

Diseño de una Planta de Producción de Cemento Solvente de PVC a partir de Tarjetas Plásticas de Identificación Recicladadas a Escala Piloto

Inca Fernando¹; Salguero Yadira¹; Aldás Miguel¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador

Resumen: En este trabajo se presenta el diseño de una planta de producción de cemento solvente de PVC, a partir del reciclaje de tarjetas plásticas de identificación, a escala piloto. Previo al diseño, se analizaron las características de dos pegamentos producidos con diferentes solventes, el tetrahidrofurano (THF) y la ciclohexanona (CH). Además, se realizó una comparación con un producto comercial respecto a las características de adhesión. Se decidió producir el cemento solvente de PVC con el uso de THF como solvente debido a su poder de disolución y rápido secado. Las diferentes áreas de la planta se diseñaron para un procesamiento de 350 kg/día de tarjetas desechadas, bajo la consideración de un proceso productivo que involucra 3 operaciones unitarias: disolución, centrifugación y destilación. Se continuó con el diseño del proceso tecnológico y el diseño básico de la planta. La superficie necesaria para el emplazamiento de la planta es de 700 m² y la localización de la planta será en Itulcachi, vía Pifo (Ecuador). El proyecto terminó con una evaluación económica, que dio como resultado un costo de producción de 3,04 USD por frasco de 237 mL de cemento solvente de PVC y un precio de venta de 4,26 USD, un valor inferior al del mercado que actualmente corresponde a 7,50 USD. La TIR del proyecto es del 69 % y el VAN con una TMAR del 32 %, a 10 años, resultó igual a 662 526,56 USD. Por tanto, el proyecto es técnicamente viable y atractivo económicamente.

Palabras clave: reciclaje de PVC, cemento solvente de PVC, tarjetas plásticas de identificación, tetrahidrofurano

Design of a Plant of PVC Solvent Cement from Recycled Plastic Identification Card in Pilot Scale

Abstract: This paper presents the design of a PVC solvent cement production plant, from the recycling of plastic identification cards, in a pilot scale. Prior to the design, the characteristics of two adhesives produced with different solvents, tetrahydrofuran (THF) and cyclohexanone (CH), were analyzed. Furthermore, a comparison with a commercial product, in adhesion properties, was performed. It was decided to produce PVC solvent cement using THF as a solvent because of its dissolving power and fast drying. The different areas of the plant were designed for processing 350 kg/day of discarded cards, considering a production process that involves three unit operations: dissolution, centrifugation and distillation. Then, the technological process design and basic design of the plant were established. The area for the location of the plant was determined in 700 m² and the location of the plant will be in Itulcachi - Pifo (Ecuador). The project ended with an economic analysis, resulting in a production cost of 3,04 USD per can of 237 mL of PVC solvent cement and the sale price was 4,26 USD, a lower price compared with the current market value of 7,50 USD. The project IRR is 69 % and the NPV with a MARR of 32 %, at 10 years, was 662 526,56 USD. As conclusion, the project is economically attractive and technically viable.

Keywords: PVC recycling, PVC solvent cement, plastic ID cards, tetrahydrofuran.

1. INTRODUCCIÓN

Según las cifras publicadas por el Banco Central del Ecuador (BCE) en el boletín anuario 2015, las importaciones de plásticos y caucho se han incrementado en los últimos años desde 464 282 t en el año 2009 a 634 131 t en el año 2014. La causa de este incremento es el beneficio que brindan estos materiales en su uso; sin embargo, con el aumento del

consumo de plásticos, aumenta también la generación de residuos (BCE, 2015).

En miles de dólares (FOB), las importaciones del país se concentran mayoritariamente en cuatro partidas arancelarias correspondientes a los siguientes polímeros: en primer lugar el PE, seguido del PET, luego del PP y por último del PVC (Cámara de Industrias de Guayaquil, 2012).

El PVC puede utilizarse en diversas aplicaciones como en empaques, perfiles, techos, aislamiento de cables,

migue.aldas@epn.edu.ec

aplicaciones médicas emergentes, fabricación de tuberías, entre otras. Esta versatilidad determina que este material se convierta en un problema de eliminación postconsumo, si se considera el crecimiento de la industria plástica (Janajreh et al., 2015).

En los países desarrollados, el PVC es el polímero mayoritariamente reciclado. Esto se debe a que se adapta prácticamente a todos los métodos de reciclaje y como tal, se ha dado una atención significativa en cuanto a investigación y tecnología (Sadat y Bakhshandeh, 2011).

Debido a que en el Ecuador los restos de este material no se aprovechan de forma eficiente, ya que se mezclan con otros plásticos para reciclaje o terminan en rellenos sanitarios, se han desarrollado estudios que permiten aprovechar este polímero. Una alternativa, es obtener cemento solvente de PVC a partir de tarjetas plásticas de identificación, cuyo desgaste y caducidad generan una cantidad considerable de estos residuos (Aldás e Inca, 2015).

No hay una formulación específica para el cemento solvente puesto que existen un sinnúmero de sistemas de solventes adecuados para el PVC. Sin embargo, se ha encontrado que los cementos solventes con mezclas de tetrahidrofurano (THF) y ciclohexanona (CH) cumplen con los requisitos de la norma ASTM D2564: Especificaciones para cementos solventes para sistemas de tubería plástica de policloruro de Vinilo (PVC) (ASTM, 2014).

En la Tabla 1 se encuentran las características de un cemento solvente comercial y de cementos solventes obtenidos con THF (tetrahidrofurano) y CH (ciclohexanona). Estos resultados indican algunas ventajas con respecto al uso del solvente THF en comparación con el solvente CH, en cuanto a tiempos de procesamiento, cantidad de solvente y adhesión. Además, los resultados obtenidos en los ensayos de adhesión

del cemento formulado con THF fueron similares a los del pegamento comercial (Aldás e Inca, 2015).

Por tanto, el objetivo principal del presente trabajo fue diseñar una planta, a escala piloto, que permita utilizar el PVC contenido en las tarjetas plásticas de identificación de tipo estudiantil, empresarial, médico o bancario, con el uso de THF como disolvente, para obtener un cemento solvente de PVC con características competitivas con respecto a los pegamentos de PVC comerciales.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño de la planta piloto para la producción de cemento solvente de PVC



El diseño de la planta se dividió en dos partes, la ingeniería conceptual y la ingeniería básica.

2.1.1. Ingeniería conceptual

La ingeniería conceptual está compuesta por un análisis de la disponibilidad de materia prima, la determinación de la capacidad de la planta y su localización.

A pesar de que se pueden utilizar como materia prima las tarjetas plásticas de identificación estudiantil, empresarial, bancaria, de seguros médicos, entre otros, la capacidad de la planta fue estimada con base en la cantidad de tarjetas plásticas que dejaron de circular por decreto JB-2012-2225 de la Junta Bancaria en Julio de 2012 (SBS, 2012). La cantidad de tarjetas plásticas de entidades financieras fue el único dato bibliográfico considerado para estimar una producción trimestral de tarjetas, puesto que en el Ecuador aún no se ha cuantificado la cantidad de desechos generados por el descarte de diversos tipos de tarjetas de identificación.

Tabla 1. Características del cemento solvente de PVC: comercial, con solvente THF y solvente CH respectivamente (Aldás e Inca, 2015)

Sistema	Tiempo de disolución de las tarjetas [min] y relación de disolución [tarjetas/solvente]	Concentración de solvente en peso	Ensayo de adhesión		Coloración
			Tiempo [h]	Carga máxima [kN]	
Comercial	-	-	2	0,6263 ± 0,0169	Transparente
			16	0,8152 ± 0,0413	
			72	1,1258 ± 0,0556	
THF	15 ; 1/5	69,78 ± 0,84	2	0,6258 ± 0,0172	Café oscuro (transparente)
			16	0,8147 ± 0,0346	
			72	1,0122 ± 0,0464	
CH	45 ; 1/6	70,98 ± 0,30	2	-	Café oscuro (turbio)
			16	0,2816 ± 0,0235	
			72	0,5056 ± 0,0262	

Por otro lado, la ubicación de la planta se seleccionó con base en siguientes criterios (Chango et al., 2015; Towler y Sinott, 2012):

- Facilidades de transporte
- Disponibilidad de servicios básicos
- Disponibilidad de mano de obra
- Regulaciones municipales

2.1.2. Ingeniería básica

La ingeniería básica demanda el diseño del proceso tecnológico y el diseño básico de la planta.

2.1.2.1. Diseño del proceso tecnológico

Incluye la descripción del proceso productivo y la elaboración de los diagramas de proceso.

Para la descripción del proceso productivo, se consideró el proceso a escala laboratorio de la elaboración de cemento solvente reportado en el estudio "Reciclaje de PVC a partir de tarjetas de identificación plásticas para la obtención de un pegamento de tubería" (Aldás e Inca, 2015).

Se realizó un balance de masa para un procesamiento de 350 kg/día de tarjetas recicladas ó 43,75 kg/h considerando 8 horas de trabajo por día. Además, se consideró que el producto final tenga un 70% de solvente después del proceso productivo.

Con base en un balance de masa y las condiciones de entrada y salida en cada subproceso, se realizaron el diagrama de bloques (BFD) y el diagrama de flujo de proceso (PFD). Los diagramas fueron elaborados de acuerdo estándares y formatos recomendados (Turton et al., 2013).

2.1.2.2. Diseño básico de la planta

El diseño básico lo componen un listado de equipos en cada área y la distribución en planta.

Sobre la base del proceso productivo, los equipos se ubicaron en 5 diferentes áreas, cada una relacionada a un subproceso. También se consideraron las bodegas. La selección de equipos se realizó en función del balance de masa y energía, de la capacidad requerida para cada subproceso y del volumen de material almacenado. Además, con el objetivo de evitar el vaciado completo de los tanques de almacenamiento se aplicó un 20 % de sobredimensionamiento (Casanovas et al., 2010).

La distribución en planta para la producción de cemento solvente de PVC fue elaborada con el objetivo de ordenar los espacios necesarios para los equipos y movimiento de personal, materia prima y producto, además de considerar aspectos de seguridad industrial (Casanovas et al., 2010). Por ello, se tomó en cuenta el diagrama de recorrido del proceso y la planificación de la producción, así como también, la disposición y espaciado de equipos, los flujos de

personal, materia prima, insumos y producto, y los lugares de almacenamiento.

2.2. Evaluación económica

Se determinaron costos de producción y de venta del producto, la inversión necesaria y los indicadores económicos financieros TIR y VAN.

Para estimar el costo de producción de un frasco de 237 mL de cemento solvente de PVC se consideraron, entre otros, los costos de la materia prima que comprenden las tarjetas de identificación plásticas, así como también, costos de reactivos, empaques, equipos y servicios auxiliares mediante proformas actualizadas a inicios del año 2015. Por otro lado, para estimar el precio de venta se estableció un 40 % de ganancia con respecto al costo de producción.

Es necesario mencionar que no existe un precio oficial para el costo de las tarjetas de identificación desechadas (materia prima), debido a que aún no ha sido identificado como un desecho comercializable. Por tal motivo, y con fines de estimación económica, se consideró que el costo de las tarjetas de identificación desechadas podría ser similar al del PET reciclable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño de la planta piloto para la producción de cemento solvente de PVC

3.1.1. Ingeniería conceptual

En lo que se refiere a disponibilidad de materia prima, determinación de la capacidad y localización de la planta se encontró lo siguiente:

Respecto a la disponibilidad de materia prima, las tarjetas de identificación permiten controlar de mejor manera el acceso a ciertos lugares o beneficios en diversos ámbitos como el estudiantil, empresarial, deportivo, bancario y médico. Puesto que estas tarjetas cuentan con una fecha de caducidad, además de tener un desgaste, su desecho es frecuente, por lo que no se presenta inconveniente alguno con la disponibilidad de materia prima. Su recolección se realizará a través de contenedores trituradores, que prevengan el fraude por el uso de la información proporcionada en la tarjeta. Los contenedores se ubicarán en centros comerciales a nivel nacional. El material pasará a centros de acopio donde se empacará para posteriormente ser llevado a la planta, específicamente a la bodega de materia prima.

En cuanto a la determinación de la capacidad de la planta, si se considera únicamente a los bancos privados, la producción de tarjetas plásticas de crédito hasta octubre de 2011 fue de aproximadamente 22,13 millones a nivel nacional, mientras que la emisión por casas comerciales se estimó en aproximadamente 3 millones de tarjetas (UCSG, 2012).

De acuerdo con la Superintendencia de Bancos y Seguros del Ecuador (2012) y su resolución No. JB-2012-2225, a partir

del 5 de julio de 2012 solamente las instituciones financieras y las compañías emisoras o administradoras de tarjetas de crédito podrían actuar como emisores, por lo que cerca de 3 millones de tarjetas de crédito, correspondientes a casas comerciales, se dejaron de utilizar en el país (SBS, 2012; UCSG, 2012). A partir de este dato, para un 10 % de procesamiento y una masa promedio de 6 g por tarjeta, se definió una capacidad de 350 kg/día para la planta a escala piloto.

Para la localización de la planta, se tomó en cuenta que el plan de ordenamiento metropolitano territorial dicta que las instalaciones industriales que producen efectos nocivos por descargas líquidas no domésticas, emisiones de combustión, ruido, residuos sólidos, entre otros, deben ubicarse en una zona denominada de alto impacto (II3) (Concejo Metropolitano de Quito, 2013). Por ello, la planta estará localizada en una de las nuevas zonas industriales de Quito, en el sector Itulcachi, vía Pifo. En este sitio existe disponibilidad de servicios básicos, mano de obra y facilidades de transporte.

3.1.2. Ingeniería básica

3.1.2.1. Diseño del proceso tecnológico

El proceso propuesto consta de las siguientes etapas y operaciones:

Recepción de la materia prima: la materia prima consiste en material de desecho, en este caso tarjetas plásticas de identificación. El material ingresará a la bodega de materia prima por pacas.

Disolución: se procesarán 43,75 kg/h (8 h de trabajo por día) de tarjetas plásticas de identificación. La disolución se efectuará mediante el solvente THF. La relación en peso tarjetas/solvente será de 1/5. El proceso se llevará a cabo a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Centrifugación: la separación de cargas del PVC se llevará a cabo en tres ciclos de centrifugación, a 4 000 rpm y un tiempo de 20 min, cada ciclo.

Destilación: el THF será recuperado con el objetivo de eliminar el exceso del solvente en el cemento de PVC, mediante una destilación. En este paso se empleará agua como medio de enfriamiento.

Concentración: el pegamento para tuberías de PVC se obtendrá luego de que en la destilación, el producto llegue a una concentración de resina de aproximadamente 30 % en peso, y se almacenará en un tanque.

Envasado y almacenaje: el cemento solvente de PVC se envasará en frascos de 237 mL. El producto final se almacenará en la bodega de producto terminado para su posterior despacho y venta.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques (BFD) del proceso de producción de cemento solvente de PVC junto

con el balance de masa correspondiente para cada etapa. El proceso productivo está dividido en un total de 3 subprocesos:

- El primero corresponde a la disolución de las tarjetas recolectadas.
- El segundo, concerniente a la separación de cargas, se divide en tres etapas. Cada etapa corresponde a un ciclo de centrifugación.
- El tercero, relacionado con la recuperación del solvente, se divide en 2 etapas: la recuperación del solvente como tal, y la obtención del cemento solvente de PVC.

El diagrama de flujo del proceso (PFD) se muestra en la Figura 2. Como se puede observar consta de: disolución, separación de cargas, recuperación de solvente y obtención del cemento solvente de PVC. Además, se especifica la temperatura de trabajo.

Se debe mencionar que en el subproceso de separación de cargas no se emplearán tres equipos independientes (centrifugadoras), sino que existirán tres ciclos de centrifugación en el mismo equipo, por tal motivo, el proceso se realizará de manera discontinua o tipo *Batch*.

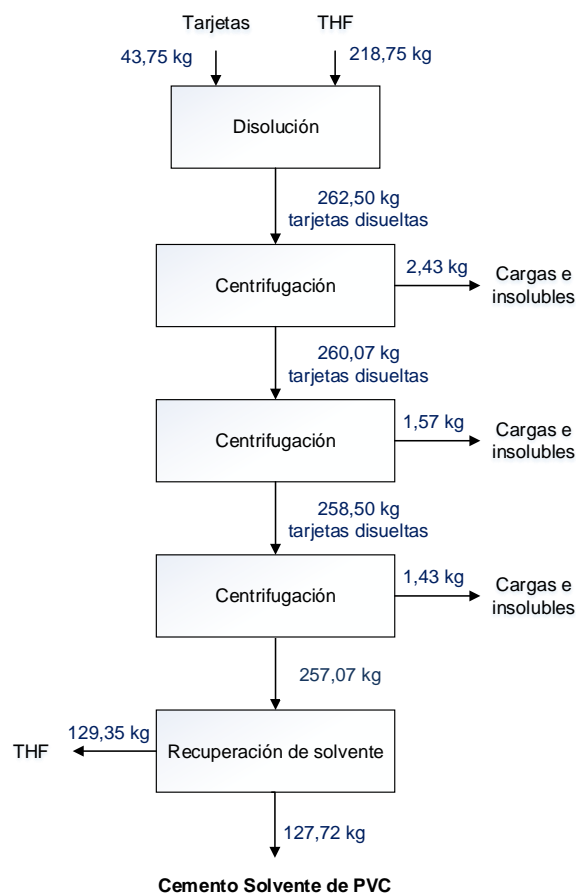


Figura 1. Diagrama de bloques (BFD) del proceso de producción de cemento solvente de PVC. Base de cálculo: 1 h

TA-101	CR-201	CD-301	TK-401	TK-501
Tanque de disolución	Centrifugadora	Columna de destilación	Tanque de THF recuperado	Tanque almacenamiento de Cemento PVC

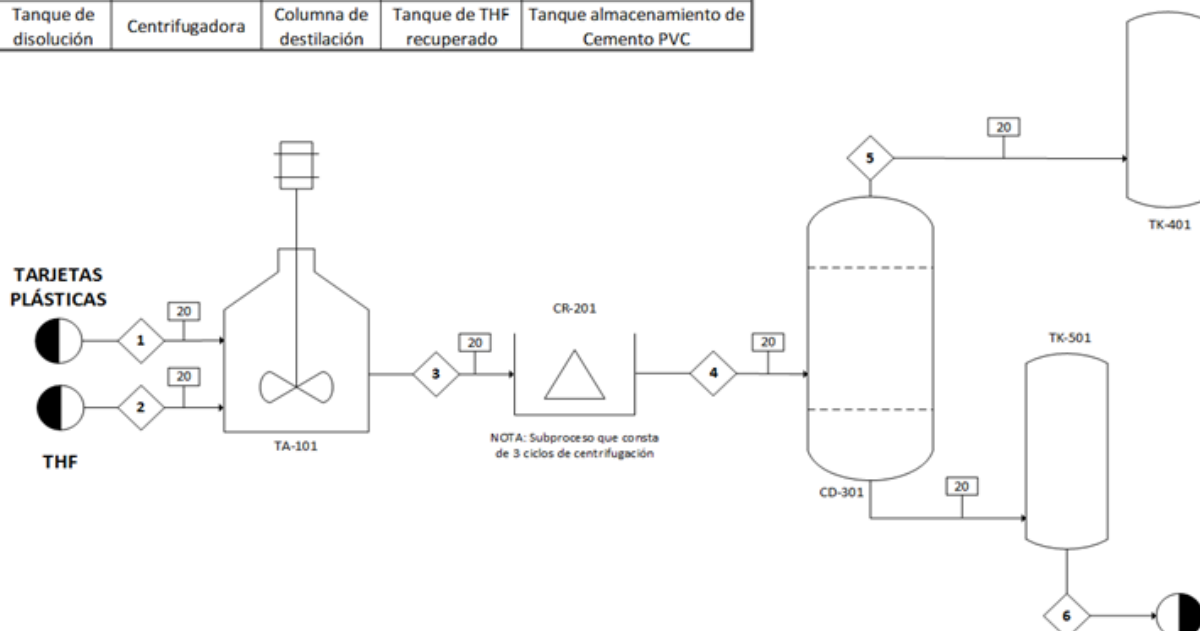


Figura 2. Diagrama de flujo (PFD) del proceso de producción de cemento solvente de PVC a partir de tarjetas plásticas de identificación

3.1.2.2. Diseño básico de la planta

En esta sección se presenta la lista de los equipos que intervienen en el proceso productivo por cada área, así como también la distribución en planta.

El listado de equipos, por cada área en la que se dividió la planta, así como sus dimensiones largo (L), ancho (A) y altura (H) se muestran en la Tabla 2. Para el proceso de producción, también son necesarios un silo de almacenamiento y dos tanques de disolución de respaldo que se ubicarán en dos diferentes bodegas.

En la Figura 3 se muestra el plano de distribución de la planta a escala piloto (*Layout*). La planta tendrá una superficie de 700 m², la misma que incluye el área de procesamiento, las oficinas, los parqueaderos y los espacios verdes.

Tabla 2. Listado de los equipos necesarios para el proceso productivo de cemento solvente de PVC por área

Área	Equipo	Dimensiones [m]		
		L	A	H
1: Disolución	Tanque de disolución	1,00	1,00	2,80
2: Separación de cargas	Centrífuga	1,49	1,13	1,48
3: Recuperación del solvente	Columna de destilación	2,90	0,98	3,85
4: Almacenamiento del solvente	Tanque de THF recuperado	0,87	0,87	2,18
5: Almacenamiento del producto	Tanque almacenamiento de cemento de PVC	0,87	0,87	2,18

L: largo, A: ancho, H: altura

El orden que sigue la producción es de izquierda a derecha, con el inicio en la bodega de recepción de material, para pasar a la disolución, luego a la separación de cargas, recuperación de solvente y finalmente, a la bodega de almacenamiento del producto terminado.

3.2. Evaluación económica

El costo unitario de producción y el precio de venta unitario del cemento solvente de PVC envasado en una presentación de 237 mL se muestran en Tabla 3.

Los costos de producción están compuestos por materia prima, mano de obra directa y carga fabril, como se presenta en la Tabla 4. Con respecto al costo de la materia prima se

Tabla 3. Costo unitario de producción y de venta del cemento solvente de PVC

Rubro anual	Valor [USD]
Costos de producción	2 772 892,00 ¹
Gastos de ventas	7 440,00 ²
Gastos de administración y generales	124 739,00 ³
Gastos de financiamiento	119 000,00 ⁴
TOTAL	3 024 072,00
Costo unitario (994 896 unidades producidas al año)	3,04
Ganancia (40 % del costo unitario)	1,22
Precio de venta unitario	4,26

¹ de la suma de Materia prima, mano de obra directa, insumos, suministros, reparación y mantenimiento, seguros e imprevistos (de la Tabla 4)

² de Tabla 10

³ de Tabla 10 + Costo por mano de obra indirecta (de la Tabla 4)

⁴ de Tabla 5

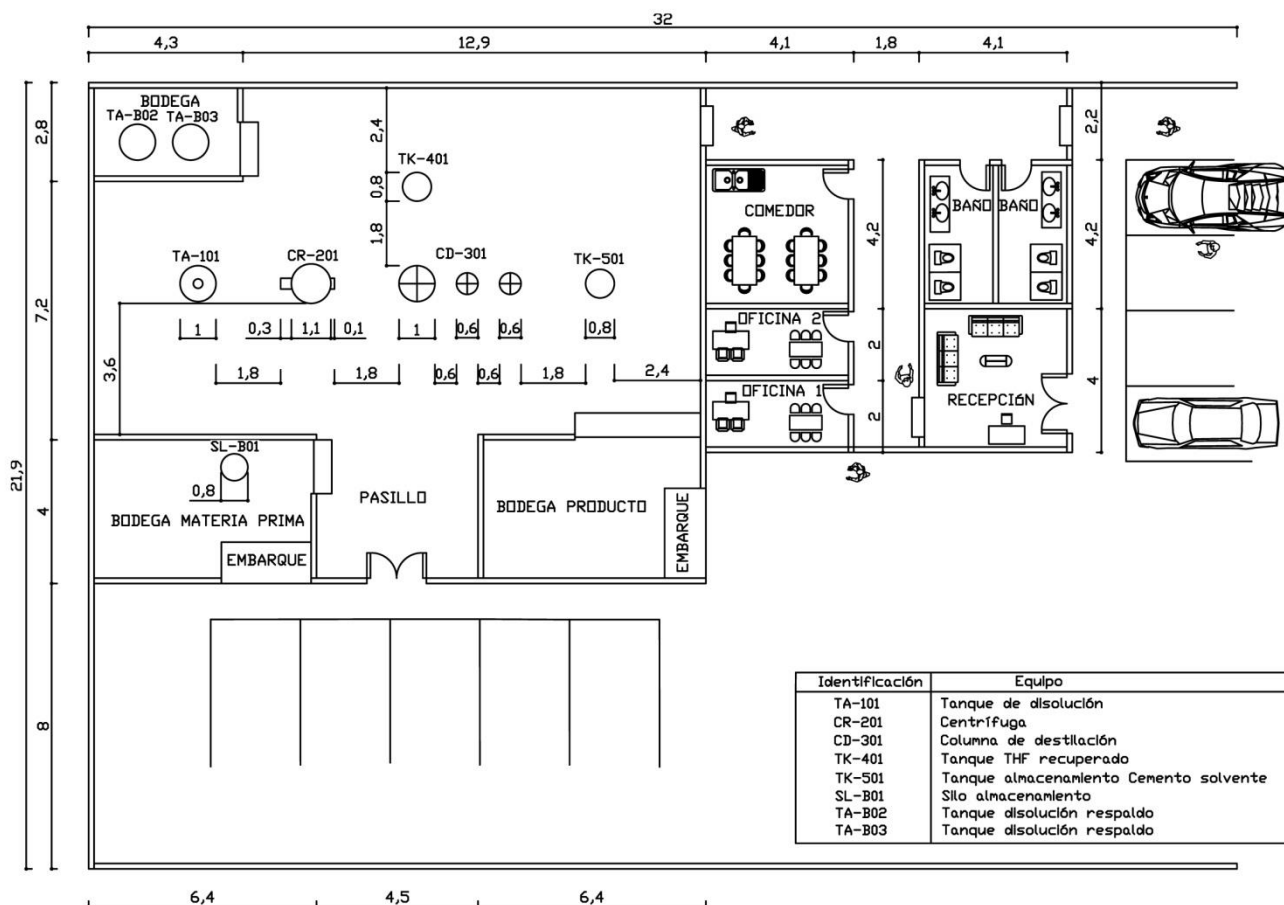


Figura 3. Plano de distribución de la planta piloto para la producción de cemento solvente de PVC

Tabla 4. Costo de producción del cemento solvente de PVC

Rubro	Valor [USD/año]
Materia prima	
Tarjetas recicladas	169 344,00
Solvente THF	1 799 885,00
Mano de obra directa	
4 Operarios*	20 160,00
Carga Fabril	
Mano de obra indirecta	
Gerente general	60 000,00
Gerente técnico	28 800,00
Secretaría contadora	14 400,00
Guardia	5 760,00
Insumos	
Envases	720 000,00
Cartones	18 000,00
Suministros**	
Agua	230,00
Energía eléctrica	11 321,50
Combustible	600,00
Depreciación	18 094,50
Reparación y mantenimiento	4 054,00
Seguros	2 777,00
Imprevistos (3%)	26 521,00
Total Carga Fabril	910 558,00

[*] Salarios tomados del código del trabajo. Incluye beneficios de ley

[**] Los costos por consumo de agua y energía eléctrica se calcularon a partir de las tarifas establecidas por la EMAAP para zonas industriales y por la Empresa Eléctrica Quito respectivamente.

debe reiterar que a causa de la escasa información de fuentes oficiales como del Ministerio del Ambiente y, puesto que este tipo de residuos no es considerado para un reciclaje comercial, se asumió que el costo de las tarjetas de identificación desechadas podría ser similar al costo del PET reciclable que corresponde a 1,80 USD/kg. En cuanto al solvente, el THF tiene un valor de 3,10 USD/kg.

Los gastos de venta y los gastos de administración, presentados en la Tabla 3, se pueden verificar en el Apéndice A del presente trabajo. Adicionalmente, en este apartado también se presenta el desglose de los rubros correspondientes a la depreciación, costo por reparación y mantenimiento y costos por seguros, cuya sumatoria se presenta en la Tabla 4. En la Tabla 5 se muestran los gastos de financiamiento, los mismos que están compuestos por los intereses bancarios. El financiamiento se conseguirá a través de una institución bancaria que maneja una tasa de interés del 12 %. La tabla de amortización francesa para un plazo de 36 meses se muestra en la Tabla 6.

Como se puede observar en la Tabla 3, el precio de venta del cemento solvente a partir de tarjetas de identificación es de 4,26 USD, un valor inferior en un 43,2 % con respecto al precio comercial de dicho producto, que actualmente en el mercado alcanza 7,50 USD por frasco de 237 mL. En caso de que el producto obtenido se comercialice a un precio similar al del mercado, se podría obtener un margen de ganancia del 146,7 % con respecto al costo de producción.

Tabla 5. Gastos por concepto de financiamiento del proyecto

Rubro	Valor [USD/año]
Inversión fija	
Terreno (700 m ²)	70 000,00
Obras civiles	50 000,00
Silo de almacenamiento	3 360,00
Tanques de disolución (3)	8 250,00
Centrífuga	27 800,00
Columna de destilación	30 175,00
Tanque de almacenamiento de producto y tanque de THF recuperado	8 120,00
Computadores	2 500,00
Camión	30 000,00
Imprevistos (3 % de la inv. fija)	6 906,00
Capital de operación (3 meses)*	
Materia prima	492 307,00
Mano de obra directa	5 040,00
Carga fabril**	223 116,00
Gastos de administración	3 945,00
Gastos de venta	1 860,00
Caja inicial	50 000,00
Inversión TOTAL	1 013 379,00
Capital propio (40 %)	405 352,00
Financiamiento (60 %)	608 027,00
Intereses	119 000,00

[*] Se solicitará un crédito de capital de trabajo para 3 meses

[**] Sin considerar depreciación

A partir del flujo de caja que se muestra en la Tabla 7 se obtuvieron los indicadores financieros VAN y TIR. El TMAR está constituido por la tasa activa referencial (5 %), inflación anual del proyecto (5 %) y el costo de oportunidad (22 %).

Los indicadores financieros resultantes del proyecto son los siguientes: VAN (USD): 662 526,56; TIR: 69 %; tomando como consideración una TMAR de 32 % y un período de recupero de 10 años.

Como se puede apreciar, con la evaluación económica del proyecto, la implementación de la planta piloto para la producción de cemento solvente de PVC, obtenido a partir de tarjetas plásticas de identificación, constituye un emprendimiento de reciclaje rentable.

Tabla 6. Tabla de Amortización Francesa.

Período	Saldo capital	Capital	Interés
0	608 027,42		
1	593 912,48	14 114,94	6 080,27
2	579 656,40	14 256,09	5 939,12
3	565 257,75	14 398,65	5 796,56
4	550 715,12	14 542,63	5 652,58
5	536 027,06	14 688,06	5 507,15
6	521 192,12	14 834,94	5 360,27
7	506 208,83	14 983,29	5 211,92
8	491 075,70	15 133,12	5 062,09
9	475 791,25	15 284,45	4 910,76
10	460 353,95	15 437,30	4 757,91
11	444 762,28	15 591,67	4 603,54
12	429 014,69	15 747,59	4 447,62
13	413 109,63	15 905,06	4 290,15
14	397 045,51	16 064,11	4 131,10
15	380 820,75	16 224,76	3 970,46
16	364 433,75	16 387,00	3 808,21
17	347 882,88	16 550,87	3 644,34
18	331 166,50	16 716,38	3 478,83
19	314 282,95	16 883,55	3 311,66
20	297 230,57	17 052,38	3 142,83
21	280 007,66	17 222,91	2 972,31
22	262 612,53	17 395,13	2 800,08
23	245 043,44	17 569,09	2 626,13
24	227 298,67	17 744,78	2 450,43
25	209 376,44	17 922,22	2 272,99
26	191 274,99	18 101,45	2 093,76
27	172 992,53	18 282,46	1 912,75
28	154 527,25	18 465,29	1 729,93
29	135 877,31	18 649,94	1 545,27
30	117 040,87	18 836,44	1 358,77
31	98 016,07	19 024,80	1 170,41
32	78 801,02	19 215,05	980,16
33	59 393,82	19 407,20	788,01
34	39 792,54	19 601,27	593,94
35	19 995,26	19 797,29	397,93
36	0,00	19 995,26	199,95
TOTAL		608 027,42	119 000,18

Cuota fija por período a partir del período 1: 20 195,21 USD

Tabla 7. Análisis de flujo del proyecto

		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas*		3 386 960,00	3 598 645,00	3 810 330,00	4 022 015,00	4 233 700,00	4 233 700,00	4 233 700,00	4 233 700,00	4 233 700,00	4 233 700,00
Costo Ventas	81,87 %	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00	2 772 892,00
Utilidad Bruta		614 068,00	825 753,00	1 037 438,00	1 249 123,00	1 460 808,00	1 460 808,00	1 460 808,00	1 460 808,00	1 460 808,00	1 460 808,00
Gastos Administrativos	3,67 %	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00	124 269,00
Gastos Ventas	6,62 %	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00	224 165,00
Depreciaciones	0,55 %	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00	18 564,00
Utilidad Operativa	7,29 %	247 069,00	458 754,00	670 439,00	882 124,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00
(+) Otros Ingresos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) Otros Egresos (financieros)	1,87 %	63 330,00	40 627,00	15 044,00	-	-	-	-	-	-	-
Utilidad antes de impuestos	5,42 %	183 740,00	418 128,00	655 395,00	882 124,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00	1 093 809,00
Participación Trabajadores		27 561,00	62 719,00	98 309,00	132 319,00	164 071,00	164 071,00	164 071,00	164 071,00	164 071,00	164 071,00
Impuesto a la Renta		39 045,00	88 852,00	139 272,00	187 451,00	232 434,00	232 434,00	232 434,00	232 434,00	232 434,00	232 434,00
Utilidad Neta	3,46 %	117 134,00	266 556,00	417 815,00	562 354,00	697 303,00	697 303,00	697 303,00	697 303,00	697 303,00	697 303,00
Flujo sin amortizaciones		135 698,00	285 121,00	436 379,00	580 919,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00
Pago Capital		179 013,00	201 716,00	227 299,00	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital trabajo											152 017,00
Flujo anual		(43 314,00)	83 405,00	209 080,00	580 919,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	867 885,00
Flujo de Caja											
Saldo Inicial		50 000,00	6 686,00	90 091,00	299 171,00	880 090,00	1 595 958,00	2 311 826,00	3 027 694,00	3 743 561,00	4 459 429,00
Flujo		(43 314,00)	83 405,00	209 080,00	580 919,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	715 868,00	867 885,00
Saldo Final		6 686,00	90 091,00	299 171,00	880 090,00	1 595 958,00	2 311 826,00	3 027 694,00	3 743 561,00	4 459 429,00	5 327 314,00

*Se considera que se alcanza la venta progresiva de unidades en un plazo de 5 años, empezando con un 80 % de ventas e incrementando 5 % cada año

4. CONCLUSIONES

La implementación de una planta piloto para la producción de cemento solvente de PVC se justifica por varias razones: el proceso productivo es sencillo, el costo de la materia prima es bajo por ser un material reciclado, y además, se disminuye el impacto ambiental generado por este tipo de desechos.

La planta se diseñó para un procesamiento de 350 kg/día de tarjetas desechadas, con una distribución en "U". El proceso productivo es discontinuo o tipo "Batch", e involucra 3 operaciones unitarias: disolución, centrifugación y destilación. La superficie requerida para el emplazamiento de la planta es de 700 m².

El precio de venta de un frasco de 237 mL de cemento solvente, obtenido a partir de las tarjetas de identificación, es de 4,26 USD, un valor inferior en un 43,2 % con respecto al precio de venta de este producto en el mercado local el cual rodea los 7,50 USD.

La implementación de la planta piloto constituye una alternativa rentable para el reciclaje de las tarjetas de identificación de PVC, con un porcentaje de ganancia del 40 % (con respecto al costo de producción) si se considera un precio de venta de 4,26 USD; y un porcentaje mayor al 140 % (con respecto al costo de producción) si el producto se comercializa a un valor similar al del mercado.

Con base en el análisis técnico-económico, se determinó que la TIR del proyecto es del 69 % y el VAN con una TMAR del 32 %, a 10 años, resultó mayor a 0 (662 526,56 USD); por lo que el proyecto es rentable y viable.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, por el financiamiento de la investigación, a través de los fondos del Proyecto Semilla PIS 12-43. Además, agradecemos al Ing. Carlos Andrés Solórzano Mendoza M.Sc. por su criterio y aporte en la evaluación económica del presente estudio.

REFERENCIAS

Aldás, M. y Inca, F. (2015). Reciclaje de PVC a partir de tarjetas de identificación plásticas para la obtención de un pegamento de tubería. *Revista Digital Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2015*, 10(1), 176-181.

ASTM. (2014). Standard Specification for Solvent Cements for Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Piping Systems (ASTM D2564-12). Obtenido de: http://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?D2564+12.

BCE - Banco Central del Ecuador. (2015). Boletín anuario 2015. Capítulo III. Comercio Exterior: Importaciones por secciones de la nomenclatura arancelaria, Toneladas. Obtenido de: <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/327-ver-bolet%C3%ADn-anuario-por-a%C3%B1os> (Febrero, 2015)

Cámara de Industrias de Guayaquil. (2012). Importaciones de materias primas plásticas. Obtenido de: http://www.industrias.ec/archivos/file/INFORMACION%20PARA%20AFILIADOS/Import_m_primas_plast_corr_egida03_100212.pdf (Febrero, 2015)

Casanovas, J., Morell, M., Blanco, C., Martínez, L., Mata, S. y Carballo, N. (2010). *Manual de cálculos para una planta de producción de acetaldehído*. Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.

Chango, I., Pazmiño, M. y Quiroz, F. (2015). Diseño Preliminar de una Planta de Mezclado de Poliolefinas Comerciales y Recicladas a Escala Piloto. *Revista Politécnica*, 35(3), 126-136.

Concejo Metropolitano de Quito. (2013). Ordenanza Metropolitana No. 0447 que Establece el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PMOT). Obtenido de: http://www.quitohabitat.gob.ec/ARCHIVOS/LOTAIP/LITERAL_A/A2_35_ORDENANZA_No0447_PLAN_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL.pdf (Febrero, 2015)

Janajreh, I., Alshrah, M. y Zamzam, S. (2015) Mechanical Recycling of PVC Plastic Waste Streams from Cable Industry: A Case Study. *Sustainable Cities and Society*, 18(1), 13-20. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com.bvirtual.epn.edu.ec/science/article/pii/S2210670715000530> (Diciembre, 2015)

Sadat, M. y Bakhshandeh, G. (2011). Recycling of PVC wastes. *Polymer degradation and stability*, 96(4), 404-415. Obtenido de: <http://www.sciencedirect.com.bvirtual.epn.edu.ec/science/article/pii/S0141391010004556> (Diciembre, 2015)

SBS - Superintendencia de Bancos y Seguros del Ecuador. (2012). *Resolución No. JB-2012-2225 - La Junta Bancaria*. Obtenido de: http://www.sbs.gob.ec/medios/PORTALDOCS/downloads/normativa/2012/resol_JB-2012-2225.pdf (Febrero, 2015)

Towler, G. y Sinott, R. (2012). *Chemical Engineering Design*. (2nd ed.). Massachusetts, United States of America: Butterworth-Heinemann

Turton, R., Bailie, R., Whiting, W., Shaeiwitz, J. y Bhattacharyya, D. (2013). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. (4th ed.). New Jersey, United States of America: Prentice Hall.

UCSG - Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2012). *Informe de Coyuntura Económica*. Obtenido de: http://www.elfinanciero.com/banca_especiales/tema_12_2012/banca_01_2012.pdf (Febrero, 2015)

APÉNDICE A

DESGLOSE DE COSTO CALCULADOS PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO

Los rubros correspondientes a la depreciación, costo por reparación y mantenimiento y costos por seguros se encuentran desglosados en las Tablas 8 y 9.

Los gastos de ventas y los gastos de administración se encuentran en la Tabla 10.

Tabla 8. Depreciación

Concepto	Valor [USD]	Vida útil (años)	Costo anual [USD/año]
Obras civiles	50 000,00	20	2 500,00
Silo de almacenamiento	3 360,00	10	336,00
Tanques de disolución	8 250,00	10	825,00
Centrífuga	27 800,00	10	2 780,00
Columna de destilación	30 175,00	10	3 017,50
Tanques de almacenamiento del cemento y del THF recuperado (2 tanques)	8 120,00	10	812,00
Computadores	2 500,00	3	833,33
Camión	30 000,00	5	6 000,00
Imprevistos de la inversión fija	6 906,15	10	690,61
Gastos de puesta en marcha	3 000,00	10	300,00
Total			18 094,00
<i>Depreciación de otros activos</i>			
Mobiliario de oficina	3 000,00	10	300,00
Constitución de la sociedad	1 000,00	10	100,00
Imprevistos (1 % del costo del terreno)	700,00	10	70,00
Total			470,00

Tabla 9. Costo por reparación y mantenimiento y por concepto de seguros

Concepto	Valor [USD]	%	Costo anual [USD/año]
<i>Reparación y mantenimiento</i>			
Maquinaria y equipo	77 705,00	2	1 554,10
Camión	30 000,00	5	1 500,00
Construcciones	50 000,00	2	1 000,00
Total			4 054,10
<i>Seguros</i>			
Maquinaria y equipo	77 705,00	1	777,05
Camión	30 000,00	5	1 500,00
Construcciones	50 000,00	1	500,00
Total			2 777,05

Tabla 10. Gasto por vetas del cemento solvente de PVC y gastos de administración

Rubro	Valor [USD/año]
<i>Gasto por vetas</i>	
Publicidad	2 400,00
Vendedor	5 040,00
Total	7 440,00
<i>Gastos de administración</i>	
Depreciación de otros activos	470,00
Gastos de oficina	15 000,00
Otros imprevistos (2 %)	309,00
Total	15 779,00