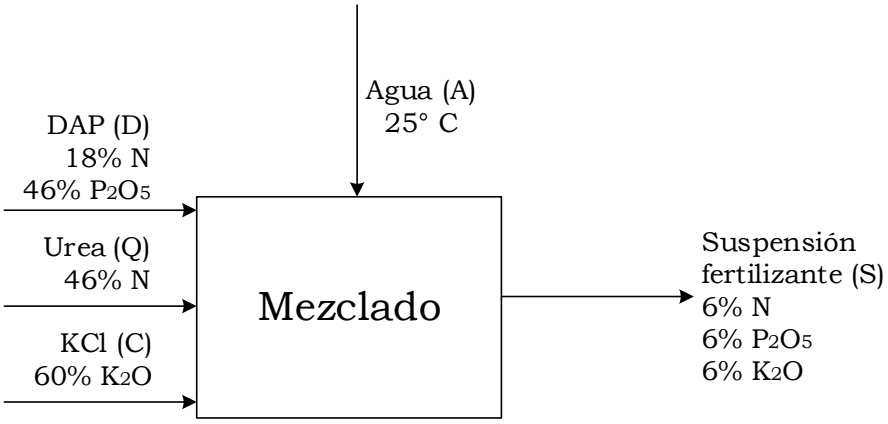



***Figura 2.2*** Diagrama de bloques de la operación de Mezclado. Elaboración propia.

D+Q+C = S

S = 1,5 $m^3$
S = 1800 kg

*Balance Parcial de $P_2O_5$*

$D*X_{P_2O_5(D)} = S*X_{P2O5(S)}$
$D = S*X_{P2O5(S)}/X_{P_2O_5(D)}$
D = 1800 kg*0,06/0,46 = ***235 kg***

Siendo $X_{P_2O_5}$ la concentración de fósforo en forma de Pentóxido de fósforo ($P_2O_5$) en cada una de las corrientes del proceso.

*Balance Parcial de Nitrógeno*

$D*X_{Nit.(D)} + Q*X_{Nit.(Q)} = S*X_{Nit.(S)}$
$Q = (S*X_{Nit.(S)} - D*X_{Nit.(D)})/X_{Nit.(Q)}$
Q = (1800 kg*0,06 – 235 kg*0,18)/0,46 = ***143 kg***

Siendo $X_{Nit.}$ la concentración de nitrógeno en cada una de las corrientes del proceso.

*Balance Parcial de $K_2O$*

$C*X_{K_2O\ (C)} = S*X_{K_2O\ (S)}$
$C = S*X_{K_2O\ (S)}/X_{K_2O\ (C)}$
C = 1800 kg*0,06/0,6 = ***180 kg***

Siendo $X_{K_2O}$ la concentración de potasio expresado como óxido de potasio ($K_2O$) en cada una de las corrientes del proceso.

Despejando A del Balance Total tenemos,

A = S-D-Q-C
A = 1800-235-143-180
A = ***1242 kg***

***Tabla 2.2*** Resultados del balance material del proceso de mezclado. Fuente: Elaboración propia.

| Corriente | Denominación | Resultado, kg |
|---|---|---|
| DAP | D | 235 |
| Urea | Q | 143 |
| KCl | C | 180 |
| Agua | A | 1242 |
| Suspensión fertilizante | S | 1800 |

*Balance de Energía.*

Como se explicó anteriormente, en la operación de mezclado es necesario calentar el agua utilizada en la formulación del producto hasta una temperatura de 80°C. De ahí que el balance de energía que a continuación se plantea, tiene como objetivo determinar la cantidad de calor que se requiere para calentar el agua hasta dicha temperatura.

$$Qg = \Delta H_{agua}$$

$$\Delta H_{agua} = m_{agua} * Cp_{agua} * (T_2 - T_1)$$

Donde:

$m_{agua}$ = 1242 kg
$Cp_{agua}$ = 1 kcal/kg°C
$T_1$ = 25°C
$T_2$ = 80°C

Por lo que el calor requerido será:

Qg = 1242kg*1 kcal/kg°C*(80°C-25°C), considerando el Cp del agua constante.

***Qg = 68310 kcal (286000 kJ)***

### 2.2.2 ***Etapa de Filtración.***

*Descripción de la operación.*

La operación de filtración es considerada como una etapa física dentro del proceso tecnológico, cuya operación consiste en lograr la separación de los sólidos suspendidos con que cuenta la suspensión fertilizante resultante de la etapa de mezclado. La presencia de estos sólidos en dicha corriente del proceso, está dada, fundamentalmente, a la presencia de sustancias no deseadas (impurezas) que forman parte de la composición química de las materias primas utilizadas en el proceso, pudiendo alcanzar valores de hasta un 5% en peso de sólidos en la suspensión (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014).

A partir del diagrama de bloques de la operación de filtración que a continuación se presenta, se plantea el balance de materiales de la etapa:

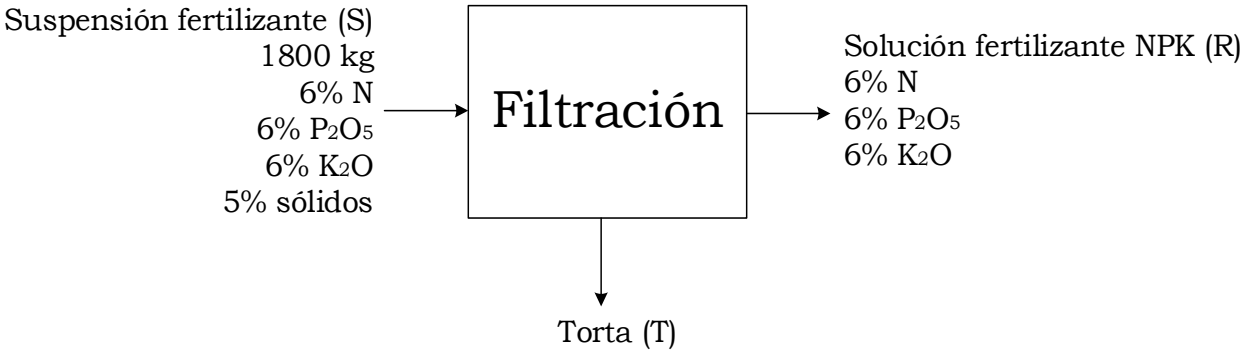



***Figura 2.5:*** Diagrama de bloques de la operación de Filtración. Fuente: Elaboración propia.

*Balance Total*

Designando la corriente de Solución Fertilizante con la letra R, tenemos:

$S = T + R$

*Balance Parcial de Sólidos (Xs)*

$S*Xs_{(S)} = T*X_{S(T)} + R*X_{S(R)}$

Considerando que, en la operación de filtración se separa todo el sólido contenido en la suspensión fertilizante (100% eficiencia), se tiene que:

Xs (R) = 0

T = S*Xs (S)/ Xs (T)

T = 1800 kg*0,05/1,0 = 90 kg

Entonces,

R = 1800 kg – 90 kg = 1710 kg

### 2.2.3 *Sistemas de bombeo de la instalación.*

❖ ***Sistema I.*** *Bombeo de los mezcladores hacia el filtro.*

Como se ha explicado con anterioridad, una vez lograda la dilución de las sales fertilizantes en los tanques de mezclado, la suspensión resultante es bombeada hacia el filtro para su filtración. Un esquema de la operación de bombeo es la que a continuación se observa:

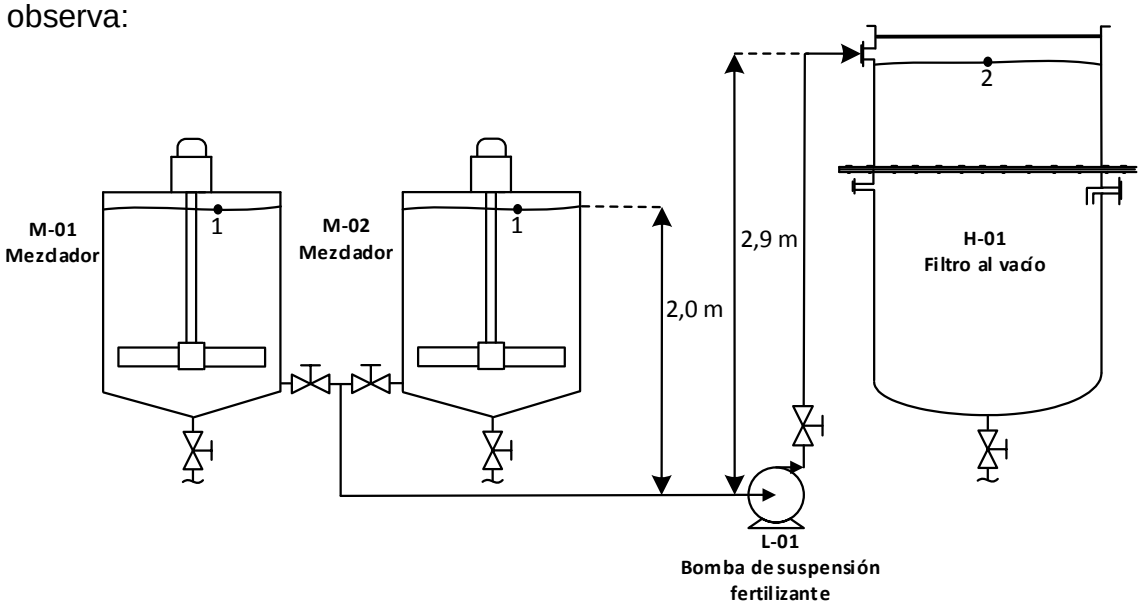



***Figura 2.7:*** Sistema de bombeo desde los mezcladores hacia el filtro al vacío.

Balance de Energía Mecánica.

Partiendo de la Ecuación de Bernoulli (Rosabal & Garcell, 2006)

$$\frac{V^2_1}{2*g}+\frac{P_1}{\rho*g}+Z_1=\frac{V^2_2}{2*g}+\frac{P_1}{\rho*g}+Z_2+hp$$

Donde:

$V^2/2*g$, carga de velocidad;
$P/\rho*g$, carga piezométrica;
Z, altura o carga geométrica;
hp, pérdidas de carga.

De ahí que:

$$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho * g} + \frac{\Delta V^2}{2 * g} + hp$$

H, carga hidrodinámica;

Datos del producto a bombear (suspensión fertilizante):

- Densidad (ρ): 1200 kg/m³
- Viscosidad (μ): 0,0024 Pa·s
- % solidos: 5%
- Volumen: 1,5 $m^3$

*Cálculo de ΔZ.*

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

$\Delta Z$ = 2,9 m – 2,0 m = 0,9 m

*Cálculo de ΔP*

Tomando como referencia los puntos 1 y 2, y considerando que en ambos puntos la presión es atmosférica por encontrase ambos equipos abiertos al ambiente, se tiene que (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$\frac{\Delta P}{\rho * g} = 0$$

*Cálculo de ΔV²/2*g*

Considerando que entre los puntos 1 y 2 la variación de velocidades de flujo es despreciable, se tiene que:

$$\frac{\Delta V^2}{2 * g} = 0$$

Cálculo de hp

Conociendo que hp es la pérdida de carga, y que, además:

$$hp = hp_t + hp_{acc}$$

$$hp_t = f * \frac{L * V^2}{2 * g * D}$$

$$hp_{acc} = \frac{\Sigma Ki * V^2}{2 * g}$$

Donde,

*hpt*, pérdidas por fricción;
*hpacc*, pérdidas locales;
*f,* factor de fricción;
*ΣKi*, coeficientes de resistencias hidráulicas de los i válvulas, accesorios, etc.

❑ ***Cálculo de hpt***

$$hpt = f * \frac{L * V^2}{D * 2 * g}$$

$$f = f(\frac{e}{D}, Re)$$

Determinación del número de Reynolds (Re) (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu}$$

Donde:

D, diámetro de la tubería, m
v, velocidad del fluido, m/s
ρ, densidad, kg/m$^3$
μ, viscosidad, Pa·s

Velocidad del fluido (v).

$$V = \frac{Q}{A}$$

Q, flujo volumétrico, $m^3/s$
A, área de la tubería, $m^2$

Definición del flujo volumétrico (Q).

Se plantea como requisito del proceso que el tiempo de vaciado de cada uno de los mezcladores debe ser de 20 min. Conocido que el volumen de suspensión a bombear es de 1,5 $m^3$, se tiene que:

*Q* = V/t = *0,00125 $m^3/s$ (4,5 $m^3/h$)*

Datos de la tubería.

Material: Polipropileno.
L (Longitud): 3,0 m
D (diámetro): 0,0254 m
*e* (rugosidad): 0,000001 mm≈0, según (Perry, Green, & Maloney, 2008) para tubos lisos
Por tanto, e/D≈0

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

A = 0,00051 $m^2$

Luego,

*V = 2,5 m/s*

Calculando Re,

*Re = 31330 ($3,1 \cdot 10^4$, Re >4000, régimen turbulento)*

Basándonos en la figura 6.9 (Perry, Green, & Maloney, 2008)

f = 0,0058

Sustituyendo los valores L, V, D y f en:

$$hpt = f * \frac{L * V^2}{D * 2 * g}$$

*hpt = 0,22 m*

❑ ***Cálculo de hpacc***

$$hp_{acc} = \frac{\sum Ki * V^2}{2 * g}$$ Donde:

| ***ΣK (accesorios)*** | ***Cantidad*** | ***K*** | |
|---|---|---|---|
| Codos de 90° estándar | 3 | 0,75 | 2,25 |
| Válvula de globo ½ abierta | 1 | 9 | 9 |
| Salida a un depósito de gran volumen | 1 | 1 | 1 |
| | | | ***12.3*** |

Según (Rosabal & Garcell, 2006)

*hpacc = 3,92 m*

Por tanto,

$$hp = hp_t + hp_{acc}$$

***hp = 4,14 m***

Calculando la carga H,

***H = 5,04 m***

Cálculo de la Potencia de la Bomba

Partiendo de la ecuación (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$N = \frac{H * Q * \rho}{3{,}670 * 10^5}$$

Donde,

H: 5,04 m
Q: 4,5 $m^3/h$
ρ: 1200 $kg/m^3$

N = 0,07 kW

Teniendo en cuenta la reserva para las posibles sobrecargas, el motor se instala con una potencia algo mayor que la potencia consumida. Según (Rosabal & Garcell, 2006) el coeficiente de reserva β, se toma en dependencia de la magnitud de N. Así,

| N | β |
|---|---|
| <1 | 2-1,5 |
| 1<N<5 | 1,5-1,2 |
| 5<N<50 | 1,2-1,15 |
| N>50 | 1,1 |

Tomando un valor de β=2,

***$N_{inst.}$ = 0,14 kW***

*Selección de la bomba*

Una vez determinadas las principales características de la bomba, se selecciona una bomba centrífuga normalizada con las siguientes características técnicas:

Capacidad, Q: 6,0 $m^3$/h
Carga, H: 6,3 m

*Motor:*

Potencia: 0,55 kW
Trifásico 220/440 V 60Hz

Como se conoce que el producto a bombear contiene sólidos en suspensión, se propone que el tipo de impelente de la misma debe ser abierto o semiabierto (Perry, Green, & Maloney, 2008).

❖ ***Sistema II.*** *Bombeo del Filtro al vacío hacia los tanques de almacenamiento.*

Como se ha explicado con anterioridad, una vez lograda la dilución de las sales fertilizantes en los tanques de mezclado y filtrada la suspensión, la solución filtrada es bombeada hacia los tanques de almacenamiento para su posterior envasado. A continuación, se presenta el esquema de la instalación de bombeo:

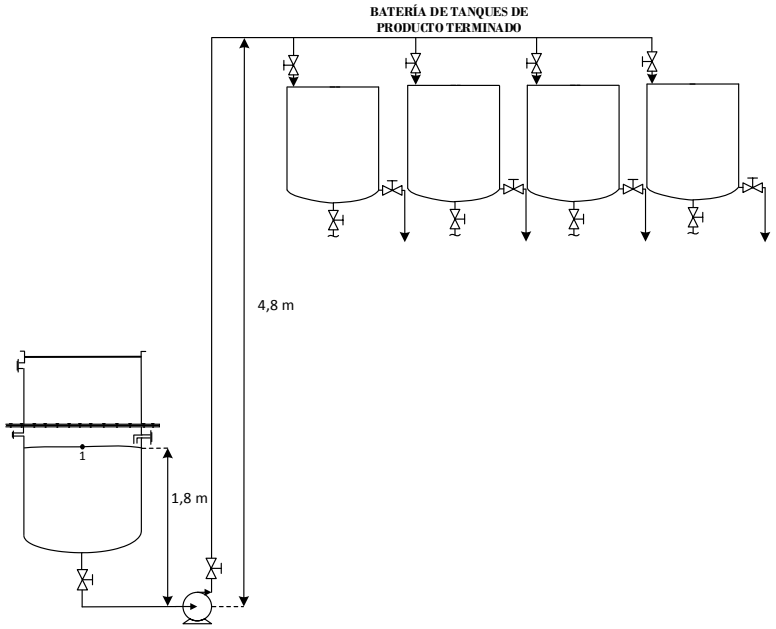



***Figura 2.8:*** Sistema de bombeo desde el filtro al vacío hacia los tanques de almacenamiento. Elaboración propia.

Balance de Energía Mecánica.

Partiendo de la Ecuación de Bernoulli (Rosabal & Garcell, 2006)

$$\frac{V^2_1}{2*g}+\frac{P_1}{\rho*g}+Z_1=\frac{V^2_2}{2*g}+\frac{P_1}{\rho*g}+Z_2+hp$$

Donde:

$V^2/2*g$, carga de velocidad;
$P/\rho*g$, carga piezométrica;
Z, altura o carga geométrica;
hp, pérdidas de carga.

De ahí que:

$$H=\Delta Z+\frac{\Delta P}{\rho*g}+\frac{\Delta V^2}{2*g}+hp$$

H, carga hidrodinámica;

Datos del producto a bombear (solución fertilizante):

- Densidad (ρ): 1200 kg/m³
- Viscosidad (μ): 0,0024 Pa·s
- Volumen: 1,4 $m^3$

*Cálculo de ΔZ.*

$\Delta Z = Z_2 - Z_1$

$\Delta Z = 4{,}8\ m - 1{,}8\ m = 3{,}0\ m$

*Cálculo de ΔP*

Tomando como referencia los puntos 1 y 2, y considerando que en ambos puntos la presión es atmosférica por encontrase ambos equipos abiertos al ambiente, se tiene que (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$\frac{\Delta P}{\rho * g} = 0$$

*Cálculo de ΔV²/2*g*

Considerando que entre los puntos 1 y 2 la variación de velocidades de flujo es despreciable, se tiene que:

$$\frac{\Delta V^2}{2 * g} = 0$$

Cálculo de hp

Conociendo que hp es la pérdida de carga, y que, además:

$$hp = hp_t + hp_{acc}$$

$$hp_t = f * \frac{L * V^2}{2 * g * D}$$

$$hp_{acc} = \frac{\Sigma Ki * V^2}{2 * g}$$

Donde,

*hpt*, pérdidas por fricción;
*hpacc*, pérdidas locales;
*f,* factor de fricción;
*ΣKi*, coeficientes de resistencias hidráulicas de los i válvulas, accesorios, etc.

❑ ***Cálculo de hpt***

$$\mathrm{hpt} = \mathrm{f} * \frac{\mathrm{L} * \mathrm{V}^2}{\mathrm{D} * 2 * \mathrm{g}}$$

$$\mathrm{f} = f\left(\frac{\mathrm{e}}{\mathrm{D}}, \mathrm{Re}\right)$$

Determinación del número de Reynolds (Re) (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{D} * \mathrm{V} * \rho}{\mu}$$

Donde:

D, diámetro de la tubería, m
v, velocidad del fluido, m/s
ρ, densidad, kg/m$^3$
μ, viscosidad, Pa·s

Velocidad del fluido (v).

$$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}}$$

Q, flujo volumétrico, m$^3$/s
A, área de la tubería, m$^2$

Definición del flujo volumétrico (Q).

Se plantea como requisito del proceso que el tiempo de vaciado del filtro debe ser de 20 min. Conocido que el volumen de la solución a bombear es de 1,4 m$^3$, se tiene que:

*Q* = V/t = *0,00117 m$^3$/s (4,2 m$^3$/h)*

Datos de la tubería.

Material: Polipropileno.
L (Longitud): 10,0 m
D (diámetro): 0,0254 m
*e* (rugosidad): 0,000001 mm≈0, según (Perry, Green, & Maloney, 2008) para tubos lisos
Por tanto, e/D≈0

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

A = 0,00051 $m^2$

Luego,

*V = 2,3 m/s*

Calculando Re,

*Re = 29241 ($2{,}9 \cdot 10^4$, Re >4000, régimen turbulento)*

Basándonos en la figura 6.9 (Perry, Green, & Maloney, 2008)

*f* = 0,0059

Sustituyendo en:

$$hpt = f * \frac{L * V^2}{D * 2 * g}$$

*hpt = 0,63 m*

- ***Cálculo de $hp_{acc}$***

$$hp_{acc} = \frac{\sum Ki * V^2}{2 * g}$$

Donde:

| ***ΣK (accesorios)*** | ***Cantidad*** | ***K*** | |
|---|---|---|---|
| Codos de 90° estándar | 4 | 0,75 | 3,0 |
| Té estándar | 3 | 0,4 | 1,2 |
| Válvula de globo ½ abierta | 2 | 9 | 18,0 |
| Salida a un depósito de gran volumen | 1 | 1 | 1 |
| | | | ***23,2*** |

Según (Rosabal & Garcell, 2006)

*$hp_{acc}$ = 6,25 m*

Por tanto,

$$\mathrm{hp} = \mathrm{hp}_{\mathrm{t}} + \mathrm{hp}_{\mathrm{acc}}$$

***hp = 6,88 m***

Calculando la carga H,

***H = 9,88 m***

Cálculo de la Potencia de la Bomba

Partiendo de la ecuación (Perry, Green, & Maloney, 2008):

$$N = \frac{H * Q * \rho}{3{,}670 * 10^5}$$

Donde,

H: 9,88 m
Q: 4,2 $m^3/h$
ρ: 1200 $kg/m^3$

N = 0,14 kW

Teniendo en cuenta la reserva para las posibles sobrecargas, el motor se instala con una potencia algo mayor que la potencia consumida. Según (Rosabal & Garcell, 2006) el coeficiente de reserva β, se toma en dependencia de la magnitud de N. Así,

***$N_{inst.}$ = 0,28 kW***

*Selección de la bomba*

Una vez determinadas las principales características de la bomba, se selecciona una bomba centrífuga normalizada con las siguientes características técnicas:

Capacidad, Q: 6,0 $m^3$/h
Carga, H: 13,0 m

*Motor:*

Potencia: 0,75 kW
Voltaje: 220/440V
Frecuencia: 60Hz

## 2.3 Dimensionamiento de los equipos tecnológicos.

### 2.3.1 Etapa de mezclado.

La sección de mezclado de la instalación está compuesta por dos recipientes tipo Tanque Agitado. Las dimensiones fundamentales para este tipo de aparato son el diámetro (D) y la altura (H). Generalmente los recipientes cilíndricos cuando tienen agitación se diseñan de modo tal que la altura del nivel de líquido sea igual a su diámetro (Perry, Green, & Maloney, 2008). Cuando no ocurre agitación, se utiliza mayor altura a fin de ocupar menor área en la planta.

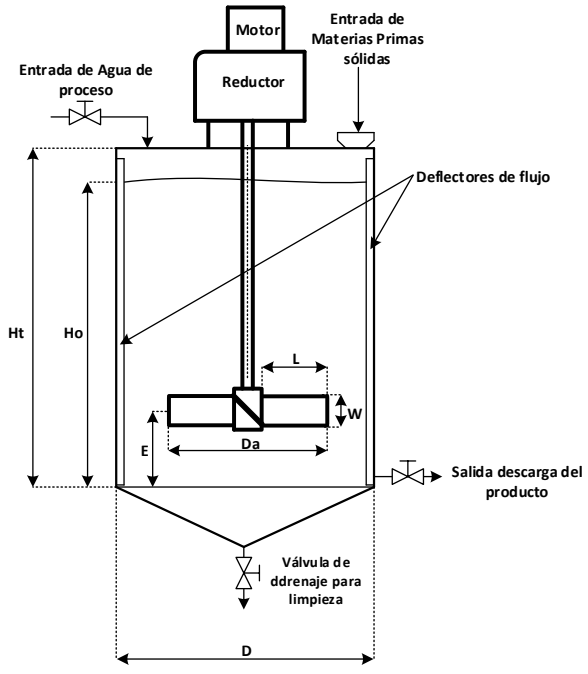



***Figura 2.3:*** Propuesta de diseño de los mezcladores. Elaboración propia.

Con el objetivo de dimensionar los equipos de mezclado que conforman esta sección del proceso, se consideran las siguientes relaciones de diseño, según (McCabe, Smith, & Harriott, 1991):

Da/D = 1/3
D/Ho = 1
J/D = 1/12
E/Da = 1
W/Da = 1/5
L/Da = 1/4

Donde:

D: Diámetro del recipiente
Da: Diámetro del agitador
J: Ancho de lo deflectores de flujo (Bafles)
E: Distancia del agitador fondo del tanque
W: Ancho de las paletas agitador
L: Largo de las paletas del agitador
Ho: Altura de líquido en el tanque

Como es conocido, el volumen de la suspensión en los mezcladores es de 1,5 $m^3$ (volumen efectivo, Ve). Partiendo de lo anterior, tenemos que:

$$Ve = \frac{\pi * D^2 * Ho}{4}$$

Considerando Ho = D,

$$Ve = \frac{\pi * D^3}{4}$$

Despejando D tenemos que, ***D = 1,2 m.***

Por tanto, ***Ho = 1,2 m.***

Considerando un sobrediseño de la altura del tanque de un 10%, según (Peters & Timmeraus, 1991) tenemos que la altura total de los mezcladores será:

Ht = Ho+Ho*10%

***Ht = 1,4 m***

Por lo que el volumen total de los recipientes será:

$$Vc = \frac{\pi * D^2 * Hc}{4}$$

***Vc = 1,7m³***

*Dimensionamiento del agitador.*

La mayor parte de las operaciones de agitación a gran escala para operaciones de dilución se realizan con agitadores de paletas que se introducen por la parte superior del recipiente. La velocidad del impulsor suele ser de entre 50 y 150 rpm; no obstante, según las condiciones del proceso, puede llegar hasta 400 o a sólo 15 rpm (Perry, Green, & Maloney, 2008).

Se denominan agitadores de paletas aquellos dispositivos que están compuestos por dos o más paletas de sección rectangular acopladas a un árbol vertical o inclinado. Con el fin de obtener un fuerte flujo axial para la suspensión de sólidos también se utilizan turbinas con una inclinación de las placas de 45°. Las ventajas principales de los agitadores de paletas son la sencillez de su estructura y el bajo costo de fabricación.

En la figura que a continuación se presenta, puede observarse un agitador de paletas inclinadas.

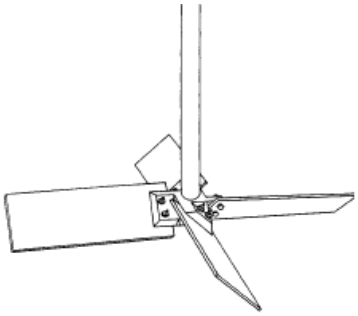


***Figura 2.4:*** Agitador de paletas inclinadas, según (Perry, Green, & Maloney, 2008):

Conociendo que, Da/D = 1/3, L/Da = 1/4, W/Da = 1/5 y E/Da = 1, tenemos que:

Da = 0,4m
W = 0,08m
L = 0,21m
E = 0,4m

*Ángulo de inclinación de las paletas 45°.*

*Dimensionamiento de los deflectores de flujo (bafles).*

Al girar rápidamente el agitador, el líquido a mezclar empieza a participar en el movimiento giratorio y alrededor del árbol se forma un embudo, cuya profundidad

aumenta al elevar el número de revoluciones y disminuir la densidad y viscosidad del ambiente.

Para evitar la formación del embudo, se propone instalar en el aparato tabiques de reflexión, que, además de esto, facilitan la aparición de torbellinos, aumentando la turbulencia del sistema.

Como J/D = 1/12

J = 0,1m

*Potencia de agitación:*

Cálculo del régimen de agitación

Determinando el número de Reynolds (Re) según la ecuación (Perry, Green, & Maloney, 2008).

$$Re = \frac{Da^2 * n * \rho}{\mu}$$

Donde:

Da: diámetro del agitador, m
n: velocidad de agitación, rps
ρ: densidad de la suspensión, kg/m$^3$
μ: viscosidad, Pa*s

La velocidad de agitación n, según establece (Perry, Green, & Maloney, 2008), para este tipo de agitadores suele estar entre 50-150 rpm, considerándose en el presente estudio una velocidad de 100 rpm (1,7 rps) como parámetro operacional.

Teniendo en cuenta, además:

$\rho_{suspensión}$ = 1200 kg/m$^3$
$\mu_{suspensión}$= 2,4 cP = 0,0024 Pa·s
Da = 0,4 m

*Re = 142531 ≈ 1,4*10$^5$ (régimen turbulento, Re > 10 000)*

Luego, según figura 18-17 (Perry, Green, & Maloney, 2008) Kn = 1,5

$$Kn = \frac{N}{\rho * n^3 * Da^5}$$

Despejando N (potencia de agitación):

$N_{fun.}$ = 101 W (0,10 kW)

Según (Rosabal & Garcell, 2006), la potencia de arranque es, habitualmente, de 2 a 3 veces mayor que la de funcionamiento. Por tanto:

$N_{arr} = 2*N_{fun}$

$N_{arr} = 0,20\ kW$

*Potencia de instalación:*

Considerando el rendimiento del motor eléctrico junto con la trasmisión igual a 85% (Rosabal & Garcell, 2006):

$$Ninst = \frac{Narr}{\eta}$$

$N_{inst.} = 0,24\ kW$

*Selección de las resistencias eléctricas para el calentamiento del agua.*

Como parte del proyecto, está propuesta la instalación de resistencias eléctricas de inmersión como medio de calentamiento, las cuales tienen gran aplicación en procesos industriales que requieren de un calentamiento eléctrico de líquidos y gases. El calentamiento por inmersión tiene gran rendimiento energético ya que el calor se transmite directamente del elemento calefactor al medio a calentar. Las resistencias eléctricas de inmersión son el método más eficiente para calentamiento directo de agua, soluciones acuosas, ceras, parafina, etc.

Estas resistencias están destinadas a calentar líquidos por inmersión directa, es decir, se cede el calor directamente por el contacto entre el líquido y la resistencia. Están formadas por elementos tubulares blindados de diversos materiales, siendo el más empleado el acero inoxidable, soldados a un racor de latón.

Según (Rodríguez, Gil, & Soto, 2014), mediante el calentamiento del agua de proceso, es posible disminuir el tiempo de dilución de las sales en 4 veces respecto a la utilización de agua a temperatura ambiente. Por lo que mediante este calentamiento se disminuye el tiempo operacional total de la instalación, ya que, el tiempo de funcionamiento del sistema de agitación disminuye también.

Partiendo del resultado obtenido como parte del Balance de Energía planteado, se tiene que la cantidad de calor necesario para calentar el agua desde la temperatura ambiente hasta 80°C es de 68310 kcal (286000 kJ)

El área del tanque de mezclado es:

$A = \pi * D^2/4$, siendo D=1,2 m

$A = 3,1416*(1,2\ m)^2/4 = 1,13\ m^2$ (11300 $cm^2$)

Calculando la carga del sistema tenemos:

Carga = Q/A

*Carga* = 79444.5 W/11300 $cm^2$ = 7,0 $W/cm^2$.

Del resultado anterior se seleccionan mediante Catálogos Técnicos de Resistencias Eléctricas (Salvador Escoda S.A., 2014. Recuperado de http://www.salvadorescoda.com), dos resistencias de inmersión normalizadas cuyas características técnicas se muestran a continuación:

***Tabla 2.3:*** Características de las resistencias seleccionadas.

| Potencia | Voltaje | Longitud | Carga | Material del tubo |
|---|---|---|---|---|
| 2500 W | 220V | 450 mm | 7,5 $W/cm^2$ | Acero inoxidable |

Según reporta la literatura, la temperatura debe ser mantenida en la operación de mezclado entre 60 – 80°C, con vistas a lograr el máximo de eficiencia en la misma. Por tal motivo, se propone la instalación de un sistema de control automático de temperatura con el objetivo de optimizar el funcionamiento de las resistencias eléctricas, permitiendo esto, que estas no permanezcan encendidas innecesariamente trayendo consigo un consumo eléctrico innecesario.

### 2.3.2 Etapa de Filtración.

Dimensionamiento del filtro al vacío.

Se propone la instalación de un filtro tipo Nutsche al vacío consistente en un recipiente cilíndrico vertical dividido en dos secciones. La sección superior (sección # 1) donde es bombeada la suspensión a filtrar, y la sección inferior (sección # 2) donde se crea el vacío, como resultado de lo cual la fase líquida de la suspensión pasa en forma de filtrado a través de la membrana de filtración (medio filtrante) y se evacúa en esta propia

sección. La fase sólida de la suspensión queda retenida en forma de sedimento sobre la membrana. La ventaja de este tipo de filtro consiste en su sencillez, mientras que su imperfección radica en la necesidad de descargar el sedimento manualmente (ver figura). El término "nutsche" es la expresión en alemán para succión y el vacío es la modalidad común de operación (Perry, Green, & Maloney, 2008).

El diseño de la mayor parte de los filtros nutsche es muy sencillo y, a menudo, los puede fabricar el usuario a bajo costo. Este filtro se utiliza con frecuencia en el laboratorio, en Plantas Piloto o en la operación de una planta pequeña. Sin embargo, para el procesamiento a gran escala, el área excesiva de piso que involucra la unidad de filtración, y la dificultad para eliminar la torta son factores disuasivos. Para la operación a pequeña escala, la torta se puede eliminar manualmente. Para las aplicaciones a gran escala, la torta puede someterse a un procesamiento posterior por medio de su reprecipitación o redisolución, o bien, puede eliminarse manualmente (mediante una pala) o a través de dispositivos para su descarga mecánica que en ocasiones son complicados. (Perry, Green, & Maloney, 2008).

En la figura que a continuación se presenta puede observarse un esquema del mencionado equipo.

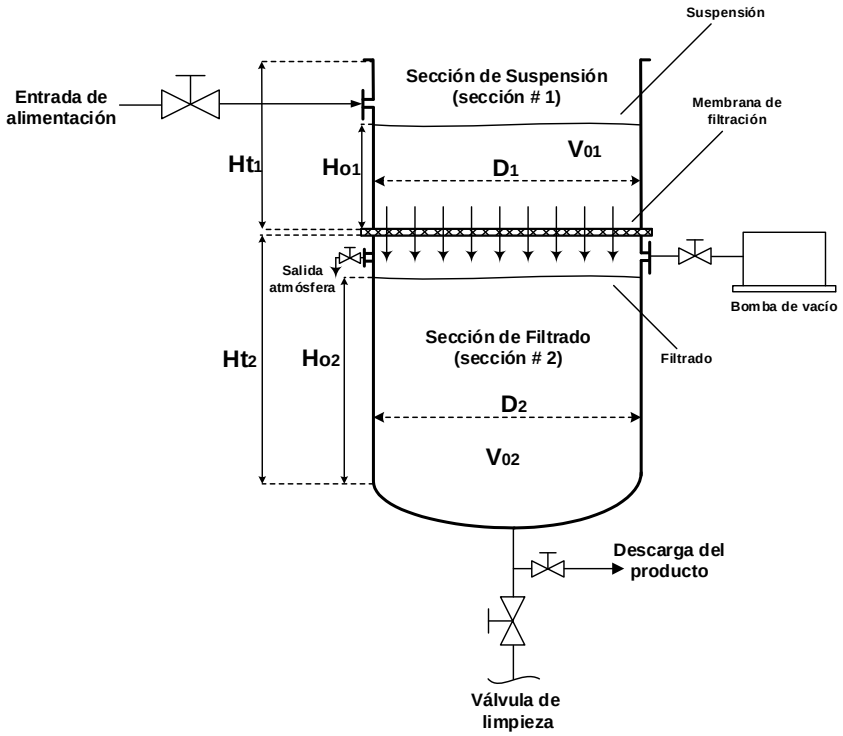



***Figura 2.6:*** Esquema del filtro al vacío propuesto. Elaboración propia.

Donde:

$H_{01}$, altura del nivel de la suspensión en la sección #1 (altura de trabajo).
$H_{t1}$, altura total de la sección #1.
$V_{01}$, volumen que ocupa la suspensión en la sección #1 (volumen de trabajo).
$V_{t1}$, volumen total de la sección #1.
$D_1$, diámetro de la sección #1.

$H_{02}$, altura del nivel filtrado en la sección #2 (altura de trabajo).
$H_{t2}$, altura total de la sección #2.
$V_{02}$, volumen que ocupa el filtrado en la sección #2 (volumen de trabajo).
$V_{t2}$, volumen total de la sección #2.
$D_2$, diámetro de la sección #2.

*Dimensionamiento de la sección de filtrado (sección #2).*

Para el dimensionamiento de la sección de filtrado se parte de la consideración que el volumen de trabajo de la sección sea igual al volumen de trabajo de un mezclador e igual a 1,5 m³, sin considerar el volumen del fondo del recipiente.

Por tanto,

$V_{02}$ = 1,5 $m^3$ (sin considerar el volumen del fondo)

Considerando una relación $D_2/H_{02}$ = 1, tenemos:

$$V_{02} = \pi * \frac{D_2^{\ 3}}{4}$$

Despejando D tenemos que:

$$D_2 = \sqrt[3]{4 * \frac{V_{02}}{\pi}}$$

$D_2$ = 1,2 m

Por tanto, $H_{02}$ = 1,2 m

Considerando una altura de sobrediseño $H_{sd}$, = 20%

$H_{t2} = H_{02} + H_{sd}$

$H_{t2}$ = 1,4 m

*Volumen total de la sección:*

$$V_{t2} = \pi * \frac{D_2^{\ 2}}{4} * H_{t2}$$

$V_{t2}$ = 1,6 $m^3$

*Dimensionamiento de la sección de suspensión (sección #1).*

El dimensionamiento de esta sección se realiza bajo la siguiente consideración:

$$V_{01} = \frac{1}{3} * V_{02}$$

Siendo $V_{02}$ = 1,5 $m^3$

$V_{01}$ = 1,5/3 = 0,5 $m^3$

Como $D_{01}$ = $D_{02}$ = 1,2 m,

$$V_{01} = \pi * \frac{D_{01}^{\ 2}}{4} * H_{01}$$

Calculando $H_{01}$ = 0,4 m

Considerando una altura de sobrediseño $H_{sd}$, = 20%

$H_{t1} = H_{01} + H_{sd}$

$H_{t1}$ = 0,5 m

$$V_{t1} = \pi * \frac{D_1^{\ 2}}{4} * H_{t1}$$

$V_{t1}$ = 0,6 m

En la siguiente tabla se resumen los resultados del dimensionamiento del filtro.

***Tabla 2.4:*** Resumen de los principales parámetros de diseño del filtro al vacío.

| Sección # 1 | | Sección # 2 | |
|---|---|---|---|
| Volumen de trabajo ($V_{01}$) | 0,5 $m^3$ | Volumen de trabajo ($V_{02}$) | 1,5 $m^3$ |
| Altura de la suspensión ($H_{01}$) | 0,4 m | Altura de la suspensión ($H_{02}$) | 1,2 m |
| Volumen total ($V_{t1}$) | 0,6 m | Volumen total ($V_{t2}$) | 1,6 m |
| Altura total ($H_{t1}$) | 0,5 m | Altura total ($H_{t2}$) | 1,4 m |
| Diámetro ($D_1$) | 1,2 m | Diámetro ($D_2$) | 1,2 m |

*Dimensionamiento del sistema al vacío.*

En esta sección se realizan los cálculos correspondientes al dimensionamiento de la bomba de vacío a utilizar en la operación de filtración.

Sección de la suspensión:

Datos de la suspensión:

Densidad (ρ): 1200 $kg/m^3$
$H_{01}$: 0,4 m

Presión en la sección #1.

El cálculo estará basado en la determinación de la presión que ejerce la suspensión en esta sección del equipo. Partiendo de que la sección #1 del filtro se encuentra abierto a la atmósfera, tenemos que:

$P_1 = \rho * H_{01}$

$P_1 = 480\ kg/m^2$ (0,048 $kg/cm^2$)

Siendo $P_1$ la presión ejercida por la suspensión en esta sección de trabajo, considerada como presión hidrostática.

Sección de filtrado:

Según (Rosabal & Garcell, 2006); las diferencias de presión (ΔP) que se usan industrialmente en operaciones de filtración al vacío, son del orden de 0,5-0,9 $kgf/cm^2$.

Considerando una $\Delta P = 0,9\ kg/cm^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$P_2 = P_1 - \Delta P$

$P_{2man} = 0,048 – 0,9 = - 0,852$ kg/cm$^2$

$P_{2\ abs} = P_{atm} + P_{man}$

$P_{2\ abs} = 1 + (- 0,852$ kg/cm$^2) = 0,148$ kg/cm$^2$ (145 mbar)

*Propuesta de selección de la bomba de vacío.*

Siendo el volumen total de la sección de filtración igual a 1,6 m$^3$, y considerando que el tiempo tecnológico para lograr el vacío para dar comienzo a la operación de filtración debe ser de 30 min. (0,5 h), tenemos que:

Cap. Asp. = $V_t/t$

Cap. Asp. = 0,053 m$^3$/min (3,18 m$^3$/h)

Propuesta de selección de la bomba de vacío.

Una vez obtenidos los principales parámetros de selección de la bomba de vacío, se propone la instalación de una bomba de membrana con resistencia química, las cuales presentan una solución excelente para hacer vacío en presencia de productos corrosivos y que no se requiere un nivel alto de vacío. Se conoce que en el funcionamiento de este tipo de bomba no se consume agua y por lo tanto no se produce agua contaminada. A continuación, se muestran las principales características técnicas de la bomba normalizada (Agilent Technologies, 2012. Recuperado de http://www.agilent.com/chem/vacuum; Vacuubrand, 2014-2015. Recuperado de http://www.vacuubrand.com).

***Tabla 2.5:*** Especificaciones técnicas de la bomba de vacío.

| **Especificaciones técnicas** | |
|---|---|
| Vacío final (abs) | 120 mbar |
| Capacidad de aspiración | 4,3 m$^3$/h |
| Voltaje | 220/440V |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Potencia del motor | 0,37 kW |

## Conclusiones parciales

1. Se propone como variante tecnológica a emplear el sistema de mezclado en frío debido a que presenta poca complejidad tecnológica en cuanto a cantidad y diversidad de equipos de proceso. Este sistema permite, además, el empleo de productos químicos que no presentan peligro para la salud humana ni para el medio ambiente.

2. Mediante el régimen de operación y esquema tecnológico propuestos, se pueden producir, aproximadamente, 1127 $m^3$ de fertilizantes líquidos NPK anualmente.

3. Para alcanzar el volumen de producción antes mencionado, los consumos anuales de materias primas, agua y energía eléctrica serán de:

   - Fosfato Diamónico (DAP): 208 t
   - Urea: 126 t
   - Cloruro de potasio (KCl): 159 t
   - Agua cruda: 1098 $m^3$
   - Energía eléctrica: 2,4 MW

# Capítulo III

# Capítulo III. Diseño ambiental de los fertilizantes líquidos NPK.

Como se abordó en el *Capítulo I*, el Ecodiseño es la integración sistemática de consideraciones ambientales en el proceso de diseño de los productos (entendidos como artículos y servicios). El propósito principal del ecodiseño es el desarrollo de los productos que llevan a la sostenibilidad, reduciendo su carga ambiental a través de todo su ciclo de vida, considerando también otros requisitos convencionales de los productos y de los clientes como la funcionalidad, calidad, seguridad, coste, manufacturabilidad, ergonomía y estética (Rocha, 2011).

En el presente capítulo se desarrolla la aplicación del método de Ecodiseño *PILOT* para el análisis ambiental de los fertilizantes líquidos NPK.

## 3.1 Ciclo de vida de los fertilizantes líquidos NPK.

La evaluación del concepto del ciclo de vida tiene como objetivo fundamental identificar los impactos más significativos dentro del ciclo de vida del producto y, por tanto, a identificar las estrategias más apropiadas para la mejora del producto.

En la ***figura 3.1*** se presenta un esquema de las fases del ciclo de vida y los límites del sistema de los fertilizantes líquidos NPK.

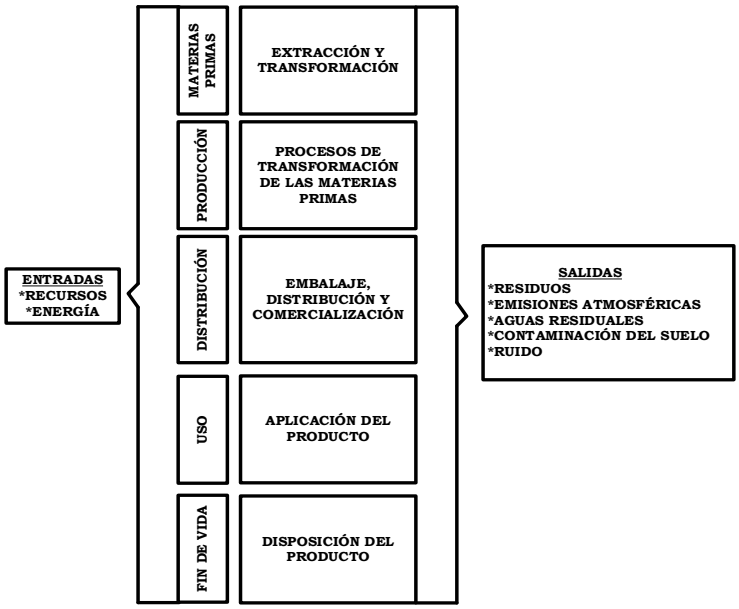



***Figura 3.1*** Fases del ciclo de vida de los fertilizantes líquidos NPK. Elaboración propia.

## 3.2 Aplicación de la metodología ECODESIGN PILOT.

### 3.2.1 Pensando en ciclo de vida del producto.

Como se abordó en el ***Capítulo I***, el primer paso tiene como objetivo identificar la fase del ciclo de vida del producto donde los impactos ambientales son significativos. A continuación, se presenta los aspectos más relevantes de cada una de las fases de vida del producto en estudio.

**3.2.1.1 Fase I.** Extracción y fabricación de las materias primas.

Como se discutió anteriormente, las materias primas a emplear en la producción de fertilizantes líquidos NPK en la Empresa Química de Cienfuegos, se encuentran las siguientes:

- Fosfato de amonio (DAP)
- Urea
- Cloruro de potasio (KCl)

*Obtención y origen de las materias primas.*

Fosfato Diamónico (DAP).

El fosfato diamónico (DAP) es el fertilizante fosfatado más utilizado en el mundo. Está hecho de dos componentes comunes de la industria de los fertilizantes y es popular debido a su contenido de nutrientes relativamente alto y sus excelentes propiedades físicas.

- Producción

Los fertilizantes de fosfato de amonio estuvieron disponibles por primera vez en la década de 1960 y el DAP se convirtió rápidamente en el más popular dentro de esta clase de productos. Está formulado a base de una reacción controlada de ácido fosfórico con amoníaco, donde la mezcla caliente se enfría, se granula, y luego se tamiza. El DAP tiene excelentes propiedades de manejo y almacenamiento. El grado estándar del DAP es 18-46-0 y productos fertilizantes con menor contenido de nutrientes no pueden ser etiquetados como DAP.

La cantidad de insumos necesarios para producir una tonelada de fertilizante DAP es de aproximadamente 1.5 a 2 toneladas de roca fosfórica, 0.4 toneladas de azufre (S) para disolver la roca, y 0.2 toneladas de amoníaco.

Cambios en la oferta o el precio de cualquiera de estos insumos tendrán un impacto en los precios y disponibilidad del DAP. El alto contenido de nutrientes del DAP es de gran ayuda en la reducción de los costos de manipuleo, transporte y aplicación. El DAP se produce en muchos lugares del mundo y es un producto fertilizante ampliamente comercializado.

Urea.

- Producción.

La Urea no se encuentra en estado natural como mineral, aunque en pequeñas cantidades se produce en el metabolismo animal, expulsados por la orina. Industrialmente se parte de la obtención de amoniaco ($NH_3$) por síntesis del nitrógeno del aire con el hidrógeno producto de una combustión controlada de un petroquímico en medios catalíticos. Producto de la descarboxilación pirolítica se produce como subproducto $CO_2$, el cual, en el caso del proceso de producción de urea, pasa a producto intermedio. La urea se forma mediante las siguientes reacciones:

$$2NH_3 + CO_2 \leftrightarrow NH_2COONH_4 + \Delta \leftrightarrow CO(NH_2)_2 + H_2O$$

Amoníaco + dióxido de Carbono ↔ carbamato + calor ↔ urea + agua de amonio

Debido a que estas reacciones presentan carácter reversible, las condiciones de operación deben favorecer la formación de la urea. Estas condiciones ocurren cuando se mantiene un nivel determinado de amoniaco en exceso respecto a la cantidad correspondiente al balance estequiométrico para lograr la reacción total del dióxido de carbono existente, así la fuerza motriz de la reacción produce el desplazamiento hacia la formación eficiente y efectiva de urea.

Cloruro de potasio (KCl).

- Producción.

El cloruro de potasio presenta una concentración entre 60 y 61% de $K_2O$, fundamentalmente procedente de Alemania, aunque también se encuentra en Rusia, Canadá, México y otros países. A principios del siglo XX solo se presentaba en los minerales *carnalita* ($ClK.Cl_2Mg.6H_2O$) y *kainita* ($ClK.SO_4Mg.3H_2O$). Para la obtención de la sal se disuelve la carnalita en solución caliente de cloruro de magnesio, y por enfriamiento de esta solución precipita la mayor parte del KCl. Actualmente, se encuentra en forma mineral como KCl, y usualmente presenta coloración rosada más o menos

intensa en dependencia del contenido de óxido ferroso FeO presente en el mineral, por lo que las formulas NPK pueden aportar pequeñas cantidades de Fe al suelo que no se tienen en cuenta. Existen en Alemania yacimientos de carnalita y de KCl, mineral libre de hierro obteniendo un KCl de color blanco, con una concentración de 61% de $K_2O$, que puede llegar a 61,5% en dependencia de la humedad e impurezas presentes en el producto, aunque en el desierto de Etiopía existe un yacimiento de KCl blanco, con varios millones de toneladas en una depresión de 200m por debajo del nivel del mar, conocida por el Valle de la Sal. Actualmente, en cualquier variante, hay existencias suficientes, por lo que hasta ahora no es factible la obtención por síntesis química a partir de elementos simples.

Puede utilizarse en polvo, granulado, en tabletas y en solución, en dependencia de la tecnología agrícola a que se aplique, aunque el más utilizado es el granulado en la tecnología Bulk Blending y para aplicaciones directas al suelo como portador simple.

Se utiliza en fórmulas completas de NPK, y como portador simple en plantaciones de arroz y plátano en producción, contraindicado en las plantaciones de tabaco.

*Análisis de los aspectos ambientales asociados a la producción de Urea, Fosfato diamónico y Cloruro de potasio.*

Tal y como se abordó en el *Capítulo I*, la fabricación de fertilizantes a partir de productos químicos lleva asociadas unos riesgos medioambientales caracterizados por las materias primas empleadas, los procesos utilizados en su transformación o por los subproductos y productos obtenidos.

La industria de los fertilizantes sintetiza productos químicos ricos en fósforo, nitrógeno y potasio, cuya función de estos productos es enriquecer el suelo en compuestos con estos elementos, imprescindibles para el desarrollo de cualquier vegetal.

Los principales aspectos medioambientales que caracterizan a la industria de los fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos, son:

*Emisiones atmosféricas.*

- ✓ Emisiones a la atmósfera de los procesos de síntesis (amoníaco en la síntesis de urea, fluorhídrico y tetracloruro de silicio en la industria del fósforo en general, etc.).
- ✓ Partículas como consecuencia de la manipulación de las materias primas y los productos fertilizantes finales en estado sólido a lo largo de las operaciones de carga, descarga, triturado, granulado o envasado.

- ✓ Emisiones a la atmósfera de $NO_x$, $SO_2$ y partículas como consecuencia del consumo de combustibles en calderas para suministrar energía y vapor a las plantas.
- ✓ Emisiones difusas a la atmósfera de los parques de tanques de almacenamiento, durante la operación normal o simplemente debido a cambios de temperatura. Éstas hacen que a través de los venteos o accesorios de los tanques se produzcan emisiones continuas de los productos que contienen.
- ✓ Emisiones debidas a accidentes graves en los almacenamientos.

*Efluentes líquidos.*

- ✓ Vertidos de aguas de proceso, que contendrán, entre otros compuestos: nitratos, amoniaco, fosfatos, fluoruros y metales pesados según los diferentes procesos de síntesis.
- ✓ Vertidos de líquidos peligrosos (ácido sulfúrico, amoníaco, ácido fosfórico) como consecuencia de derrames durante la operación o fugas en el almacenamiento.
- ✓ Vertidos de agua de lavado de tanques, cisternas e instalaciones contaminadas con los productos del proceso.
- ✓ Vertidos debidos a accidentes graves en los almacenamientos.

*Residuos sólidos.*

- ✓ Residuos de filtrados, derrames, envases y catalizadores gastados, son de los potenciales focos de generación de residuos.

*Consumo de agua.*

En la industria de obtención de fertilizantes se emplean importantes cantidades de agua, siendo necesario realizar una adecuada selección del sitio para la instalación de plantas productoras, de manera que se disponga de suficiente agua, tanto dulce como de mar. Aunque la disponibilidad de agua potable es esencial, la industria fertilizante también requiere grandes volúmenes de este elemento para diversos usos ajenos al consumo, como la limpieza de los equipos productivos y operaciones de transferencia de calor, entre otros.

*Consumo de energía.*

Las necesidades energéticas en la industria de los fertilizantes son importantes, debido a los diversos equipos a los que ha de suministrarse energía. El consumo de electricidad aporta un valor significativo de dióxidos de azufre, de nitrógeno, de carbono y otras emisiones al medio ambiente, los cuales tienen una contribución significativa al calentamiento global y la formación de lluvia ácida.

*Consideraciones ambientales referentes al ambiente de trabajo en plantas de Urea, Fosfato diamónico y Cloruro de potasio.*

Según (Sittig, 2002), en las plantas de fertilizantes se generan varios contaminantes en el ambiente de trabajo, dentro de los cuales se incluyen los siguientes:

- ✓ Fugas de gases y vapores dentro de las unidades de producción que varían según la línea de la producción. En las plantas de fertilizantes del fósforo, estas emisiones incluyen componentes de fluoruro (HF, SiF4 y H2SiF6) y NOx, nitrato de amonio y óxidos de azufre. En las plantas de fertilizantes nitrogenados, el amoníaco, el dióxido de carbono y la urea, son consideradas las emisiones de mayor presencia influencia.
- ✓ Polvos y partículas procedentes las secciones de granulación y empaque.
- ✓ Calor proveniente de varias fuentes, tales como: reactores de síntesis, secciones de acidificación, reacciones exotérmicas, secado y perlado, entre otras.
- ✓ El ruido es otro problema de preocupación dentro del lugar de trabajo. Puede ocurrir en varias secciones de las líneas de producción y unidades de servicio, tales como; compresores, casas de calderas, bombas de agua en torres de enfriamiento, así como en secciones de granulación y tamizado de fertilizantes. También equipos de transportación (p.e transportadores de banda) de fertilizantes, los cuales generan altos niveles de ruido.

En la ***tabla 3.1*** se muestran algunas medidas típicas de ruido en varios lugares en plantas de fertilizantes.

***Tabla 3.1*** Valores típicos de ruido medidos en plantas de fertilizantes. (Sittig, 2002).

| Lugar | Intensidad de ruido, dB |
|---|---|
| Bombas succión de agua | 96 |
| Bombas calderas de vapor | 106 |
| Bombas en torres de enfriamiento | 99 - 100 |
| Compresores | 101 - 109 |
| Sección producción de amoníaco | 100 - 99 |
| Sección producción de Urea | 86 - 100 |

De manera general, los trabajadores de las plantas de fertilizantes son expuestos a numerosos riesgos, tales como: vapores de azufre, altas temperaturas, peligros de quemaduras por exposición a diversos productos químicos corrosivos (p.e. ácido fosfórico), ruidos, exposición a polvos, amoníaco y óxidos de nitrógeno.

*Consumo de materias primas y materiales en el proceso de obtención de los fertilizantes líquidos NPK.*

Las cantidades de materias primas y materiales a emplear en el proceso de obtención de los fertilizantes líquidos, según la fórmula considerada y el nivel de producción previstos, serán los que a continuación se presentan:

***Tabla 3.2*** Consumo de materias primas en el proceso. Fuente: Elaboración propia.

| Materias primas | Consumo, t | |
|---|---|---|
| | Diario | Anual |
| Fosfato diamónico (DAP) | 0,94 | 208 |
| Urea | 0,572 | 126 |
| Cloruro de potasio (KCl) | 0,720 | 159 |

En la ***tabla 3.3*** que se muestra a continuación, se presentan los tipos y cantidades de materiales a emplear en la producción:

***Tabla 3.3*** Consumo de materiales en el proceso. Elaboración propia.

| Materiales | Consumo | | UM |
|---|---|---|---|
| | Diario | Anual | |
| Frascos 1L (Polipropileno, PP) | 6000 | 1 326 000 | U |
| Tapas p/ frascos de 1L (Polipropileno, PP) | 6000 | 1 326 000 | U |
| Etiquetas autoadhesivas de producto | 6000 | 1 326 000 | U |
| Cajas de cartón | 370 | 82 000 | U |
| Etiquetas autoadhesivas de embalaje | 370 | 82 000 | U |
| Precinta | 8 | 1 768 | rollos |

**3.2.1.2 Fase II:** Fabricación del producto.

Aspectos asociados al proceso de fabricación.

Siguiendo la metodología de PILOT, en la fase de producción del producto en estudio serán analizados los aspectos más relevantes asociados a esta fase, siendo estos:

- Tecnología de producción
- Consumo de agua
- Demanda de energía eléctrica
- Generación de emisiones gaseosas
- Generación de residuales líquidos
- Generación de residuos sólidos
- Generación de ruido

*Tecnología de producción.*

La tecnología de producción a emplear en el presente trabajo es la conocida como *Mezclado en frío*, la cual fue abordada en el ***Capítulo I***. Este método es el más sencillo y consiste en la mezcla de los portadores de nutrientes seleccionados, donde no ocurre liberación de calor durante la misma. Por tal motivo, se hace necesaria la introducción en el sistema de un medio de calentamiento, con el objetivo de aumentar la temperatura en el proceso de dilución de las sales, mejorando de esta manera la solubilidad de las mismas, permitiendo, además, disminuir el tiempo en la operación. Los equipos utilizados en el proceso son: mezcladores, filtro al vacío, bomba de vacío, bombas centrífugas, grúa de transportación y tanques para el almacenamiento del producto.

*Consumo de agua en el proceso.*

El agua es empleada en el proceso como materia prima, formando parte de la formulación del producto terminado. A continuación, se ofrecen los resultados del análisis realizado en lo referido al consumo de este recurso en el proceso de producción.

***Tabla 3.4*** Consumo de agua a utilizar en el proceso de producción de fertilizantes líquidos NPK. Elaboración propia.

| Consumo de agua en el proceso productivo | | | |
|---|---|---|---|
| Agua | **Cantidad x batch, m³** | **Consumo diario, m³** | **Consumo anual, m³** |
| | 1,24 | 4,97 | 1098 |

*Consumo de energía eléctrica en el proceso.*

Planteado el régimen de operación de la planta en el ***Capítulo II***, y teniendo en cuenta los equipos a utilizar en el proceso tecnológico, así como el consumo eléctrico de cada uno de ellos y los tiempos de operación, se calcula el consumo de energía eléctrica del proceso. Los resultados de tal análisis se muestran en la siguiente tabla:

***Tabla 3.5*** Consumo eléctrico por equipos. Fuente: Elaboración propia (codificación de equipos según (Ulrich, 1985)

| Consumo de energía eléctrica por equipos | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Equipos/Códigos** | **Horas de trabajo diarias (h)** | **Consumo (kWh)** | **Consumo diario (kWh)** | **Consumo anual (MW)** | **%** |
| Grúa de transportación 31J01 | 1,50 | 0,37 | 0,56 | 0,123 | 5,1% |
| Agitador del mezclador 31M01 | 3,34 | 0,24 | 0,80 | 0,177 | 7,4% |
| Agitador del mezclador 31M02 | 3,34 | 0,24 | 0,80 | 0,177 | 7,4% |
| Resistencia eléctrica mezclador 31E01 | 1,34 | 2,5 | 3,35 | 0,740 | 30,7% |
| Resistencia eléctrica mezclador 31E02 | 1,34 | 2,5 | 3,35 | 0,740 | 30,7% |
| Bomba centrífuga 31L01 | 1,00 | 0,55 | 0,55 | 0,122 | 5,0% |
| Bomba centrífuga 31L02 | 1,00 | 0,75 | 0,75 | 0,166 | 6,9% |
| Bomba de vacío 31G01 | 2,00 | 0,37 | 0,74 | 0,164 | 6,8% |
| | | | ***10,90*** | ***2,41*** | **100%** |

Como puede observarse en la tabla anterior, el consumo de energía eléctrica no es un aspecto significativo dentro del proceso, siendo el índice de consumo de apenas 2,14 kW/m$^3$ de fertilizante a producir.

*Generación de emisiones gaseosas.*

Los gases que se puedan generar en este proceso no se consideran contaminantes ya que los portadores no son sustancias tóxicas ni ocurre ninguna reacción química entre ellos, solo es la disolución de los mismos en agua, por cuanto el impacto por emisiones a la atmósfera no es un factor que afecte el medio circundante.

*Generación de residuales líquidos.*

En el proceso de obtención de los fertilizantes líquidos NPK no se generan efluentes líquidos, siendo considerando como único residual líquido a generar el correspondiente a los lavados de los equipos tecnológicos, tuberías e instalación en general, las cuales serán conducidas hacia un cubeto de recolección. La composición físico-química de estos residuales varía en dependencia de las materias primas empleadas. Para controlar el contenido de sustancias contaminantes en estos residuales se deben tomar muestras en días y producciones diferentes.

*Generación de residuos sólidos.*

Dentro de residuos sólidos considerados a generar en el proceso de obtención de los fertilizantes líquidos NPK, se encuentran los siguientes:

- Torta obtenida en la operación de filtración;
- Sacos de polietileno generados por el consumo de materias primas.

Torta obtenida en la operación de filtración;

Como se ha abordado anteriormente, en el proceso de obtención de los fertilizantes líquidos es preciso realizar una operación de filtración, debido a la presencia de impurezas que forman parte de las sales empleadas, fundamentalmente contenidas en el cloruro de potasio ((Fe (0.05-0.2%); Mg (0.1-1%); Al (0.05-0.1%)). El empleo del fosfato diamónico (DAP) produce también un sedimento de consistencia gelatinosa, dada no solo por la presencia de impurezas como las mencionadas anteriormente, sino también por contener aditivos que se le añaden con vistas a aumentar la resistencia mecánica de los gránulos. En el proceso de dilución de los distintos portadores o durante el

almacenaje, estas impurezas tienden a precipitar, de ahí la necesidad de realizar la operación de filtración.

El nivel de generación de este residuo será, según balance material, de aproximadamente 360 kg/día, y considerando el régimen de trabajo de la instalación, anualmente se generarán 79560 kg (aprox. 80 t).

Sacos de materias primas gastados.

Las materias primas del proceso serán adquiridas en sacos de 50 kg de polipropileno recubiertos interiormente con polietileno, donde una vez vaciados, estos serán considerados residuos del proceso.

El índice de generación de estos sacos será, aproximadamente, 54 sacos por día, y considerando un peso por saco de 0,2 kg, y teniendo en cuenta el régimen de trabajo de la instalación, la generación anual de este material será de 11934 sacos (2386,8 kg).

*Generación de ruido.*

Los equipos tecnológicos a emplear (según esquema tecnológico propuesto) no deben provocar niveles de ruido superiores a 80 dB, por cuanto el ruido no es un factor que afecte el medio circundante.

**3.2.1.3 Fase III:** Distribución del producto.

En esta fase serán analizados los aspectos relacionados con:

- Empaquetado del producto.
- Transportación del producto.

*Empaquetado del producto.*

El producto será comercializado en frascos de 1L de capacidad, cuyo material de fabricación es polipropileno. El mismo será embalado en cajas de cartón corrugado, a razón de 16 unidades de producto por caja.

*Transportación del producto.*

El producto terminado será comercializado por toda la región central del país, tomándose como referencia una distancia de transportación máxima aproximada desde el origen

(planta de producción) hasta el lugar de uso del producto (destino) de 250 km, cuya transportación se realizará en camiones.

**3.2.1.4 Fase IV:** Uso del producto.

El producto será usado en casas de cultivo, en cultivos tales como las hortalizas. La dosis recomendada está en dependencia del estado vegetativo del cultivo, así como del contenido de nutrientes en el suelo. Aplicación al suelo a través de fertirriego o pulverización directa. Al suelo con una dosis aproximada de 60 litros de producto por Ha en cada aplicación. El modo de empleo será: en aplicaciones directas, diluir cada litro de producto en 100 litros de agua, aplicar y continuar la norma de riego. En fertirriego, diluir cada litro de producto en 10 litros de agua e inyectar al sistema con una norma de 80 a 100 m3 de agua por hectárea.

**3.2.1.5 Fase V:** Fin de Vida del producto.

El nitrógeno presente en el producto en forma ureica, es absorbido por las plantas en forma nítrica y parcialmente en forma amoniacal, una vez convertido este a estas formas de nitrógeno. El resto del nitrógeno amoniacal sigue el ciclo de nitrificación – desnitrificación. Una parte de los iones de Potasio es absorbida por las plantas, otra parte mayor es absorbida por los coloides y el resto pasa a situación de no disponible temporalmente por retención entre las capas de arcilla. Una parte de los iones de Fósforo es absorbida por las plantas, la otra se absorbe por el suelo, especialmente en presencia de Calcio.

### 3.3 Análisis del producto con el ECODESING Assistant.

Una vez realizado el análisis de cada una las fases del ciclo de vida del producto estudiado, se emplea el *ECODESIGN* Assistant (disponible en: http://www.ecodesign.at/assist.), con el objetivo de determinar cuál de las fases del ciclo de vida es la que presenta el impacto ambiental más significativo.

*Información general del producto.*

El primer paso a seguir en el ECODESIGN Assistant es la introducción de la información básica del producto, basada en:

- *Nombre del producto:* fertilizante líquido NPK
- *Tiempo de vida del producto:* 1 año
- *Unidad funcional:* 1 litro de producto

*Entrada de datos al Assistant.*

Una vez definido lo anterior, se da comienzo al análisis en cada una de las fases del ciclo de vida del producto. Para ello, es preciso la introducción de una serie de datos numéricos definidos en cada fase del ciclo de vida.

- *Materias primas:* En esta fase se introducen los datos más relevantes acerca de las materias empleadas en la producción del producto. Los materiales individuales se asignan a un grupo definido. Cada material contenido en el producto tiene que ser clasificado. El ECODESIGN Assistant presenta un botón con el símbolo con el signo de interrogación, el cual muestra una lista de materiales y una explicación de las clases materiales correspondientes.

- *Fabricación:* En esta fase se introducen los datos correspondientes al proceso de producción, tales como: consumo de energía, residuos, volumen de producción, etc.

- *Distribución:* Los datos relevantes de esta fase lo representan los referidos a: medios de transportación utilizados y la distancia de la misma, así como el tipo de empaque.

- *Uso:* En esta fase los datos de entrada más relevantes son los relacionados con: la frecuencia de uso del producto, el consumo de energía y los residuos generados durante el uso.

- *Fin de vida:* La información de entrada en esta fase, trata sobre la disposición y reciclando del producto o parte de él.

*Resultado.*

Como resultado de la aplicación del Assistant se obtiene que la fase que presenta un impacto ambiental significativo es la de extracción y fabricación de materias primas, clasificándose entonces como, *Tipo A. Materia prima intensivo*.

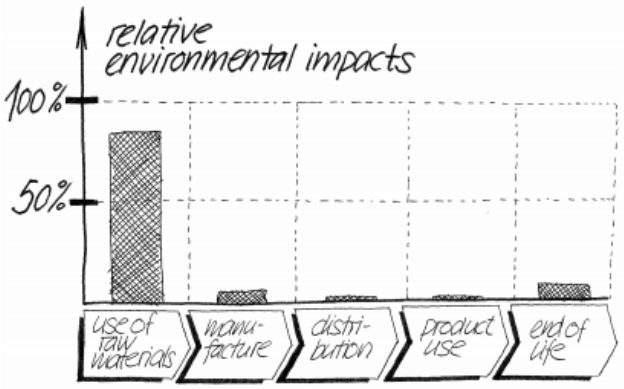



***Figura 3.2*** *Tipo básico A*. Impacto ambiental significativo a través del uso de Materias Primas. (Wimmer and Züst, 2001). Disponible en http://www.ecodesign.at

### 3.4 Selección de estrategias de Ecodiseño.

Identificada y clasificada la fase donde ocurren los impactos ambientales más significativos dentro del ciclo de vida del producto, se realiza la selección de las estrategias de Ecodiseño. Para esto, el ECODESING Assistant propone una serie de estrategias, clasificadas como: *estrategias con alta prioridad (principales)*, *estrategias que pueden ser realizadas después* y *otras estrategias recomendadas*. A continuación, se presentan las principales estrategias de Ecodiseño, tomadas del resultado del método PILOT.

*Principales Estrategias de Ecodiseño.*

1. Reducción de las entradas de material.
2. Incrementar la durabilidad del producto.
3. Reutilización de partes del producto.
4. Optimizar el tipo y cantidad de materiales en proceso.

### 3.5 Selección de medidas de Ecodiseño.

Una vez analizadas las estrategias antes planteadas, se seleccionan las medidas de Ecodiseño que permitan la mejora ambiental del producto.

*Medidas propuestas.*

1. Evitar derrames innecesarios de materias primas durante las diferentes operaciones del proceso productivo, siendo las más sobresalientes, las operaciones de transportación hacia los mezcladores y vaciado en los mismos.

2. Dado que las materias primas del proceso son productos con características higroscópicas, debe mantenerse un control estricto de las condiciones de almacenamiento, fundamentalmente la humedad del medio, de manera que se evite el apelmazamiento de estas durante los períodos de almacenamiento y, por consiguiente, un posible rechazo de producto por no contar con las características físicas adecuadas para el uso previsto. Este apelmazamiento trae consigo la realización de labores extras en la fabricación del producto, ya que deben restituirse cada uno de estas materias primas para un uso más eficiente de las mismas en el proceso de producción.

3. Crear un sistema de recolección de los envases de producto una vez gastados para su posterior reutilización en el proceso productivo. Un sistema de recolección eficiente que no suponga un esfuerzo irrazonable, a lo que la parte del usuario se refiere, será un incentivo para la devolución de los envases.

4. Asegurar una proporción alta de devolución de los sacos una vez gastados los mismos a los proveedores de las materias primas. Cuanto más alto es la proporción de devolución más grande será el beneficio para el medio ambiente, existiendo, por tanto, una mayor eficiencia económica en el proceso global de renovación y/o reciclaje.

5. Someter la torta obtenida en la etapa de filtración a un proceso de secado por radiación solar, ya que esta contendrá compuestos que pudieran ser valorados como elementos fertilizantes, pudiendo ser considerado este residuo como un fertilizante sólido de baja concentración y valorizado como sub-producto de la producción.

6. Reutilizar las aguas residuales generadas de las limpiezas de los equipos tecnológicos, asegurando no solo la fabricación con un mínimo de efluentes sino una reducción de costes. Para ello se propone colectar estas aguas en un sistema colector y posteriormente realizar una caracterización, pudiendo ser utilizadas nuevamente como agua de limpieza e inclusive, de cumplir con los parámetros de calidad necesarios, como agua de proceso, ya que las mismas pudieran presentar en su composición química elementos de interés, tales como: nitrógeno, fósforo y/o potasio.

7. Hacer un uso estricto del producto, siguiendo las instrucciones del modo de empleo y la dosis de aplicación (L/Ha) del mismo.

## Conclusiones parciales.

1. La fabricación de fertilizantes a partir de productos químicos lleva asociadas unos riesgos medioambientales caracterizados por las materias primas empleadas, los procesos utilizados en su transformación o por los subproductos y productos obtenidos, siendo los principales aspectos ambientales:

   - Emisiones atmosféricas de los procesos de síntesis, partículas como consecuencia de la manipulación de los fertilizantes finales en estado sólido a lo largo de las diferentes operaciones de carga, descarga, trituración y granulado, entre otras.

   - Emisiones de NOx y $SO_2$ como consecuencia del consumo de combustibles en calderas para el suministro de energía y vapor en las plantas.

   - Vertidos de líquidos peligrosos como consecuencia de derrames durante las operaciones o fugas en el almacenamiento.

   - Residuos de filtrados, derrames, envases y catalizadores gastados, siendo estos potenciales focos de contaminación.

   - Altos consumo de agua y energía, producto de la necesidad de importantes cantidades de agua y energéticos que requieren cada uno de los procesos de producción.

2. Se determinó mediante la metodología PILOT que la etapa del ciclo de vida de los fertilizantes líquidos NPK, donde ocurren los impactos ambientales más significativos es la de extracción y obtención de las materias primas del proceso.

3. Se identificaron las principales estrategias y medidas de Ecodiseño a aplicar para el diseño ambiental de los fertilizantes líquidos NPK.

# Conclusiones

## Conclusiones generales

1. La industria química cubana mediante el diseño y producción de los fertilizantes líquidos, los cuales pudieran utilizarse en los programas de fertirriego de diversos cultivos, pudiera disminuir la importación de los fertilizantes solubles ampliamente utilizados, fundamentalmente, en casas de cultivo y cultivos protegidos, existiendo actualmente una considerable dependencia de estos en el mercado externo.

2. Dada las diversas ventajas técnico-económicas que presenta el uso de los fertilizantes líquidos, se considera dentro de las más importantes, desde el punto de vista agronómico, la posibilidad de realizar una distribución exacta y uniforme tanto de los macro como micronutrientes en el suelo, lográndose una alta eficiencia en el uso de nutrientes.

3. En el estudio documental realizado se demuestra la importancia de la aplicación del Ecodiseño como herramienta de gestión empresarial, mediante el cual, las organizaciones pueden obtener numerosos y variados beneficios, tanto económicos como ambientales.

4. Se realizó el dimensionamiento de los equipos tecnológicos que conforman la instalación para la fabricación del producto estudiado, aplicándose para ello los balances de materiales y energía como punto de partida, arrojando como resultado que, mediante el régimen de operación y esquema tecnológico propuestos, se pueden producir anualmente 1127 $m^3$ aproximadamente de fertilizantes líquidos.

5. Para alcanzar el volumen de producción previsto, los consumos anuales aproximados, de materias primas, agua y energía eléctrica serán de:

   - Fosfato Diamónico (DAP): 207 t
   - Urea: 126 t
   - Cloruro de potasio (KCl): 159 t
   - Agua cruda: 1098 $m^3$
   - Energía eléctrica: 2,4 MW

6. Se realizó el análisis de ciclo de vida del producto objeto de estudio utilizando el método de Ecodiseño PILOT, mediante el cual, se pudo identificar la fase del ciclo de vida donde ocurren los impactos ambientales más significativos, resultando en este caso ser, la fase de extracción y obtención de las materias primas a utilizar en la fabricación del producto.

# Recomendaciones

# Recomendaciones

1. Proponer a la dirección de la empresa, una vez en funcionamiento la instalación de producción de los fertilizantes líquidos, poner en práctica cada una de las medidas de Ecodiseño propuestas en el proceso estudiado.

2. Completar este trabajo realizando en investigaciones futuras un estudio integral donde se analicen la eficiencia y eficacia de la planta, realizándose posteriormente, un análisis técnico-económico del proceso productivo.

3. Integrar este trabajo al resto de las investigaciones en esta materia realizadas en otros procesos productivos de la empresa con el objetivo de vincular criterios de P+L y Ecodiseño en toda la empresa, así como, en la concepción de nuevos proyectos de desarrollo de la entidad.

# Bibliografia

# Bibliografía

Agilent Technologies. (2012). AGILENT VACUUM PRODUCTS ROUGH VACUUM PUMPS. Recuperado de http://www.agilent.com/chem/vacuum

Agrotrapiche, S.L. (2014). Fertilizantes líquidos personalizados. Recuperado de http://agrotrapiche.com/?page_id=552#sthash.vx4MHRKY.dpuf

Bptista, M. V. D. S., Zeny, A. S., y Machado, G. E. (1997). Proposta do senai para implantação de sistemas de gestão ambiental na indústria. Paper presented at the Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Capuz, S., Gómez, T., Vivancos, J., Viñoles, R., & Lopez, R. (2014). *Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles.* México, D.F: Alfaomega grupo editor.

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS). (2005). *Guía técnica general de Producción Más Limpia*. Bolivia. Recuperado de http://www.cpts.org/prodlimp/guias/GuiagralPML/cap1.pdf.

CEPYME ARAGON. (2010). *Guía práctica para la aplicación del Ecodiseño*. PRYSMA Calidad y Medio Ambiente S.A.

Chou R., E. (2012). *Evaluación y aplicación de estrategias de Producción más Limpia en la Sección Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz, de La Empresa de Glucosa Cienfuegos.*

Colectivo de autores. (2007). Universidad para todos. Protección ambiental y producción más limpia. Parte 2 (Academia, Ed.).

*Commercial Fertilizers Report.* (2010). The Fertilizer Institute (TFI) and the Association of American Plant Food Control Officials.

CONAM. (2003). *Guía de implementación de Producciones más Limpia.* Centro de Eficiencia Tecnológica.

Corona M., R. (2010). *Conferencias de Ingeniería de Procesos III.* Versión digital. INTRANET UCLV.

Cuellar, et al. (2008). *Propuesta de una metodología de Producción más limpia para el sector tenerías de el Salvador.* Universidad de el Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Industrial.

Ecodesing Manual. (2011). *Innovation and ecodesing in the ceramic industry. inEDIC.*

Fernández, H. and M. Torres Duggan. (2008). *Fertilización en cultivos florales y ornamentales.* En: Fertilización de Cultivos y Pasturas. Segunda Edición. Hemisferio Sur-INTA. R. Melgar y M. Díaz Zorita. Coordinadores.

*Fertilizer Manual.* (1998). United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Centre (IFDC).

Ficha de divulgación técnica. (2013). Fertilizantes Líquidos «A Medida».

Fiksel, J. (2012). *Ingeniería de Diseño Medioambiental DfE, Desarrollo Integral de Productos y Procesos Ecoeficientes.* McGraw-Hill. Madrid, España.

*Fluid fertilizers. Proceedings of Productions and International Trade.* (2013). Shanghai, China, 17-19 October. IFA.

Ulrich, G. D. (1985). *Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química*. New York: McGraw-Hill.

Galeas, G. (2008). *Aplicación de un Programa de Producción más Limpia en una industria procesadora de productos lácteos*. Quito: EPN.

Hughes, M. (2012). *Fluid Fertilizer Manual (CD versión).* Fluid Fertilizer Foundation. Manhattan, Kansas State, USA.

IHOBE. (2000). *Manual práctico de ecodiseño. Operativa de Implantación en 7 pasos.* IHOBE, S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Gobierno Vasco.

Kafkafi U & J Tarchitzky J. (2012). *Fertigation: a tool for efficient fertilizer and water management.* IFA. IPI.

Kafkafi, U. & J. Tarchitzky. (2012). *Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. International Fertilizer Industry Association.* París, Francia y Horgen, Suiza.

Masera, D. (2004). *La Producción más Limpia y el Consumo Sustentable en América Latina y el Caribe*. Oficina Regional para América latina y el Caribe.

McCabe, Warren L., Smith, Julian C., & Harriott, Peter. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química (versión digital)* (4ta Edición.). McGraw Hill.

Melgar, R.; Duggan, M. T. (2014). *Manual de fertilizantes fluidos. ¿Cómo optimizar el uso de fertilizantes fluidos en Argentina y agro-sistemas sudamericanos?.*

Mercado libre. (2015). Bayfolan Bayer Fertilizante Nutriente Foliar. Recuperado de http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-496499956-bayfolan-bayer-fertilizante-nutriente-foliar- jm

Molina, E. (2003). *Fertilizantes: conceptos básicos y definiciones. Curso de capacitación.* Centro de Investigaciones Agronómicas. Centro de Investigaciones Agronómicas.

NC ISO 14001. (2015). *Sistemas de Gestión Ambiental - Requisitos con orientación para su uso.* Ciudad de la Habana, Cuba: ININ/Oficina Nacional de Normalización.

NC ISO 14044. (2009). *Gestión Ambiental-Análisis del ciclo de vida-Requisitos y directrices (ISO 14044: 2006, IDT)*. Ciudad de la Habana, Cuba: ININ/Oficina Nacional de Normalización.

Nelson, L.B. (2014). *History of the US fertilizer industry.* Tennessee Valley Authority 522 p.

Ochoa, G. (2007). *Las Producciones Más Limpias en la Gestión Empresarial.* Universidad de Cienfuegos: La Habana: Editorial Félix Varela Universo Sur.

Palgrave, D. A. (2010). *History of Fluid Fertilizers.* En: Palgrave, DA (Ed.) Fluid Fertilizer, Science and Technology. Marcel Dekker, New York.

Pavlov, K. F., Romankov, P. G., & Noskov, A. A. (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química.* Editorial Mir Moscú.

Perry, Robert H., Green, Don W., & Maloney, James O. (2008). Chemical Engineers Hanbook (8va edición.). McGraw-Hill Companies.

Peters, Max, & Timmeraus, Klaus D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.* (Fourth Edition.). New York: McGraw-Hill.

Peters, Max S. (2002). *Plant Design and economies for Chemical Engineers.* Estados Unidos: McGraw-Hill Chemical Engineering.

Pro-Agro. (2015). Bayfolan forte, nutriente vegetal foliar. Recuperado de http://www.pro-agro.com.mx/prods/bayer/bayer07.htm

Rocha, C. (2011). *EcoDesign Manual. Innovation and ecodesign in the ceramic industry.inEdic*.

Rodríguez, C. (2005). *Gestión de Proyectos de I+D para la obtención de un nuevo fertilizante ecológico.* InsTEC, La Habana, Cuba.

Rodríguez, C., Gil, R. & Soto, B. (2014). Fertilizantes líquidos y ecológicos. Actualidad y perspectivas. *Memorias 1er Congreso de Química. Evento Internacional CUBAINDUSTRIA. La Habana.*

Rosabal, J., & Garcell, L. (2006). *Hidrodinámica y separaciones mecánicas.* (Vol. Vol. I-II.). La Habana: Editorial Pueblo y educación.

Rough Vacuum Pumps. (2012). Agilent Technologies, Inc. Recuperado de http://www.agilent.com/chem/vacuum

Salas, R. (2003). *Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. Curso de capacitación.* Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.

SALVADOR ESCODA S.A. (2014). Resistencias eléctricas para inmersión. Catálogo Técnico. Recuperado de http://www.salvadorescoda.com

Sandoval A., L. (2006). *Manual de Tecnologías Limpias en PyMEs del Sector Residuos Sólidos*. Perú: Organización de Estados Americanos. Programa Horizontal de Tecnologías Limpias y Energías Renovables.

Sittig, M. (2002). *Fertilizer Industry; Processes, Pollution Control and Energy Conservation.* Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corporation.

*Tecnología de sistema de vacíoCatálogo 2014-2015 Vacuubran. d.* (s. f.). Recuperado de http://www.vacuubrand.com

UNEP/UNIDO. (. (2004). *United Nations Environment Programme*.

Vacuubrand. (2014-2015). Catálogo Tecnología de sistemas de vacío. Recuperado a partir de http://www.vacuubrand.com

Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2008). Producción más Limpia. Paradigma de Gestión Ambiental. Bogotá: Ediciones Uniandes.

Wimmer, W. & Züst, R. (2003). *ECODESIGN Pilot, Product Investigation, Learning and Optimization Tool for Sustainable Product Development, with CD-ROM.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Recuperado de http://www.ecodesign.at

Zaror, C. (2012). *Principios de diseño de procesos limpios.* Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción. Chile.

Zubillaga M & MS Zubillaga. (2012). *Estrategias de aplicación de nitrógeno en agrosistemas pampeanos.* En: Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 4. Sección 2. Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

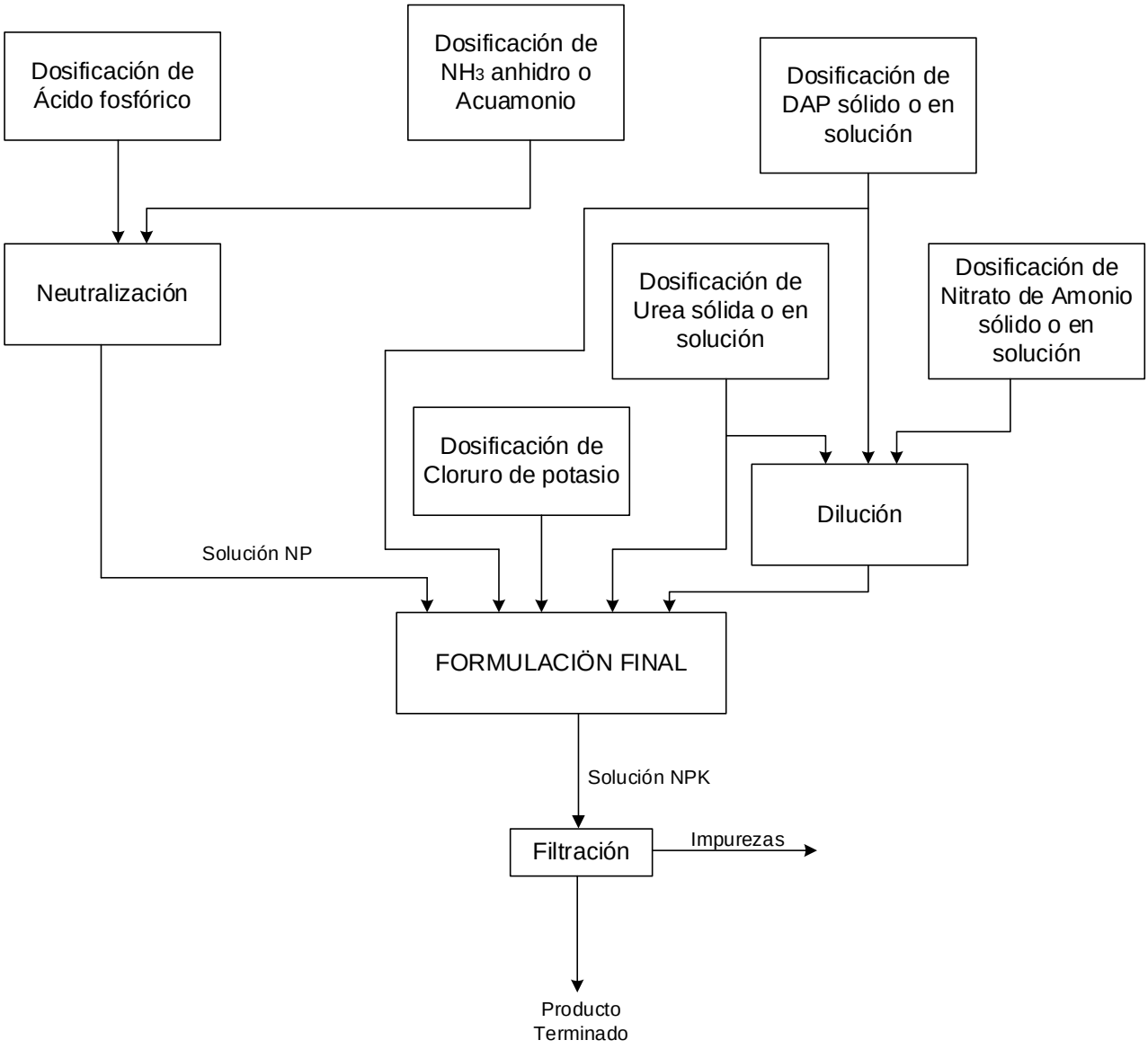
# Anexos

# Anexos

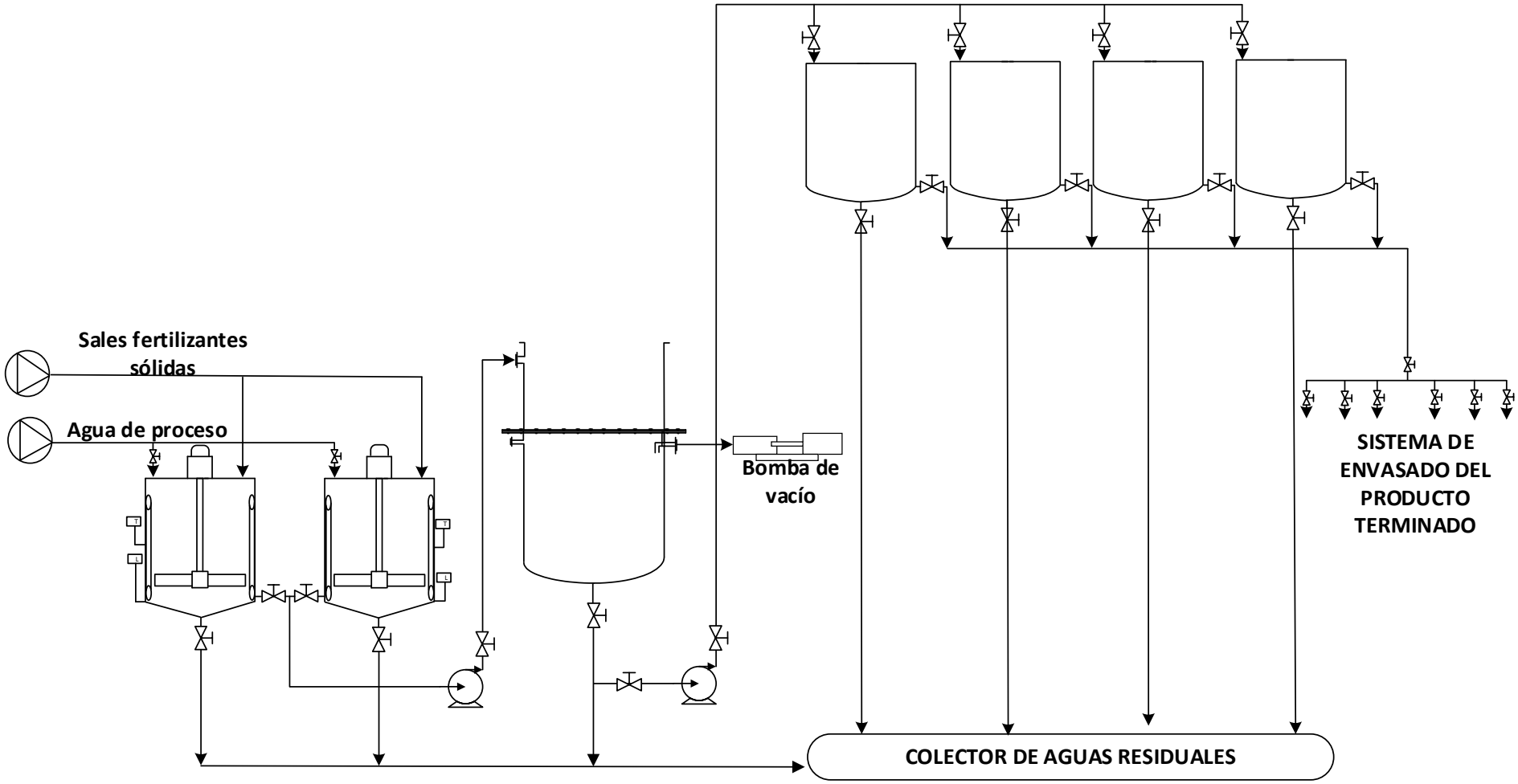
***Anexo A.*** Especificaciones de calidad de las principales materias primas utilizadas en la formulación de fertilizantes líquidos. Fuente. Elaboración propia.

| **Materia prima** | **Nombre comercial/Sinónimos** | **Fórmula química** | **Especificaciones técnicas** |
|---|---|---|---|
| Fosfato Diamónico (DAP) granulado. | DAP | $(NH_4)_2HPO_4$ (18-46-0) | Nitrógeno total mín. N -- 18,0%<br>Fósforo mín. ($P_2O_5$) -- 46,0%<br>Granulometría 90% entre 2-4 mm (mín.), 5% hasta 5 mm máx. y 5% entre 1 y 2 mm máx. Humedad 2% máx.<br>pH no mayor de 7<br>Sin ácido libre<br>Color gris muy claro |
| Cloruro de Potasio | Cloruro de Potasio/ Muriato de Potasio | KCl (0-0-60) | Potasio expresado como $K_2O$ -- 60,0% mín.<br>Granulometría 90% entre 2-4 mm (mín.), 5% hasta 5 mm máx. y 5% entre 1 y 2 mm máx.<br>Humedad 1% máx.<br>Puede ser blanco o rosado, libre de acidez. |
| Urea Perlada | Urea | $CO(NH_2)_2$ | Nitrógeno total mín. N -- 46,0%<br>Humedad 0,5% máx.<br>Contenido Biuret máx. 1%.<br>Granulometría 90% mín. entre 1-3 mm. |

***Anexo B***. Esquema de producción de fertilizantes líquidos, según ***(Rodríguez, 2014)***



***Anexo C***. Diagrama de flujo del proceso tecnológico para la producción de fertilizantes líquidos NPK por el método en frío. Fuente: Elaboración propia.



***Anexo D***. Solubilidad en gr/1000gr de agua a diferentes temperaturas para distintos portadores de nutrientes. Fuente: ***(Rodríguez, 2014)***

| TEMP (°C) | UREA | $NO_3NH_4$ | 32-0-0 | $SO_4(NH_4)_2$ | MAP | DAP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 670 | 1180 | 3900 | 706 | 227 | 429 |
| 5 | 745 | 1357 | 5639 | 718 | 257 | 517 |
| 10 | 840 | 1580 | 7812 | 730 | 295 | 628 |
| 15 | 956 | 1786 | 9987 | - | 339 | 662 |
| 21 | 1073 | 1991 | 12161 | 749 | 384 | 696 |
| 26 | 1233 | 2259 | 14333 | - | 434 | 730 |

| TEMP(°C) | $KNO_3$ | KCL | $SO_4K_2$ | $PO_4HK_2$ | $PO_4H_2K$ | KOH |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 130 | 280 | 74 | 1328 | 142 | 970 |
| 5 | 166 | 293 | - | - | 158 | - |
| 10 | 210 | 310 | 92 | 1488 | 178 | 1030 |
| 15 | 271 | 327 | 115 | 1513 | 202 | - |
| 21 | 335 | 343 | - | 1605 | 229 | 1120 |
| 26 | 403 | 360 | - | 1724 | 255 | 1260 |

***Anexo E.*** Carta de compatibilidad entre fertilizantes. Fuente: ***(Kafkafi & Tarchitzky, 2012)***

| | Urea | Nitrato de amonio | Sulfato de amonio | Nitrato de calcio | Nitrato de potasio | Cloruro de potasio | Sulfato de potasio | Fosfato de amonio | Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn | Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn | Sulfato de magnesio | Acido fosfórico | Acido sulfúrico | Acido nítrico |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Urea | √ | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de amonio | √ | √ | | | | | | | | | | | | |
| Sulfato de amonio | √ | √ | √ | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de calcio | √ | √ | x | √ | | | | | | | | | | |
| Nitrato de potasio | √ | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | | |
| Cloruro de potasio | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | | | | | | | |
| Sulfato de potasio | √ | √ | R | x | √ | R | √ | | | | | | | |
| Fosfato de amonio | √ | √ | √ | x | √ | √ | √ | √ | | | | | | |
| Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn | √ | √ | √ | x | √ | √ | R | X | √ | | | | | |
| Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn | √ | √ | √ | R | √ | √ | √ | R | √ | √ | | | | |
| Sulfato de magnesio | √ | √ | √ | x | √ | √ | R | x | √ | √ | √ | | | |
| Acido fosfórico | √ | √ | √ | x | √ | √ | √ | √ | √ | R | √ | √ | | |
| Acido sulfúrico | √ | √ | √ | x | √ | √ | R | √ | √ | √ | √ | √ | √ | |
| Acido nítrico | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | x | √ | √ | √ | √ |

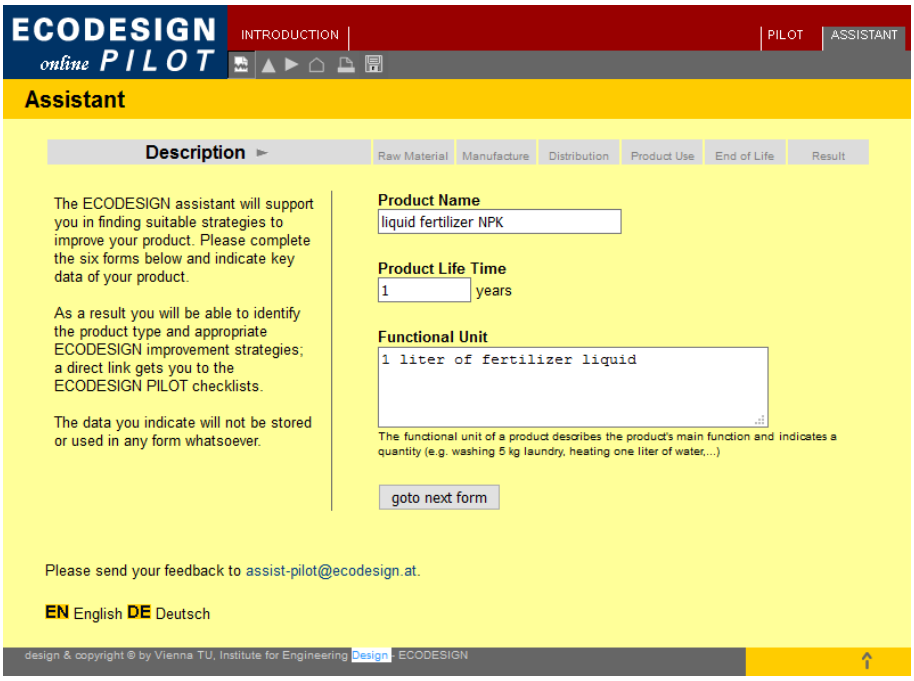
√ = compatible x = incompatible R = compatibilidad reducida

***Anexo D.*** Entradas y fuentes contaminantes por tipos de industrias fertilizantes.
Fuente: ***(Sittig, 2002)***

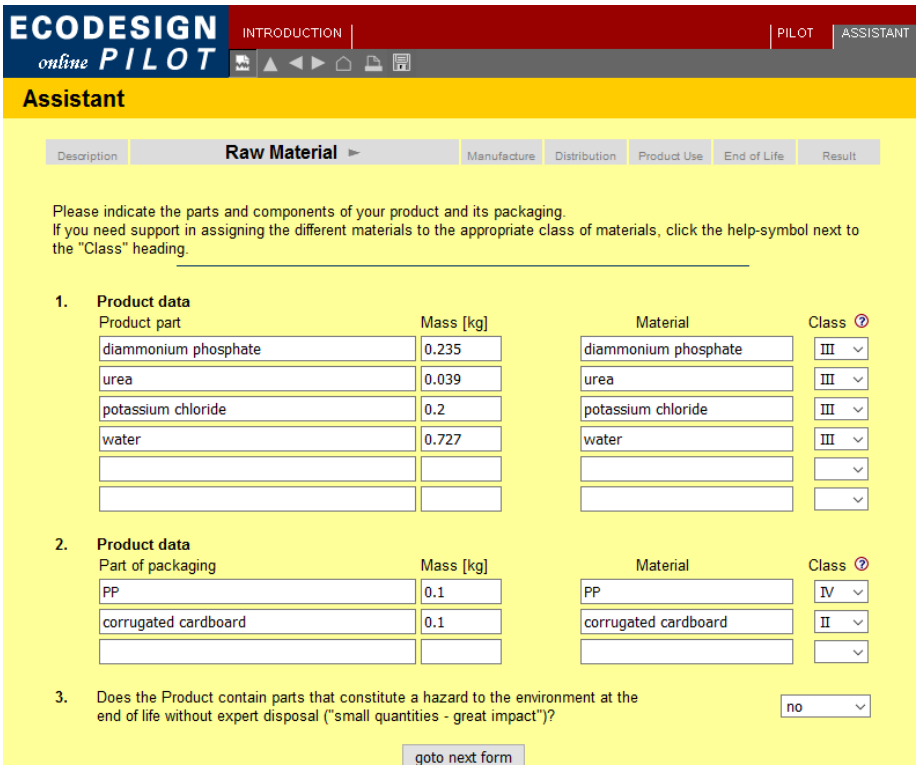
| ***PRODUCCIÓN DE FOSFATO DIAMÓNICO (DAP)*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Operación** | **Entradas** | **Emisiones** | **Efluentes líquidos** | **Residuos sólidos** | **Ambiente de trabajo** |
| Reacción | Ácido fosfórico, amoníaco y agua fría | Humos, gases y amoníaco | - | - | Amoníaco |
| Despojadores | Agua, humos y gases de varias operaciones | - | Aguas residuales contaminadas con amoníaco y ácido fosfórico | - | - |
| Granulación caliente y secado | Fuel oil y aire | Gases de chimenea y partículas | - | Polvos y partes recolectadas | Partículas |
| Enfriamiento | Aire | Amoníaco y partículas | - | Polvos y partículas colectadas | Polvos y partículas |
| Tamizado | Fosfato diamónico | - | - | - | Partículas y amoníaco |
| Molienda | Fosfato diamónico de gran tamaño | - | - | - | Partículas y ruido |
| Recubrimiento | Material a recubrir | - | - | - | Partículas |
| Ensacado | Sacos de Polietileno o Polipropileno | - | - | Derrames de producto y sacos gastados | Partículas |

| *PRODUCCIÓN DE UREA* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Operación** | **Entradas** | **Emisiones** | **Efluentes líquidos** | **Residuos sólidos** | **Ambiente de trabajo** |
| Síntesis | Amoníaco líquido y dióxido de carbono | $CO_2$, urea y amoníaco | - | Polvo y partículas del colectadas | Calor |
| Rectificación | | Amoníaco y $CO_2$ | - | - | Amoníaco |
| Evaporación al vacío | Vapor y carbamida | Amoníaco, $CO_2$ y vapor de agua | | - | Amoníaco |
| Perlado o granulación | Aire frío y urea | Urea y partículas | - | - | Partículas de urea |
| Desorción y condensado | Vapor despojado y condensado | - | Aguas residuales (urea, $NH_3$ y $CO_2$) | - | - |
| Tamizado | Urea | - | - | Partículas colectadas | Partículas y ruido |
| Recubrimiento | Urea formaldehído | - | - | - | Partículas |
| Ensacado | Sacos de Polietileno o Polipropileno | - | - | Derrames de producto y sacos gastados | Partículas |

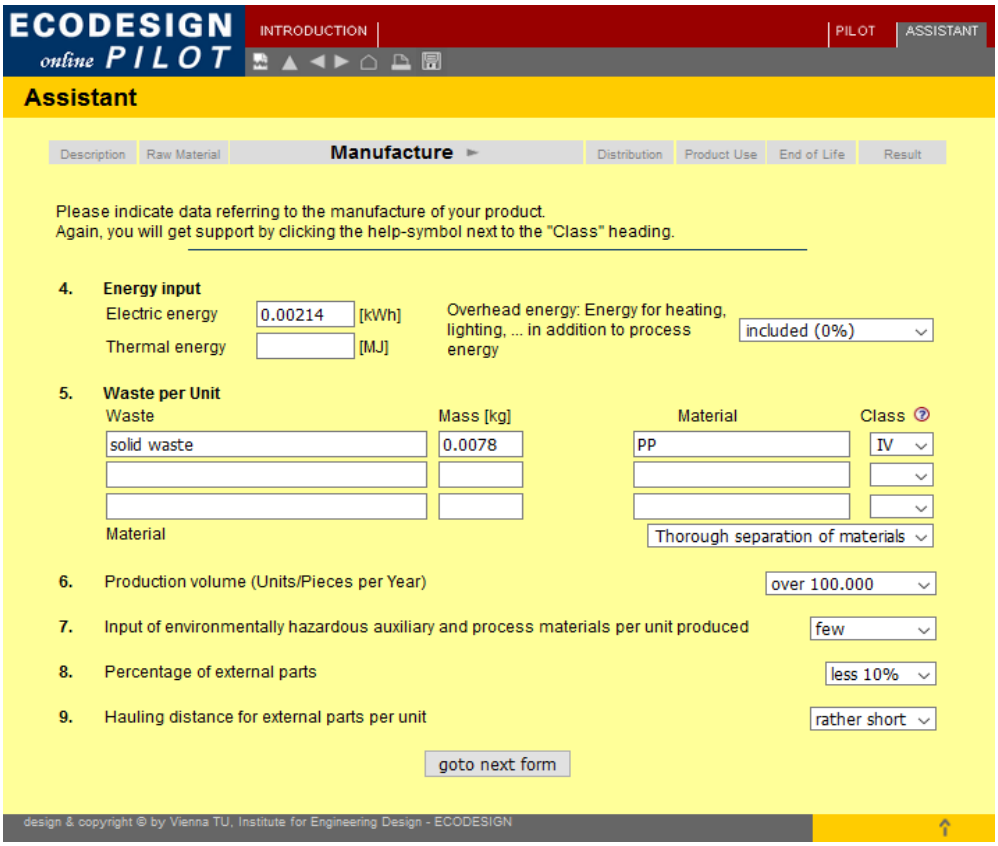
***Anexo E.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant utilizado para la determinación de la fase "tipo básico" en estudio (www.ecodesign.at/assist).



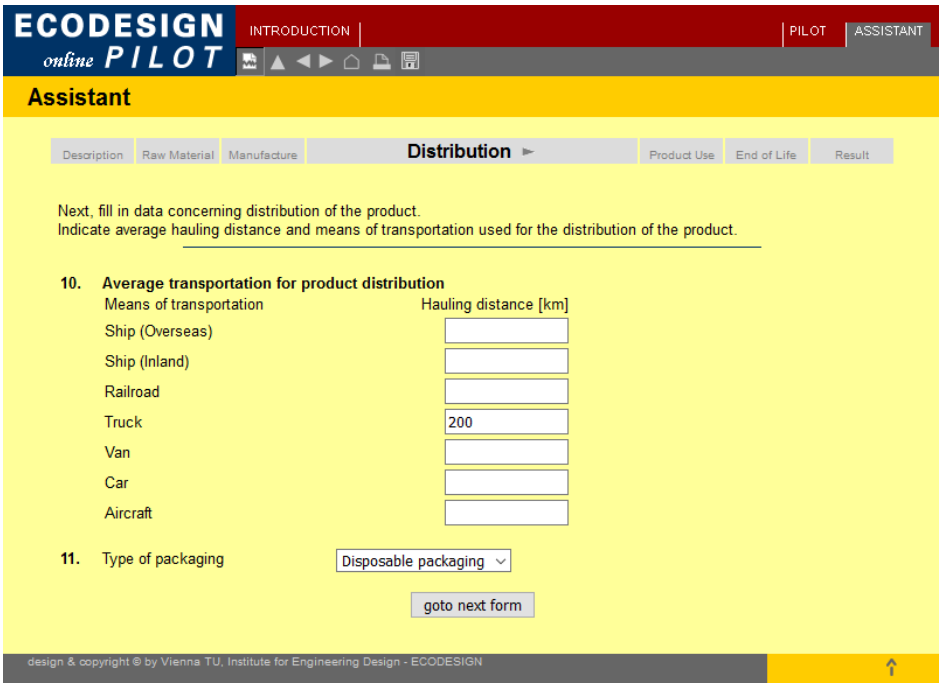

***Anexo F.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant.
**<u>Fase I.</u>** Materias Primas.



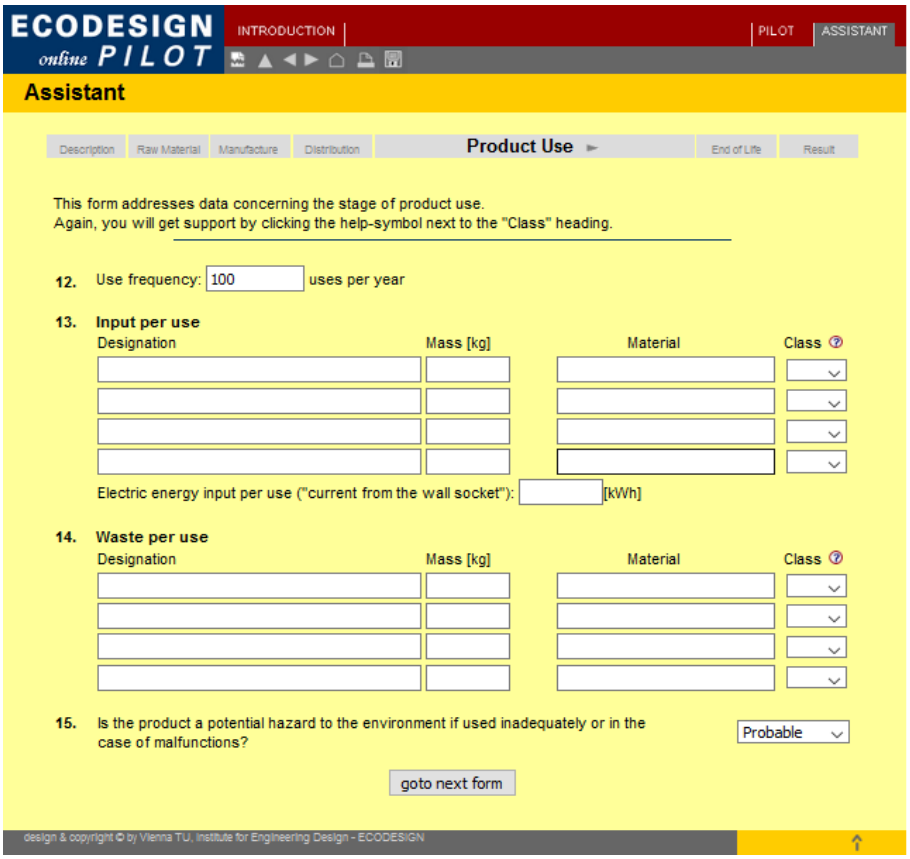
***Anexo G.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant. **Fase II.** Fabricación.



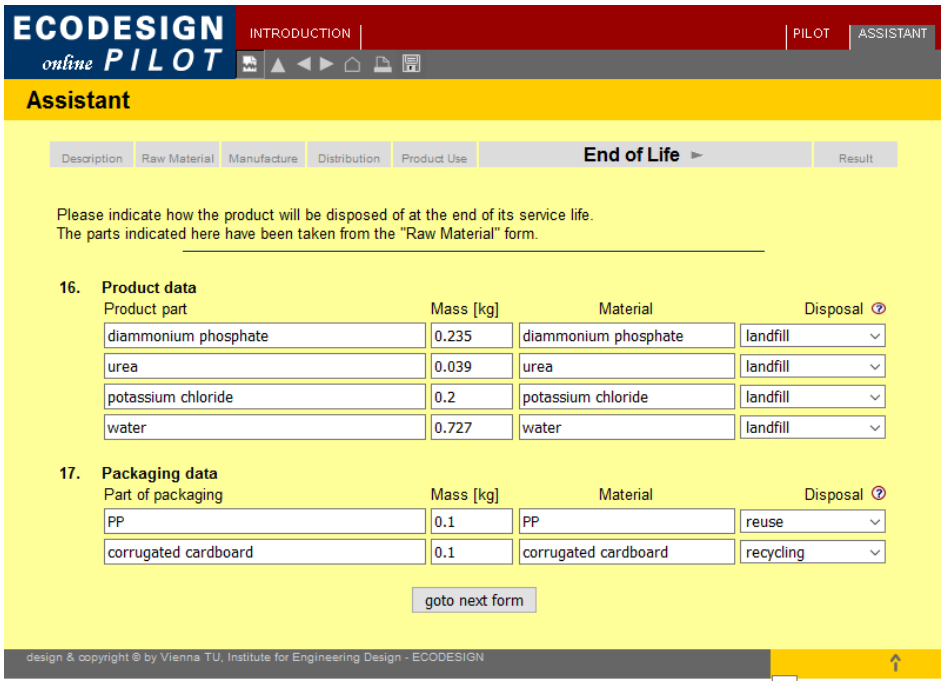
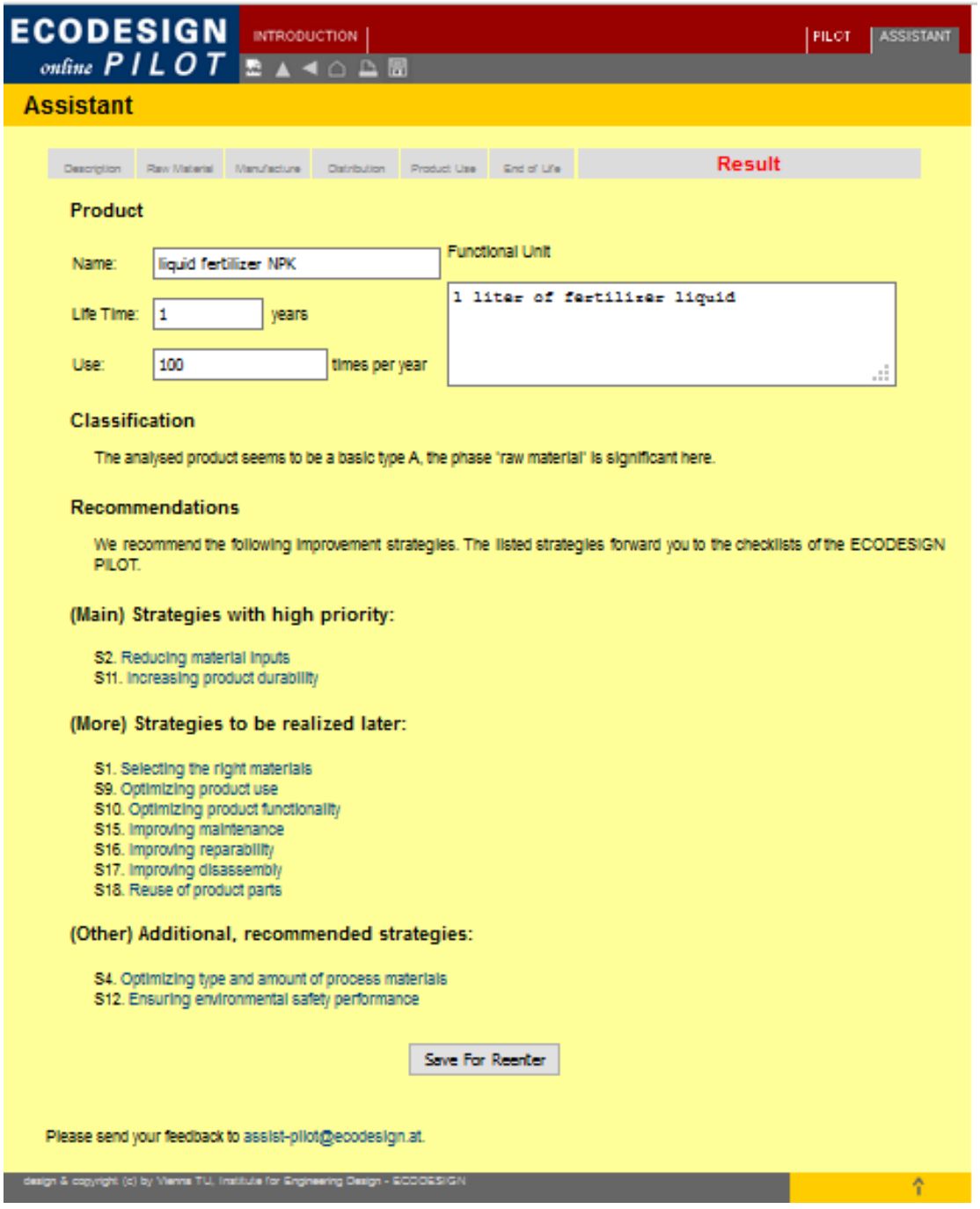

***Anexo H.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant. **Fase III.** Distribución.



***Anexo I.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant.
**Fase VI.** Uso del producto.




***Anexo J.*** Análisis del producto a través del ECODESIGN PILOT Assistant.
**Fase V.** Fin de vida



***Anexo K.*** Resultado final obtenido en el ECODESIGN PILOT.