



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **TESIS**

# **“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE PVC POR EL PROCESO VINYLOOP”**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Altamirano López Iosef Antony

Bach. Ypanaque Sandoval Cinthia Jharuny

**ASESOR**

Ing. Gerardo Santamaría Baldera

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE  
UNA PLANTA DE RECICLAJE DE PVC POR EL PROCESO  
VINYLOOP”**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Altamirano López Iosef Antony

Bach. Ypanaque Sandoval Cinthia Jharuny

**Aprobado por:**

Ing. M.Sc. Rubén Darío Sachún García  
PRESIDENTE

\_\_\_\_\_

Ing. M.Sc. Juan Carlos Díaz Visitación  
SECRETARIO

\_\_\_\_\_

Ing. M.Sc. Ronald Gutiérrez Moreno  
VOCAL

\_\_\_\_\_

Ing. Gerardo Santamaría Baldera  
ASESOR

\_\_\_\_\_

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

A Dios ya que sin su voluntad no hubiera logrado obtener una de mis primeras metas.

A ti hijita, tú me inspiraste a seguir adelante, quiero que veas que nada es imposible, que si luchas con todo tu corazón por lo que tanto deseas se puede lograr.

A mis padres Mavila Sandoval y Jesús Ypanaque, por todo lo que dieron por mí, por su amor y sacrificio para que yo fuera una profesional.

A mis hermanos, por los consejos dados y apoyarme en todos mis sueños.

A ti hermanita María Katherine Ypanaque Sandoval, sé que desde el cielo me cuidas y me das las fuerzas que necesito para seguir adelante.

A ti amor, por la hermosa familia que tenemos y por lo que luchamos cada día.

## **Dedicatoria**

A Dios ya que sin su voluntad no hubiera logrado obtener una de mis primeras metas.

A mis padres por todo el sacrificio que hicieron para que sea un profesional.

**Iosef Antony Altamirano López.**

## **Agradecimiento**

En primer lugar, le agradecemos a Dios por las bendiciones dadas, por darnos las fortalezas en los momentos que decaímos.

A los Ingenieros que con sus conocimientos brindados logramos terminar nuestro proyecto.

A Rosita, secretaria de Grados y Títulos, por su apoyo y comprensión en todo momento.

A nuestros padres, porque desde que iniciamos nuestra época universitaria nos apoyaron en todo momento.

De igual manera a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en especial a la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias por los conocimientos brindados en los 5 años de nuestra época universitaria.

**Cinthia Jharuny Ypanaque Sandoval.**

**Iosef Antony Altamirano López.**

## Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>8</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo I Estudio de Mercado.....</b>	<b>12</b>
<b>Definición del producto: PVC .....</b>	<b>12</b>
1.1.1. <b>Los beneficios de reciclar PVC .....</b>	<b>15</b>
1.1.2. <b>Propiedades físicas del PVC-R .....</b>	<b>16</b>
1.1.3. <b>Aplicaciones y Usos .....</b>	<b>16</b>
<b>Materia prima principal .....</b>	<b>18</b>
1.1.4. <b>Disponibilidad de materia prima.....</b>	<b>19</b>
<b>Estudio de mercado .....</b>	<b>19</b>
1.1.5. <b>Demanda histórica de PVC .....</b>	<b>20</b>
1.1.6. <b>Demanda proyectada de PVC.....</b>	<b>21</b>
1.1.7. <b>Oferta histórica y proyectada de PVC .....</b>	<b>21</b>
1.1.8. <b>Demanda insatisfecha proyectada .....</b>	<b>22</b>
<b>Tamaño de la planta industrial.....</b>	<b>22</b>
1.1.9. <b>Determinación del tamaño de planta .....</b>	<b>24</b>
<b>Ubicación de la planta.....</b>	<b>24</b>
<b>Capítulo II Ingeniería del Proyecto.....</b>	<b>27</b>
<b>Alternativas tecnológicas para el reciclaje de PVC.....</b>	<b>27</b>
2.1.1. <b>Reciclaje mecánico .....</b>	<b>27</b>
2.1.2. <b>Reciclaje químico .....</b>	<b>28</b>
2.1.3. <b>Reciclaje energético .....</b>	<b>28</b>
2.1.4. <b>Reciclaje por disolventes .....</b>	<b>29</b>

<b>Selección del proceso.....</b>	<b>30</b>
<b>Descripción detallada del proceso.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.1. Ventajas del Proceso Vinyloop® .....</b>	<b>34</b>
<b>Balance de masa y energía.....</b>	<b>34</b>
<b>Equipos principales de proceso.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5.1. Molino .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5.2. Lavador de Plástico.....</b>	<b>39</b>
<b>2.5.3. Filtración .....</b>	<b>39</b>
<b>2.5.4. Dilutor Primario.....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.5. Filtro .....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.6. Dilutor Secundario.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.7. Decantador Centrífugo.....</b>	<b>43</b>
<b>2.5.8. Secador de Pellets de PVC .....</b>	<b>43</b>
<b>Distribución de la Planta .....</b>	<b>44</b>
<b>Consideraciones Ambientales .....</b>	<b>49</b>
<b>Capítulo III Estudio Económico.....</b>	<b>51</b>
<b>Estimación de Inversión total.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.1. Capital Fijo Total.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1.2. Capital de puesta en marcha o capital de trabajo.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.3. Estimación del costo total de producción.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.4. Balance económico y rentabilidad.....</b>	<b>62</b>
<b>Capítulo IV Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1. Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2. Recomendaciones .....</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>68</b>

<b>Linkografía .....</b>	<b>69</b>
<b>Apéndice .....</b>	<b>70</b>
<b>Balance de masa y energía.....</b>	<b>70</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>93</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Policloruro de vinilo .....	12
<b>Figura 2.</b> Policloruro de Vinilo en polvo .....	13
<b>Figura 3.</b> Policloruro de Vinilo Código Internacional .....	13
<b>Figura 4.</b> Evolución del reciclaje de PVC en la Comunidad Europea (Vinyl Plus, 2015) .....	16
<b>Figura 5.</b> <i>Demanda histórica y proyectada de PVC, ton/año.</i> .....	21
<b>Figura 6.</b> Ubicación del distrito de Lurín. ....	26
<b>Figura 7.</b> <i>Características del proceso VinyLoop de reciclaje de PVC.</i> .....	29
<b>Figura 8.</b> <i>Diagrama de flujo del Proceso Vinyloop.</i> .....	31
<b>Figura 9.</b> <i>Diagrama de bloques del proceso Vinyloop para el reciclaje de PVC</i> .....	36
<b>Figura 10.</b> Molino UNTHA .....	38
<b>Figura 11.</b> Lavadora FS2000 .....	39
<b>Figura 12.</b> Filtrador Costarelli Dynamic Centrifuge 850/10.....	40
<b>Figura 13.</b> Dilutor primario 2000L .....	41
<b>Figura 14.</b> Filtro FF6.....	42
<b>Figura 15.</b> Decantador FP600 RS/M.....	43
<b>Figura 16.</b> <i>Diagrama de correlación por el método SLP</i> .....	46
<b>Figura 17.</b> <i>Diagrama de hilos, por el método SLP</i> .....	47
<b>Figura 18.</b> Distribución de la planta.....	48



<b>Figura 19.</b> <i>Comparación del impacto ambiental del PVC-R del proceso VinyLoop y el PVC producido convencionalmente (VinyLoop Ferrara S.p.A., 2012).</i> .....	50
---	----

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas del PVC-R del proceso VinyLoop. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Importaciones históricas de PVC, en toneladas/año. ....	20
<b>Tabla 3.</b> Factores determinantes de la Capacidad de la planta.....	23
<b>Tabla 4.</b> Balance de masa de la producción de PVC reciclado por el proceso Vinyloop .....	37
<b>Tabla 5.</b> Distribución de la Planta.....	44
<b>Tabla 6.</b> Código de proximidad en el diagrama de correlación .....	45
<b>Tabla 7.</b> Código de proximidad para el diagrama de hilos por el método SLP .....	47
<b>Tabla 8.</b> Plan Global de Inversiones .....	57
<b>Tabla 9.</b> <i>Costo de Manufactura y Costo Unitario</i> .....	63
<b>Tabla 10.</b> <i>Estado de pérdidas y ganancia.</i> .....	65
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis Económico.</i> .....	65

## **Resumen**

Actualmente la población genera residuos sólidos de diferente clase, uno de ellos son los residuos de PVC. El presente trabajo tiene por objetivo elaborar un Proyecto de prefactibilidad de instalación de una planta de reciclaje de PVC por el proceso Vinyloop.

Dentro del Capítulo III se puede verificar el Estudio de Mercado en el que se evaluó el mercado a nivel nacional en base a las importaciones de PVC virgen y procesado. Como primer resultado se obtuvo que la demanda proyectada de PVC para el 2027 llegaría a 300 000 toneladas. En razón que no se dispone de grandes cantidades de residuos de PVC se fijó el tamaño de la planta en 10 000 toneladas por año. Para esta producción se necesitaría cerca de 11 800 toneladas de residuos de PVC, valor altamente factible.

En el Capítulo IV se presenta el Estudio de Ingeniería del proyecto. De los distintos procesos de recuperación de PVC de los residuos sólidos se seleccionó el Proceso Vinyloop. La principal ventaja de este proceso es que trabaja en circuito cerrado con contaminación controlable y sobretodo el producto obtenido es semejante al PVC virgen. Según el balance de masa el rendimiento de los residuos de PVC es 85% de producto.

En el Capítulo VI se realizó el Estudio Económico-Financiero. Se estableció que la inversión total del proyecto será de 12 162 277 dólares. El costo de producción será de 0.5449 dólares kilogramo de PVC. A precio de 1.15 dólares por kilogramo (puesto en fabrica) se obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión de 48.91% y 36.75, antes y después de impuestos respectivamente; un periodo de recuperación del dinero de 2.09 años después de impuestos y con un punto de equilibrio de 20.88%. Se concluye finalmente que el proyecto es factible desde el punto de vista de mercado, técnico y económicamente, por lo que se recomienda su instalación. No se ha considerado la rentabilidad social que representa la reutilización de los residuos de PVC.

## **Abstract**

Currently the population generates solid waste of different kinds, one of them is the PVC. The objective of this work is to prepare a pre-feasibility project for the installation of a PVC recycling plant by the Vinyloop process.

Within Chapter III you can verify the Market Study in which the market was evaluated at a national level based on imports of virgin and processed PVC. The first result was that the projected PVC demand for 2027 would reach 300,000 tons. Because large quantities of PVC waste are not available, the size of the plant was set at 10,000 tonnes per year. For this production, about 11 800 tons of PVC waste would be needed, a highly feasible value.

In Chapter IV the Project Engineering Study is presented. The Vinyloop Process was selected from the different PVC recovery processes for solid waste. The main advantage of this process is that it works in a closed circuit with controllable contamination and above all the product obtained is similar to virgin PVC. According to the mass balance the yield of PVC waste is 85% of product.

In Chapter VI the Economic-Financial Study was carried out. It was established that the total investment of the project will be 12,162,277 dollars. The cost of production will be 0.5449 dollars kilogram of PVC. At a price of US \$ 1.15 per kilogram (placed in the factory), a return on investment rate of 48.91% and 36.75, before and after taxes respectively, was obtained; a period of recovery of the money of 2.09 years after taxes and with an equilibrium point of 20.88%. Finally, it is concluded that the project is feasible from the market point of view, technically and economically, so its installation is recommended. The social profitability represented by the reuse of PVC waste has not been considered.

## **Introducción**

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. A partir de procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet, plastisoles, soluciones y emulsiones. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes (cloro de la electrólisis de NaCl y etileno de la industria petroquímica) y un balance adecuado de éstos para poder transformarlo al producto final deseado (Córdova & Medina, 2009). Es tan compleja su producción que sería mejor reciclarlo de los productos de PVC que se desechan.

El policloruro de vinilo (PVC) es el polímero que ocupa el tercer lugar en el mercado de producción de plásticos a escala mundial, debido al gran número de compuestos y derivados que se pueden obtener a partir de él: PVC rígido, PVC flexible, PVC orientado y otros, y debido a la gran cantidad de aplicaciones en los distintos mercados (Helmut, 2003).

Desde un punto de vista puramente ecológico los “terrenos para rellenos” son la vía menos deseable como destino final de todos los plásticos y otros materiales porque no es fuente de reutilización de los mismos y a la escasez en muchos países de terrenos apropiados para cumplir esta función. El PVC es un material reciclable y ya ampliamente reciclado en todo el mundo. Podemos, por tanto, diferenciar de forma clara los residuos generados por la industria

transformadora de los residuos generados en las ciudades. En el segundo caso (zonas urbanas) debe existir una buena organización por parte de las autoridades locales que garanticen la recolección selectiva a partir de estos residuos generados por la población (Arandez, Bilbao, & López, 2004).

El PVC es fácilmente reciclable y una vez reciclado tiene una gran variedad de aplicaciones. Si estudiamos la historia del PVC, vemos que su reciclaje es tan antiguo como su fabricación, lo que muestra que esta es viable tecnológicamente y económicamente. Gracias a la facilidad de transformación y a su termoplasticidad, el PVC puede ser reciclado de las siguientes formas: (a) reciclaje mecánico, (b) reciclaje químico, (c) reciclaje energético y (d) reciclaje por disolventes (Mexichem, 2010).

La tecnología de disolución química del PVC a través de solventes (Vynyloop) fue desarrollada por Solvay en el año 2001. Es el único método actual de reciclaje que permite regenerar el PVC contenido en estructuras compuestas hasta ahora imposibles de recuperar mediante métodos tradicionales. Permite aislar el compuesto PVC de los otros materiales como fibras de poliéster, tejidos naturales, metales, caucho, poli-olefinas y muchos otros. El proceso se basa en una disolución del compuesto a reciclar con disolvente, seguido de un filtrado para separar el PVC de otros materiales y la eliminación del disolvente mediante el evaporado por ebullición. Una característica interesante del PVC de la que el proceso Vynyloop se beneficia es su completa y rápida solubilidad en determinados disolventes. Este disolvente se recicla y el proceso, que funciona en circuito cerrado, no produce efluentes. La resina regenerada del PVC (según anuncia el fabricante) es de una calidad comparable a la del producto de origen, incluso mejor que el PVC virgen porque el obtenido en el reciclaje tiene aditivos que acompañan siempre al PVC. En la actualidad los materiales reciclados son residuos de cables, marcos y persianas, films agrícolas, además de las lonas recubiertas de PVC. En el futuro se espera poder

reciclar papeles pintados, revestimientos de suelo, membranas aislantes, blísteres, etc. (SolVin, 2007).

Este método de reciclaje de PVC promete obtener un PVC reciclado de buena calidad, con bajo nivel de contaminación, con recuperación de otros polímeros, con recuperación del solvente, y por lo tanto se considera conveniente desarrollar un proyecto en base al proceso Vinyloop en nuestro país para generar mano de obra en el proceso de reciclaje y ahorrar energía con la consiguiente disminución de contaminación por generar un PVC reciclado a partir de productos de PVC desechados.

Este proyecto tiene como objetivo principal determinar la prefactibilidad técnica económica para la instalación de una planta de reciclaje de PVC por el proceso Vinyloop; y como objetivos específicos realizar un análisis técnico, económico y ambiental para determinar si el proyecto es factible.

## Capítulo I

### Estudio de Mercado

#### 1.1. Definición del producto: PVC

El policloruro de vinilo (PVC) es uno de los polímeros más ampliamente usado en el mundo. Este polímero fue uno de los primeros materiales plásticos modernos. Su descubrimiento data de inicios del siglo 19, su desarrollo comercial comenzó a mediados de los 1920s y tuvo un gran crecimiento durante los 1950s. En la actualidad se produce cerca de 37 millones de toneladas a nivel mundial.

El policloruro de vinilo (PVC) es un material termoplástico, es decir que bajo la acción del calor se funde, y puede así moldearse fácilmente. El PVC se obtiene por polimerización (unión de varias moléculas) del monómero de Cloruro de Vinilo (VCM). En forma simplificada se tiene:



**Figura 1.** Policloruro de Vinilo. <https://depvc.site/policloruro-de-vinilo/>



**Figura 2.** Policloruro de Vinilo en polvo. <http://spanish.vinylcopolymerresin.com/sale-8193922-dy-6-vinyl-chloride-vinyl-acetate-copolymer-resin-for-inks-and-adhesives.html>

El PVC es un sólido, que se presenta en su forma natural como un polvo blanco químicamente inerte. El PVC es más antiguo que nuestro siglo, pero la investigación y desarrollo constante lo mantienen tan actual y vigente como nuestra época. Sigue siendo una de las mejores opciones, y en muchos casos la mejor.

El PVC cambia su forma y estructura al cambiar su temperatura y es el plástico más versátil ya que puede ser transformado por varios procesos en una infinidad de productos, tales como: flexibles, transparentes, compactos, rígidos, opacos y espumados (Espinoza & Toral, 2013).

Los productos terminados en base a PVC, en base al Código Internacional SPI se identifican para ayudar a su clasificación y reciclado el número 3.



**Figura 3.** Policloruro de Vinilo Código internacional. <https://www.aristegui.info/identificacion-de-los-plasticos-por-sus-codigos/>

El PVC tiene características de sostenibilidad inherentes. Está hecho de sal de roca común (57%) e hidrocarburos del petróleo (43%) por lo que es mucho menos dependiente del petróleo (con una huella de carbono más baja) que otros termoplásticos importantes. Es altamente duradero y eficiente en energía en una amplia gama de aplicaciones y también es altamente eficiente en el uso de los recursos.



Y el PVC es un material reciclable. La industria mundial ha trabajado arduamente para impulsar la recogida de residuos de PVC y optimizar las tecnologías de reciclaje. El objetivo es minimizar el desperdicio y el uso de energía al tiempo que aumenta el porcentaje de reciclado en productos nuevos.

El PVC es altamente versátil. En comparación con otros materiales, ofrece la posibilidad de cambiar los parámetros de formulación para mejorar las características de seguridad y ecoeficiencia del producto final sin comprometer el rendimiento técnico. La amplia gama de posibilidades de formulación también es útil para permitir la reutilización y el reciclado de PVC en nuevos productos, sin pérdida de rendimiento. La reutilización refuerza las características de sostenibilidad de los productos de PVC: el PVC reciclado produce un ahorro significativo de energía durante la producción y reduce las emisiones del proceso.

También juega un papel importante en la entrega y el mantenimiento de la calidad, la comodidad y la seguridad de los estilos de vida modernos. Los productos de PVC ayudan a mejorar la vida de las personas y a conservar los recursos naturales en un mundo en el que la creciente población requiere agua potable, alimentos, vivienda, saneamiento, energía, servicios de salud y seguridad económica.

Del mismo modo, los productos de PVC contribuyen significativamente a la eficiencia energética a través de una baja conductividad térmica. Los perfiles de ventanas de PVC tienen el triple de eficiencia de aislamiento de calor de los perfiles de aluminio, lo que aumenta la eficiencia energética de nuestros hogares y lugares de trabajo, manteniendo nuestra comodidad (VinyPlus, 2013).

### **1.1.1. Los beneficios de reciclar PVC**

Reciclar PVC tiene los siguientes beneficios:

- a. Disminución de gases invernadero. El reciclaje necesita menos energía, por tanto menos combustible con emisiones contaminantes.
- b. El uso de PVC reciclado ayuda a cumplir los objetivos de eficiencia de recursos y permite la preservación de las materias primas.
- c. El uso de PVC reciclado reduce los requisitos de emisiones y vertederos.

Los perfiles de ventanas de fabricación con un 70% de PVC reciclado en lugar de todo PVC nuevo revelan ahorros de hasta el 50% en energía, más del 60% en emisiones al aire y más del 60% en emisiones de agua. Además, debido a su naturaleza termoplástica, el PVC se puede reciclar varias veces sin pérdida significativa de rendimiento. El PVC se puede reciclar repetidamente (más de ocho veces en pruebas de laboratorio) dependiendo de la aplicación, ya que el proceso de reciclado no reduce de manera apreciable la longitud de la cadena de las moléculas de PVC. Esto ha sido probado por pruebas realizadas en tuberías de PVC (PVCinfo, 2017).

En el 2013, sólo en Europa se llegó a reciclar 444468 toneladas de PVC y se espera llegar al 2020 con un volumen de reciclaje equivalente a 800000 toneladas. Ver Figura 1.



**Figura 4.** Evolución del reciclaje de PVC en la Comunidad Europea (Vinyl Plus, 2015).

### 1.1.2. Propiedades físicas del PVC-R

El PVC-R (PVC reciclado) del proceso VinyLoop puede considerarse un material “virgen” en términos de calidad y sus propiedades son similares. Por lo tanto las propiedades son similares a un PVC “virgen” que se muestra en la Tabla 1.

Las principales ventajas del PVC-R del proceso VinyLoop son:

- Alta pureza, libre de contaminantes
- Calidad y consistencia apropiada
- Recomendable para distintas aplicaciones, tales como mangueras, láminas, geomembranas o suela de zapatos.

El PVC-R se puede procesar por extrusión, calandrado y moldeo por inyección.

### 1.1.3. Aplicaciones y Usos

Debido a su naturaleza versátil, el PVC ha encontrado aplicaciones en una amplia gama de usos industriales, técnicos y domésticos. En Europa, alrededor de dos tercios del PVC

producido se utiliza en aplicaciones de construcción como marcos de ventanas de PVC y otras aplicaciones de perfil, tuberías y accesorios, pisos, cables y conductos eléctricos, una variedad de revestimientos plásticos, membranas y aplicaciones de impermeabilización, y en telas recubiertas. Otras aplicaciones importantes incluyen ampollas de embalaje, bandejas y películas, el sector de la automoción que utiliza materiales para el interior y exterior del vehículo, una amplia gama de muebles, artículos de ocio y para la lluvia, y dispositivos médicos.

**Tabla 1**  
*Propiedades físicas del PVC-R del proceso VinyLoop.*

Propiedad	Estándar	Unidades	Valor típico
Densidad	ISO 1183	Kg/dm <sup>3</sup>	1.40
Densidad a granel	ISO 60	Kg/dm <sup>3</sup>	0.60
Tamaño de partícula		Mm	0.380
Dureza	ISO 868	Shore A	82
Propiedades de tensión a 23°C	ISO 527-2		
Resistencia a la rotura		MPa	17
Elongación a rotura		%	270

Nota: (Wire & Cable India, 2014).

El PVC en países desarrollados está siendo preferido por las siguientes razones:

- Uso eficiente de la energía
- Reciclabilidad
- Económico y largos periodos sin mantenimiento

Según el proceso de transformación el PVC puede ser transformado en:

- a. Extrusión: tubería, compuesto, película flexible y rígida, perfil rígido y flexible, manguera, cable, película encogible, venoclisis, botella.
- b. Inyección: Conexiones para tubería, conexiones eléctricas, calzado, tapas, juguetes, electrodomésticos.
- c. Calandreo: Película rígida y flexible, lona, tela plástica.
- d. Compresión o prensado: Loseta vinílica, tapetes automotrices, discos de acetato.
- e. Recubrimiento: Piel sintética, papel tapiz, pisos, lonas, manteles y balones
- f. Rotomoldeo: Muñecas, pelotas y juguetes.
- g. Inmersión: Guantes, recubrimiento de herramientas, conos de señalamiento vial, balones, escurrideros para trastes y jaboneras.
- h. Vaciado: Tapetes, piso, gomas, juguetes, filtros para aire y máscaras.

#### **1.1.3.1. PVC en la Construcción**

- Excelente aislamiento térmico y acústico
- No se oxida ni le nacen hongos
- Sellos herméticos que no dejan filtrar el aire
- Su color permanece homogéneo a través del tiempo
- Producto de larga vida y resistente a los rayos UV
- Reduce el tiempo de construcción

#### **1.2. Materia prima principal**

La materia prima principal que se adapta para el proceso Vinyloop son los compuestos de PVC desechados, entre los que destaca los siguientes materiales:

- Cables eléctricos
- Membranas, lonas, textiles y telas recubiertas
- Láminas para pisos
- Películas y láminas multicapas
- Papeles pintados recubiertos de vinilo
- Mangueras flexibles
- Aplicaciones automotrices.

Dentro de todos destaca los cables eléctricos que se eliminan como residuos y que contienen entre 60 a 85% de PVC, metales y otros polímeros y elastómeros. El PVC reciclado de estos materiales tiene las mismas características del PVC original.

### **1.2.1. Disponibilidad de materia prima**

En nuestro país hasta el año 2016 se generó a nivel nacional cerca de siete millones de toneladas de residuos sólidos municipales urbanos. De este total el 10% corresponde a plásticos y hasta la fecha solo tenemos un nivel de reciclaje de 20%. Del total de plásticos reciclados se tiene que no más del 30% corresponde a PVC, siendo la mayor parte PET (SINIA, 2018). Por lo tanto, el potencial de PVC reciclado en el Perú alcanzaría en la actualidad a 42 000 toneladas de PVC con un nivel de 20% de reciclaje. Si en un futuro cercano se aumenta este nivel a un 50%, se tendría a disposición 105000 toneladas de residuos de PVC al año.

### **1.3. Estudio de mercado**

El producto final de este proyecto será similar al PVC virgen que generalmente se obtiene de importaciones porque en el Perú no hay producción de este polímero. Por lo tanto, en esta sección se analiza el mercado de PVC en nuestro país.

### 1.3.1. Demanda histórica de PVC

El PVC se adquiere de importación como resina en forma de pellets, que es el “PVC virgen” y en formas no primarias, es decir como productos terminados, por ejemplo, como tuberías, juguetes, ventanas, puertas, pisos, y otros. Por la disponibilidad de datos solo se presenta las importaciones de PVC como resina. Las importaciones de PVC en los últimos años se presentan en la Tabla 2. Los principales países que proveen de PVC son Estados Unidos México y Colombia.

**Tabla 2**  
*Importaciones históricas de PVC, en toneladas/año.*

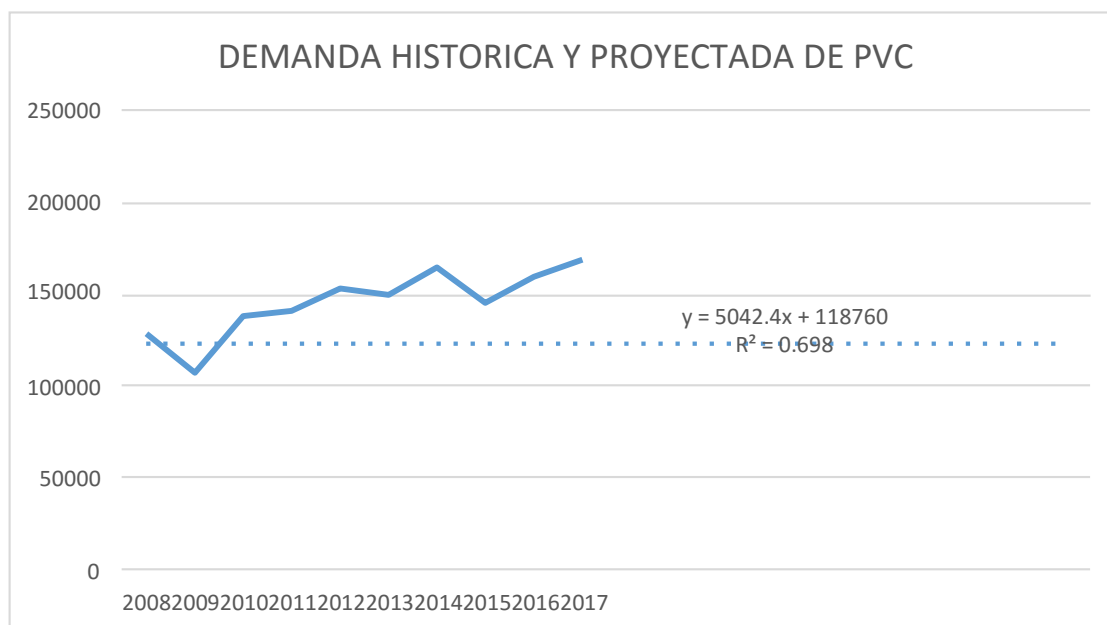
<b>Año</b>	<b>Ton/año</b>
2008	129425
2009	108194
2010	139086
2011	141773
2012	154008
2013	150481
2014	165570
2015	146260
2016	160409
2017	169732

Nota: Adaptado de Collantes et al., (2017).

Como se observa, a pesar de los problemas políticos que hizo disminuir las importaciones en el 2015, luego se ha ido recuperando porque el sector construcción, el sector de mayor consumo de productos en base a PVC, ha comenzado a presentar un mayor dinamismo.

### 1.3.2. Demanda proyectada de PVC

Según la ecuación de comportamiento de la demanda histórica existe un crecimiento anual de 5042.4 ton/año, lo que significa que para el año 2027 se tendrá una demanda proyectada de 220000 toneladas. Ver Figura 2.



**Figura 5.** Demanda histórica y proyectada de PVC, ton/año. Elaboración propia.

Se debe considerar que estos datos corresponden sólo a resina de PVC. Se conoce que existe importación de productos terminados de PVC como ventanas, puertas, pisos para diferentes deportes, pisos para interiores, tubos, válvulas, y muchos otros productos de usos doméstico e industrial; todos los cuales no están considerados en las proyecciones. Se asume que para el año 2027 se tendría unas 80000 toneladas de estos productos, lo que sumando con la resina de PVC haría un total de 300000 toneladas.

### 1.3.3. Oferta histórica y proyectada de PVC

Nuestro país es importador natural de polímeros, entre ellos el PVC. La planta de producción de PVC que existía en Paramonga, con tecnología Grace, dejó de funcionar hace



más de 25 años. Sociedad Paramonga utilizaba etanol como materia prima para producir etileno, la cual vía la producción de cloruro de vinilo se obtenía como producto final PVC (PLAEN, 2011).

Por lo tanto, se considera que no hay oferta actual, y tampoco proyectada de PVC.

#### **1.3.4. Demanda insatisfecha proyectada**

Teniendo en cuenta que no existe oferta proyectada, la demanda insatisfecha proyectada es igual a la demanda proyectada, es decir 300000 toneladas para el año 2027. En esta proyección se incluye PVC virgen y PVC como producto terminado.

#### **1.4. Tamaño de la planta industrial**

Dentro de los factores determinantes para calcular la Capacidad de una Planta tenemos la demanda insatisfecha, así como también existen otros factores que pueden ser determinantes en el tamaño de la planta. Dentro de estos tenemos los siguientes:

##### **a) Tamaño de Planta y la Demanda Insatisfecha.**

La demanda insatisfecha proyectada asciende a 300000 toneladas de PVC al año.

Este no sería un factor limitante.

##### **b) Tamaño de Planta y la materia prima.**

El abastecimiento suficiente en cantidad y calidad de las materias primas es un aspecto importante en el desarrollo de un proyecto. Para el tipo de proceso seleccionado la materia prima, que son los residuos de PVC, se requiere en una proporción aproximada de 1.17 kg de residuos por kg de PVC virgen. Entonces para cubrir la demanda insatisfecha proyectada se necesitaría 351000 toneladas de compuestos de PVC reciclados. En el mejor de los casos, que mejore la cultura de reciclaje en nuestro

país, se dispondría a nivel nacional cerca de 105000 toneladas de residuos de PVC. Este si es un factor limitante.

c) Tamaño de planta y tecnología de los equipos.

Existen diferentes tecnologías para recuperar el PVC de los residuos. Sin embargo, la tecnología Vinyloop desarrollada por Solvay tiene muchas ventajas económicas y ambientales. La tecnología se está aplicando en varios países europeos y por lo tanto no es un factor limitante para el tamaño de planta.

d) Tamaño de la Planta y Financiamiento

Este factor no sería determinante para la instalación de este tipo de planta. Se considera que además de tener una buena rentabilidad, es de interés social para disminuir la carga contaminante de este tipo de residuos y por lo tanto se podría financiar con recursos del estado.

Análisis de los resultados de los factores determinantes de la capacidad de planta.

**Tabla 3.**

*Factores determinantes de la Capacidad de la planta.*

<b>Factores</b>	<b>Ponderado 1 al 10</b>
Demanda	4
Materia prima	7
Equipo y Tecnología	4
Financiamiento	5

Nota: Responsable del proyecto

Según el análisis de los factores determinantes de la capacidad de planta realizada en la Tabla 3, la disposición de materia prima es el principal factor limitante para establecer el tamaño de planta.

#### **1.4.1. Determinación del tamaño de planta**

Teniendo en cuenta que el factor limitante es la disponibilidad de materia prima, y que a nivel nacional se proyecta 105000 toneladas de residuos de PVC, el tamaño de la futura planta industrial tendrá que estar muy relacionado con esta disposición.

La empresa VinyPlus ha instalado a la fecha diferentes plantas de reciclaje de PVC en el mundo con la tecnología Vinyloop. Los tamaños varían desde 4000, 10000, 25000, 50000 y 100000 toneladas por año (Rousselle, 2016).

Se considera que un tamaño adecuado, por la concentración de este tipo de residuo en las grandes metrópolis, sería de 10000 toneladas por año.

#### **1.5. Ubicación de la planta**

Para determinar la mejor ubicación de la planta se debe considerar los siguientes factores:

##### **A) Factores primarios**

- Suministro de materia prima
- Suministro de energía y combustible
- Suministro de agua
- Mercado
- Clima

##### **B) Factores secundarios**

- Facilidad de Transporte

- Mano de obra
- Disponibilidad de desperdicios
- Leyes Regulatorias
- Terreno

En la actualidad los factores como suministro de energía y combustible, suministro de agua, clima, facilidad de transporte, disponibilidad de desperdicios, leyes reguladoras y terreno, no constituyen factores decisivos al momento de ubicar una planta industrial, en especial si por disposición de materia prima estaría debería ubicarse en zonas costeras y en las grandes ciudades donde se genera la mayor cantidad de residuos sólidos.

Para este tipo de proceso, los factores más influyentes son la disponibilidad de materia prima y el mercado.

Sobre la disponibilidad de materia prima se tendría que seleccionar grandes ciudades costeras donde la cantidad de residuos sólidos es elevada. Esta disposición está relacionada con el tamaño de la población. Por lo tanto, las alternativas en orden descendente serían: Lima, Arequipa, Trujillo, Chiclayo y Piura (INEI, 2018).

Respecto al mercado, se conoce que la industria de transformación de plásticos, agrupados en APIPLAST (Asociación de Plásticos de Perú) está concentrada en Lima. Más del 90% de las empresas de APIPLAST, que a la fecha agrupa cerca de 200 empresas, están ubicadas en Lima (Plast.Perú, 2018).

Por lo tanto, por la mayor disponibilidad de materia prima y por la cercanía al mercado la futura planta industrial estará ubicada en Lima.

Según explica el ingeniero Javier Morán Ruiz, director de la Carrera de Ingeniería Industrial y Comercial de la Universidad San Ignacio de Loyola (USIL), las dificultades de tráfico y almacenamiento que presentan antiguas zonas comerciales (como las avenidas Argentina y Colonial en el Callao) han motivado a los representantes de las empresas a realizar sus tareas logísticas en la zona sur de Lima. Del área total disponible como stock de mercado de locales industriales y condominios logísticos, el 60% se distribuye en Lima Este, Huachipa y Lima Sur. En esta última, sin duda los protagonistas son Lurín, Chilca y Villa El Salvador. El valor promedio por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de los terrenos industriales en la zona sur de Lima (Chorrillos, Villa El Salvador, Lurín y Chilca) son de US\$ 957, US\$ 900, US\$ 350 y US\$ 229 respectivamente (Gestión, 2018).

Por razones de un mejor desarrollo industrial y por el costo de terreno se selecciona Lurín.



**Figura 6.** Ubicación del distrito de Lurín.

<https://www.google.com.pe/maps/place/Lur%C3%ADn/@12.2460155,76.8905653,12z/data=!4m5!3m4!1s0x91059642255d87e5:0x75c5b93fe8ad1eb6!8m2!3d-12.2608455!4d-76.8838234>

## **Capítulo II**

### **Ingeniería del Proyecto**

En esta sección se detalla el proceso de producción de PVC previa selección del proceso. En base a esa descripción se prepara el diagrama de flujo para realizar el balance de masa y energía. Inmediatamente, se selecciona o diseña los principales equipos de proceso. Finalmente se hace la distribución de la planta.

#### **2.1. Alternativas tecnológicas para el reciclaje de PVC**

El PVC es fácilmente reciclable y una vez reciclado tiene una gran variedad de aplicaciones. Si estudiamos la historia del PVC, vemos que su reciclaje es tan antiguo como su fabricación, lo que muestra que esta es viable tecnológica y económicamente.

Gracias a la facilidad de transformación y a su termoplasticidad, el PVC puede ser reciclado de las siguientes formas:

##### **2.1.1. Reciclaje mecánico**

Es el sistema más utilizado. Tenemos que considerar dos tipos de PVC, o sea, el procedente del proceso industrial o scrap (realizado desde las materias primas del material) y el procedente de los residuos sólidos urbanos (RSU). En ambos casos los residuos son seleccionados, molidos, readitivados de ser necesario, y transformados en nuevos productos. Lo que diferencia los dos tipos son las etapas necesarias hasta la obtención del producto reciclado como, por ejemplo, la necesidad de limpieza de los residuos que provienen del pos-consumo antes de su transformación.

El PVC recuperado y reciclado es empleado en la fabricación de innumerables productos, como tubos diversos, perfiles, mangueras, laminados, artículos de inyección, como cuerpos

huecos, cepillos, escobas, revestimientos de paredes, suelas de calzados, artículos para la industria automotriz, etc.

El reciclaje mecánico más extendido se aplica al PVC rígido (perfiles de ventanas, tuberías, etc.). Tras la recogida y la selección de los residuos, se trituran, se limpian de impurezas y se eliminan los posibles restos de metales. Seguidamente, el granulado obtenido se reduce a polvo por medio de micronización. A continuación, se puede volver a extruir el material reciclado en aplicaciones similares.

### **2.1.2. Reciclaje químico**

Los residuos son sometidos a procesos químicos, bajo temperatura y presión para descomponerlos en productos más elementales como aceites y gases. Actualmente este proceso es aplicado sólo en países desarrollados, tales como Alemania y Japón. Este proceso es recomendable cuando el PVC está demasiado mezclado y no es posible recuperarlo por medio de técnicas o métodos rentables, se recurre a las soluciones de reciclaje químico o reciclaje de las “materias primas” (Feed Stock Recycling), una opción que permite recuperar el HCl (ácido clorhídrico) y los compuestos petroquímicos que forman la base del PVC. Este es el caso del procedimiento elaborado por Dow/BSL en Alemania o del procedimiento Sumitomo, creado en Japón por el grupo del mismo nombre. Estas tecnologías de reciclaje químico permiten tratar casi todos los tipos de residuos de PVC en cantidades enormes, lo que apunta que ocuparán un lugar preponderante entre las alternativas de futuro en cuanto al reciclaje del PVC.

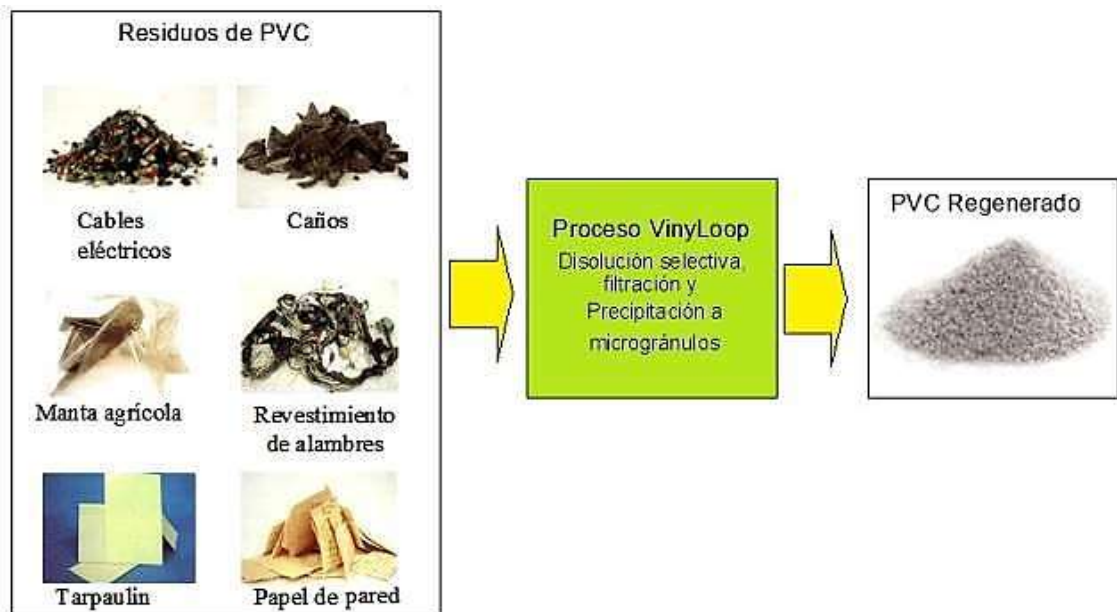
### **2.1.3. Reciclaje energético**

Consiste en la incineración controlada de los residuos, bajo condiciones técnicamente avanzadas, para la recuperación de la energía contenida en el material. Esta tecnología es aplicada en toda Europa, EE.UU. y Asia, pero poco utilizada en América del Sur. Este proceso

se aplica cuando la recuperación de la “molécula” de PVC resulta realmente imposible, la única solución que queda es incinerar los residuos en condiciones óptimas. Es decir, recuperando el contenido energético de la fracción de petróleo y recuperando la fracción de cloruro.

#### 2.1.4. Reciclaje por disolventes

Alternativamente a estas formas de reciclaje, existe también la tecnología de disolución química del PVC a través de solventes (Vinyloop). Esta tecnología fue desarrollada por Solvay. Este es un proceso que demanda alta inversión y gran control de la unidad productiva. Hoy en día, este proceso ha dado un paso más, es el único método actual de reciclaje que permite regenerar el PVC contenido en estructuras compuestas hasta ahora imposibles de recuperar mediante métodos tradicionales. Permite aislar el compuesto de PVC de los otros materiales como fibras de poliéster, tejidos naturales, metales, caucho, poli olefinas y muchos otros. En la Figura 4 se puede observar un resumen esquemático del proceso VinyLoop.



**Figura 7.** Características del proceso VinyLoop de reciclaje de PVC.  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/10/reciclado-de-pvc.html>



El proceso VinyLoop es aplicable para los residuos de PVC considerados “difíciles”, unidos o mezclados a otros materiales (otros polímeros, textiles, metales, caucho, etc.). Se trata sobre todo de los compuestos flexibles de PVC que se usan en los cables, las membranas para tejados, los revestimientos para suelos y los tejidos inducidos. Y también se incluyen los materiales “rechazados en el proceso de selección” del reciclaje por triturado, es decir, los residuos de PVC rígido con altos contenidos de impurezas y que suelen enviarse a los vertederos (Pierre Tucoulat, 2007).

## **2.2. Selección del proceso**

El proceso Vinyloop se adapta mejor para material reciclado que contiene PVC en un nivel mayor o igual que 85% de PVC, como es el caso de los cables eléctricos. Es un tipo de reciclaje mecánico que consiste en recuperar el PVC cuando está contaminado por otros materiales. Mediante productos químicos se separa y sale un PVC resultante de gran calidad. Esto constituye la mayor ventaja respecto a los otros procesos de reciclaje.

Además, el proceso se considera una ruta más ecológica que los otros procesos, porque además de dar valor a residuos de PVC, el proceso es cíclico sin eliminación al ambiente de algún contaminante que altere el medio ambiente (Grigore, 2017).

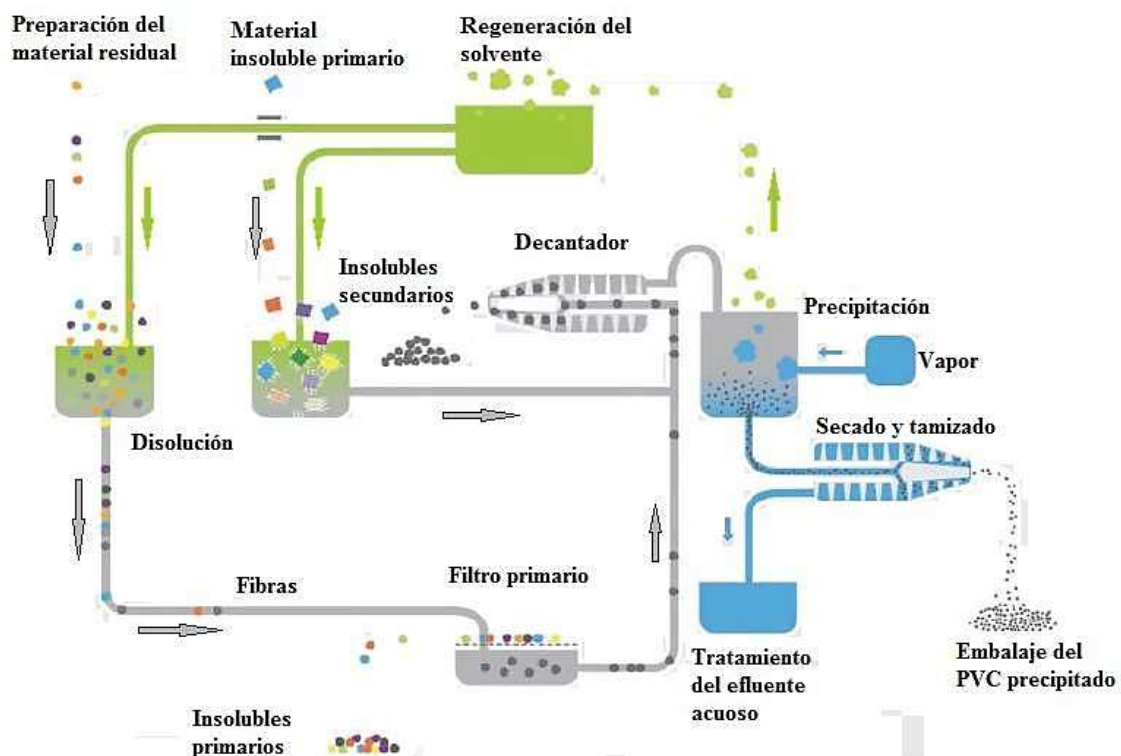
Por las razones expuestas, se selecciona el proceso Vinyloop, el cual se pasará a describir en detalle a continuación.

## **2.3. Descripción detallada del proceso**

El proceso denominado “Vinyloop”, desarrollado por Solvay, permite reciclar químicamente PVC. Esto es posible gracias a una particularidad del PVC, que es su total solubilidad en determinados solventes. Ver Figura 5.

El proceso cuenta con varias etapas:

- a. Pretratamiento: por el cual los residuos de PVC son transformados en un material adecuado para alimentar el proceso (lavado, molido, homogenización, etc).
- b. Disolución: En un reactor cerrado los residuos son mezclados con solventes que liberan la matriz del compuesto de PVC.
- c. Separación: la solución es filtrada y la fracción no disuelta se separa.
- d. Precipitación: Se adiciona vapor de agua que convierte la fase orgánica en acuosa. La resina de PVC precipita y se recuperan los microgránulos del compuesto de PVC.
- e. Secado: el agua se extrae del PVC decantado.
- f. Recuperado del solvente: El solvente se recupera en un circuito cerrado y se vuelve a usar.



**Figura 8.** Diagrama de flujo del Proceso Vinyloop. <https://docplayer.es/18691696-Panorama-de-los-avances-tecnologicos-en-la-cadena-del-pvc-vi-foro-andino-pvc-y-sustentabilidad-universidad-de-los-andes-septiembre-de-2014.html>

**Pretratamiento:** El tratamiento previo es un conjunto de operaciones físicas que transforman a los residuos en materia prima adecuada para la alimentación de Vinyloop®. La necesidad de estas operaciones y su secuencia depende de la composición de los residuos. Estas operaciones físicas pueden incluir: un paso de limpieza (lavado, etc.), reducción de tamaño para una disolución rápida (cortar, triturar, moler, etc.) y un paso de homogenización. Después de la molienda se obtiene fragmentos de tamaño de 1 cm. Para la molienda se recomienda velocidades no mayores de 400 rpm.

**Disolución:** La disolución se lleva a cabo utilizando un solvente que disuelve en forma selectiva el compuesto de PVC, pero no el material secundario. Se lleva a cabo a una temperatura que se adapta al material y a su composición, siempre en ausencia de aire en un proceso cerrado. La temperatura normalmente varía entre 70 – 140°C.

La cantidad de solvente que se recomienda es tal que no debe pasarse de 200 gramos de sólidos en un litro de solvente (20% de sólidos). Los solventes recomendados son: metil etil cetona (MEK), metil isobutil cetona y tetrahidrofurano. En el presente proyecto se va a emplear MEK. El equipo empleado según patente es un tambor rotatorio perforado girando a una velocidad de no menos de 100 rpm. La ventaja del proceso Vinyloop es que el solvente empleado no separa los aditivos que contiene el PVC, y solo separa todo tipo de polímero que refuerza los productos elaborados en base a PVC (Vandenhende & Yernaux, 2011). Se recomienda que el solvente debe tener menos de 8% de agua. Si se utiliza MEK la temperatura recomendada es 75°C ( $\pm 4^\circ\text{C}$ ). Para el proyecto se considera 80°C.

**Filtración:** para la separación, la naturaleza de los insolubles determinará la técnica necesaria, como por ejemplo: centrifugación, decantación, uso de ciclón, dado que el

comportamiento de las fibras del tejido revestido es diferente al de la goma en los residuos de cable, por ejemplo. Tras la separación, el material secundario se lava con solvente caliente puro para eliminar virtualmente todo el compuesto de PVC disuelto, separado con vapor para recuperar todo el solvente que se descarga en este momento. Después de la filtración la cantidad de material insoluble no excede los 200 gramos por litro de disolvente (Patent CN 101367957B). Las fibras están constituidas principalmente por PET, poliéster con diámetros de 10 a 100 micras, y longitudes 0.1 a 10 mm.

***Precipitado:*** en la etapa de precipitado, pueden agregarse aditivos. Esta es una característica específica de este proceso de reciclado y permite ajustar las propiedades de producción. Por ejemplo, se puede agregar un plastificante para ajustar la dureza del borde. Se inyecta vapor para evaporar el solvente en su totalidad. La fórmula del compuesto de PVC se recupera como una mezcla acuosa. Todos los compuestos de la fórmula de resina de PVC original se recuperan en el compuesto regenerado, no solo el PVC. El vapor tiene la función de arrastrar el resto de solvente y agua que está impregnado con el PVC recuperado. La cantidad de vapor necesaria se determina para que después de condensarse forme un azeótropo con el solvente MEK en la concentración de 11% de agua y 89% de MEK. El PVC comienza inicialmente a precipitar en partículas de 1 micra. Conforme la concentración de solvente en la solución va disminuyendo, los aditivos disueltos en la solución son re-depositados sobre las partículas de PVC. Este proceso contribuye a la aglomeración en forma de pellets de tamaño de 500 micras, lo cual es muy fácil de filtrar. Si se utiliza MEK con solvente, la etapa de precipitación debe hacerse con vapor para mantener el proceso a 100°C. La ventaja de recuperar los aditivos en este proceso trae como consecuencia la obtención de un PVC reciclado similar al PVC virgen pero mucho más barato y con mejores propiedades.

***Secado:*** se seca la mezcla del precipitado (que es una mezcla de agua del proceso y compuesto de PVC regenerado). El agua del proceso es tratada para alcanzar la pureza requerida antes de descartarla. El compuesto de PVC regenerado se empaqueta y está listo para ser usado.

***Recuperación del solvente:*** el solvente corre por un circuito cerrado. Más del 99,9% del solvente se recupera y separa del agua en un proceso de varios pasos utilizando condensación y separación por densidad. Un tratamiento final del efluente con gas disminuye la concentración de solvente en el gas del conducto para cumplir con los requisitos legales.

### **2.3.1. Ventajas del Proceso Vinyloop®**

- Válido para todo tipo de residuos de PVC, pero especialmente eficiente para los composites donde el PVC está íntimamente vinculado con otros materiales.
- Válido para todo tipo de Composites.
- Producción pura de compuestos de PVC con una nueva forma: un compuesto de PVC PRECIPITADO.
- Distribución de tamaño de grano muy homogénea.
- Posibilidad de introducir Aditivos.
- Reciclaje en bucle cerrado: es posible la reutilización en las mismas aplicaciones.
- Contenido de PVC del material secundario <2%.

### **2.4. Balance de masa y energía**

Se asume que a la planta llegan residuos de compósitos de PVC previamente tratados. Por ejemplo los cables de electricidad se adquieren sin el alambre de cobre. Por lo tanto el

diagrama de bloques se basa en dicha condición. La composición básica de los residuos de PVC que llegan a la planta es:

PVC: 82%

Aditivos del PVC: 3%

Otros polímeros = Fibras = 13%

Suciedad: 2%

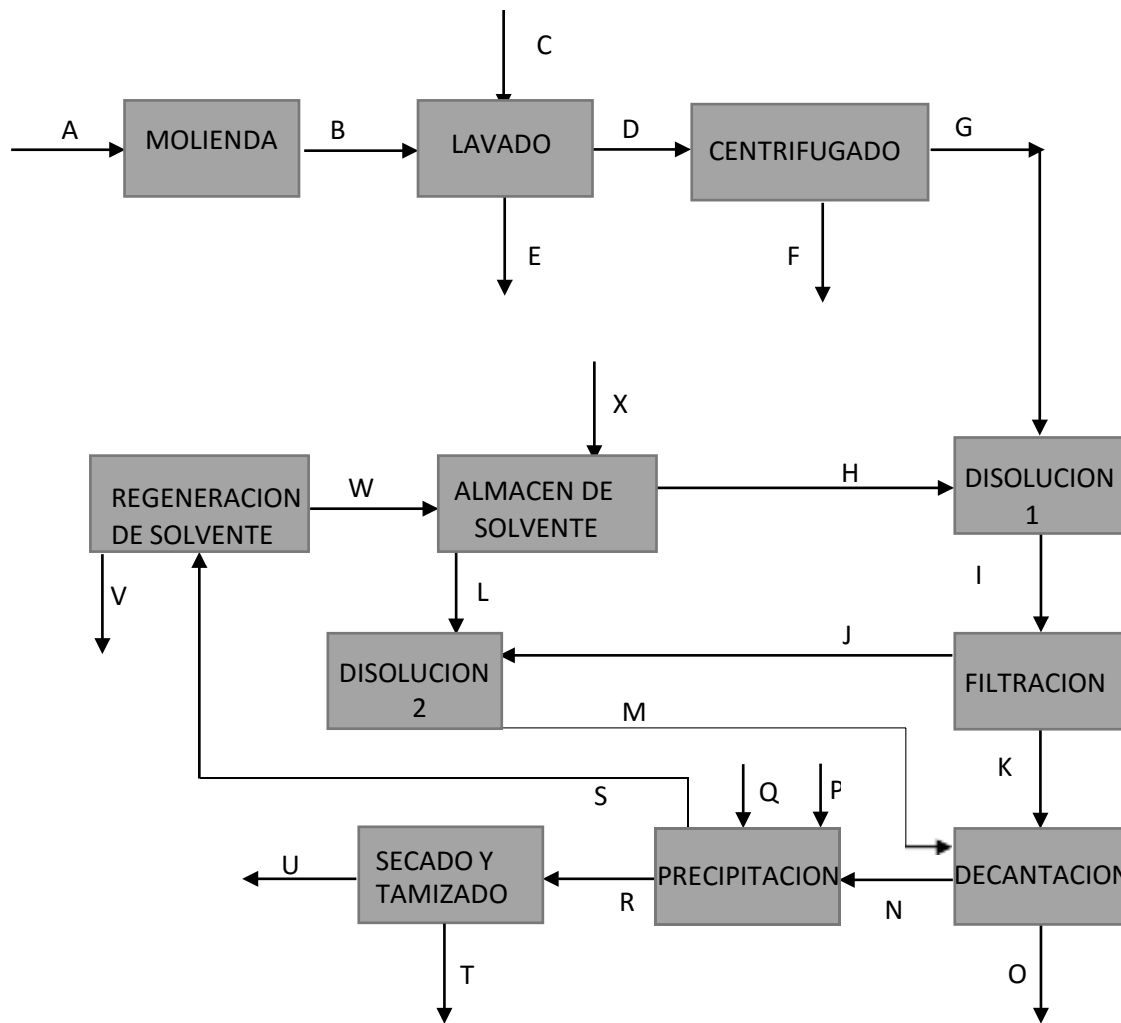
Dentro de las fibras se considera: fibra de vidrio, fibras de celulosa, o fibras de plásticos como polietileno, PET.

Aditivos del PVC se considera: plastificadores, estabilizadores, antioxidantes, retardantes de fuego, pigmentos, rellenos.

La capacidad de la planta es de 10000 toneladas en el año, lo que significa una producción de 1250 kg/hr de PVC reciclado, semejante al PVC virgen.

Respecto al consumo de energía se debe considerar que las diluciones operan a temperatura de 80°C y para la precipitación del PVC se utiliza vapor para mantener el sistema a 100°C.

Según el balance de masa mostrado en la Tabla 4 se necesita 1480 kg/hr de residuos de PVC para producir 1250 kg/hr de PVC reciclado con características semejantes al PVC virgen, es decir 1.184 kg de residuos de PVC por cada kg de PVC reciclado.



**Figura 9.** Diagrama de bloques del proceso Vinyloop para el reciclaje de PVC. Elaboración propia

**Tabla 4***Balance de masa de la producción de PVC reciclado por el proceso Vinyloop.*

	PVC	ADITIVOS PVC	FIBRAS	SUCIEDAD	AGUA	SOLVENTE	Total
A	1.213,6	44,4	192,4	29,6			1.480,0
B	1.213,6	44,4	192,4	29,6			1.480,0
C					2.220,0		2.220,0
D	1.213,6	44,4	192,4		666,0		2.116,4
E				29,6	1.554,0		1.583,6
F					662,67		662,67
G	1.213,6	44,4	192,4		3,33		1.453,73
H						5.814,92	5.814,92
I	1.213,6	44,4	192,4		3,33	5.814,92	7.268,65
J	121,36	2,22	192,4		0,333	581,492	897,805
K	1.092,24	42,18			2,997	5.233,428	6.370,845
L						682,428	682,428
M	121,36	2,22	192,4		0,333	1.263,92	1.580,233
N	1.205,6	42,18			332,667	6.490,851	8.071,298
O	8	2,22	192,4		0,003	6.497,348	6.699,971
P		2,22					2,22
Q					1.145,444		1.145,444
R	1.205,6	44,4			3.446,313		4.696,313
S					8.041,396	6.490,851	14.532,247
T					3.446,313		3.446,313
U	1.205,6	44,4					1.250,0
V					8.041,396	6.490,851	14.532,247
W						6.484,36	6.484,36
X						129,882	129,882

Nota: Responsables del proyecto.



## 2.5. Equipos principales de proceso

### 2.5.1. Molino

Función: desfibrar las piezas de residuos PVC hasta tamaños de 1 cm de longitud

Fabricante: UNTHA

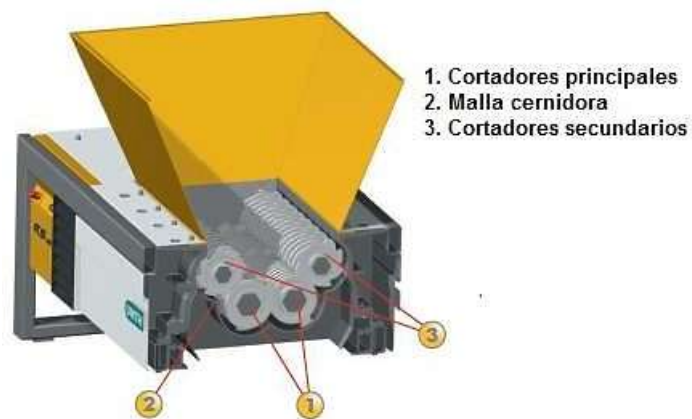
Modelo: RS30

Capacidad requerida: 1480 kg/hr

Capacidad nominal: 2000 kg/hr

Potencia: 11 kW

Número de ejes de corte: 4



**Figura 10.** Molino UNTHA. [https://www.untha.com/en/shredders/industrial-shredders/rs30/40\\_p54](https://www.untha.com/en/shredders/industrial-shredders/rs30/40_p54)

### 2.5.2. Lavador de Plástico

Función: lavar los trozos de plástico obtenidos en la molienda

Tipo: lavadora flotante

Modelo: FS2000

Capacidad nominal: 2000 kg/hr

Potencia consumida: 30 kW

Dimensiones: LxWxH : 12000/3600/2800 mm



**Figura 11.** Lavadora FS2000. <https://www.alibaba.com/>

### 2.5.3. Filtración

Función: separar el agua de lavado que tiene el PVC después de molido

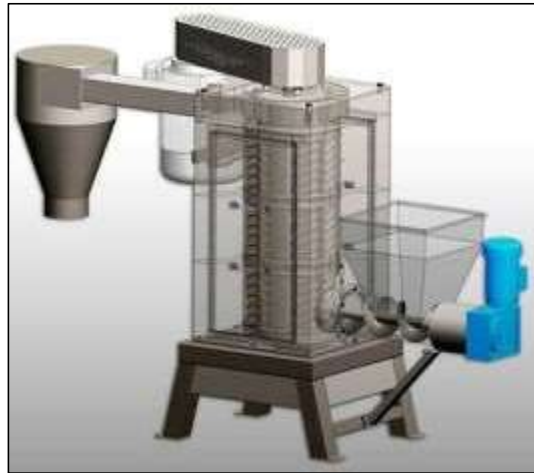
Modelo: Costarelli Dynamic Centrifuge 850/10

Fabricante: OCI GmbH

Capacidad nominal: 2000 kg/hr

Potencia: 25 kW

RPM: 1800



**Figura 12.** *Flitrador Costarelli Dynamic Centrifuge 850/10.* <https://www.alibaba.com/>

#### **2.5.4. Dilutor Primario**

Función: realizar la primera dilución del PVC y aditivos del PVC contenidos en los residuos de PVC ingresados a la planta de procesamiento.

Tipo: reactor tipo batch, con agitación y calentamiento.

Modelo: 2000 L

Fabricante: Jinzong Machinery

Tamaño del cilindro: 1400 mm x 1500 mm

Volumen de la chaqueta de enfriamiento: 750 litros

Área de calentamiento: 7 m<sup>2</sup>

Potencia del motor de agitación: 5.5 Kw, 85 RPM

Tubería de carga y descarga: DN65



**Figura 13.** *Dilutor Primario 2000L.* <https://jinzongmachinery.en.made-in-china.com/productimage/gvpEKLDOLykN-2f1j00mOaEjApJplkw/China-Thermal-Oil-Heated-Chemical-Stainless-Steel-Reactor.html>

### 2.5.5. Filtro

Función: separar las fibras que contiene los residuos de PVC

Contenido de fibras: 2.65%

Flujo requerido: 25.6 gpm

Flujo del filtro seleccionado: 25 a 150 gpm

Tipo: filtro de fibras

Modelo: FF6

Fabricante: Vincent Corporation

Dimensiones en pies, L x W x H: 6 x 2 x 4

Potencia del agitador: 3 HP



**Figura 14.** *Flitro FF6.* <https://vincentcorp.com/content/fiber-filters/>

### 2.5.6. Dilutor Secundario

Función: realizar la segunda dilución del PVC y aditivos del PVC contenidos en los residuos de PVC que no se procesó en el dilutor primario.

Tipo: reactor tipo batch, con agitación y calentamiento

Modelo: 500 L

Fabricante: Jinzong Machinery

Tamaño del cilindro: 900 mm x 800 mm

Volumen total: 699 litros

Volumen de la chaqueta de enfriamiento: 290 litros

Área de calentamiento: 2.7 m<sup>2</sup>

Potencia del motor de agitación: 2.2 Kw, 85 RPM

Tubería de carga y descarga: DN50

### 2.5.7. Decantador Centrífugo

Función: separar los sólidos no solubles en el solvente del proceso.

Modelo: FP600 RS/M

Fabricante: Gruppo PIERALISI, Division Separation Solutions

Capacidad requerida: 6626 litros/hr

Capacidad nominal: 9000 litros/hr

Potencia necesaria: 11 kW

Diámetro del cilindro: 353 mm

Dimensiones que ocupa todo el equipo (L x W x H): 2770 x 1040 x 1425 mm



**Figura 15.** Decantador FP600 RS/M. [http://www.pieralisi.com/media/files/58\\_estrattori\\_centrifughi\\_600.pdf](http://www.pieralisi.com/media/files/58_estrattori_centrifughi_600.pdf)

### 2.5.8. Secador de Pellets de PVC

Función: secar el PVC precipitado y previamente decantado

Modelo: DW-2-10

Fabricante: Longcheng Powder Equipment Co., Ltd.

Capacidad de evaporación requerida: 344.63 kg/hr

Capacidad de evaporación nominal: 120 – 400 kg/hr

Potencia necesaria: 15.8 Kw

Consumo de vapor: 225 – 600 kg/hr

Dimensiones que ocupa todo el equipo (L x W x H): 11.56 x 2.32 x 2.5 m

## 2.6. Distribución de la Planta

El área requerida para el proceso es de 180 m<sup>2</sup> y el área total será de 360 m<sup>2</sup>. El total de áreas requeridas son las siguientes:

**Tabla 5**  
*Distribución de la Planta*

Área	m <sup>2</sup>
Recepción	10 m <sup>2</sup>
Compras	10 m <sup>2</sup>
Ventas	10 m <sup>2</sup>
Finanzas	10 m <sup>2</sup>
Gerencia	14 m <sup>2</sup>
Recursos humanos	14 m <sup>2</sup>
Sala de juntas	16 m <sup>2</sup>
Almacén	34 m <sup>2</sup>
Producción	180 m <sup>2</sup>
Baños	15 m <sup>2</sup>
Vestidores y regaderas	12 m <sup>2</sup>
Pasillo	20 m <sup>2</sup>

Comedor	14 m <sup>2</sup>
Total	359 m <sup>2</sup>

Nota: Responsables del proyecto.

La dimensión de las áreas de la empresa y su distribución se hizo de tal modo que fuera beneficioso para todas las áreas, que el espacio disponible se aprovechara lo mayor posible y se optimizara el proceso de producción. En la Tabla 6 y Figura 16, se presenta el código de proximidad y el diagrama de correlación por el método SLP, respectivamente.

**Tabla 6**  
*Código de proximidad en el diagrama de correlación.*

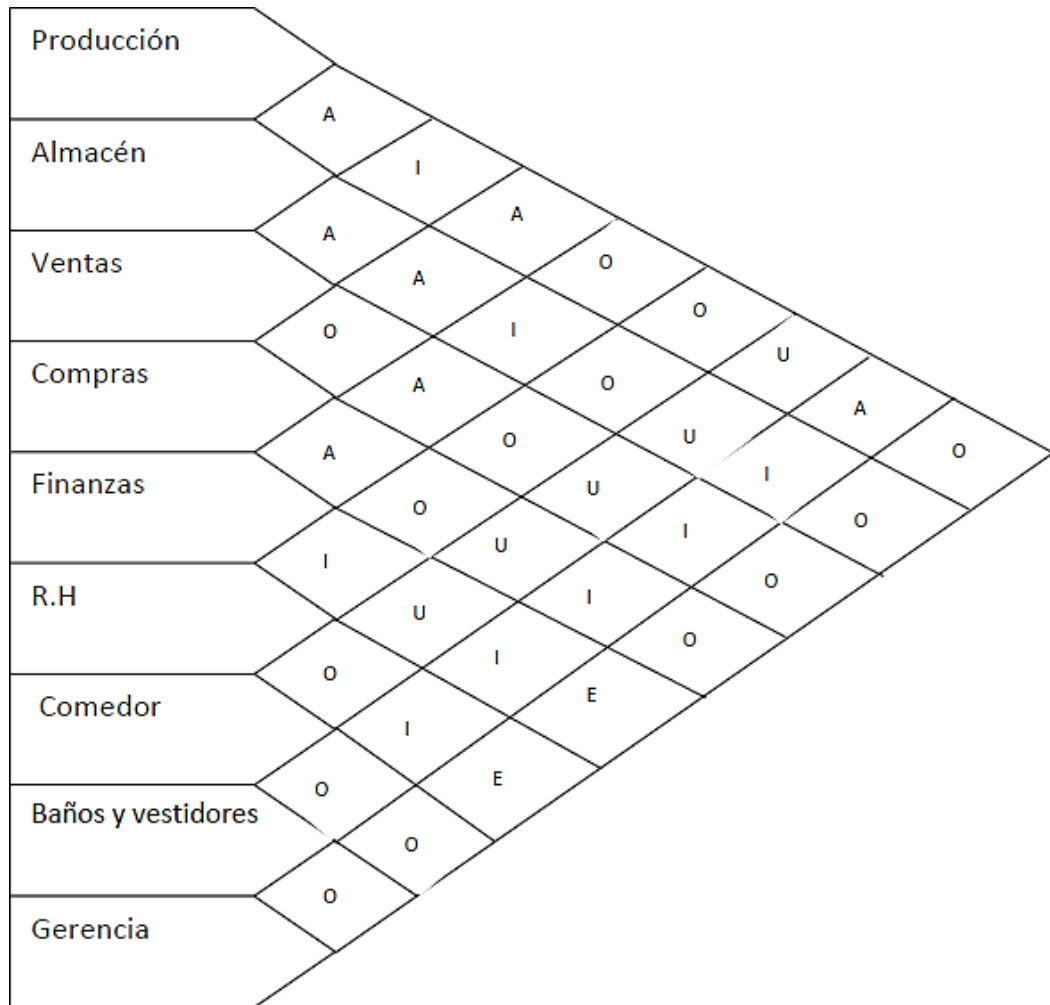
Código de proximidad	Grado de importancia
A	Absolutamente necesario
E	Muy importante
I	Importante
O	Importancia ordinario
U	No importante
X	Indeseable

Nota: Responsables del proyecto.



**Figura 16**

*Diagrama de correlación por el método SLP*

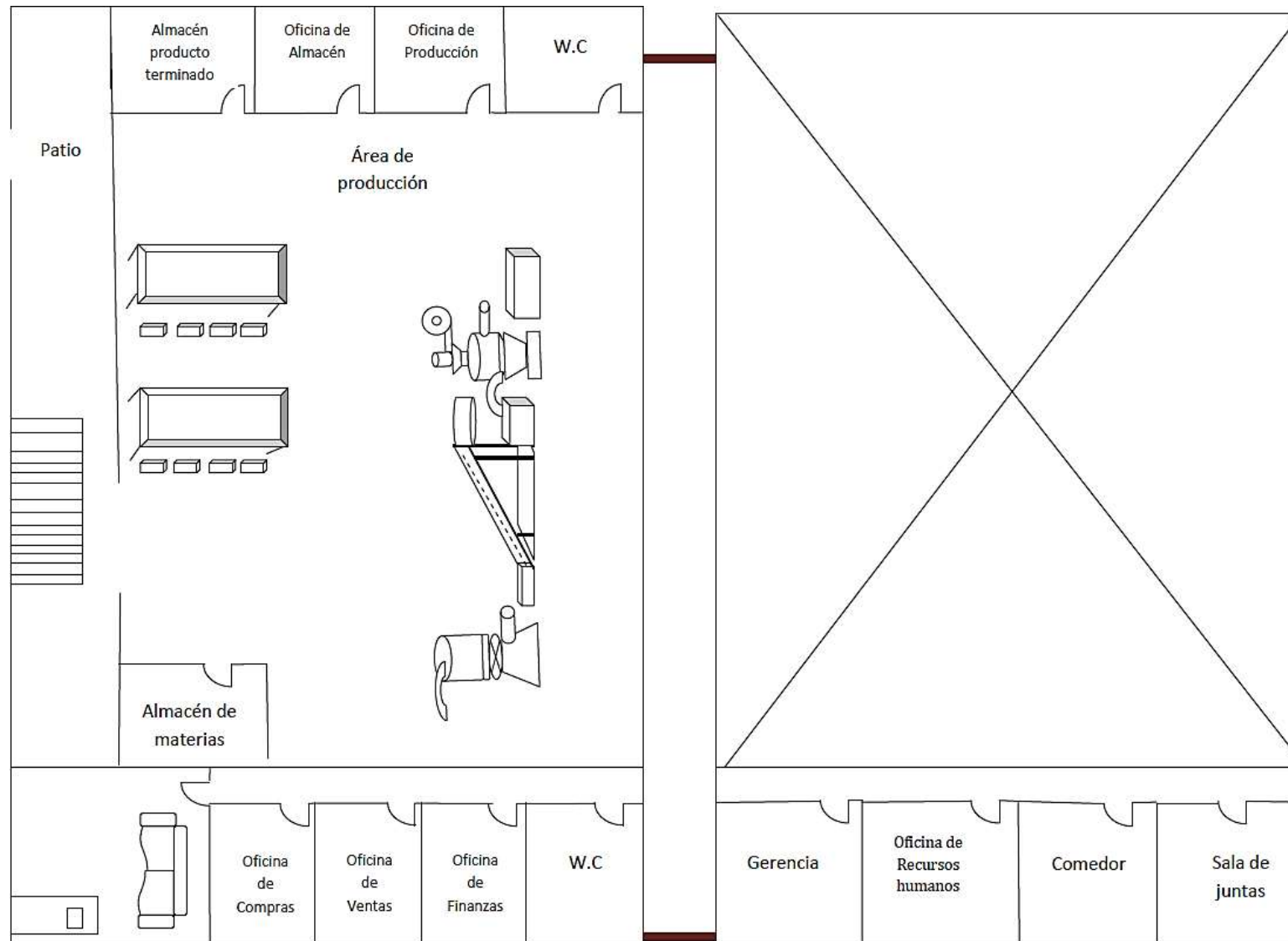


Nota: Responsables del proyecto.



**Figura 18**

Distribución de la planta.



Nota: Responsables del proyecto.

## 2.7. Consideraciones Ambientales

El uso de materiales reciclados es un valor agregado para el medio ambiente, ya que ahorra recursos valiosos (energía y materias primas) y evita la incineración. En este sentido, PVC-R del proceso VinyLoop® contribuye a una menor huella ambiental de los productos. El uso de material reciclado también puede presentar un elemento importante para que los consumidores realicen una elección sostenible. La etiqueta Eco-Footprint (“Huella Ecológica”) mostraría los beneficios ambientales para los consumidores en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, eficiencia energética y consumo de agua de una manera visual y directa. Por ejemplo, las mangueras para los jardines fabricados con al menos con 50% de PVC-R del proceso VinyLoop puede ahorrar un promedio de 20% de emisión de gases invernadero, 35% de consumo de agua y 20% de consumo de energía. Una membrana fabricada con PVC-R, puede ahorrar un promedio de 40% en la emisión de gases con efecto invernadero, 40% de consumo de agua y 24% de consumo de energía si se asume que por lo menos 75% de PVC-R se utilice en lugar de PVC virgen. Estos importantes beneficios ambientales pueden extenderse a los bienes producidos por los clientes de VinyLoop® y comunicarse a los usuarios finales (VinyLoop Ferrara S.p.A., 2012).

En términos de eficiencia en el uso de los recursos, VinyLoop® permite a las empresas que utilizan desechos de PVC beneficiarse de una alternativa más ecológica para el tratamiento de sus desechos, evitando el vertido o la incineración. A través del reciclaje, los desechos se convierten en un valioso recurso de materia prima.

En la Figura 10, se presenta las principales ventajas medioambientales que resultan de utilizar el proceso VinyLoop en comparación el proceso convencional de producción de PVC virgen. Por lo tanto se considera que esta es una tecnología limpia. Todo el proceso es en circuito cerrado: la recuperación del solvente es total, el agua que se separa del solvente

proviene de la condensación del vapor ingresado en la etapa de precipitación y es un agua limpia.

Los únicos efluentes del circuito de producción del proceso VinyLoop son: los sólidos que no se disuelven con el solvente, y el agua de lavado de los residuos de PVC ingresados a la planta. Los sólidos en mención están constituidos por fibra de vidrio, fibras de celulosa, o fibras de plásticos como polietileno, PET, y un porcentaje muy pequeño de algunos aditivos del PVC que no son disueltos por el solvente empleado. Todos estos sólidos, que en su mayoría son polímeros pueden incinerarse como combustible en las calderas de producción de vapor. Respecto al agua de lavado que se separa y que contiene la suciedad presente al momento que ingresa los residuos en la planta de producción se someterá a un tratamiento físico para volverlo a reutilizar.

CATEGORIA DEL IMPACTO	RUTA CONVENCIONAL DEL PVC	VINYLOOP	UNIDAD	DIFERENCIA
Potencial de calentamiento global	3,25E + 00	1,94E + 00	kg CO <sub>2</sub> -Eq	-40%
Fuentes de energía primaria	4,81E + 01	2,57E + 01	MJ	-47%
Consumo de agua	2,62E - 01	6,26E - 02	m <sup>3</sup>	-76%
Agotamiento de recursos abióticos	1,87E - 02	1,17E - 02	kg Sb	-37%
Acidificación	6,71E - 03	2,40E - 03	kg SO <sub>2</sub> -Eq	-64%
Eutroficación	6,83E - 04	-1,46E - 03	kg PO <sub>4</sub> -Eq	-314%
Oxidación fotoquímica	4,51E - 04	1,54E - 04	kg ethylene	-66%

**Figura 19.** Comparación del impacto ambiental del PVC-R del proceso VinyLoop y el PVC producido convencionalmente. (VinyLoop Ferrara S.p.A., 2012).

## **Capítulo III**

### **Estudio Económico**

En el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo. La evaluación económica del presente proyecto obedece a la dinámica seguida por la mayoría de proyectos de Plantas de procesos de industria química. Según esto, se ha considerado dos aspectos importantes como la Estimación de la inversión total y Estimación del costo total de producción, para finalmente determinar la rentabilidad del proyecto.

Para las estimaciones se han usado los índices modificados de Peters & Timmerhaus, que toma en cuenta como base el precio de los equipos principales y auxiliares colocados en la planta. Los costos han sido obtenidos Matches, institución que tiene actualizada para 2014 los precios de más de 275 equipos usados en la industria química. La actualización se realizó con los índices de costo de plantas de ingeniería química – CEPCI del 2014 y del 2017.

Cabe mencionar que los valores obtenidos de la evaluación económica son susceptibles de ser mejorados, en especial si se compra residuos con elevado porcentaje de PVC.

#### **3.1. Estimación de inversión total**

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en \$ 12 166 277 dólares.

La inversión total está constituida por el capital fijo total que asciende \$ 11 507 160; y un capital de trabajo u operación estimada en \$ 659 117.

### **3.1.1. Capital Fijo Total**

- Costo Fijo: El costo fijo es de \$ **11 507 160** y está formado por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la planta.

#### **3.1.1.1. Costo directo o físico**

EL costo directo es \$ 9 629 676 y está constituido por:

- A. Costo total del equipo de proceso instalado.
- B. Costo total del equipo auxiliar de proceso instalado.
- C. Costo total de tuberías y accesorios.
- D. Costo total de instrumentación.
- E. Costo de instalaciones eléctricas.
- F. Costo de edificios.
- G. Costo de estructuras.
- H. Costo del equipo analítico de laboratorio.
- I. Costo de terreno y mejoras.

#### **3.1.1.2. Costos indirectos**

EL costo indirecto es \$ 1 877 484 y está constituido por

- A. Costo de ingeniería y supervisión.
- B. Comisión para contratistas.
- C. Imprevistos.

**A continuación, detallamos los costos directos e indirectos:**

- A. Costo de equipo principal y auxiliar de proceso:

La estimación del costo de los equipos se realiza sobre la base de: Capacidad, características de diseño, tipo de material e información disponible sobre precios de los equipos para el año 2014 según la fuente Matches. Actualizado al 2017, el costo total de los equipos principales y auxiliares asciende a 4 900 000 dólares (FOB).

El costo CIF del equipo principal y auxiliar a precios del 2017 asciende a 5 880 000 dólares, y colocado en planta asciende a 6 056 400 dólares. Con este último valor y utilizando los índices modificados de Peter & Timmerhaus se obtiene los distintos valores para calcular la inversión total del proyecto, que se resume en la Tabla 8.

**B. Costo de instalación de todos los equipos:**

Por ser los equipos modulares se considera 12% del costo del equipo puesto en la planta, es decir: \$ 726 768.

**C. Tuberías y accesorios:**

La estimación de costos se realiza teniendo en cuenta dimensiones y material de construcción, incluye el costo de compra y de instalación. Los módulos incluyen sus conexiones. Se considera 10% del costo del equipo total. Llega a \$ 605 640.

**D. Aislamiento térmico:**

Los equipos recuperadores de calor, reactores, y generadores de frío se consideran su propio aislamiento. Este valor se considera nulo.

**E. Instrumentación y control:**

Este renglón ha sido estimado según los costos unitarios de los principales equipos a usar en automatización de la planta. Las distintas secciones de la



fábrica se consideran con control. La planta es semi-automatizada. Se considera 5% del costo total del equipo. El costo es \$ 302 820.

F. Instalaciones eléctricas:

Se estima de acuerdo a las recomendaciones dadas por P & T., siendo el 5 % del costo de compra total del equipo, se obtuvo un valor de \$ 302 820.

G. Estructuras de la planta:

El costo de estructuras incluye los costos de cimentación para el área de proceso a precios locales. Se considera el 8% del costo de los equipos. El costo asciende a 484 512 dólares.

H. Servicios:

Incluye los gastos de instalaciones de agua, vapor, aire comprimido, servicio eléctrico. En este caso el gasto asciende al 15% del costo de los equipos. El costo es de \$ 908 460.

I. Terrenos y mejoras:

El costo del terreno se ha estimado teniendo en cuenta el lugar y ubicación de la planta, comprende los costos de: preparación del terreno, asfaltado, veredas, sardineles y cercado de la planta. El costo considerado es 4% del costo de los equipos y asciende a \$ 242 256.

J. Costos directos totales:

Es la suma del costo del equipo de la planta, más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios. Alcanza un valor de \$ 9 629 676.

K. Ingeniería y supervisión:

Por ser un sistema modular, se considera el 10% del costo total de la planta puesta en la fábrica. El valor asciende a \$ 605 640.

L. Costo de la construcción:

Se considera 13% del costo total de la planta. Asciende a \$ 787 332.

M. Costo de seguros e impuestos de la construcción:

Se considera solo el 2% del costo del todo el equipo. Asciende a \$ 121

128.

N. Comisión para contratistas:

Este renglón considera el 4% del costo físico de la planta, \$ 242 256.

O. Imprevisto:

Se ha considerado \$ 121 128, con la finalidad de subsanar cualquier eventualidad que demande el gasto y que no se haya considerado dentro del costo de construcción de la planta. Se estima como el 2% del costo total de la planta.

P. Costos indirectos totales:

Es la suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas y gastos imprevistos. Alcanza la suma de \$ 1 877 484.

Q. Inversión de capital fijo:

Es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales.

Llega a \$ 11 507 160.

### **3.1.2. Capital de puesta en marcha o capital de trabajo**

Este renglón abarca los gastos efectuados para realizar pruebas y reajustes del equipo del proceso antes de la operación comercial de la planta. Como período de puesta en marcha se considera que no excederá un mes. Se calculó un capital de \$ 659 117.

Se considera que se va procesar en forma continua, 8000 horas al año.

- A. **Inventario de materia prima:** se considera compra de materia prima e insumos para 1 mes de operación. Alcanza la suma de \$ **137 117**.
- B. **Inventario de materia en proceso:** se considera como el costo de un día de producción. En promedio asciende a \$ **18 000**.
- C. **Inventario de producto en almacén:** se estima el dinero necesario para tener almacenado producto por una semana. El valor alcanzado es \$ **126 000**.
- D. **Cuentas por cobrar:** equivale a una semana de ventas. Asciende a \$ **252 000**.
- E. **Disponibilidad en caja:** sirve para pagar salarios, suministros e imprevisto. Se considera 2 días de producción. Asciende a \$ **126 000**.

**LA INVERSION TOTAL:** es la suma de capital fijo más el capital de trabajo, y alcanza el valor de \$ 12 166 277.

**Tabla 8**  
*Plan Global de Inversiones*

Activos Fijos	
Costos Directos	Monto
Costo de equipos en planta	\$6 056 400
Costos de instalación	\$726 768
Costo de instrumentación y control	\$302 820
Costo de tuberías y accesorios	\$605 640
Costo de sistema eléctrico	\$302 820
Costo de edificios	\$484 512
Costo de mejoras de terrenos	\$242 256
Costo de servicios	\$908 460
Total costos directos	\$9 629 676
Costos indirectos	Monto
Costos de ingeniería y supervisión	\$605 640
Costo de la construcción	\$787 332
Costos de seguros e impuestos a la construcción	\$121 128
Costo de honorarios para los contratistas	\$242 256
Costo de imprevistos	\$121 128
Total costos indirectos	\$1 877 484
Capital de Trabajo	
Inventario de materia prima	\$137 117
Inventario de materia prima en proceso	\$18 000
Inventario de producto en almacén	\$126 000
Cuentas por cobrar	\$252 000
Disponibilidad de caja	\$126 000
Total capital de trabajo	\$659 117
Inversión Total del Proyecto	\$12 166 277

Nota: Responsable del proyecto, 2018

### **3.1.3. Estimación del costo total de producción**

El costo total de fabricación está constituido por el costo de manufactura y los gastos generales. El costo total anual es de \$ 5 448 735. El resumen de la estima del costo de producción y del costo unitario se muestra en la Tabla 9.

#### **3.1.3.1. Costo de Manufactura**

Este renglón incluye:

- A. Costo directo de manufactura.
- B. Costos indirectos.
- C. Costos fijos.

Detallamos a continuación cada costo:

##### **A. Costo directo de manufactura**

Constituido por los costos de materia prima, mano de obra, supervisión mantenimiento y reparación de la planta, suministros para las operaciones y servicios auxiliares. El costo asciende a \$ 3 851 646.

##### **- Materia prima:**

La materia prima utilizada para la producción de producto incluye los costos los residuos de PVC, los aditivos para darle propiedades de PVC comercial y el solvente. Para la capacidad diseñada el costo total asciende a **\$ 3 290 804.**

##### **- Mano de Obra:**

La operación de la planta requiere de 9 obreros por cada turno de ocho horas. Se considera un sueldo de 450 dólares, 14 sueldos al año.

El costo de mano de obra por año asciende a \$ 170 100.

- Supervisión e ingeniería:

En este renglón se considera todo el personal comprometido con la supervisión directa de las operaciones de producción de las distintas instalaciones. Se considera 20% de la mano de obra. El costo de supervisión e ingeniería es de \$ 34 020.

- Mantenimiento y reparaciones:

Están comprendidos los gastos que se requieren para mantener la planta en óptimas condiciones de operación, y se estima como el 2% del capital fijo que es \$ 230 143.

- Auxiliares y servicios:

Se considera los gastos por conceptos de lubricantes, pintura, materiales de limpieza, agua, energía eléctrica, etc. para su estimación se ha considerado el 25% del costo anual de mantenimiento, cuyo costo es de \$ 57 536.

- Suministros de operación:

Se considera 30% del costo de mantenimiento y reparación.

Asciende a \$ 69 043.

#### B. Costos indirectos de fabricación

Comprende los gastos de laboratorio, cargas a la planilla y los gastos generales de la planta. Asciende a \$ 95 256.

- Cargas a la planilla:

Constituye todos los gastos por concepto de beneficios sociales. Se ha considerado como el 21% (\$ 35 721) de la suma de los Costos de mano de obra y supervisión.

- Laboratorio:

Comprende los costos de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de calidad del producto, así como también las remuneraciones por supervisión. Costo: 20% del costo de mano de obra. Ascende a \$ 34 020.

- Gastos generales de la planta:

Lo conforman gastos destinados a satisfacer servicios, tales como: asistencia médica, protección de la planta, limpieza, vigilancia, servicios recreacionales, etc. Se ha estimado como el 15% del costo de mano de obra. Ascende a \$ 25 515.

#### C. Costos fijos de fabricación

Los costos fijos son independientes del volumen de producción de la planta, están formados por la depreciación, impuestos y los seguros. El total asciende a \$ 1 380 860.

- Depreciación:

El capital sujeto a depreciación es el capital fijo total excluyendo el costo del terreno. Para determinar se ha considerado el 10% del capital fijo \$ 1 150 716.

- Impuestos:

El pago de impuestos a la propiedad para zonas poco pobladas se considera el 1% del capital fijo total, \$ 115 072.

- Seguros:

Se ha considerado el 1% del capital fijo total, \$ 115 072.

### **3.1.3.2. Gastos generales (VAI)**

Comprende los gastos realizados por concepto de: administración, ventas y distribución, investigación y desarrollo. Ascende a \$ 120 974.

#### **A. Administración**

Comprende los gastos por derecho de salarios de funcionarios, contadores, secretarias, así como los gastos de gerencia de actividades administrativas. Se estima como el 10% del costo de la mano de obra, supervisión y mantenimiento. Ascende a \$ 43 426.

#### **B. Ventas y distribución**

Incluye los costos por derecho de publicidad para la venta del producto, así como los gastos para la distribución. Se estima como el 5 % del costo fijo de fabricación. Ascende a \$ 69 043.

#### **C. Investigación y desarrollo**

Este renglón está encaminado a mejorar la calidad, proceso y en general para abaratar los costos de producción. Se estima como el 5% de la mano de obra, \$ 8 505.

### **3.1.3.3. Costo total de fabricación**

Es igual a la suma del costo de fabricación y los gastos generales (VAI). Ascende a 5 448 735 dólares.



#### **3.1.3.4. Costo unitario**

La producción anual 10000 toneladas de PVC, asciende a diez millones de kilogramos.  
Por lo tanto, el costo unitario es de 0.5449 dólares por kilogramo.

#### **3.1.4. Balance económico y rentabilidad**

Para el análisis de la rentabilidad del proyecto se considera el precio de venta puesto en la fábrica de \$ 1.15 por kilogramo.

##### **3.1.4.1. Retorno sobre la inversión**

- Antes de Impuesto

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades antes de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión antes de los impuestos obtenidos es de 48.91%, lo que demuestra la factibilidad económica del proyecto

**Tabla 9***Costo de Manufactura y Costo Unitario*

<b>Costos de Manufactura</b>	
<i><b>Costos directos de manufactura</b></i>	<b>Monto</b>
Costos de materia prima	\$3 290 804
Costo de mano de obra	\$170 100
Costo de supervisión e ingeniería	\$34 020
Costo de mantenimiento y reparación	\$230 143
Costo de auxiliares y servicios	\$57 536
Costo de suministros de operación	\$69 043
Total costos directos	\$3 851 646
<i><b>Costos indirectos de manufactura</b></i>	<b>Monto</b>
Costos de planillas<	\$35 721
Costo de laboratorio	\$ 34 020
Costos generales de planta	\$ 25 515
Total costos indirectos	\$95 256
<i><b>Costos fijos de manufactura</b></i>	<b>Monto</b>
Depreciación	\$1 150 716
Impuestos	\$115 072
Seguros	\$115 072
Total de costos fijos	\$1 380 859
<i><b>Gastos generales</b></i>	<b>Monto</b>
Administración	\$43 426
Ventas	\$69 043
Investigación	\$8 505
Total gastos generales	\$120 974
Costo total de manufactura	\$5 448 735
Costo Unitario - Producción: 10 000 000 kg/año	\$0.5449 /kg

Nota: Responsables del proyecto, 2018.

#### - Después del impuesto

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades después de impuestos y de inversión total.

El retorno sobre la inversión después de impuestos obtenidos es de 33.44%, lo que demuestra nuevamente la factibilidad económica del proyecto (Ver Apéndice).

#### A. Tiempo de recuperación de la inversión

Es el tiempo expresado en años, en que se recupera la inversión de capital fijo, operando 8000 horas en el año.

El tiempo de repago antes de impuestos es de 1.69 años y después de impuestos es de 2.25 años.

#### B. Punto de equilibrio

Es el nivel de producción, en el cual no se obtiene ni pérdidas ni ganancias. Según los cálculos realizados el punto de equilibrio es 20.88% de la capacidad total de la planta.

**Tabla 10***Estado de pérdidas y ganancia.*

Producción anual	10 000 000	kg
Precio de venta por unidad	1.15	\$/kg
Ingreso de ventas anuales	18 000 000	\$
Costo total de fabricación (producción)	11 500 000	\$
Utilidad Bruta	6 051 265	\$
Impuesto a la renta ( 30 % )	1 815 380	\$
Utilidad neta	4 235 885	\$
<hr/> Ingreso neto de ventas anuales = Producción anual * Precio de venta unitario <hr/>		
<hr/> Utilidad Bruta = Ingreso Neto de Ventas Anuales - Costo Total de Fabricación <hr/>		
<hr/> Utilidad Neta = Utilidad Bruta - Impuesto a la Renta. <hr/>		

Nota: Responsables del proyecto, 2018.

**Tabla 11***Análisis Económico.*

	Valores Calculados	Valor	Aceptable
a.	Retorno sobre la Inversión antes del pago de impuestos	44.51%	> 35 %
b.	Retorno sobre la Inversión después del pago de impuestos	33.44 %	> 12 %
c.	Tiempo de recuperación del dinero antes de impuestos	1.69	< 5 años
d.	Tiempo de recuperación del dinero después de impuesto	2.25	
e.	Punto de equilibrio	20.88%	< 50%

Nota: Responsables del proyecto, 2018.

## Capítulo IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

- Se concluyó que el mejor proceso para obtener un producto semejante al PVC virgen y con un mínimo de contaminación es el proceso llamado Vyniloop. La disposición de residuos de PVC limita la capacidad de la planta. El tamaño que consideró fue de 10000 toneladas de producto para lo cual se necesita cerca de 11800 toneladas de residuos.
- Con el estudio de mercado se determinó que para el 2027 existirá una demanda insatisfecha proyectada de 300 000 toneladas de PVC, que incluye PVC virgen y PVC en productos terminados. La proyección se realizó en base a las importaciones que nuestro país ha realizado en los últimos 10 años.
- Se determinó la factibilidad económica de la planta, que se interpreta con los siguientes indicadores:
  - La inversión total para la instalación de la planta de producción de PVC por el proceso Vinyloop asciende a \$ 12 048 277.
  - Punto Equilibrio del proyecto 20.88 %.
  - Tiempo de recuperación de la inversión es de 1.69 años antes de impuestos y 2.25 años después de impuestos.

- La tasa de retorno sobre la inversión es de 33.44 % después de los impuestos.
  - El costo por kilogramo de PVC es \$ 0.5449
  - El precio de venta por kilogramo es \$ 1.15 colocado en fábrica.
- Se determinó que por ser un proceso que opera en circuito cerrado con un mínimo de residuos, el posible impacto ambiental de la instalación de esta planta será muy bajo.

#### **4.2.Recomendaciones**

- Se recomienda determinar la disposición y uso final del PVC producido.
- Se recomienda estudiar la disponibilidad de la materia prima en todo en Perú para poder tener mayor producción de PVC.
- Se recomienda continuar con más estudios o proyectos de inversión que tengan que ver con el reciclado de materiales de PVC u otros productos que se puedan reutilizar.
- Se recomienda cumplir con todas las leyes dadas por el estado o de organizaciones mundiales para así no tener mayor impacto ambiental.

## Bibliografía

- Arandez, J., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Córdova, A., & Medina, J. (2009). Optimización de Formulaciones de PVC Flexible: Sistema Plastificante DOP-ESBO. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 9(3), 143-150.
- Espinoza, F., & Toral, M. (2013). Imagina PVC. Asociación Nacional de la Industria Química. México.
- Helmut, R. (Julio de 2003). *Tecnología del Plástico*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/PVC,-Cuales-son-sus-efectos-en-el-ambiente-y-la-salud-humana+3027117>
- Mexichem. (2010). *Perspectivas del Reciclaje de PVC*. Obtenido de <https://docplayer.es/18826473-Perspectivas-del-reciclaje-de-pvc.html>
- PVCinfo. (2017). Obtenido de [www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf](http://www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf)
- SolVin. (2007). Reciclaje de PVC: ¿Qué futuro le espera al vinilo al final de su ciclo de vida? WAVE. *La revista para profesionales del PVC. Vinyloop - la innovación en el reciclaje de PVC, un paso más hacia el desarrollo sostenible*. Obtenido de [www.solvinpvc.com](http://www.solvinpvc.com)
- Vinyl Plus. (2015). PVC recycling technologies. Brochure 01-2015. Brussels, Belgium. [www.vinylplus.eu](http://www.vinylplus.eu).
- VinyPlus. (2013). *Progress Report 2013*. Obtenido de <http://www.vinylplus.eu/publications/70/59/Progress-Report-2013>

## Linkografía

- 1) VinylPlus Progress Report 2013

<http://www.vinylplus.eu/publications/70/59/Progress-Report-2013>

- 2) [www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf](http://www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf)

- 3) Patente China: CN101367957B: Method for recycling polyvinyl chloride or polyvinylidene chloride plastic

<https://patents.google.com/patent/CN101367957B/en>

- 4) PLAEN – Plásticos, Envasado y Afines. Fabricación local de resinas de PVC a partir de bioetanol

<https://plaen.blogspot.com/2011/11/fabricacion-local-de-resinas-de-pvc.html>

- 5) Plast.Perú, 22 enero 2018. Apiplast conoce la realidad del sector plástico

<http://expoplastperu.com/plastnews/apiplast-conoce-la-realidad-del-sector-plastico-58/>



## Apéndice

### 2.8. Balance de masa y energía

Composición simplificada de los materiales reciclados:

PVC: 82%

Aditivos del PVC: 3%

Otros polímeros: 13%

Suciedad: 2%

Total alimentado:

Corriente A = Corriente B = 1480 kg/hr

PVC = 1213.6 kg/hr

Aditivos de PVC = 44.4 kg/hr

Fibras = 132.4 kg/hr

Suciedad = 29.6 kg/hr

Agua de lavado: 1.5 veces la corriente de sólidos

Corriente B =  $1.5 \times 1480 = 2220$  kg/hr

Agua desechada: sale toda la suciedad y 70% del agua de lavado:

Suciedad = 29.6

Agua de desecho:  $0.70 \times 2220 = 1554$  kg/hr

Corriente E:  $29.6 + 1554 = 1583.6$  kg/hr

PVC residual limpio: está acompañado del resto de agua (30%)

PVC = 1213.6 kg/hr

Aditivos de PVC = 44.4 kg/hr

Fibras = 192.4 kg/hr

Agua =  $2220 - 1554 = 666$  kg/hr

$$\text{Corriente D} = 1213.6 + 44.4 + 132.4 + 666 = 2116.4 \text{ kg/hr}$$

Separación del agua por centrifugación, se considera: 99.5%

$$\text{Corriente F: } 0.995 * 666 = 662.67 \text{ kg/hr}$$

Corriente de PVC limpia y con poca agua:

$$\text{PVC} = 1213.6 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Fibras} = 192.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 666 - 662.67 = 3.33 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente G} = 1213.6 + 44.4 + 132.4 + 3.33 = 1453.7 \text{ kg/hr}$$

Balance en el Primer dilutor. El solvente se debe mantener en 80% y el PVC residual en 20% en peso.

$$\text{Corriente H: } (1453.7/0.2)*0.8 = 5814.9 \text{ kg/hr}$$

Ingreso a la filtración, es la suma de la corriente G y corriente H

Corriente I

$$\text{PVC} = 1213.6 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Fibras} = 192.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 3.33 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 5814.9 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente I} = 1213.6 + 44.4 + 132.4 + 3.33 + 5814.9 = 7268.7 \text{ kg/hr}$$

Balance en el Filtro.

Corriente J: se retira toda la fibra, 10% de PVC, 5% de los aditivos, 10% de agua y 10% de solvente.

$$\text{PVC} = 0.10 \times 1213.6 = 121.36 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 0.05 \times 44.4 = 2.22 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Fibras} = 192.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 0.10 \times 3.33 = 0.333 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 0.10 \times 5814.9 = 581.49 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente J: } 121.36 + 2.22 + 132.4 + 0.333 + 581.49 = 897.81 \text{ kg/hr}$$

Corriente K: la diferencia entre corriente I que ingresa y J que sale

$$\text{PVC} = 1213.6 - 121.36 = 1092.2 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 - 2.22 = 42.18 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 3.33 - 0.333 = 2.997 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 5814.9 - 581.49 = 5233.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente K} = 1092.2 + 42.18 + 2.997 + 5233.4 = 6370.8 \text{ kg/hr}$$

Corriente L: cantidad de solvente que se alimenta en base a los sólidos presentes en la corriente J. Otra vez tiene que haber una mezcla de 80% de solvente y 20% de sólidos.

$$\text{Corriente L} = ((121.36 + 2.22 + 191.4)/0.2)) \times 0.8 - 581.49$$

$$\text{Corriente L} = 682.43 \text{ kg/hr}$$

Corriente M: es la alimentación al decantador, suma de Corriente L y J

$$\text{PVC} = 121.36 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 2.22 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Fibras} = 192.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 0.333 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 581.49 + 682.43 = 1263.9 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente M} = 121.36 + 2.22 + 192.4 + 0.333 + 1263.9 = 1580.2 \text{ kg/hr}$$

Corriente O: es uno de los desechos del proceso. Se retira toda la fibra que acompaña al PVC reciclado, con algo de solvente, agua y PVC.

$$\text{PVC} = 8.0 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 2.22 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Fibras} = 192.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 0.00333 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 6.4973 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente O} = 8.0 + 2.22 + 192.4 + 0.00333 + 6.4973 = 209.12 \text{ kg/hr}$$

Corriente N: es la corriente de PVC diluido, el cual debe ingresar al precipitador:

$$\text{PVC} = 1213.6 - 8.0 = 1205.60 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 - 2.22 = 42.18 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 3.33 - 0.00333 = 3.3267 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 0.99 \times (5233.4 + 1263.9) = 6490.9 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente N} = 1205.60 + 42.18 + 3.3267 + 6490.9 = 7742.0 \text{ kg/hr}$$

Corriente P: es la cantidad de aditivos de PVC que se pierde en la corriente O

$$\text{Corriente P} = 2.22 \text{ kg/hr}$$

Corriente Q: es la cantidad de vapor que debe ingresar para precipitar el PVC y separar todo el solvente en la corriente S. Se calcula en base a la cantidad de solvente en N, y este debe representar el 85% y el vapor agregado 15%.

$$\text{Corriente Q: } (6490.9/0.85) \times 0.15 = 1145.4 \text{ kg/hr}$$

Corriente R: contiene todo el PVC recuperado con sus aditivos originales, más el 30% del agua:

$$\text{PVC} = 1205.6 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 0.30 \times (3.3267 + 1145.4) = 344.63 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente R} = 1205.6 + 44.4 + 344.63 = 1594.6 \text{ kg/hr}$$

Corriente S: contiene todo el solvente recuperado y el vapor de agua que se lleva al regenerador de solvente.

$$\text{Solvente} = 6490.9 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Agua} = 804.14 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente S} = 7295 \text{ kg/hr}$$

Corriente T: es toda el agua que acompaña al PVC recuperado y se evapora

$$\text{Corriente T} = 344.63 \text{ kg/hr}$$

Corriente U: es el producto del proyecto, es el PVC y sus aditivos de tal manera que se parece a un PVC virgen del mercado.

$$\text{PVC} = 1205.6 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Aditivos de PVC} = 44.4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente U} = 1205.6 + 44.4 = 1250 \text{ kg/hr}$$

Corriente V: se separa toda el agua que acompaña al solvente, perdiendo 0.1% del solvente presente

$$\text{Agua} = 804.14 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Solvente} = 0.001 \times 6490.9 = 6.4909 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Corriente V} = 804.14 + 6.4909 = 810.63 \text{ kg/hr}$$

Corriente W: contiene el solvente en S menos el solvente que se pierde en V.

$$\text{Corriente W} = 6490.9 - 6.4909 = 6484.4 \text{ kg/hr}$$

Corriente X: es el solvente repuesto por las pérdidas en V y en O

$$\text{Corriente X} = 6.4909 + 6.4973 = 12.988 \text{ kg/hr}$$

## SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO MOLINO DE RESIDUOS DE PVC

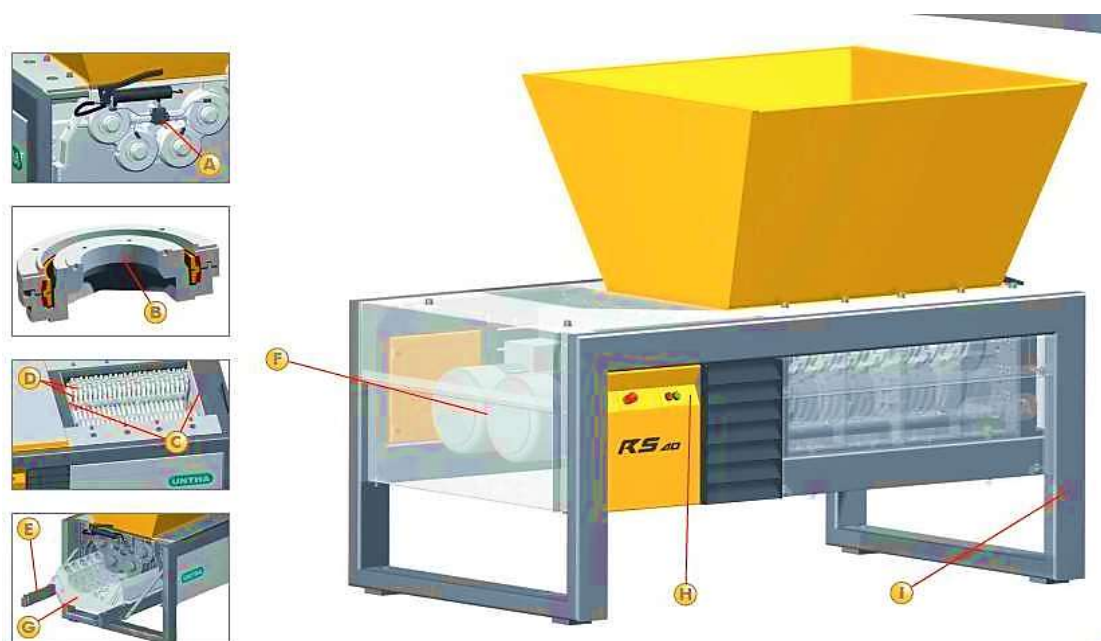
Se utilizó el catalogo del fabricante de molinos de residuos de plásticos, UNTHA shredding technology: <https://www.untha.com/en/shredders/industrial-shredders>

Capacidad requerida: 1480 kg/hr

De acuerdo al catálogo se selecciona el modelo RS30 con una capacidad para 2 ton/hora. Un sobrediseño de 35% que se justifica porque se presentan casos frecuentes de atascamiento en las cuchillas.

TECHNICAL DATA		RS30	RS40
Driving power	kW	11 / 15 / 22	30 / 37 / 44
Charging hole	mm	450 x 600	750 x 700 / 1,000 x 700
No. of cutting shafts		4	4
Speed main shafts	rpm	23	24
Speed secondary shafts	rpm	34	32
Ø Perforated screen	mm	15 - 40	15 - 40
Throughput	t/h	2 / 3 / 4	6 / 8 / 10
Weight	kg	ca. 2,000	ca. 3,300 / 3,600

All dimensions in mm.



## Lavador de plástico

Fabricante: FS,Fangsheng

[https://www.alibaba.com/product-detail/PP-PE-floating-washer-for-plastic\\_216885372.html?spm=a2700.7724857.normalList.18.25e52f13O1oSZj&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/PP-PE-floating-washer-for-plastic_216885372.html?spm=a2700.7724857.normalList.18.25e52f13O1oSZj&s=p)

Quick Details	
Condition: New	Application: Plastic Recycling
Automatic Grade: Automatic	Production Capacity: 300-2000kg/h
Place of Origin: Jiangsu, China (Mainland)	Brand Name: FS, Fangsheng
Model Number: FSS300, FSS500, FSS1000, FSS1500, FSS2000, FSS3000	
Voltage: 380V 50HZ	
Power(W): 15-50 kw	Dimension(L*W*H): 12000/3600/2800 MM
Weight: 8-15tons	Certification: CE ISO9001
Warranty: 1 Year	
After-sales Service Provided: Engineers available to service machinery overseas	
Name: PP PE floating washer for plastic recycling machine	CE Certificate: YES
Delivery Time: 1-2months	Payment Terms: L/C T/T
ISO9001:2008: YES	Type: floating washer
Plastic Type: PP, PVC	

De acuerdo a la capacidad de producción: 1480 kg/hr

Se selecciona el modelo: FSS2000, con capacidad nominal 2000 kg/hr

## Filtracion

Tipo: secador centrifugo

Fabricante: OCI GmbH (<http://www.navarini.com/centrifuge.html>)

Technical Data:

Installed power	25 [kW]
Length/Width/Height	3000 /1850 / 1830 [mm]
Production (dep. on material)	800 [kg/h] Film, 2000 [kg/h] rigid material
Washing water	25 [lit./min]
Cooling water	13 [lit./min]
RPM	1800

## Dilutor primario

Alimentación:  $1453.73 + 5814.92 = 7268.65$  kg /hr

Densidad global: 1.25 kg/L

Volumen de trabajo:  $7268.65/1.25 = 5814.8$  litros/hr

Tiempo de carga, dilución, descarga = 20 minutos = 0.333 horas

Volumen de reactor necesario:  $5814.8 \times 0.333 = 1939$  litros

Se selecciona el reactor de 2000 L

Reactor con calentamiento, fabricante Jinzong Machinery

<https://jinzongmachinery.en.made-in-china.com/product/gvpEKLDOLykN/China-Thermal-Oil-Heated-Chemical-Stainless-Steel-Reactor.html>

#### **Technical Parameters Of thermal oil heated chemical stainless steel reactor**

Type	500L	1000L	1500L	2000L	3000L
Cylinder Size(mm)	900×800	1200×1000	1300×1200	1400×1500	1600×1500
Actual Capacity(L)	699	1393	2166	3000	4066
Jacket Capacity(L)	290	560	617	750	1015
Heating Area(m <sup>2</sup> )	2.7	4.5	5.9	7	9
Motor Power(kw)	2.2	4	5.5	5.5	7.5
Rotating Speed(r/min)	85	85	85	85	63
Discharging Valve	DN50	DN50	DN50	DN65	DN65

#### **Filtro**

Se va a filtrar la corriente I, que contiene:

Fibras: 192.4 kg/hr

Total: 7268.65 kg/hr

% fibra:  $(192.4/7268.65) \times 100 = 2.647\%$

Densidad promedio de 1.25 kg/L



Flujo volumétrico:  $7268.65/1.25 = 5814.92 \text{ L/hora} = 25.6 \text{ gpm}$

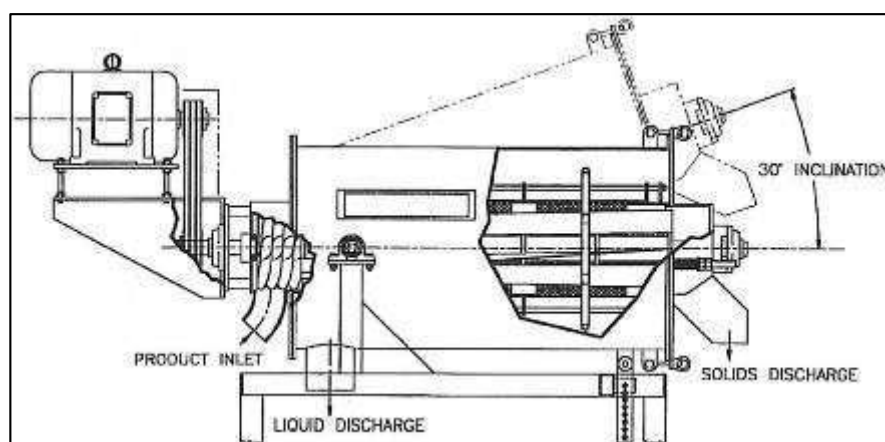
Se selecciona un filtro para fibras, con un contenido en el rango de 1.5% a 4.0%.

Fabricante: Vincent Corporation

<https://vincentcorp.com/content/fiber-filters/>

Catalogo: US Patent 6, 117,321

MODEL	HP	CAPACITY* gpm	WEIGHT lbs	DIMENSIONS (ft) L x W x H
FF 6	3	25 – 150	700	6 x 2 x 4
FF 12	10	100 – 500	1600	8 x 3 x 5
FF 30	30	300 – 1500	2400	10 x 4 x 6



Se selecciona el modelo FF6 que tiene una capacidad de 25 a 150 gpm.

### Dilutor secundario

Alimentación al dilutor secundario: corrientes J y L

Corriente J: 897.805 kg/hr

Corriente L: 682.428 kg/hr

Total: 1580.233 kg/hr

Densidad: 1.15 kg/L

Flujo volumétrico:  $1580.233/1.15 = 1374.11 \text{ litros/hr}$

Tiempo de carga, dilución y descarga: 20 minutos = 0.333 horas

Volumen necesario de reactor:  $1374 \times 0.333 = 457$  litros

Se considera un reactor de 500 L

Reactor con calentamiento, fabricante Jinzong Machinery

<https://jinzongmachinery.en.made-in-china.com/product/gvpEKLDOLykN/China-Thermal-Oil-Heated-Chemical-Stainless-Steel-Reactor.html>

Technical Parameters Of thermal oil heated chemical stainless steel reactor

Type	100L	200L	300L	500L	1000L	1500L
Cylinder Size(mm)	450×500	600×700	750×750	900×800	1200×1000	1300×1200
Actual Capacity(L)	150	253	396	699	1393	2166
Jacket Capacity(L)	120	200	250	290	560	617
Heating Area()	1.36	1.9	2.41	2.7	4.5	5.9
Motor Power(kw)	1.1	1.5	3	2.2	4	5.5
Rotating Speed(r/min)	85	85	85	85	85	85
Discharging Valve	DN25	DN40	DN40	DN50	DN50	DN50

### Decantador centrífugo

Ingresa las corrientes K y M

Corriente K: 6370.845 kg/hr

Corriente M: 1580.233 kg/hr

Total: 7951.078 kg/hr

Porcentaje de sólidos:  $(192.4/7951.078) \times 100 = 2.42\%$

Tomando una densidad promedio: 1.2 kg/L

Flujo volumétrico:  $7951.078/1.2 = 6625.9$  litros/hr

Fabricante: Gruppo PIERALISI, Division Separation Solutions

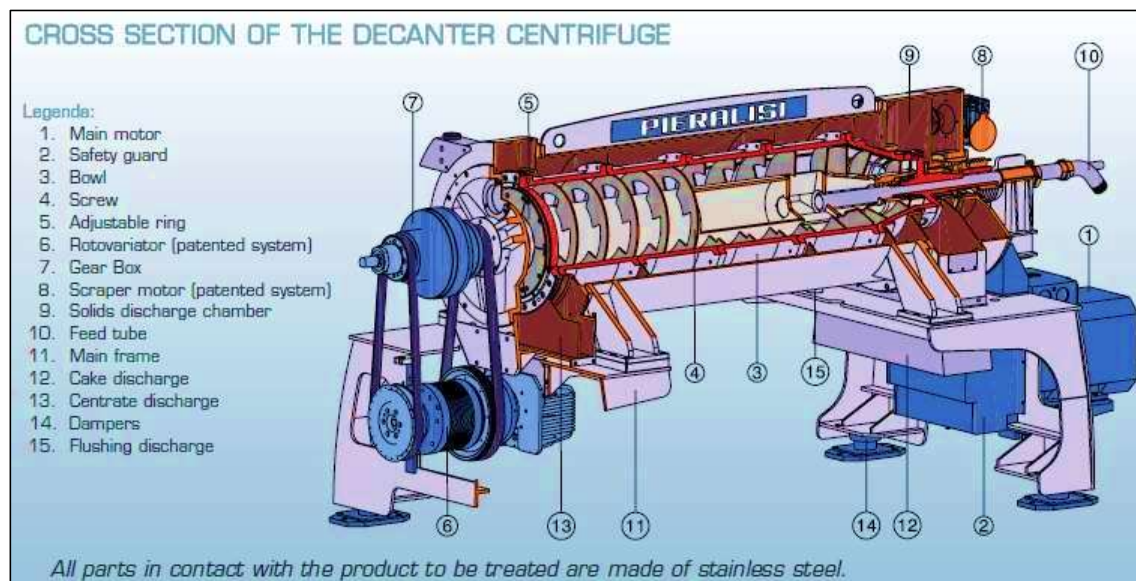
[http://www.pieralisi.com/Viewdoc?co\\_id=674](http://www.pieralisi.com/Viewdoc?co_id=674)

TECHNICAL FEATURES OF DECANTER CENTRIFUGES					
Model	Main motor power [kW]	Rotovariator/ Back Drive power [kW]	Bowl diameter [mm]	Slenderness ratio L/D	Hydraulic capacity [l/h]
BABY 2	7.5	3	236.5	3.46	4,000
BABY 3	7.5÷11	3	236.5	4.30	5,500
FP600/M	11	4÷7.5	353	2.60	6,000
FP600 RS/M	11	4÷7.5	353	3.45	9,000
FP600 2RS/M	15	4÷7.5	353	4.30	12,000
JUMBO 1	30	11÷15	470	2.66	25,000
HERCULES 470/2	30	11÷15	470	3.53	35,000
HERCULES 470/3	37	11÷15	470	4.40	45,000
MAMMOTH 570/2	45÷75	15÷25	570	4.09	65,000
MAMMOTH 570/3	55÷90	15÷25	570	5.26	85,000
GIANT 2	90÷150	32	700	3.72	110,000

NOTE: Hercules, Mammoth and Giant series decanters are equipped with the Rotovariator system as a standard feature.

Model	Total length [mm]	Total width [mm]	Total height [mm]	Mass [kg]
BABY 2	1,860	825	1,095	550
BABY 3	2,060	825	1,095	650
FP600/M	2,470	1,040	1,425	1,360
FP600 RS/M	2,770	1,040	1,425	1,510
FP600 2RS/M	3,070	1,040	1,425	1,660
JUMBO 1	3,205	1,475	1,685	2,600
HERCULES 470/2	3,490	1,580	1,725	2,950
HERCULES 470/3	3,900	1,580	1,725	3,350
MAMMOTH 570/2	4,370	1,920	1,970	5,540
MAMMOTH 570/3	5,050	1,920	1,970	6,500
GIANT 2	5,050	2,215	2,220	9,080

Según la capacidad requerida (6625.9 litros/hora) se selecciona el modelo FP600 RS/M que puede procesar hasta 9000 litros por hora.



### Secador de pellets de pvc

Flujo: Corriente R = 1594,631 kg/hr

Densidad: 1.1 kg/L

Flujo volumétrico:  $1594.631 / 1.1 = 1449.66$  litros/hora

Humedad:  $(344.6313 / 1594.631) \times 100 = 21.612\%$

Fuerza de secado = agua que debe retirarse: 344.63 kg/hr

Tipo: secado de faja transportadora

Fabricante: Longcheng Powder Equipment Co., Ltd.

<http://www.czlcft.com/Product/Belt-type-dryer.html>

Type		DW-1.2-8	DW-1.2-10	DW-1.6-8	DW-1.6-10	DW-2-8	DW-2-10
Quantity of unit		4	5	4	5	4	5
Width of belt(m)		1.2		1.6		2	
Length of drying section(m)		8	10	8	10	8	10
Thickness of spread raw materia(mm)		$\leq 60$					
Temperature of operation(°C)		50~140					
Pressure of steam(MPa)		0.2-0.8					
Consumption of steam(kg/h)		120-300	150-375	150-375	170-470	180-500	225-600
Drying time(h)		0.2-1.2	0.25-1.5	0.2-1.2	0.25-1.5	0.2-1.2	0.25-1.5
Drying strength(kg/h)		60-160	80-220	75-220	95-250	100-360	120-400
Total power of equipment(kw)		11.4	13.6	11.4	13.6	14.7	15.8
Overall dimensions	长 L (m)	9.56	11.56	9.56	11.56	9.56	11.56
	宽 W (m)	1.49	1.49	1.9	1.9	2.32	2.32
	高 H (m)	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5
Weight(kg)		4500	5600	5300	6400	6200	7500

El modelo DW-2-8 evapora de 100 a 360 kg/h de agua

El modelo DW-2-10 evapora de 120 a 400 kg/hr de agua

Se escoge por seguridad el modelo DW-2-10



## Caldera

Vapor necesario: 225 – 600 kg/hr

Considerando: un promedio de 450 kg/hr

1 BHP = 34.5 lb de vapor/hr = 15.68 kg/hr

Caldera requerida (teorico):  $450/15.68 = 28.7$  BPH

Eficiencia: 0.65

Caldera requerida (real):  $28.7/0.65 = 44.15$  BHP

Se considera caldera de 45 BHP

## Evaluación Económica

### Costo de equipo principal y auxiliar:

Precios: los precios son FOB del 2017, basados en precios del 2014. Estos valores se han actualizado utilizando los CEPCI (Chemical Engineering Plant Costo Index).

CEPCI 2017: 584.6

CEPCI 2014: 576.1

Factor:  $584.6/576.1 = 1.014$

- 1) Molino, desfibrador de los residuos de PVC.....US \$ **600000**
- 2) Sistema de lavado de los residuos de PVC.....US \$ **150000**

3) Filtro, tipo centrifugo...	US \$ 200000
4) Dilutor primario, 2000 L, con chaqueta calentamiento.....	US \$ 500000
5) Filtro para fibras,...	US \$ 400000
6) Dilutor secundarioi, 500 L .....	US \$ 150000
7) Decantador centrifugo, 9000 L/hr...	US \$ 600000
8) Tanque de precipitación, .....	US \$ 200000
9) Tanque de almacén de solvente.....	US \$ 300000
10) Tanque de regeneración de solvente... ..	US \$ 250000
11) Secador y tamizador.....	US \$ 350000
12) Caldera, pirotubular, 45 BHP .....	US \$ 800000
13) Otros equipos.....	US \$ 400000
<b>TOTAL, COSTO FOB, 2017.....</b>	<b>US \$ 4 900 000</b>

Los costos de los equipos se han determinado para la producción estimada:

- Costo FOB total de equipos principales y auxiliares: **4 900 000 dólares**
- Costo CIF total: teniendo en cuenta que la caldera, y los diferentes tanques se puede construir en el Perú, se considera solo un 20% adicional

$$1.2 \times 4\,900\,000 = \mathbf{5\,880\,000 \text{ dólares}}$$

- Costo de entrega: equipo colocados en la planta. 3% del costo CIF

$$\text{Costo entrega: } 0.03 \times 5\,880\,000 = \mathbf{176\,400 \text{ dólares}}$$

- Costo total de equipos en la planta:

$$\text{CEplanta} = 5\,880\,000 + 176\,400 = \mathbf{6\,056\,400 \text{ dólares}}$$

- Costo de instalación del equipo: por ser modular se considera solo el 12% del costo del equipo

$$\text{CEInst} = 0.12 * 6\,056\,400$$

$$\text{CEInst} = \mathbf{726\,768 \text{ dólares}}$$

- Costo de tubería y accesorios: se considera 10% del costo del equipo

$$CTubAcc = 0.10 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{605\,640 \text{ dólares}}$$

- Costos de Instrumentación de control y cómputo: 5% del costo del equipo principal puesto en planta

$$Cont. = 0.05 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{302\,820 \text{ dólares}}$$

- Costos de servicios y auxiliares: 15% del costo CIF del equipo principal

$$CauxSer = 0.15 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{908\,460 \text{ dólares}}$$

- Costo de instalaciones eléctricas: 5% del costo del equipo principal

$$CElec = 0.05 * 6\,056\,400 \qquad CElec = \$ \mathbf{302\,820 \text{ dólares}}$$

- Costos de Cimientos y Estructura (edificios): 200 dólares por m2. El área para colocar estructuras y cimentaciones en el proceso será 359 m2 (incluye almacén. Se considera el 8% del costo de los equipos.

$$CEdif = 0.08 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{484\,512 \text{ dólares}}$$

- Costos de Terrenos y Mejoras: se considera área para carretera, áreas verdes y poza de tratamiento. Se considera un factor de 1.2 para preparar el terreno. El costo por m2 cuadrado se considera 30 dólares. Las mejoras también tienen un factor de 1.2. Se considera el 4% del costo de los equipos.

$$CTerrMej = 0.04 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{242\,256 \text{ dólares}}$$

### **Costos directos totales**

$$CD = CEplant + CEInst + CTubAcc + Cont. + CauxSer + CElec + CEdif + CTerrMej$$

$$CD = \$ \mathbf{9\,629\,676 \text{ dólares.}}$$

### **Estimación de los costos indirectos totales**

Costos de Ingeniería y supervisión: 10% del costo del equipo de planta

$$CInsup = 0.10 * 6\,056\,400 = \$ \mathbf{605\,640 \text{ dólares}}$$



Costos de construcción: 13% del costo equipo de la planta.

$$\text{Const} = 0.13 \times 6\,056\,400 = \$ \mathbf{787\,332} \text{ dólares}$$

Costos de honorarios para contratistas: 4% del costo del equipo de la planta.

$$\text{Chon} = 0.04 \times 6\,056\,400 = \$ \mathbf{242\,256} \text{ dólares}$$

Costos imprevistos: 2% del costo directo total.

$$\text{Cimpr} = 0.02 \times 6\,056\,400 = \$ \mathbf{121\,128} \text{ dólares}$$

Costos de seguros e impuestos: 2% del costo directo total.

$$\text{CSegImp} = 0.02 \times 6\,056\,400 = \$ \mathbf{121\,128} \text{ dólares}$$

### **Costos indirectos totales**

$$\text{CI} = \text{CIngsup} + \text{Const.} + \text{Chon} + \text{Cimpr} + \text{CSegImp}$$

$$\mathbf{\text{CI} = \$ 1\,877\,484 \text{ dólares}}$$

**Capital fijo total:** Es la suma de costos directos y costos indirectos.

$$\text{CFT} = \text{CD} + \text{CI}$$

$$\mathbf{\text{CFT} = \$ 11\,507\,160 \text{ dólares}}$$

### **Inventario de Materia Prima:**

Residuos de PVC	1480 kg/hr	0.25 dólar/kg
Aditivos	2.22 kg/hr	4.0 dol/kg
Solvente	12.9882 kg/hr	2.5 dol/kg

Operación: 8000 horas al año, proceso continuo

**Inventario de materia prima:** se considera el dinero para quince días de operación. Se va

operar 24 horas por día, en tres turnos

Residuos de PVC: 123333.3333 dólares

Aditivos: 2960 dólares

Solvente: 10825.3 dólares

$$\text{InvMatPri} = \$ 137\ 117$$

**Inventario de Materia en Proceso:** Se estima como el costo de 1 día del costo de fabricación:

Producto: 1250 kg/hr

Costo de producción: 0.6 dol/kg (costo aproximado)

$$\text{InvMatPro} = \$ 18\ 000$$

**Inventario de Producto:** Se estima el costo de una semana del costo de fabricación.

- Costo de Fabricación: 0.6 dol/kg (aproximado)

$$\text{InvPro} = \$ 126\ 000 \text{ dólares}$$

**Cuentas por cobrar:** Se estima en base a ventas por una semana

**Se estima:**

- precio de venta: 1.2 dolares/kilogramo

$$\text{Cuentas} = 252\ 000 \text{ dólares}$$

**Disponible en Caja:** Equivale al costo de un semana de fabricación.

$$\text{DispCaja} = \$ 126\ 000 \text{ dólares}$$

**Capital de trabajo:** Es la sumatorio de: inventario de materia prima, inventario de materia en proceso, inventario de producto, cuentas por cobrar y disponible en caja.

$$\text{CTra} = \text{InvMatPri} + \text{InvMatPro} + \text{InvPro} + \text{Cuentas} + \text{DispCj}$$

$$\text{CTra} = \$ 659\ 117 \text{ dólares}$$

**Inversion total del proyecto:** Es la suma del capital fijo total y el Capital de Trabajo.

$$\text{INVT} = \text{CFT} + \text{CTra}$$

$$\text{INVT} = \$ 12\ 163\ 337 \text{ dólares}$$

Estimación del costo de producción:

- a) **Costo de Materia Prima:** Es el costo para un año de producción, operando a 8000 horas por año en continuo.

$$\begin{aligned} \text{CostMatPri1} &:= 8000\text{hr MatPrima1} \cdot \text{Precio1} & \text{CostMatPri1} &= 2960000\text{dol} \\ \text{CostMatPri2} &:= 8000\text{hr MatPrima2} \cdot \text{Precio2} & \text{CostMatPri2} &= 71040\text{dol} \\ \text{CostMatPri3} &:= 8000\text{hr MatPrima3} \cdot \text{Precio3} & \text{CostMatPri3} &= 259764\text{dol} \\ \text{CMP} &= \mathbf{3\ 290\ 804\ \text{dólares/año}} \end{aligned}$$

- b) **Costo de mano de obra:** Se estima un número de trabajadores de 9 personas, por 3 turnos de 8 horas. Y un pago mensual de 450 dólares por persona. 14 sueldos al año.

$$\text{CMobra} = 3 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 450$$

$$\text{CMobra} = \$\ 170\ 100\ \text{dólares}$$

- c) **Costo de supervisión e ingeniería:** 20% del costo de mano de obra

$$\text{Cing} = 0.20 \cdot 170100$$

$$\text{Cing} = \$\ 34\ 020\ \text{dólares}$$

- d) **Costo de mantenimiento y reparación:** 2% del capital fijo total.

$$\text{Cmant} = 0.02 \cdot \text{CFT}$$

$$\text{Cmant} = \$\ 230\ 143\ \text{dólares}$$

- e) **Costo de auxiliares y servicios:** El 25% del costo de mantenimiento y reparación.

$$\text{Caux} = 0.25 \cdot \text{Cmant}$$

$$\text{Caux} = \$\ 57\ 536\ \text{dólares}$$

- f) **Costo de suministros de operación:** 30% del costo de mantenimiento y reparación.

$$\text{Csum} = 0.30 \cdot \text{Cmant}$$

$$\text{Csum} = \$\ 69\ 043\ \text{dólares}$$

- g) **Costo directo de fabricación:** Es la suma de los ítems a, b, c, d, e, f.

$$\text{CDF} = \text{CMP} + \text{CMobra} + \text{Cing} + \text{Cmant} + \text{Caux} + \text{Csum}$$

$$\text{CDF} = \$\ 3\ 851\ 646\ \text{dólares}$$

- h) **Cargas a planillas:** 21% de la mano de obra

$$C_{plan} = 0.21 \cdot C_{Mobra}$$

$$C_{plan} = \$ 35\,721 \text{ dólares}$$

- i) **Gastos de laboratorio:** 20% del costo de mano de obra

$$C_{lab} = 0.20 \cdot C_{Mobra}$$

$$C_{lab} = \$ 34\,020 \text{ dólares}$$

- j) **Gastos generales de planta:** 15% del costo de mano de obra

$$C_{gen} = 0.15 \cdot C_{Mobra}$$

$$C_{gen} = \$ 25\,515 \text{ dólares}$$

**Costo indirecto de fabricación:** Es la suma de los ítems g, h, i.

$$CIF = C_{plan} + C_{lab} + C_{gen}$$

$$CIF = \$ 95\,256 \text{ dólares}$$

- k) **Depreciación:** 10% del capital fijo total

$$Dep = 0.10 \cdot CFT$$

$$Dep = \$ 1\,150\,716 \text{ dólares}$$

- l) **Impuestos:** 1% del capital fijo total

$$Imp = 0.01 \cdot CFT$$

$$Imp = \$ 115\,072 \text{ dólares}$$

- m) **Seguros:** 1% del capital fijo total

$$Seg = 0.01 \cdot CFT$$

$$Seg = \$ 115\,072 \text{ dólares}$$

**Costos fijos de fabricación:** Se considera la suma de los ítems j, k, l.

$$CFF = Dep + Imp + Seg$$

$$CFF = \$ 1\,380\,860 \text{ dólares}$$

**Costo de fabricación:** Es la suma de los costos directo de fabricación,

Costo indirecto de fabricación y los costos fijos de fabricación.

$$CFab = CDF + CIF + CFF$$

$$CFab = \$ 5\,327\,761 \text{ dólares}$$

**Gastos generales**, gastos VAI – Ventas, administración e investigación.

$$Vent = 0.05. CFF = \$ 69\,043$$

$$Adm = 0.10*(Cmo + Csi + Cmr) = \$ 43\,426$$

$$Inv = 0.05. CMobra = \$ 8\,505$$

$$VAI = Vent + Adm + Inv$$

$$VAI = \$ 120\,974 \text{ dólares}$$

**Costo total de fabricación:** Es la suma de los costos de Fabricación y los Gastos Generales (VAI).

$$CTF = CFab + VAI$$

$$CTF = \$ 5\,448\,735 \text{ dólares}$$

Total, de unidades producidas al año en

$$NumProd = 10\,000\,000 \text{ kg de hidrogeno al año}$$

$$CostUnit = \frac{CTF}{NumProd} \quad CostUnit = 0.5449 \text{ dólar/kg}$$

## **Estado De Pérdidas Y Ganancias:**

### **Producción Anual**

$$Panual = 10\,000\,000 \text{ kg de PVC Vinyloop}$$

### **Precio de ventas por unidad**

$$Pventa = 1.15 \text{ dólares el kilogramo puesto en fabrica}$$

### **Ingreso de ventas anuales**

$$Ingventas = 11\,500\,000 \text{ dólares}$$

### **Costo total de fabricación (producción)**

$$CTfabri = CFab \quad CTfabri = \$ 5\,448\,735 \text{ dólares}$$

### Utilidad Bruta

$$U_{bruta} = \text{Ingresos} - C_{\text{fabri}}$$

$$U_{bruta} = 6\,051\,265 \text{ dólares}$$

### Impuesto a la renta

$$\text{ImpRenta} = 1\,815\,380 \text{ dólares}$$

### Utilidad Neta

$$U_{neta} = U_{bruta} - \text{ImpRenta}$$

$$U_{neta} = 4\,235\,885 \text{ dólares}$$

### Análisis económico

#### Tasa interna de Retorno, antes del pago de impuestos

P: inversión inicial:

A: ingreso neto de ventas:

VS: depreciación:

n: periodo en el que espera recuperar el dinero, 10 años

i: tasa interna de retorno

Aplicando la fórmula:

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

Se despeja el valor de i:

$$i = 44.51 \%$$

#### Tasa interna de Retorno, después del pago de impuestos

U = utilidad neta, después de impuestos

$$P = U \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

$$i = 33.44 \%$$

### Tiempo de recuperación del dinero:

Se aplica la siguiente formula:

$$TRI = \text{Inversión total} / (\text{U bruta} + \text{Depreciación})$$

$$TRI = 1.69 \text{ años}$$

Después de impuestos

Se aplica la siguiente formula:

$$TRI = \text{Inversión total} / (\text{U neta} + \text{Depreciación})$$

$$TRI = 2.25 \text{ años}$$

### Punto de Equilibrio:

Para no perder ni ganar el número de unidades que se debe producir será:

$$Q = \frac{\frac{CFF}{\frac{Inventas}{Panual} - \frac{C \text{ var}}{Panual}}}{\frac{CFF}{\frac{Inventas}{Panual} - \frac{C \text{ var}}{Panual}}} = 2\,088\,148 \text{ kg}$$

$$Pequilibrio = \frac{Q}{Panual} \cdot 100$$

$$Pequilibrio = 20.88 \%$$

## VINYLOOP® - Ferrara Project

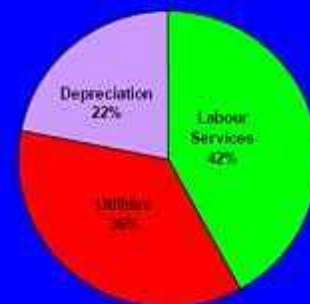
- ◆ Plant operated by a Joint Venture : Vinyloop Ferrara SpA
  - Solvin 55% (JV between Solvay 75% and BASF 25%)
  - Tecnometal 15%, cable recycling business
  - Vulcaflex 15% and Adriaplast 15 %, PVC processing businesses
- ◆ Supported by Vinyl 2010
- ◆ Capacity : 10,000 tonnes / year of residues  
(8,500 tonnes of Re-generated PVC compound)
- ◆ Plant designed for  $\geq 85\%$  PVC content and no fibres
  - Essentially designed to treat Cable residues
- ◆ Guaranteed quality - ISO Certification
- ◆ Stream factor 85%, 7days/wk, 16 people

## VINYLOOP® - Economic Viability

Investment : 8.2 to 14 M Eur  
depending upon the existing facilities

Average Production cost :  
250 to 450 Eur / tonne  
depending upon local labor and utilities

Minimum Average Selling price for 15% ROI  
450 to 640 Eur / tonne of R-PVC





## VINYLOOP® - Ferrara Project Status 8 April (3)

- ◆ Final investment: 10,6 M €
- ◆ Pretreatment for waste <85% PVC: end May 02
- ◆ Staff: total 16; maintenance, IT, accounting are outsourced
- ◆ Principles and all steps of the process have been validated and production rate is progressively increasing:
  - Current maximum daily production: 3 tons per day (work with one precipitator and no hidden time in the sequences)
  - Total current production: 42 tons
  - Product sold and invoiced: 5 tons
- ◆ Nominal production: 27 tons PVC per day expected in July

# S40

2-shaft shredding system

TECHNICAL DATA		S40
Driving power	kW	22 / 30 / 37
Cutting system width (S)	mm	750 / 1,000 / 1,450
Cutting system depth	mm	700
Weight	kg	2,900 / 3,000 / 3,200
Throughput*	kg/h	up to 15,000

\*) depending on quality of material  
All dimensions in mm.

## RS Series

4-shaft shredding system

TECHNICAL DATA		RS30	RS40
Power	kW	11/15/22	30/37/44
Cutting chamber	mm	450 x 600	750/1000 x 700
No. of cutting shafts		4	4
Speed main shafts	rpm	23	24
Speed secondary shafts	rpm	34	32
Perforated screen Ø	mm	15 - 40	15 - 40
Weight	kg	appr. 2,000	appr. 3,300/3,600

All dimensions in mm.

Table II

### Comparison of hybrid and standard static fluid-bed dryer designs for drying PVC powder at same rate\*

Design factor	Static fluid-bed dryer type	
	Hybrid	Standard
Production rate (kilograms per hour)	1,000	1,000
Bed area (square meters)	3	8
Bed height (meters)	1.2	1.2
Exhaust air (kilograms per hour)	4,000	10,000
Dew point (degrees Celsius)	54	50
Air heater load (kilocalories per hour)	90,000	300,000
Heat panel load (kilocalories per hour)	180,000	0
Total heat load (kilocalories per hour)	270,000	300,000
Fan load (kilowatts)	15	40
Material residence time (minutes)	55	150

\*Note: These values are for illustration purposes only.