



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO
DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA PLANTA DE PLÁSTICOS
R.F.C., C.A.**

AUTOR: Ing. Greglimar Caguao

TUTOR: MSc. Carlos Hernández

Valencia, 23 de Julio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO
DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA PLANTA DE PLÁSTICOS
R.F.C., C.A.**

AUTOR: Ing. Greglimar Caguao

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al Título de Magister en Ingeniería de Procesos.

Valencia, 23 de Julio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO
DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA PLANTA DE PLÁSTICOS
R.F.C., C.A.**

AUTOR: Ing. Greglimar Caguao

Aprobado en el Área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de Carabobo
por miembros de la Comisión
Coordinadora del Programa.

Valencia, 23 de Julio 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:

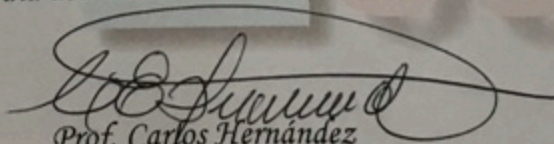
“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA PLANTA DE PLÁSTICOS R.F.C., C.A..”

Presentado para optar al grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE PROCESOS** por el (la) aspirante:

GREGLIMAR CAGUAO
V.- 18.866.759

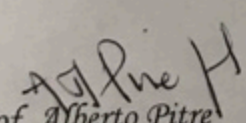
Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.

En Valencia, a los dos (02) día del mes de Noviembre del año dos mil dieciocho.


Prof. Carlos Hernández

C.I.: 1138986

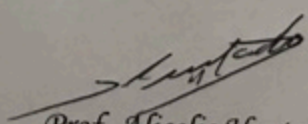
Fecha: 02/11/2018


Prof. Alberto Pitre

C.I.: 3.306841

Fecha: 02/11/2018

FE: 01/11/2018 /D6.-


Prof. Alicelis Hurtado

C.I.: 3679703

Fecha: 02/11/2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS PARA GRADUANDOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA PLANTA DE PLÁSTICOS R.F.C., C.A.**, presentado por: Ing. Greglimar Caguao para optar al Título de Magister en ingeniería de Procesos, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como:

Nombre, Apellido, C.I., Firma del Jurado

Valencia, 23 de Julio 2018

DEDICATORIA

A Mariano Gil por enseñarme que el amor es infinito y libre.

A Isnaldo Freites por la compañía.

A Dios por la dicha de existir.

A mis padres por mi vida.

A la vida por permitirlo.

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme vivir de esta manera este tipo de experiencias.

A mis padres por su apoyo en cuerpo, alma, cielo y tierra.

A los señores Manuel Pérez, Rafael Bonavita y Emmanuel Gallardo por todos sus aportes técnicos y conservacionistas siempre enfocados en la excelencia del proyecto.

Al profesor Carlos Hernández por su exigencia.

A la Universidad de Carabobo, por permitirme ingresar a esta magna casa de estudios y adquirir nuevas herramientas de uso profesional.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
 INTRODUCCIÓN.....	 1
 CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	6
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Justificación.....	7
1.5. Alcance.....	8
 CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedente.....	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Plásticos.....	11
2.2.2. Reciclaje.....	13
2.2.3. Sistemas de lavado de plástico.....	16

Continuación

	Pág.
2.2.4. Métodos de limpieza.....	18
2.2.5. Clasificación de detergentes.....	20
2.2.6. Selección de detergentes.....	22
2.2.7. Descripción del proceso de planta de Plásticos R.F.C.,C.A	23
2.2.8. Diseño de planta.....	27
2.2.9. Rentabilidad.....	28

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.....	29
3.1. Tipo de estudio y de investigación.....	29
3.2. Diseño de la investigación.....	30
3.2.1. Identificación de las capacidades de entrada de plástico reciclado a la planta de plásticos R.F.C., C.A.....	30
3.2.2. Análisis de las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico reciclado.....	30
3.2.3. Determinación de las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado.....	31
3.2.4. Selección de la tecnología más adecuada en relación al sistema de lavado de plástico reciclado.....	34
3.2.5. Propuesta de diseño de sistema de lavado de plástico reciclado que alimentará a la planta de plásticos R.F.C., C.A.....	39
3.2.6. Análisis de la rentabilidad del proyecto.....	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Identificación de las capacidades de entrada de plástico reciclado a la planta de plásticos R.F.C., C.A.....	43
4.2. Análisis de las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico reciclado.....	46

Continuación

	Pág.
4.3. Determinación de las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado.....	46
4.4. Selección de la tecnología más adecuada en relación a sistemas de lavado de plástico reciclado.....	50
4.5. Propuesta de un diseño de sistema de lavado de plástico reciclado que alimenta a la planta de plásticos R.F.C., C.A.....	55
4.6. Análisis de la rentabilidad del proyecto.....	61
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
APÉNDICES.....	69
Apéndice A.....	74
A1. Resultados de selección de la alternativa mediante el método de selección AHP según parámetros y requerimientos funcionales.	75
Apéndice B.....	78
B1. Plano de propuesta de sistema de lavado de plástico reciclado.	79
Apéndice C.....	80
C1. Lista de materiales para fabricación de cinta transportadora para alimentación de plástico al sistema de lavado.....	81
C2. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de cinta transportadora de alimentación.....	81
C3. Lista de materiales para fabricación de sección de prepicado....	81
C4. Lista de materiales para fabricación de atrapa polvo.....	82
C5. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de prepicado.....	83
C6. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de atrapa polvo.....	83

Continuación

	Pág.
C7. Lista de materiales para fabricación de tanque de decantación.	
C8. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de tanque de decantación.....	84
C9. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de bomba de agua.....	84
C10. Lista de materiales para fabricación de sección de lavado y centrifugado.....	85
C11. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de lavado y centrifugado.....	86
C12. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de bomba de agua.....	86
C13. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de ventilador.....	86
C14. Lista de materiales para fabricación de sección de secado.....	87
C15. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de la sección de secado.....	87
Apéndice D.....	88
D1 Cálculos de la rentabilidad del proyecto.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
2.1 Uso de detergente según la naturaleza de la suciedad.....	22
3.1. Variables de ensayo de lavado de plástico.....	34
3.2. Escala de preferencias.....	37
3.3. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.....	38
3.4. Propuestas generadoras de ingresos.....	40
4.1. Historial de producción y tipo de material recibido.....	45
4.2. Resultados de ensayos de lavado de plástico.....	50
4.3. Requisitos funcionales de la maquina a diseñar.....	56
4.4. Resultados de selección de la alternativa mediante el método de selección AHP	57
4.5. Valor de la inversión.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
2.1. Material en almacenes de plásticos R.F.C. antes del proceso de selección.....	23
2.2. Método de selección de material.....	24
2.3. Maquina Cotufadora C1 en proceso.....	25
2.4. Maquina paletizadora P1.....	26
3.1. Prototipo de lavadora utilizada para los ensayos de lavado de plástico.....	32
3.2. Árbol de Jerarquía para el problema planteado.....	38
4.1. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 1minuto.....	48
4.2. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 3 minutos.....	49
4.3. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 5 minutos.....	50
4.4. Sistema de lavado de plástico mediante tanques de agua o balsas de decantación.....	51
4.5. Sistema de lavado de plástico a través de agua a presión.....	52
4.6. Sistema de lavado de plástico mediante aletas rotatorias.....	53

Cagua Greglimar. **Propuesta de diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado para la planta de plásticos R.F.C., C.A.** Universidad de Carabobo. Trabajo especial de grado para optar al título de Magíster en ingeniería de procesos. Valencia, Carabobo, Febrero de 2018. pp. 104.

RESUMEN

El trabajo propone un diseño de sistema de lavado de plástico reciclado para la planta de plásticos R.F.C., C.A. El tipo de investigación se apoya en un proyecto factible sustentada en una investigación descriptiva de la documentación disponible. La población estuvo comprendida por el plástico reciclado que alimenta a la planta de plásticos R.F.C, C.A., que es de 10 ton.mensuales de plástico. Las técnicas utilizadas fueron la observación directa y la revisión documental. Como instrumento se utilizó la herramienta AutoCad 2007. Las principales conclusiones fueron:el porcentaje de plástico sucio que alimenta la planta es directamente proporcional a las limitaciones de producción de la empresa que equivale al 70% de la alimentación. El sistema de aletas rotatorias es la tecnología más eficiente en sistemas de lavado de plástico según los parámetros y requerimientos funcionales exigidos por la empresa de plásticos R.F.C., C.A.El diseño propone eficiencia en el lavado de plástico de vertederos es decir plástico totalmente contaminado, sustentado en la configuración de las cuchillas y la alimentación de agua. Es un sistema de trabajo semi continuo sin mucho desperdicio de agua.Es una alternativa para solucionar la crisis sanitaria en los vertederos del país y una iniciativa para conservar el planeta tierra.

Palabras Clave: plástico reciclado, sistema de lavado.
E-mail: caguaogreglimarisa1@gmail.com

Design proposal of a recycled plastic washing system for the plastics plant R.F.C., A.C.

ABSTRACT

This work propose a design of recycled plastic washing system for the plastic plant R.F.C; A.C. This type of investigation supports on a feasible Project base don a descriptive investigation of the available documentation. The population was included by the recycling plastic that feeds the plastic plant R.F.C; A.C, which is 10 ton a month of plastic. The utilizad techniques were the direct observation and the documentary review. As an instrument the Autocad 2007 tool was utilizad. The main conclusions were the percentage of dirty plastic that feeds the plant is directly proporcional to the production limitations of the company which is equivalent to the 70% of the feeding. The rotating fin system is the most efficient technology on the plastic washing Systems according to the parameters and fuctionals requirements required by the plastic company R.F.C, A.C. The design proposes efficiency in landfill plastic washing which is completely polluted plastic, base don the configuration of the blades and the water feeding. Its is alternative to solve the sanitary crisis of landfills in the country and initiative to conserve the planet Earth.

Keywords: recycled plastic, washing system.

E-mail: caguaogreglimarisa1@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental hoy tiene una dimensión global, es decir involucra todo el planeta, siendo uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, que causa efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

La crisis económica de 2001, la creciente conciencia ambiental y el éxito de los programas de reutilización de residuos plásticos implementados en varios países, ha servido para que los ciudadanos conviertan el reciclaje no sólo en una manera de contribuir al cuidado del medio ambiente sino también en una magnífica oportunidad de negocio y en una fuente generadora de empleo.

Plásticos R.F.C., C.A. (Plásticos Romero, Freitas, Caguao, C.A.), es una empresa procesadora de plástico reciclado, comprometida con sus clientes a ofrecerles la mejor calidad en sus productos y servicios. En la actualidad tiene una capacidad de procesamiento de 3 toneladas mensuales de plástico reciclado con un 70% de pérdidas que no puede ser procesada debido a las condiciones del material (sucio y contaminado proveniente de vertederos).

Este proyecto está constituido de una sección en la cual se describe el problema, una segunda parte en la que se expone el marco teórico, que permite la comprensión del tema y expone la descripción general del proceso de la planta de reciclaje de plásticos R.F.C. Un tercer capítulo donde se expone el marco metodológico, describiéndose la metodología a emplear durante el periodo de investigación. Y por último

un cuarto capítulo donde se plantean los resultados obtenidos mediante una serie de objetivos realizados.

La empresa Plásticos R.F.C., C.A no cuenta con un sistema de lavado de material, lo que limita su productividad, reduce la calidad del producto final, genera daños en los equipos y limita la producción, debido a la calidad del plástico recibido, por lo que se hace necesario la implementación de un sistema de lavado de plástico reciclado para dar cumplimiento al paso de limpieza, que permita mejorar el proceso de reciclaje optimizando la calidad de los productos y servicios de la empresa, aumentando la producción del procesamiento de plástico reciclado a través de la reducción de mermas o pérdidas que vienen dadas por el tipo de material.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Este capítulo consiste en describir de manera amplia la situación objeto de estudio, ubicándola en un contexto que permita comprender su origen y relaciones. Arias (2011)

1.1.Planteamiento del problema

Los plásticos juegan un papel importante en casi todos los aspectos de nuestras vidas. Se utilizan para la fabricación de productos de uso cotidiano, tales como envases de bebidas, juguetes y muebles. El uso generalizado de plásticos exige una buena gestión de vida del producto hasta su fin. Los plásticos representan más del 12 % de la cantidad de residuos sólidos urbanos, un aumento espectacular desde 1960, cuando los plásticos fueron menos del 1% del flujo de residuos (Crisanto 2002).

Sumado a esto, las condiciones actuales del mundo, el que sufre una gran recesión económica, sobre todo los tradicionales países tercermundistas, se hace necesario buscar soluciones que conjuguen tanto una línea de crecimiento con fuentes de trabajo que sean seguras y que perduren en el tiempo. Es así como el reciclaje se transforma en una actividad que vela por nuestro medioambiente, es lucrativa, de creciente demanda e inagotable materia prima.

El reciclado de plástico es el proceso de recuperación de desechos de plásticos. Las tres principales finalidades del plástico reciclado son la reutilización directa, el aprovechamiento como materia prima para la fabricación de nuevos productos y su conversión como combustible o como nuevos productos químicos. En las empresas de procesamiento de

plástico reciclado, el reciclaje se basa en seis pasos principales como lo son:

- a. Separación o selección de material: es la identificación y clasificación visual y manual en la que el material es dispuesto para su identificación. Separando el material a reciclar (plástico de película PEAD) entre distintos tipos de plásticos y polímeros y entre residuos de distinto material, como lo son las botellas plásticas y sus tapas, productos con más tipos de plástico en su composición, metales, vidrio, papel y otro, con el fin de obtener un residuo plástico más puro y homogéneo.
- b. Pre picado: el plástico reciclado es pre picado y reducido de tamaño hasta ser fragmentado en piezas pequeñas de tamaño similar, con el fin de facilitar su manejo y proceso posterior.
- c. Lavado: luego de ser separado y pre picado el plástico reciclado, este es lavado mediante un baño de agua y soda caustica, con la finalidad de eliminar todo tipo de impurezas superficiales, debido a que los residuos plásticos están contaminados generalmente con comida, papel, metal, piedras, polvo, aceite, solventes, pegamento y cualquier otro tipo de suciedad que haya estado en contacto con el plástico que se está reciclando.
- d. Secado: es la parte del proceso donde se elimina el excedente de agua del material plástico pre picado luego de ser lavado. Este proceso puede realizarse mediante un secador centrífugo, al cual se le introduce el material, y luego elimina la humedad por medio de las paredes externas del equipo. Existen procesos que conjugan el lavado con el secado sin embargo la empresa Plásticos R.F.C, C.A, no cuenta con la sección de lavado y secado de plástico reciclado, lo que ocasiona un alto porcentaje de pérdida de plástico

que no puede ser procesado por su estado físico (suciedad y nivel de contaminación).

- e. Cotufado: una vez lavado el material este es molido o fragmentado de nuevo hasta llevarlo a su mínima expresión o tamaño llamado cotufado.
- f. Paletizado: una vez retirada la humedad del material a través del proceso de secado y luego de reducir su tamaño hasta ser cotufado, el plástico reciclado está listo para convertirse en paletizado y ser materia prima de nuevos productos. En este caso se reduce el volumen del material mediante una maquina paletizadora, donde se introduce el material y a través de un aumento de temperatura se produce ablandamiento y posterior unificación del material entre sí, formando una sola masa plástica.

La masa plástica es de forma indefinida por lo que se introduce a un tubo de extrusión donde obtiene forma de espagueti, a este se le disminuye la temperatura con un baño de agua fría y de esta manera solidifica el material, para posteriormente ser fragmentado por una picadora formando el paletizado o pellet plástico (manual operacional plásticos R.F.C., C.A.).

Plásticos R.F.C., C.A. (Plásticos Romero, Freitas, Caguao, C.A.), es una empresa procesadora de plástico reciclado, comprometida con sus clientes a ofrecerles la mejor calidad en sus productos y servicios. En la actualidad tiene una capacidad de procesamiento de 4 toneladas mensuales de plástico reciclado con un 70% de pérdidas que no puede ser procesada debido a las condiciones del material (manual operacional plásticos R.F.C., C.A.).

Una vez conocidos los pasos principales del reciclaje de plástico, se logra identificar que dentro del proceso de la planta de plásticos

R.F.C., C.A. no existe un sistema de lavado del material a reciclar, lo que limita su productividad, reduciendo la calidad del producto final y que podría generar daños en los equipos de producción al manejar materiales para los que no fueron diseñados, dando como resultado mermas o pérdidas debido al tipo de plástico reciclado.

De esta situación surge la necesidad de plantear un sistema de lavado de plástico reciclado, que permita retirar un alto porcentaje de suciedad y contaminación, dejando el plástico limpio y preparado para los procesos de cotufado y paletizado ubicados aguas abajo del sistema de lavado, permitiendo incrementar su capacidad de producción y abastecer otros mercados, captando nuevos clientes y aumentando las ganancias de la empresa.

1.2. Formulación del problema

En virtud de la situación planteada el presente trabajo propone el diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado para dar cumplimiento al paso de limpieza, que permita mejorar el proceso de reciclaje optimizando la calidad de los productos y servicios de la empresa plásticos R.F.C., C.A., y adicionalmente aumentar la producción del procesamiento de plástico reciclado a través de la reducción de mermas o pérdidas que vienen dadas por el tipo de plástico reciclado. Sobre esta base se plantea la siguiente interrogante ¿Cómo favorecerá el diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado la producción de la empresa plásticos R.F.C., C.A.?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un diseño de sistema de lavado de plástico reciclado para la planta de plásticos R.F.C., C.A.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar las capacidades de entrada de plástico reciclado a la planta de plásticos R.F.C., C.A.
2. Analizar las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico reciclado.
3. Determinar las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado.
4. Seleccionar la tecnología más adecuada en relación a sistemas de lavado de plástico reciclado.
5. Proponer un diseñodesistema de lavado de plástico reciclado que alimenta a la planta de plásticos R.F.C., C.A.
6. Analizar la rentabilidad del proyecto.

1.4. Justificación

El desarrollo de esta investigación viene dado por la necesidad de diseñar un sistema de lavado de plástico reciclado, que permita liberar partículas sólidas como, polvo, piedra, papel, comida y cualquier tipo de suciedad adheridas a el plástico que alimenta a la planta de plásticos RFC, C.A., para lograr disminuir las limitaciones de producción y procesamiento de plástico reciclado debido a su estado físico.

Esta propuesta de sistema de lavado de plástico reciclado debe caracterizarse por ser de diseño sencillo, fácil construcción, mantenimiento, operación y bajo costo, que permita incorporar una herramienta altamente lucrativa y eficiente al proceso de producción y favorezca los resultados en el procesamiento de plástico reciclado observado en la calidad de los productos y servicios de la planta de plásticos RFC, C.A.

Este trabajo de investigación permitirá minimizar las interferencias al proceso de paletizado, originadas por la obstrucción de los filtros debido a los niveles de suciedad en la materia prima adquirida para el proceso, que previamente fue sometida a una fase de selección, en este sentido generará un ahorro de costos y a partir de los mismos una mejora en la rentabilidad de la empresa, la limpieza previa de la materia prima impactará de forma directa en la cantidad y calidad de la producción diaria de la empresa plásticos R.F.C., C.A.

Por otra parte, con la implementación de esta propuesta de diseño es posible incorporar de manera inmediata el inventario de materia prima sucia disponible actualmente en los almacenes de la empresa Plásticos R.F.C., C.A., que es de aproximadamente 15 ton; así como ampliar la alimentación de plástico reciclado, sin limitaciones en los niveles de limpieza y reduciendo de manera directa los costos en la compra de materia prima, ya que comprar plástico de origen reciclado limpio origina mayores gastos.

1.5. Alcance

El presente trabajo tiene como finalidad proponer el diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado que permita el aumento de la producción y la mejora de los productos elaborados por la empresa Plásticos RFC, C.A., a través de la reducción de pérdidas de plástico no procesado por su estado físico y la rentabilidad de dicho sistema. No se contempla la construcción ni puesta en marcha del sistema de lavado de plástico reciclado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Una vez planteado el problema de estudio (es decir, cuando ya se poseen objetivos y preguntas de investigación), y cuando además se ha evaluado su relevancia y factibilidad, el siguiente paso consiste en sustentar teóricamente el estudio, etapa que algunos autores llaman elaborar el marco teórico. En este sentido se presenta el compendio de una serie de elementos conceptuales que sirven de base a la indagación por realizar. A continuación, se presentan los elementos conceptuales que sirven de base al presente estudio.

2.1. Antecedentes

Se presentan una serie de estudios que han servido de base fundamental para la realización del presente trabajo de grado.

Cristiano P. (2002), analizó el diseño de una alternativa para la limpieza del plástico reciclado de la basura. Se plantearon tres alternativas de diseño, siendo escogida aquella basada en la rotación de un par de aletas que con ayuda de la presión de agua que llega al material a través de una flauta de ingreso, logran desprender del plástico reciclado la basura sólida. El elemento crítico en este diseño es el eje motor, el cual recibe la energía del sistema motor y transmite la potencia hacia el plástico. Un aspecto interesante del proyecto constituye el diseño de la flauta de ingreso del agua, que se realiza en fase experimental para luego aplicar la ecuación de la continuidad y así obtener el diámetro óptimo para los agujeros de la flauta.

Medina y otros (2001), trabajaron con el diseño de una trituradora (actualmente en vías de construcción) que tendrá la capacidad de triturar entre 2000-4000 kg de PET dependiendo de las horas de trabajo.

Utilizaron la creación de equipos innovadores y eficientes que llevan consigo la mejora del medio ambiente. Los beneficios de este equipo son el de reducir la cantidad de residuo que se acumula en los rellenos sanitarios, reduciendo así los volúmenes del mismo, ya que los materiales plásticos no tienen un peso elevado, pero si ocupan un volumen considerable.

Inche y otros (2004), diseñaron y evaluaron una planta de reciclaje de envases tetra pak a pequeña escala. A partir de la información recopilada, se encontró la ingeniería básica de la planta, incluyendo los aspectos de: diseño del producto, diseño del proceso, diseño de equipos y evaluación económica; a fin de establecer la factibilidad técnica, económica y ambiental para su implementación.

Delgado A. (2005), realizó un estudio sobre los problemas en el reciclaje de película plástica. El objetivo de este proyecto consiste en analizar películas recicladas con diferentes niveles de mezcla, en diferentes sistemas de mezclado con el fin de mejorar la calidad de las películas. Se realizó medición de propiedades mecánicas con el fin de comparar los efectos de los mezcladores y que permita conocer el comportamiento de las principales variables que afectan el proceso de mezcla.

Paris L. y González S. (2009), realizaron un estudio en el que se hace referencia a los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera (polietileno de baja densidad y polipropileno), los cuales se emplean para la elaboración de madera plástica. La caracterización de estos polímeros reciclados determina la importancia que esta tiene como paso inicial en el proceso productivo que impacta directamente las propiedades físico - mecánicas finales del producto. En este documento se presenta el estudio y caracterización de esta materia

prima, para identificar y definir los componentes, mezclas y proporciones para obtener productos con buenas propiedades.

2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas constituyen el corazón del trabajo de investigación, pues es sobre este que se construye todo el proyecto. Una buena base teórica formará la plataforma sobre la cual se construye el análisis de los resultados obtenidos en la investigación, sin ella no se puede analizar los resultados. En esta sección se señalan aspectos referidos a las bases teóricas para sustentar la investigación, específicamente aquellas que poseen relación con reciclaje de plástico y sistemas de lavado de plástico (Pérez, 2010).

2.2.1. Plásticos.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas, denominadas polímeros, que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Según sus propiedades se pueden dividir principalmente en los siguientes tipos:

Polietileno Tereftalato (PET): el PET proviene del etileno, se caracteriza por ser resistentes a aceites, bases, grasas, ácidos y suelen ser usados para cubrir otros elementos como papel o aluminio. Además, se caracterizan por ser duros y rígidos, no deformarse fácilmente ante el calor, resisten pliegues, los esfuerzos, no absorben la humedad y tienen características dieléctricas y eléctricas favorables. El PET es utilizado en la producción de botellas para aceite y gaseosas, en la fabricación de cintas de audio y video, radiografías, etcétera.

Polietileno Alta Densidad (PEAD): el PEAD también se lo obtiene del etileno, utilizado a temperaturas inferiores a los 70° C y a bajas presiones, a comparación con el polietileno tereftalato, es más duro y

rígido. Además, tiene la ventaja de no ser tóxico. Se lo usa en la producción de bolsas, cascos, tuberías, juguetes, entre otras cosas.

Cloruro de Polivinilo (PVC): el PVC es producido a partir de sal y gas, a los que hay que agregarles aditivos para poder ser utilizados. Según lo añadido puede adquirir diversas propiedades, flexibilidad o rigidez, opacidad o transparencia. Este plástico es sumamente utilizado y económico. Es utilizado en la producción de juguetes, envases, envoltorios, películas, electrodomésticos, etcétera.

Polipropileno (PP): el PP se obtiene del propileno. Se caracterizan por su flexibilidad, resistencia mecánica, por no contaminar y poder ser utilizado para el agua potable. Además, son fáciles de arreglar y conservar. Su cristalización es reducida. Se los utiliza para producir cuerdas, pañales descartables, envases, baldes y, como resisten elevadas temperaturas, se los usa para producir tuberías en las que fluyen líquidos calientes.

Poliestireno (PS): se produce a partir del benceno y etileno. Se caracterizan por ser fáciles de taladrar, cortar, manipular y agujerear. Además, son de bajo costo e higiénicos, por lo que se los usa para envases, cubiertos desechables, heladeras portátiles y para la producción de aislante tanto acústicos como térmicos.

Polietileno Baja Densidad (PEBD): el primer polímero comercial del etileno fue el polietileno ramificado, comúnmente denominado material de baja densidad o alta presión. El polietileno llegó a ser en 1959 el primer plástico con una producción superior a los 1000 millones de lb. Se caracteriza por su transparencia, elasticidad y falta de rigidez. Se lo utiliza como aislante en cables eléctricos y para hacer bolsas flexibles y embalajes.

Fuente. Lazzariy López, (2005).

2.2.2. Reciclaje

El reciclaje es un proceso que, por las ventajas que ofrecen algunos desperdicios o componentes de productos fabricados de continuar brindando similares o distintos servicios luego que han cumplido la función para la que han sido originalmente elaborados, sirven para, en alguna medida, recuperar a estos componentes. El material reciclable que se encuentra en la basura, en su mayor parte está constituido de papel, cartón y plástico. Los últimos pueden clasificarse en dos grandes categorías: termoplásticos y termofraguables. Existen cuatro tipos de reciclaje de plásticos: primario, secundario, terciario y cuaternario. Cerro, (1992).

Reciclaje primario: consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos, como el PET, HDPE, LDPE, PP, PS y PVC. Este a su vez tiene cuatro procesos: separación, limpieza, cotufado y paletizado.

Reciclaje secundario: convierte plásticos en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplo de plásticos recuperados por esta forma son los termoestables. Este elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos. La mezcla de plásticos, incluyendo tapas de aluminio, etiquetas de papel y polvo, se muelen y funden juntas dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua, y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

Reciclaje terciario: degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Este tipo de reciclaje es fundamentalmente diferente de los dos primeros mencionados porque involucra un cambio químico no solo un cambio físico. En este reciclaje terciario las largas cadenas del polímero se rompen en pequeños hidrocarburos

(monómeros) o monóxido de carbono e hidrogeno. Hoy en día el reciclaje terciario cuenta con dos métodos principales: pirolisis y gasificación.

Reciclaje Cuaternario: consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, el plástico es usado como un combustible.

Existen tres tipos de clasificación de residuos plástico, según su grado de organización:

- a. **Residuos simples:**plásticos previamente diferenciados por tipos.
- b. **Residuos mixtos:** varios tipos de plástico mezclados.
- c. **Residuos mixtos combinados con otros residuos:** varios tipos de plásticos mezclados y combinados con otros residuos como metal, comida, papel y cartón.

El plástico reciclado posee características particulares asociadas al nivel de contaminación, en base a ello existe el reciclaje primario (pre consumo) o reciclaje secundario (post consumo). El primero de ellos implica la recuperación de los residuos generados por la propia industria o en otras empresas transformadoras y se trata de un reciclado de residuos limpios, no contaminados, y de fácil identificación. En la práctica casi el 100% de estos residuos se recuperan y la calidad de los artículos producidos con esta materia, tiene las mismas propiedades que los fabricados con resinas vírgenes.

El segundo caso, consiste en la transformación de residuos plásticos de productos descartados en los residuos sólidos urbanos y provienen de clasificadores formales o informales, sistemas de clasificación selectiva y depósitos. El material post consumo es parte de la categoría de materiales recuperados. Los plásticos post consumo pueden

provenir de hogares o instalaciones comerciales, industriales e institucionales en su papel de usuarios finales de un producto. Algunas entidades utilizan el término “post comercial” para identificar cantidades importantes de material post consumo, similares o idénticos, de una fuente no doméstica. La utilización de este material requiere un proceso de selección previa ya que el mismo viene en general mezclado con otros materiales.

Esta problemática se reduce cuando la separación de los diversos tipos de materiales se realiza en los propios hogares o comercios, con lo que se evita la contaminación con otros materiales. Otro problema adicional en este tipo de residuos es que, aun cuando puedan separarse de otro tipo de material, los mismos contienen una diversidad de plásticos en función del tipo de resina con la que los mismos se producen. No hay un sistema automático y eficiente de realizar esta separación de plásticos. Un mecanismo que puede ayudar a la mejora en esta tarea es la correcta codificación de los plásticos en función de la resina utilizada en su fabricación mediante el código grabado en el producto, lo que permite a los recicladores identificar y separar los plásticos manualmente.

La recuperación de residuos plásticos post-consumo puede hacerse, a su vez de dos formas: sin separación de los mismos por tipo de resina o separando los residuos plásticos según la identificación de las resinas utilizadas en su elaboración. En el primer caso, el proceso implica el reciclado de los plásticos mezclados. Esta alternativa implica importantes inversiones para obtener productos de alta calidad. La desventaja de este proceso, además, es que con la materia prima que se genera sólo se puede producir una gama limitada de bienes, ya que la materia prima resulta en piezas de espesor relativamente grueso(Miyersy Farrisey,2002).

2.2.3. Sistemas de lavado de plástico

El plástico contaminado debe ser limpiado en un proceso de lavado que garantice la eliminación de los contaminantes y que permita disponer de un material apto para ingresarlo en un equipo de procesamiento para el cual el material es requerido. Los factores que hay que tomar en cuenta en este proceso son: temperatura, tiempo de lavado, naturaleza mecánica del proceso (agitación), la razón de lavado (relación entre el sustrato que debe lavarse y la cantidad del medio lavado), las condiciones de enjuague, así como el grado y tipo de contaminación del material. La gran variedad de combinaciones entre tantos factores, hacen que este proceso sea complejo y para que un proceso de lavado sea eficiente debe ir precedido por un estudio de las condiciones más adecuadas del sistema.

Los sistemas de lavado toman en cuenta los parámetros funcionales (capacidad, efectividad, continuidad, costo) y requerimientos funcionales (montaje, espacio, cantidad de operadores) existiendo entonces 3 tipos de sistemas: sistema de tanques de agua o balsas de lavado y decantación, sistema de agua a presión y sistema de aletas rotatorias. El caso de lavado y decantación tiene como función un pre-lavado por agitación, inmersión y decantación de forma manual por medio de tanques o disponiendo de norias que fuerzan el material a sumergirse en agua hasta que acabe el proceso que se realiza inmediatamente después de la pre-trituración (disminución del tamaño del material a las dimensiones suficientes para realizar un primer tratamiento de lavado o descontaminación (Crisanto, 2002).

En el caso de la técnica de limpieza con chorro de agua a alta presión, consiste en la utilización del agua, como principal herramienta de trabajo, para eliminar cualquier agente contaminante en superficies sólidas. La fuerza de limpieza o corte se debe a que el agua es introducida a una bomba triplex horizontal, de pistones, mediante válvulas

de succión o admisión, donde se comprime y pasa por las válvulas de descarga, hacia un rifle con boquilla de tungsteno, con orificio un orificio de salida, que permite expulsar el agua a altas presiones de trabajo, regulables de 1.000 a 20.000 psi, lo cual posibilita su aplicación en diferentes tipos de trabajo. Esta bomba va acoplada a un potente motor.

Las moléculas de agua salen a altas velocidades, chocando con la superficie y eliminando, a su paso, cualquier contaminante, por duro que sea, de manera profunda, pues a esas presiones las moléculas de agua penetran, desalojan todos los residuos anclados al sustrato y garantizan así un 100% de limpieza. No ocasiona contaminación ambiental. A esto se le agrega los altos rendimientos y la versatilidad de operación, al poder combinar abrasivos y productos químicos para remover fácilmente cualquier contaminante o incrustación de la superficie.

El sistema de aletas rotatorias se basa en un sistema similar a una lavadora de ropa, pero con eje horizontal, en el cual el lavado se basa en el movimiento del plástico provocado por aletas sujetas en eje soportado en un semi tambor horizontal. El agua ingresa a la máquina por su parte superior a través de una flauta. La máquina posee tres sistemas principales (Crisanto, 2002).

- Sistema motor, que incluye el motor, bandas, cadenas, poleas, piñones y rodamientos.
- Sistema de lavado, que incluye un eje (elemento cilíndrico), flauta de ingreso del agua, paletas de lavado, canastilla y rodamientos.
- Carcasa y estructura.

2.2.4. Métodos de limpieza

La limpieza se realiza usando en forma combinada o separada, los métodos físicos y métodos químicos a estos métodos complementa un

factor muy importante la temperatura. Según Sanz (2014), los métodos físicos consisten en el arrastre o retiro de impurezas mediante agua o aire por ejemplo con mangueras a presión o vapor, arena, cepillado, raspado, barrido o aspiración.

Con estos métodos es importante tener cuidado porque pueden producir contaminaciones, por ejemplo, la limpieza a alta presión o el barrido en seco producen aerosoles que pueden mantener a los gérmenes suspendidos en el aire durante cierto tiempo. De acuerdo a las características de los equipos o superficies a limpiar y nivel de pequeña escala, se pueden emplear uno o más de las formas siguientes:

- a. Manual: se elimina la suciedad barriendo, restregando, escobillando y utilizando otros métodos. Para un resultado más efectivo se recomienda remojar en un recipiente con soluciones de detergentes, las piezas desmontables y dispositivos de los equipos, con el fin de desprender la suciedad antes de comenzar a restregar
- b. Pulverización a baja presión y grandes volúmenes: es la aplicación de agua o una solución detergente a baja presión hasta 6.8kg/cm^2 (100lb/pulg^2) y en grandes volúmenes.
- c. Pulverización a alta presión y bajos volúmenes: es la aplicación de agua o una solución detergente a alta presión hasta 68Kg/cm^2 ($1,000\text{lb/pulg}^2$) y en volúmenes reducidos.
- d. Máquinas lavadoras: son utilizadas para la limpieza de materiales o equipos. Realizan la limpieza combinando las formas indicadas arriba y además una vez concluidas desinfectan con agua caliente. Con estas máquinas se pueden obtener buenos resultados, siempre que se aplique un adecuado mantenimiento.

1. Método químico

Consiste en la aplicación de detergentes, que actúan en la suciedad, lo que facilita su dilución o dispersión. Los detergentes son una mezcla de sustancias. Su componente activo posee una parte que puede unirse al agua y otra parte a la grasa, de esta manera remueve fácilmente los residuos grasos.

Existe una gran diversidad de detergente, pero en general para elegir el adecuado se debe tener en cuenta el tipo de residuo a eliminar, la naturaleza del trabajo, la concentración y temperaturas correctas a aplicar, además que no sea corrosivo y compatible con otros materiales. Además, se debe considerar algunos factores como la aplicación de altas temperaturas para eliminar residuos grasos o la combinación de detergentes como por ejemplo para eliminar sedimentación de sales minerales en el equipo y que forma una “costra” especialmente con grasas o proteínas. Los detergentes deberían presentar las siguientes propiedades:

- Completa y rápida solubilidad.
- No ser corrosivo a superficies metálicas.
- Brindar completo ablandamiento del agua o tener capacidad para acondicionar la misma.
- Excelente acción humectante (cubrir la mayor superficie).
- Excelente acción emulsionante de la grasa.
- Excelente acción disolvente de los residuos que se desean limpiar.
- Excelente dispersión o suspensión.
- Excelentes propiedades de enjuague.
- Acción germicida.
- Bajo precio.
- No toxico.

2.2.4.1. Clasificación de detergentes

Detergentes alcalinos: son sustancias que en la escala de pH tiene valores comprendidos entre 8 y 14. Existen en el mercado diversos detergentes alcalinos, a continuación, mencionaremos algunos:

- **Soda Caustica:** remueve la suciedad y saponifica la grasa, también es desinfectante cuando se utiliza en el lavado de botellas. No se recomienda en el lavado de equipos y utensilios por su intensa acción corrosiva. Se considera peligroso para el personal de limpieza.
- **Sesquisilato de sodio:** remueve gran cantidad de materia saponificada. Es efectivo cuando el agua tiene alto contenido de bicarbonato.
- **Fosfato trisódico:** no debe usarse con una solución muy caliente para limpiar aluminio o estaño, ya que puede dañarlos. Luego de usar debe seguir un enjuague minucioso con agua.
- **Carbonato de sodio:** no es un buen agente limpiador cuando se usa solo, su actividad germicida es muy limitada, forma escamas en las aguas duras.
- **Bicarbonato de sodio:** se usa juntamente con los detergentes fuertes por su actividad neutralizante o ajustadora de acidez.
- **Sesquicarbonato de sodio:** tiene excelente propiedad ablandadora del agua. No es muy irritante a la piel.

Detergentes ácidos: tienen un pH menor de 7, se utilizan para remover materiales incrustados en superficies, como óxidos metálicos o sales minerales. Con el uso de detergentes ácidos, alternados con

alcalinos se logra la eliminación de olores indeseables, evitar que los microorganismos adquieran resistencia a los detergentes y disminución de la carga microbiana.

Se utilizan en limpieza específicas, no pueden ser utilizados como detergentes multiuso, entre los más utilizados se encuentran el ácido clorhídrico, nítrico, fosfórico, acético, peracético, cítrico y sulfónico este último actúa en la remoción de escamas en los tanques de almacenamiento, evaporadores, precalentadores, pasteurizadores y equipos similares.

Detergentes tensioactivos: se conoce como agentes humedecedores, desagregan la suciedad de las superficies y la mantienen en suspensión, facilitando su dilución en agua. Estas sustancias se clasifican en los siguientes tres grupos:

- **Agentes abrasivos:** estos compuestos son de ayuda complementaria para remover suciedades extremas y se usan junto a un cepillado adecuado y enjuague con agua a presión.
- **Desengrasantes:** son productos que disuelven restos de grasas y aceites, tanto naturales, como derivados del petróleo, como aceites lubricantes. Contienen alcohol o éter, por ejemplo: dietilenglicol, butoxienatol, propanol, tolueno, benceno, xileno, tricloroetileno, ácido cítrico, ácido acético.
- **Secuestrantes:** son productos que impiden que los minerales cristalicen, precipiten o se incrusten en los materiales con los que contactan. Los más utilizados son EDTA, polifosfatos, gluconatos, citratos y zeolitas.

Tabla 2.1. Uso de detergente según la naturaleza de la suciedad

Composición de la suciedad	Producto de limpieza		
	Familia	Ejemplos de productos	Características principales
azúcares solubles	alcalinos	sosa potasa	solubilizantes saponificante
Carbohidratos	alcalinos		
	productos enzimáticos		hidrolizante desengrasante
Proteínas	alcalinos	sosa potasa	solubilizantes saponificante
	productos enzimáticos	proteasas	hidrolizante desengrasante
materias grasas	tensioactivos	aniónicos catiónicos no iónicos	humectante emulsificante
	productos enzimáticos	lipasas	hidrolizante desengrasante
Minerales	ácidos	clorhídrico nítrico fosfórico	solubilizante
	secuestrantes (quelantes)	EDTA polifosfatos gluconato	secuestrante

Fuente: Placido,(2013).

2.2.4.2. Selección de detergentes

Para elegir un detergente adecuado debe ser en función de la naturaleza de la suciedad a eliminar, como grasa, incrustación caliza, carbohidratos y otros, y del tipo de superficie a limpiar como: cerámica, metal, vidrio, plástico, entre otros, en el siguiente cuadro se observa el uso de detergentes de acuerdo a la naturaleza de la suciedad.

2.2.5. Descripción del proceso de la planta de Plásticos RFC. C.A.

1. Recepción de materia prima

En la empresa Plásticos R.F.C. C.A., se recibe la materia prima a través de los proveedores del material reciclado (generalmente recogido del desperdicio de empresas). Una vez recibida la materia prima y llenado los controles de recepción de material, se hace una primera separación física del plástico que visualmente está más limpio para ser tratado de

inmediato mientras que el sucio se almacena por separado. En la figura 2.1, se visualiza el plástico reciclado almacenado antes del proceso de selección.



Figura 2.1. Material en almacenes de plásticos R.F.C. antes del proceso de selección.

2. Proceso de selección de material

Este proceso en la actualidad lo ejecuta exclusivamente la mano obrera a quienes se les llama seleccionadores. Ellos se encargan de tomar el material más limpio y reducir su tamaño según las exigencias del proceso decotufado, que es el proceso inmediato después de la selección.

Los seleccionadores separan el plástico limpio del plástico sucio, este último lo almacenan mientras que el plástico limpio lo cortan y colocan en sacas de 50 kilos que se preparan y ordenan para alimentar el proceso de cotufado. El plástico sucio también tiene un proceso de

selección y preparación en sacas para ser cotufado pero en menos proporción que el plástico limpio.



Figura 2.2. Método de selección de material

Fuente: Crisanto, (2002)

3. Proceso de cotufado

El proceso se basa en un cilindro con aletas rotatorias que gira. Se lleva a cabo mediante la acción de la fuerza centrífuga ejercida por la fuerza de un motor de 110 hp, las cuchillas rotatorias y el golpe del material contra las cuchillas fijas y las paredes del tambor donde el cotufado es generado por el movimiento de las cuchillas, calentamiento y corte de plástico dejándolo con un tamaño de hojuela pequeño menor a 1 cm.

El plástico previamente seleccionado acompañado de una pequeña cantidad de agua es alimentado a la maquina cotufadora por la parte

superior del tambor. El plástico sale por una compuerta lateral del tambor transformado en partículas muy pequeñas. La figura 2.3, muestra la maquina cotufadora C1 en proceso, dentro de la planta de plásticos R.F.C., C.A.El plástico cotufado se envía hasta la sección de paletizado.



Figura 2.3. Maquina Cotufadora C1 en proceso.

4. Proceso de paletizado

En el proceso de paletizado el plástico previamente cotufadose calienta en una tolva ubicada en la entrada de la maquina paletizadora, una vez caliente pasa a través de un tubo delgado con resistencias que aumentan la temperatura del plástico hasta derretirlo, luego pasa por un filtro o malla para tomar la forma de spaghetti y sale hasta una bandeja de agua donde se enfría. Una vez frío es cortado en trozos muy pequeños llamados pellets.

La figura 2.4 muestra la maquina paletizadora P1 de la empresa Plásticos R.F.C., C.A. Además, se muestra el tablero eléctrico que la

alimenta y la tolva de alimentación de plástico proveniente del proceso aguas arriba, como resultado de la descarga de la cotufadora. Freites y Romero, (2015).



Figura 2.4. Maquina paletizadora P1.

2.2.6. Diseño de planta

Inche et al. (2004), el factor principal que da lugar a la decisión de fabricación de un nuevo producto, o a la expansión o modernización de las condiciones presentes, es generalmente de tipo económico y suele ir acompañado de esta pregunta: ¿Cuáles serán las utilidades de esta inversión? El ingeniero de diseño debe estar en una posición tal que le sea posible dar a la gerencia unos costos de pre construcción estimados, basados en un diseño preliminar de la planta para la fabricación del producto, para que sea posible llegar a una decisión con bases firmes. Este análisis de diseño de planta preliminar incluye:

- Proceso de fabricación.
- Selección del equipo y materiales del proceso.
- Distribución de planta y consideraciones en cuanto a la localización.
- Costo de fabricación.

El diseño de plantas industriales es un trabajo de gestión que involucra todas las ramas de la ingeniería, en el que se aplican los códigos de diseño que se basan no solo en la experiencia sino también en el conocimiento de los expertos y los especialistas, el cual solo es adquirido a través del tiempo y luego de haber ensayado y comprobado reiterativamente los diferentes planes.

Es una actividad que implica un trabajo conjunto entre quienes están encargados directamente de planear todo el proceso ya sea para una Planta nueva ó para la expansión de una ya existente; para el reordenamiento de una planta ó para hacer pequeños reajustes, y quienes estarán en contacto directo con el diseño que se plantee, es decir, los empleados (Rodríguez, 2014).

2.2.7. Rentabilidad

La rentabilidad es una expresión económica de la productividad que relaciona no los insumos con los productos, sino los costos con los ingresos. Es la productividad del capital invertido. Socialmente, sin embargo, el capital natural no se considera dentro de la dotación general de capital manufacturado. La rentabilidad y su evolución es también un elemento importante que puede ser relacionado con otras variables. En la selección de criterios o estrategias de desarrollo, se podrá postular un máximo de rentabilidad absoluta, un máximo de rentabilidad sujeta a restricciones relativas al ambiente y/o a la sociedad, una rentabilidad mínima aceptable y una evolución creciente o decreciente de cualquiera

de los criterios elegidos. Aquí se trata de considerar las señales del mercado, pero también las señales del ambiente y la sociedad como criterio de sostenibilidad (Márquez, 2017).

Estudio de la rentabilidad

El análisis de la rentabilidad permite relacionar lo que se genera a través de la cuenta de pérdidas y ganancias con lo que se precisa, de activos y capitales propios. Los principales ratios que se analizarán dependen de cuatro variables: activo, capitales propios, ventas y beneficio. A través de estas cuatro variables, se pueden obtener los ratios de rendimiento, rentabilidad, margen, apalancamiento y rotación. Así, la rotación, como ya se ha estudiado anteriormente, compara las ventas con el activo. El margen puede medirse dividiendo el beneficio por las ventas. La rentabilidad es la relación entre beneficio y capitales propios. El apalancamiento compara el activo con los capitales propios. El rendimiento es el beneficio dividido por el activo (Márquez, 2017).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se da a conocer el tipo de estudio y de investigación en los que se basa el presente trabajo, además del diseño sistemático de la investigación y la selección de población y muestra que permitirá llevar a cabo el estudio.

3.1. Tipo de estudio y de investigación

De acuerdo con su modalidad, este estudio de investigación se apoya en un proyecto factible conformado por fase de investigación, diagnóstico, procedimiento metodológico, análisis y desarrollo de una propuesta viable apoyada en una investigación de campo, cuya finalidad es proponer el diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado para la planta de plásticos R.F.C, C.A.

Según la estrategia utilizada en la recolección de los datos, el presente trabajo de maestría se clasifica como investigación de campo, en virtud de que los datos son tomados in situ, sin manipular ni controlar variables, a través del plástico que alimenta a la planta RFC. El trabajo de campo es aquel en que el mismo objeto de estudio sirve como fuente de información para el investigador.

Consiste en la observación, directa y dinámica, de cosas, comportamiento de personas, circunstancia en que ocurren ciertos hechos; por ese motivo la naturaleza de las fuentes determina la manera de obtener los datos (Rojas de Narváez, 1997).

3.2. Diseño de la investigación

En esta parte se plantean los procedimientos metodológicos utilizados con el fin de darle solución a los requerimientos planteados en los objetivos del Trabajo.

3.2.1. Identificación de las capacidades de entrada de plástico reciclado a la planta de plásticos R.F.C., C.A.

Para identificar las cantidades y características del plástico reciclado que alimenta la planta, se pesó el plástico recibido a través de los proveedores, y se llenó una base de datos para medir la gestión de entrada de material a la planta de plásticos R.F.C. C.A., que incluye códigos de entrada, fecha, tipo de material recibido, numero de sacas y peso total del material. Utilizando un peso tipo romana con capacidad de 500 kg, se pesó todo el plástico recibido por la empresa durante un periodo de tres meses, estimando recepción diaria de material.

El control de entrada de material se administra a través de una base de datos en hoja de cálculo. La base de datos permite conocer la fecha de entrada de materia, el proveedor del material y la cantidad de plástico que entra a la planta. A través de filtros que posee la hoja de cálculo se puede determinar la cantidad de material que entra semanal y mensualmente.

3.2.2. Análisis de las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico reciclado

Una vez recolectada toda la información inherente a las capacidades de entrada de plástico reciclado, se procedió a determinar visualmente, las características físicas del plástico que alimenta a la planta de Plásticos R.F.C., C.A., para ello fue necesario realizar una identificación de las características físicas y contenido de partículas

sólidas como, polvo, piedra, papel, comida o cualquier tipo de suciedad adherida al plástico que alimenta la planta de plásticos RFC, así mismo hacer una comparación de los tipos de plástico reciclado que alimentan la planta de plásticos RFC, y los niveles de suciedad de cada uno de ellos.

A través de la base de datos para el control de entrada de plástico a la planta, no solo se logró identificar la cantidad de plástico que alimenta la planta, además se contabilizó la cantidad de plástico según sus características físicas a través del aprovechamiento del proceso de selección realizado por los trabajadores de la planta, con la finalidad de verificar y medir la cantidad y el porcentaje de plástico limpio y sucio que alimenta la planta. De esta forma se discriminó el plástico según el nivel de contaminación.

3.2.3. Determinación de las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado

Para este objetivo, basado en la determinación de las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado fue necesario experimentar a través de escala piloto con un prototipo de lavadora casera para determinar las condiciones del lavado. Para realizar los ensayos de lavado fue necesario determinar las condiciones del lavado definiendo el método de limpieza, el uso de detergentes permitidos y adecuados en el protocolo de lavado de plástico.

Para el prototipo de lavadora a escala piloto se utilizó una lavadora que es un aparato electromecánico. Cuenta con un tambor central grande con orificios que gira mientras se le introduce agua, haciendo que se mezcle el detergente en este caso con el plástico sucio. El movimiento del tambor se hace mediante un motor eléctrico situado debajo del tambor y comunican la tracción por poleas o correas. El motor de conducción directa (Direct Drive) forma una unidad con el tambor y le transmite directamente la tracción, produciendo muy poco ruido y vibración.

Para realizar los ensayos de lavado de plástico a través de escala piloto con un prototipo de lavadora casera, fue necesario determinar las condiciones del lavado definiendo el método de limpieza, el uso de detergentes permitidos y adecuados en el protocolo de lavado de plástico y finalmente fue seleccionado el prototipo de lavadora específico que se utilizó para el ensayo que se observa en la figura 3.1.

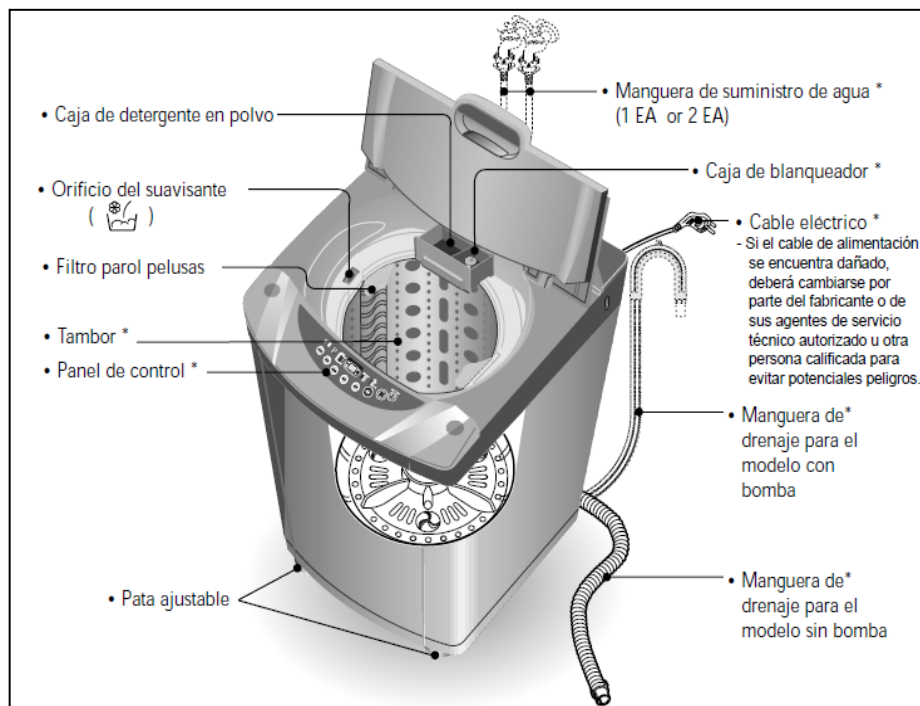


Figura 3.1. Prototipo de lavadora utilizada para los ensayos de lavado de plástico.

A continuación se describen las características de la lavadora utilizada para el ensayo a escala piloto:

- Voltaje y frecuencia: 120 V ~ 60 Hz
- Salida del motor: 150 W (130 W)
- Potencia nominal: 530 W (500 W)
- Rango de presión de alimentación de agua: 30 - 800 kPa

- Peso del producto: 43,00 kg.
- Dimensiones: 611 (anchura) * 635 (profundidad) * 997 (altura) mm
- Cantidad de consumo de agua estándar: 86 L.
- Capacidad de lavado: 11,00 kg.

En función a los niveles de contaminación del plástico que alimenta la planta y considerando las exigencias de limpieza requeridos por los procesos de cotufado y paletizado, existentes agua abajo del sistema de lavado, el ensayo se realizó a través del método de limpieza químico mediante la utilización de detergentes y físico con una lavadora de ropa casera, que consistió en el arrastre o retiro de impurezas adheridas al plástico, mediante agua, batido, enjuagado y centrifugado.

Para la selección del detergente adecuado se consideró el tipo de contaminante o impureza a eliminar, tratándose de polvo, arena, grasa, sales minerales, papel, comida y cualquier otro tipo de contaminante adherido al plástico. Se estudió especialmente el bicarbonato de sodio que se usa juntamente con los detergentes fuertes por su actividad neutralizante o ajustadora de acidez, que tiene excelente propiedad ablandadora del agua además no es muy irritante a la piel y se valoraron los desengrasantes, que son productos que disuelven restos de grasas y aceites, tanto naturales, como derivados del petróleo, como aceites lubricantes y contienen alcohol o éter por ejemplo: dietilengicol, butoxienatol, propanol, tolueno, benceno, xileno, tricloroetileno, ácido cítrico, ácido acético.

La tabla 3.1 muestra las condiciones bajo las cuales se realizaron los ensayos de lavado de plástico, considerando constantes fijas como salida del motor 150 W (130W), un (1) kg. De carga de plástico y 30 litros de agua. Los ensayos se realizaron usando variables de tiempo de 1, 3 y 5

minutos y variables de mezcla de detergente como agua sola, agua con 60 mL de desengrasante y agua con 10 gramos de bicarbonato de sodio, para un total de 12 ensayos, enfocados principalmente en la obtención de un lavado eficiente.

Tabla 3.1. Variables de ensayo de lavado de plástico.

# de prueba	variables	
	Tiempo / Minutos	Mezcla agua-detergente
1	1	30 Litros de agua sola
2	1	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante
4	1	30 Litros de agua + 10 gramos de Bicarbonato de Sodio
5	3	30 Litros de agua sola
6	3	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante
8	3	30 Litros de agua + 10 gramos de Bicarbonato de Sodio
9	5	30 Litros de agua sola
10	5	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante
12	5	30 Litros de agua + 10 gramos de Bicarbonato de Sodio

3.2.4. Selección de la tecnología más adecuada en relación a sistemas de lavado de plástico reciclado

En función a los niveles de contaminación del plástico que alimenta la planta y considerando las exigencias de limpieza requeridos por los procesos agua abajo del sistema de lavado, se determinan los requisitos y requerimientos de limpieza del sistema. La cantidad y calidad de plástico sucio que alimenta la planta determina la exigencia del sistema en relación a capacidad y eficiencia de lavado exigido, es decir la cantidad de remoción de basura solida adherida al plástico reciclado, la metodología de trabajo y los costos. Se analizaron los sistemas de lavado de plástico considerados como alternativas de diseño, considerando sus ventajas y desventajas, tomando en cuenta criterios de costo de construcción,

operatividad, calidad de lavado, continuidad de trabajo, mantenimiento y otros. Osorio y Orejuela, (2008).

La selección de la alternativa más eficiente se realizó a través del proceso de análisis jerárquico (AHP), el cual es un método de selección basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final consiste en optimizar la toma de decisión (Saaty, 1980). Esta metodología se utiliza para resolver problemas en los cuales existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la opción más conveniente. Las decisiones por tomar con el uso de esta técnica pueden variar desde simple decisiones personales y cualitativas hasta escenarios de decisiones muy complejas y totalmente cuantitativas.

La metodología AHP es una herramienta de toma de decisiones multi-criterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. La técnica AHP ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permiten la jerarquización de los diferentes aspectos (criterios) evaluados. En su apéndice matemático el AHP se presenta en cinco axiomas:

1. Axioma 1: referente a la condición de juicios recíprocos: La intensidad de preferencia de A_i/A_j es inversa a la preferencia de A_j/A_i .
2. Axioma 2: referente a la condición de homogeneidad de los elementos: Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud.
3. Axioma 3: referente a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente de reaprovechamiento. Dependencia en los

elementos de dos niveles consecutivos en la jerarquía y dentro de un mismo nivel.

4. Axioma 4: referente a condición de expectativas de orden de rango: Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

El proceso de análisis jerárquico propone ejecutar los siguientes pasos:

- a) Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos. La jerarquización se estructura en diferentes niveles: iniciándose en el tope con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, luego se definen los niveles intermedios (criterios y sub-criterios a evaluar) y finalmente, en el nivel más bajo se describen las alternativas a ser comparadas.
- b) Evaluar (pesar) los diferentes criterios, sub-criterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel. Criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos, la técnica AHP utiliza simples comparaciones (apareadas - pairwise) para determinar los pesos y evaluarlos.

De esta forma el analista puede concentrarse en sólo dos criterios al mismo tiempo. De hecho, la técnica AHP está basada en la suposición de que el analista (decisor) puede de forma más fácil elegir un valor de comparación que un valor absoluto. Los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación.

Posteriormente, en una matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz,

demuestra matemáticamente que el autovector normalizado calculado a partir de la matriz es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado.

Tabla 3.2.Escala de preferencias.

Planteamiento verbal de la preferencia o Juicio	Valoración
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Fuente. Osorio y Orejuela, (2008).

- c) La técnica AHP permite al analista evaluar la congruencia de los juicios con el radio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una $n \times n$ matriz de juicios, donde CI viene definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad 3.1$$

Donde $\lambda_{m\acute{a}x}$ es el máximo autovalor de la matriz. De esta forma IR es definido por:

$$I_r = \frac{CI}{RI} \quad 3.2$$

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una $n \times n$ matriz. Los valores de RI son mostrados en la tabla siguiente:

Tabla 3.3. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Fuente. Osorio y Orejuela, (2008).

Los juicios pueden ser considerados aceptables si IR es inferior o igual 0,1. En casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente repetido. Inconsistencias superiores a 0,1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados.

- d) Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes. Para cada alternativa (opciones a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia (jerarquización) sobre una escala entre 0.0000 – 1.000, obteniéndose como resultado alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados.

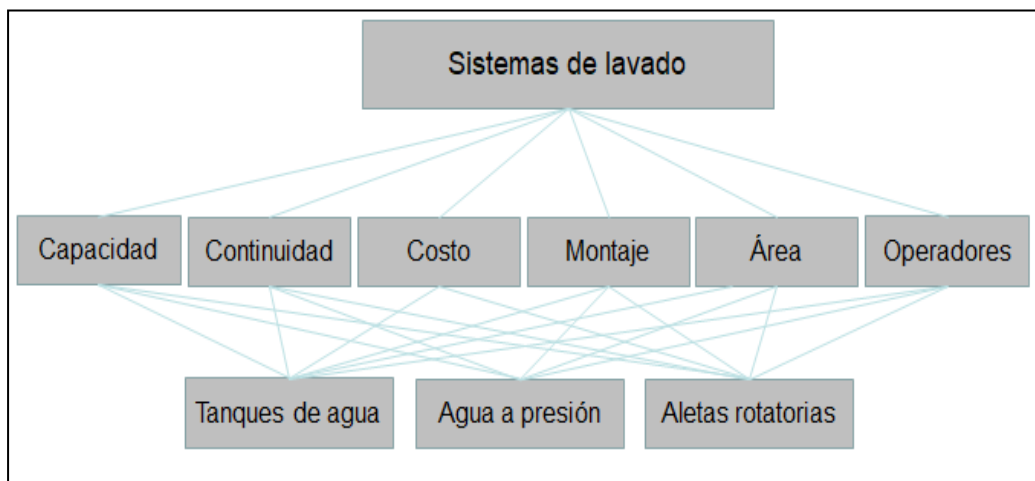


Figura 3.2. Árbol de Jerarquía para el problema planteado

Fuente. Osorio y Orejuela, (2008).

3.2.5. Propuesta de diseño de sistema de lavado de plástico reciclado que alimenta a la planta de plásticos R.F.C., C.A.

Una vez seleccionada la alternativa más viable se diseñó el sistema de lavado de plástico reciclado de conformidad y en concordancia con la alternativa seleccionada, estudiando los equipos y materiales involucrados para el diseño del sistema, se presenta un esquema de la concepción de la máquina enfocado en cumplir con la capacidad de lavado impuesta en los parámetros funcionales. Se realiza un esquema de la vista frontal y lateral del sistema de lavado de plástico según la alternativa seleccionada.

De acuerdo a las necesidades de la empresa Plásticos R.F.C., C.A. se propone un sistema de lavado que permita transportar, picar, enjuaga, lavar, y secar el plástico a reciclar dejándolo limpio y en las condiciones óptimas para ser sometido al proceso de cotufado y paletizado. Permitiendo aumentar la capacidad de producción instalada al utilizar la mayor cantidad de plástico recibido de sus proveedores. Iniciando con una cinta transportadora que permita ingresar el material al sistema, pasando por el proceso de predicado y liberación de polvo, tanque de decantación, lavado, centrifugado y secado de material enfocado principalmente en la eficiencia de lavado.

La propuesta considera que todas sus secciones cuenten con tableros eléctricos de forma independiente para dar seguridad al sistema, garantizar la flexibilidad operacional y conservar la vida útil de los equipos.

3.2.6. Análisis de la rentabilidad del proyecto.

Una vez seleccionada la alternativa más viable y diseñada la propuesta de diseño del sistema de lavado de plástico reciclado, se realizará un listado de equipos y materiales necesarios para el diseño,

con la finalidad de realizar una estimación de costos del diseño. Es necesario mencionar que para la estimación de costos se contempla la utilización de materiales reutilizados o recuperados dentro de la misma planta, tales como, acero, cadenas, cable, motores y otros.

Posteriormente una vez conocida la capacidad de lavado del diseño seleccionado y conociendo el estimado del aumento de la producción, se procederá a evaluar la rentabilidad del proyecto, en función a la estimación de costos y el retorno de la inversión. Para la rentabilidad del proyecto se tomará en cuenta lo siguiente:

Indicadores financieros: son ecuaciones matemáticas que proporcionan puntos de referencia desde los cuales es posible evaluar la rentabilidad o seguridad que brinda una inversión permitiendo comparar diferentes alternativas de negocios. Los indicadores financieros a ser considerados en la evaluación económica de programas y proyectos se presentan en la tabla 3.4:

Tabla 3.4. Propuestas generadoras de ingresos

Propuestas Generadoras de Ingresos
Valor Presente Neto (VPN)
Tasa Interna de Retorno (TIR)
Eficiencia de la Inversión (EI)
Tiempo de Pago Dinámico (TPD)

Fuente. Márquez, (2017).

Los indicadores financieros de las propuestas deberán ser calculados a costo total y a costo remanente. Los indicadores a costo total son calculados a partir del primer desembolso del programa/proyecto, mientras que los de costo remanente solo consideran los desembolsos realizados a partir del año base inclusive.

Valor presente neto: es el valor actual de todos los flujos de caja netos esperados, descontados al año base. Para el cálculo de los valores

presentes (VP), se deberán descontar los flujos de caja de los años posteriores al año base, utilizando la tasa de descuento; que es la tasa que representa el valor al cual el inversionista está dispuesto a arriesgar su capital. No se descontará el flujo de caja del año base (período cero/año del presupuesto). Este cálculo lo realiza automáticamente el sistema SEE. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$VPN = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \rightarrow VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad 3.3$$

Donde:

FC_t =Flujo de caja o inversión del año n (periodo 0, periodo 1, periodo n)

n = Año

i = Tasa de descuento

t =Tiempo de flujo de caja

Tasa interna de retorno: toda propuesta de inversión que genere ingresos debe tener una tasa interna de retorno (TIR). La tasa interna de retorno es aquella tasa de interés que hace el valor presente neto igual a cero, es decir que iguala los flujos de ingresos y egresos con la inversión inicial.

Eficiencia de la inversión: mide el retorno de la inversión realizada en valor del año base por cada unidad monetaria invertida. Para el cálculo de la eficiencia de la inversión, se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$EI = \frac{VPN}{VP(INVERSIONES)} \quad 3.4$$

Donde:

VPN = valor presente neto del programa/proyecto

VP (INVERSIONES)= valor presente de las inversiones UNIDADES

Tiempo de pago dinámico: tiempo necesario para que la suma de los flujos netos anuales descontados, sean igual a la inversión. La operación consiste en restar las inversiones del proyecto llevadas al año base, del flujo de caja descontado de cada año hasta que la diferencia sea igual a cero. El resultado se medirá en años contados a partir del primer año de operación del proyecto (Márquez,2017).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se explica en detalle todos los resultados alcanzados durante el desarrollo de este trabajo especial de grado; identificación de las capacidades y características físicas del plástico que alimenta la planta de plásticos R.F.C., C.A., determinación de las condiciones y selección de tecnología en relación a sistemas de lavado de plástico, propuesta de diseño de sistema de lavado de plástico reciclado para la planta de plásticos R.F.C., C.A., y análisis de la rentabilidad del proyecto.

4.1. Identificación de las capacidades de entrada de plástico reciclado a la planta de plásticos R.F.C., C.A.

La empresa plásticos R.F.C., C.A. mide y controla la entrada de plástico reciclado a través de una base de datos dinámica, que discrimina cada cliente según un código único de proveedor, adicionalmente describe los datos del proveedor, así como información administrativa, geográfica, de producción y procesos.

En la actualidad la empresa cuenta con siete proveedores fijos de plástico reciclado, y otros proveedores que suministran plástico de forma continua e intermitente. El suministro se realiza de forma semanal, quincenal o mensual y en cantidades altas, medianas o bajas, según compromisos acordados. El proveedor Vertedero la Guasima es el principal proveedor con el que cuenta Plásticos R.F.C., C.A., suministrando plástico semanalmente en altas cantidades alcanzando un total de 5.000 kg mensuales de plástico reciclado que proviene del principal vertedero de basura del estado Carabobo. Generalmente las

características de este plástico son sucios y con coloración visualmente oscura, proveniente de vertederos.

Los proveedores Plásticos El Tigre, C.A. y Colombiana de Plásticos, C.A., respectivamente, se encuentran en la categoría de tipo de suministro mediano, entregando un promedio de 2000 kg de plástico reciclado al mes. Las características de este plástico generalmente es limpio sin observación de contaminantes como grasa, papel, polvo ni comida y su coloración es visiblemente clara o limpia, es un plástico de post consumo.

Los proveedores de plástico reciclados denominados C.C. La Granja, Pinturas Sherwin Williams, Farmacias Bienstar, C.A., El Mar de las Cerámicas, C.A. y otros, se encuentran en la categoría de tipo de suministro bajo, entregando un promedio de 200 kg de plástico reciclado al mes. Las características de este plástico generalmente es limpio, es un plástico de post consumo

La tabla 4.1 denominada Historial de producción, muestra el control de entrada de plástico, relacionado al tipo y cantidad de material durante los tres meses de evaluación, destacando que los datos no han sido manipulados de forma alguna y constituyen el control de entrada de material de la empresa Plásticos R.F.C. C.A., durante los meses Diciembre 2016, Enero 2017 y Febrero 2017.

En el mes de Diciembre 2016 la entrada de material dio lugar a 10.070 kg de plástico reciclado mezclado entre plástico sucio y plástico limpio, distribuidos de la siguiente manera: 6800 kg de plástico sucio con alto nivel de contaminación, que equivale al 68% del total recibido en el mes y 3270 kg que equivale al 32% del total recibido en el mes, destacando que este plástico es limpio de post consumo con bajo nivel de contaminación.

Tabla 4.1. Historial de producción – tipo y cantidad de material recibido.

FECHA DE SALIDA DE MATERIAL			PROVEEDOR	DATOS DE MATERIAL DE ENTRADA	
CODIGO DE ENTRADA	FECHA DE ENTRADA	MES DE ENTRADA	NOMBRE EMPRESA PROVEEDOR	TIPO DE MATERIAL DE RECIBIDO	CANTIDAD DE MATERIAL EN KG
RFC-E16242	26/12/2016	DICIEMBRE	PLASTICOS EL TIGRE, C.A.	LIMPIO	2000
RFC-E16241	26/12/2016	DICIEMBRE	OTROS	SUCIO	500
RFC-E16240	26/12/2016	DICIEMBRE	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	1000
RFC-E16239	23/12/2016	DICIEMBRE	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1000
RFC-E16238	23/12/2016	DICIEMBRE	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	150
RFC-E16237	23/12/2016	DICIEMBRE	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E16236	23/12/2016	DICIEMBRE	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	110
RFC-E16235	23/12/2016	DICIEMBRE	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	80
RFC-E16234	19/12/2016	DICIEMBRE	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	500
RFC-E16233	16/12/2016	DICIEMBRE	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	500
RFC-E16232	16/12/2016	DICIEMBRE	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	50
RFC-E16231	16/12/2016	DICIEMBRE	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	85
RFC-E16230	16/12/2016	DICIEMBRE	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	115
RFC-E16229	16/12/2016	DICIEMBRE	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	130
RFC-E16228	12/12/2016	DICIEMBRE	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	900
RFC-E16227	09/12/2016	DICIEMBRE	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	900
RFC-E16226	09/12/2016	DICIEMBRE	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E16225	09/12/2016	DICIEMBRE	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	90

Continuación

FECHA DE SALIDA DE MATERIAL			PROVEEDOR	DATOS DE MATERIAL DE ENTRADA	
CODIGO DE ENTRADA	FECHA DE ENTRADA	MES DE ENTRADA	NOMBRE EMPRESA PROVEEDOR	TIPO DE MATERIAL DE RECIBIDO	CANTIDAD DE MATERIAL EN KG
RFC-E16224	09/12/2016	DICIEMBRE	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	90
RFC-E16223	09/12/2016	DICIEMBRE	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	170
RFC-E16222	05/12/2016	DICIEMBRE	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	500
RFC-E16221	02/12/2016	DICIEMBRE	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1000
RFC-E17022	30/01/2017	ENERO	PLASTICOS EL TIGRE, C.A.	LIMPIO	2100
RFC-E17021	30/01/2017	ENERO	OTROS	SUCIO	550
RFC-E17020	28/01/2017	ENERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	950
RFC-E17019	27/01/2017	ENERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1200
RFC-E17018	23/01/2017	ENERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E17017	23/01/2017	ENERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	110
RFC-E17016	23/01/2017	ENERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	100
RFC-E17015	23/01/2017	ENERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	100
RFC-E17014	20/01/2017	ENERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	500
RFC-E17013	20/01/2017	ENERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	450
RFC-E17012	16/01/2017	ENERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	50
RFC-E17011	16/01/2017	ENERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E17010	16/01/2017	ENERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	100
RFC-E17009	16/01/2017	ENERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	150
RFC-E17008	13/01/2017	ENERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	800
RFC-E17007	13/01/2017	ENERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	900
RFC-E17006	09/01/2017	ENERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	80
RFC-E17005	09/01/2017	ENERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	110
RFC-E17004	09/01/2017	ENERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	70
RFC-E17003	09/01/2017	ENERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	190
RFC-E17002	07/01/2017	ENERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	470

Continuación

FECHA DE SALIDA DE MATERIAL			PROVEEDOR	DATOS DE MATERIAL DE ENTRADA	
CODIGO DE ENTRADA	FECHA DE ENTRADA	MES DE ENTRADA	NOMBRE EMPRESA PROVEEDOR	TIPO DE MATERIAL DE RECIBIDO	CANTIDAD DE MATERIAL EN KG
RFC-E17001	06/01/2017	ENERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1050
RFC-E17045	28/02/2017	FEBRERO	PLASTICOS EL TIGRE, C.A.	LIMPIO	2100
RFC-E17044	27/02/2017	FEBRERO	OTROS	SUCIO	550
RFC-E17043	24/02/2017	FEBRERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	950
RFC-E17042	24/02/2017	FEBRERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1050
RFC-E17041	24/02/2017	FEBRERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E17040	24/02/2017	FEBRERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	110
RFC-E17039	20/02/2017	FEBRERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	100
RFC-E17038	20/02/2017	FEBRERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	100
RFC-E17037	18/02/2017	FEBRERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	500
RFC-E17036	17/02/2017	FEBRERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	450
RFC-E17035	13/02/2017	FEBRERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	50
RFC-E17034	13/02/2017	FEBRERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	100
RFC-E17033	13/02/2017	FEBRERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	100
RFC-E17032	13/02/2017	FEBRERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	150
RFC-E17031	11/02/2017	FEBRERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	800
RFC-E17030	10/02/2017	FEBRERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	900
RFC-E17029	06/02/2017	FEBRERO	EL MAR DE LAS CERAMICAS, C.A.	LIMPIO	80
RFC-E17028	06/02/2017	FEBRERO	FARMACIAS BIENSTAR, C.A.	LIMPIO	110
RFC-E17027	06/02/2017	FEBRERO	PINTURAS SHERWIN WILLIAMS	LIMPIO	70
RFC-E17026	06/02/2017	FEBRERO	C.C. LA GRANJA	LIMPIO	190
RFC-E17025	03/02/2017	FEBRERO	COLOMBIANA DE PLASTICOS, C.A.	SUCIO	470
RFC-E17024	03/02/2017	FEBRERO	VERTEDERO LA GUASIMA	SUCIO	1050

Durante el mes de enero del año 2017, la empresa alcanzo un total de entrada de plástico reciclado de 10.230 kg. El 67% del plástico recibido correspondió a plástico sucio y contaminado proveniente de vertederos y el 33% correspondió a plástico limpio de post consumo industrial proveniente de empresas, mercado, farmacias, etc. Es evidente que la cantidad de plástico sucio recibido supera la cantidad de plástico sucio, justificando y haciendo necesario el proceso de lavado de plástico como principal paso en el reciclado de plástico, para alcanzar niveles óptimos de limpieza, descontaminación y homogenización del plástico en el proceso de reciclaje.

Durante el mes de febrero del año 2017, la empresa alcanza un total de entrada de 10.080 kg de plástico reciclado, distribuido en 66% de plástico sucio y contaminado proveniente de vertederos y 34% correspondió a plástico limpio de post consumo industrial.

En la evaluación realizada a través de la base de datos para el control de entrada de plástico reciclado, según tabla 4.1 denominada historial de producción, se manifiestan las cantidades de plástico reciclado que alimenta la planta alcanzando un promedio de 10.000 Kg mensuales.

4.2. Análisis de las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico reciclado

La tabla 4.1 denominada historial de producciónse, también muestra las cantidades de plástico recibido durante los tres meses de estudio discriminado visualmente según el tipo de plástico y su nivel de contaminación, mostrando un 30% de plástico limpio del total recibido y evidenciando que las cantidades de plástico sucio superan las cantidades de plástico limpio que recibe la planta. A través de este resultado se evidencia que el 70% de plástico sucio que alimenta la planta es equivalente a las limitaciones en el procesamiento del plástico reciclado,

puesto que el plástico altamente contaminado requiere indispensablemente ser sometido al proceso de lavado del plástico el cual se realiza aguas arriba del procesos de cotufado y paletizado, pues es el principal proceso en la cadena de procesamiento de plástico reciclado.

Esta diferencia en los porcentajes de plástico sucio y limpio que alimenta la planta con una relación 70-30, demuestra la competencia de la empresa con respecto a su proceso medular que es el reciclaje de plástico y deja en evidencia la necesidad de incorporar un sistema de lavado de plástico que cumpla con las exigencias de lavado y se ajuste a las necesidades de la planta.

4.3. Determinación de las condiciones necesarias para el lavado de plástico reciclado

La tabla 4.2, denominada variables de ensayo de lavado de plástico, define las consideraciones del ensayo enfocado principalmente en la eficiencia del lavado, puntualizando las variables de tiempo y mezcla de detergente, usando agua con bicarbonato de sodio, agua con desengrasante y agua sola. Es importante destacar que los resultados arrojados por los ensayos de lavado, son totalmente físicos, obtenidos por la evaluación visual de las características del plástico (cantidad de sucio, color, y visualización de partículas contaminantes adheridas al material).

Los ensayos de lavado de plástico durante 1 minuto con las tres mezclas de detergente establecidas, arrojaron como resultado, después de la inspección visual realizada al material lavado, que éste proceso durante un periodo tan breve es ineficiente para las tres mezclas de detergente, debido a que material permanece sucio después de un minuto de lavado.

Tabla 4.2. Resultados de ensayos de lavado de plástico

# de ensayo	Variables		Resultado Visual
	Tiempo Minutos	Mezcla de detergente	
1	1	30 Litros de agua sola	Sucio
2	1	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante	Limpio
3	1	30 Litros de agua + 10 gramos de bicarbonato de Sodio	Limpio
4	3	30 Litros de agua sola	Sucio
5	3	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante	Limpio
6	3	30 Litros de agua + 10 gramos de bicarbonato de Sodio	Limpio
7	5	30 Litros de agua sola	Sucio
8	5	30 Litros de agua + 60 mL de desengrasante	Limpio
9	5	30 Litros de agua + 10 gramos de bicarbonato de Sodio	Limpio

Los ensayos de lavado de plástico durante 1 minuto con las tres mezclas de detergente establecidas, arrojaron como resultado, después de la inspección visual realizada al material lavado, que éste proceso durante un periodo tan breve es ineficiente para las tres mezclas de detergente, debido a que material permanece sucio después de un minuto de lavado.

Sí bien, en el caso del material lavado sólo con agua no hubo ninguna mejora en sus condiciones físicas, en las cargas lavadas con desengrasante y bicarbonato de sodio se observaron mejoras con respecto a sus condiciones iniciales pero de igual manera se obtuvo como resultado un plástico sucio que no cumple con los parámetros de limpieza

establecidos por la empresa de plásticos R.F.C., C.A. como se puede observar en la figura 7.



Figura 4.1. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 1 minuto.

Los resultados de los ensayos de lavado de plástico durante 3 minutos fueron más prometedores con la utilización de desengrasante y bicarbonato de sodio, pero no así para el uso de agua sola. El desprendimiento de las partículas de arena, piedra, papel, comida y otros contaminantes fue mucho mayor durante éste período de tiempo con el uso de detergentes. En el caso del agua sola no se observó ningún cambio y la condición del plástico es sucio manteniendo sus condiciones físicas con el aumento del tiempo de lavado como se observa en la figura 4.2. Sin embargo el plástico resulto limpio a través del lavado con desengrasante y bicarbonato de sodio durante 3 minutos.



Figura 4.2. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 3 minutos.

En el ensayo de lavado de 1 kg de plástico durante 5 minutos con 30 litros de agua y 10 gramos de bicarbonato de sodio, se observó mayor eficiencia del lavado del material utilizando éste detergente y se visualizó un ligero aclaramiento en el color del plástico durante éste tiempo de prueba.

Para el ensayo de lavado de 1 kg de plástico con 30 litros de agua y 60 mL de desengrasante durante 5 minutos el plástico se observó que presentaba las características necesarias de limpieza para continuar al proceso de cotufado y paletizado, pero para la misma cantidad de tiempo y utilizando solamente agua los resultados fueron negativos observándose que el plástico continuaba teniendo grandes cantidades de suciedad como se muestra en la figura 4.2.

Después del desarrollo de los ensayos de lavado de plástico a través de las constantes y variables definidas, resultó que la eficiencia del lavado con bicarbonato de sodio y desengrasante cumple con los parámetros de limpieza exigido por los procesos de cotufado, paletizado y extrusión ubicados aguas debajo de sistema de lavado, incluso la eficiencia del lavado se observó a partir del primer minuto de lavado.



Figura 4.3. Resultado de lavado de plástico con las diferentes mezclas de detergente durante 5 minutos.

De acuerdo a las necesidades de la empresa y a los resultados de los ensayos realizados, se determinó que la relación de lavado óptimo es de un gramo de bicarbonato de sodio por cada tres litros de agua (1/3 bicarbonato de sodio-agua), a partir del primer minuto de lavado. Esta relación mostró resultados parecidos al ensayo de lavado con desengrasante y adicionalmente sumo la ventaja de aclarar el material lavado.

4.4. Selección de la tecnología más adecuada en relación a sistemas de lavado de plástico reciclado

El plástico contaminado debe ser limpiado en un proceso de lavado que garantice la eliminación de los contaminantes y que permita disponer de un material apto para ingresarlo en un equipo de procesamiento para el cual el material es requerido. Los factores que hay que tomar en cuenta en este proceso son: tiempo de lavado, naturaleza mecánica del proceso (agitación), la razón de lavado (relación entre el sustrato que debe lavarse y la cantidad del medio lavado), las condiciones de enjuague, así como el grado y tipo de contaminación del material.

La gran variedad de combinaciones entre tantos factores, hacen que este proceso sea complejo y para que un proceso de lavado sea eficiente debe ir precedido por un estudio de las condiciones más adecuadas del sistema. Tomando en cuenta lo anterior se plantearon tres alternativas de lavado, considerando:

Sistema de lavado de plástico mediante tanques de agua o balsas de decantación.

En este sistema el plástico prepicado se introduce de forma manual por diferentes tanques de agua que contenga el sistema para remover el sucio adherido al material. El material pasa por los tanques tantas veces sea necesario, hasta que se observe limpio. Por el proceso de

decantación experimentado en los tanques, el material lavado en este tipo de sistemas disminuye la probabilidad de arrastre de materiales metálicos a los procesos aguas abajo del sistema de lavado lo que se traduce en conservación de la vida útil de los equipos de proceso.

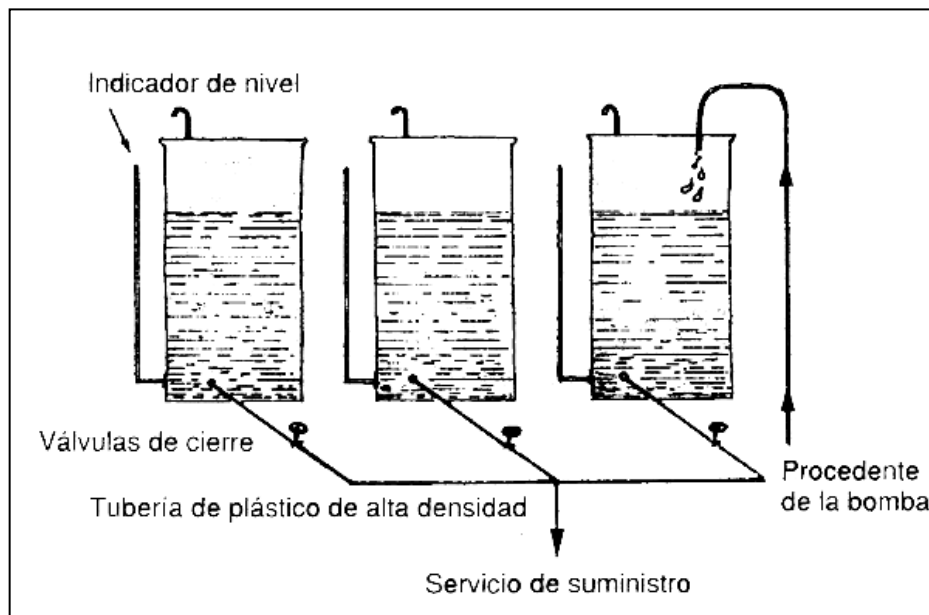


Figura 4.4. Sistema de lavado de plástico mediante tanques de agua o balsas de decantación (Crisanto, 2002).

Sistema de lavado de plástico mediante agua a presión

En el sistema de lavado de plástico a presión de agua, el material ingresa a una cinta transportadora dentro de una carcasa con entrada de agua a presión a través de la fuerza de una bomba industrial. La carcasa contiene internamente ductos perforados con orificios pequeños por donde sale el agua a presión que golpea el plástico constantemente liberándolo de las partículas contaminantes adheridas. Las carcasas tienen longitudes estándar, a mayor longitud y menor velocidad de la cinta transportadora, el plástico tiene más contacto con el agua a presión garantizando la eficiencia de lavado. Este sistema también es llamado lavadora túnel.



Figura 4.5. Sistema de lavado de plástico a través de agua a presión (Crisanto 2002).

Sistema de lavado de plástico mediante aletas rotatorias

El sistema de aletas rotatorias se lleva a cabo mediante la acción de la fuerza centrífuga ejercida por el movimiento y giro de las cuchillas rotatorias, al golpe del material con las paredes del tambor y la alimentación de agua a presión. Estos elementos actúan constantemente durante un período corto de 3 a 5 minutos aproximadamente asegurando la mayor eficiencia de lavado.

Cuenta con un tambor de lavado fijado a una base de vigas de acero. En la parte superior cuenta con una tapa anti derrames, removible para facilitar el mantenimiento de la máquina y una ventana de verificación de manera que se pueda monitorear el correcto funcionamiento del sistema de lavado. En el interior del tambor, en la parte superior, se encuentra la flauta dispensadora de agua a presión y en

la superficie interna del cilindro de lavado se encuentran 3 láminas helicoidales que garantizan el flujo de material en el fondo de la sección evitando derrame de material y garantizado la eficiencia del lavado.



Figura 4.6. Sistema de lavado de plástico mediante aletas rotatorias.

Fuente. Crisanto, (2002).

Reconociendo los parámetros funcionales de cada sistema de lavado, se analizaron sus ventajas y desventajas, tomando en cuenta criterios como: costo de construcción, operatividad, calidad de lavado, continuidad de trabajo, mantenimiento y área de funcionamiento requerida. La máquina a seleccionar debe cumplir con los requisitos indicados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Requisitos funcionales de la maquina a diseñar.

Parámetros funcionales	Requerimientos funcionales
Capacidad de lavado de 200 kg/día	Facilidad de montaje y desmontaje
Trabajo semi continuo	Área de trabajo de 70,00 m ²
Costo no superior a los 10.000\$.	Seis operadores como máximo

Tabla 4.4. Resultados de selección de la alternativa mediante el método de selección AHP según parámetros y requerimientos funcionales.

Opción 1	Tanques de Agua
Opción 2	Sistema de agua a presión
Opción 3	Sistema de aletas rotatorias

Método de selección AHP
Selección del sistema de lavado.

	Capacidad	Continuidad	Costo	Montaje	Área de trabajo	Nº de operadores
Opción 1	Baja	Media	Bajo	Alta	Media	Alto
Opción 2	Media	Media	Medio	Media	Baja	Medio
Opción 3	Alta	Alta	Alto	Baja	Alta	Bajo

Capacidad			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	1/3	1/9
Opción 2	3	1	1/5
Opción 3	9	5	1

Continuidad			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	1	1/5
Opción 2	1	1	1/5
Opción 3	5	5	1

Costo			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	5	9
Opción 2	1/5	1	5
Opción 3	1/9	1/5	1

Facilidad de Montaje			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	3	5
Opción 2	1/3	1	3
Opción 3	1/5	1/3	1

Área de trabajo			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	1/3	3
Opción 2	3	1	5
Opción 3	1/3	1/5	1

Nº de operadores			
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Opción 1	1	1/3	1/9
Opción 2	3	1	1/5
Opción 3	9	5	1

Matriz de criterio Vs. Criterio

	Capacidad	Continuidad	Costo	Montaje	Área	Operadores
Capacidad	1	5	3	3	3	5
Continuidad	1/5	1	1/3	5	5	3
Costo	1/3	3	1	5	5	5
Montaje	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/9
Área	1/3	1/5	1/5	3	1	1/5
Operadores	1/5	1/3	1/5	9	5	1

La tabla 4.4 muestra los resultados de selección de la alternativa mediante el método de selección AHP, enfatizando el sistema de aletas rotatorias como el más eficiente según los parámetros y requerimientos funcionales exigidos.

4.5.Propuesta de un diseño de sistema de lavado de plástico reciclado que alimenta a la planta de plásticos R.F.C., C.A.

De acuerdo a las necesidades de la empresa Plásticos R.F.C., C.A. se propone un sistema de lavado que permita transportar, picar, enjuaga, lavar y secar el plástico a reciclar dejándolo limpio y en las condiciones óptimas para ser sometido al proceso de cotufado y paletizado. Este sistema, permitirá a la planta recicladora aumentar la capacidad de producción instalada al utilizar la mayor cantidad de plástico recibido de sus proveedores. La máquina posee cinco sistemas principales:

Sección 1. Cinta transportadora de alimentación de plástico reciclado

Está compuesto por una cinta transportadora potenciada por un motor eléctrico de 5 hp, que proporcionará la fuerza suficiente para mover

la cinta y la carga de material. El operador colocará manualmente el plástico en la correa deslizante que elevará y trasladará el material hasta el área de ingreso al tanque de lavado. La cinta transportadora cuenta con un tablero de control de la maquinaria y a ambos lados del transportador contará con interruptores de emergencia y barreras laterales de seguridad. Este sistema tendrá una altura estándar y adecuada para la ergonomía del trabajador que va a cargar el plástico.

Está compuesto por una cinta transportadora potenciada por un motor reductor con una relación de 20:1 eléctrico de 2 hp, para proporcionarle fuerza suficiente que mueve la cinta y la carga de material. En esta sección el operador coloca manualmente el plástico en la correa deslizante que eleva y traslada el material hasta el área de ingreso de la olla o tanque de prepicado.

El sistema cuenta con un detector de metales capaz de identificar objetos metálicos, sin que el plástico deje de estar en movimiento y sin la necesidad de detener el proceso, con la finalidad de detectar cualquier objeto ajeno al proceso que pueda ocasionar daños a los equipos o al producto final. Está compuesto por una bobina emisora que genera un campo electromagnético constante y un circuito electrónico extraíble, con sistemas de advertencia y autodiagnóstico, capaz de analizar las variaciones de dicho campo.

Este equipo esencial protege las maquinarias aguas abajo del sistema al encontrar materiales contaminados de metales de cualquier naturaleza provocando maniobras de paro, de la cinta transportadora, mediante relé y señalizando la detección con dispositivos acústicos y visuales. La extracción de los metales se realiza de forma manual.

La cinta transportadora cuenta con un tablero de control de la maquinaria y a ambos lados del transportador contará con interruptores de emergencia y barreras laterales de seguridad. Este sistema tendrá

una altura estándar y adecuada para la ergonomía del trabajador que carga el plástico.

Sección 2. Prepicado y atrapa polvo

Corresponde al proceso de prepicado del material como muestra la sección 2 en el apéndice C, que consta de un motor eléctrico de 110 hp, conectado directamente a la fuente generadora de potencia con base y soporte para proporcionar estabilidad al ensamble.

El tambor de lavado consta de un cilindro de acero al carbono API 5L GrB, de 0,375 pulgadas de espesor, con dimensiones de 1,30 metros de alto por 1,07 metros de diámetro, fijado a una base de vigas de acero, calculadas para soportar 1,20 veces el peso total del tambor 100% lleno de plástico. En la parte superior cuenta con una tapa anti derrames, removible para facilitar el mantenimiento de la máquina, a la cual se adosa la tolva de descarga de la cinta transportadora y una ventana de verificación de manera que se pueda monitorear el correcto funcionamiento del proceso de prepicado y moderar la cantidad de material que se ingrese.

En la superficie interna del cilindro de prepicado se encuentran 3 láminas helicoidales que garantizan el flujo de material en el fondo de la sección evitando derrame de material. En el interior del tambor se encuentran 4 cuchillas fijas que en conjugación con las cuchillas rotativas ubicadas en el centro la base del equipo específicamente en el fondo del cilindro (ver apéndice C), llevan a cabo el proceso de prepicado y liberación de polvo del material a reciclar por la fuerza centrífuga ejercida por el motor a través del giro de las cuchillas sujetas al eje que atraviesa el fondo del tambor.

En la sección inferior del cilindro hay un primer fondo donde la cuchilla rotativa es sujeta a una lámina de hierro negro de 10 mm de espesor perforada con orificios de 7 cm, adicionalmente existe un doble fondo con una compuerta lateral donde se extrae el plástico prepicado a través de la fuerza de un extractor eléctrico de 8 hp trifásico 220v.

El proceso de ésta máquina es semicontínuo y se inicia con la carga de 100,00 kg de plástico sucio dentro del tambor. Se lleva a cabo mediante la acción de la fuerza centrífuga ejercida por las cuchillas rotatorias y el golpe del material contra las cuchillas fijas y las paredes del tambor. El proceso inicia encendiendo a través de los tableros eléctricos el extractor y el motor respectivamente. El proceso se lleva a cabo en un período de 5 minutos aproximadamente hasta que el material alcanza un tamaño de hojuela de 7 cm logrando atravesar la lámina perforada y ser arrastrados por el extractor a través de un ducto de 6 pulgadas de diámetro hasta la sección de atrapa polvo para asegurar la eficiencia del proceso.

En la sección de trapa polvo el material transportado a través del ducto por la fuerza del extractor, atraviesa un cilindro de 20 pulgadas, donde se separa el polvo que va hasta un recipiente recolector y el plástico cae por un embudo hasta el tornillo sin fin que transporta el material prepicado hasta el tanque de decantación.

Sección 3. Tanque de decantación

El tanque de decantación se alimenta de plástico a través de un tornillo sin fin que transporta el material desde la tolva de descarga del atrapa polvo. El movimiento de éste tornillo es proporcionado por un motor eléctrico de 2 hp montado en la parte superior de la estructura.

El material prepicado cae en una carcasa o recipiente tipo batea de forma trapezoidal con especificaciones de 4 metros de largo, 1.20 metros de alto, 1.20 metros de profundidad, un volumen de 3840 litros y una relación de 1/3 bicarbonato de sodio agua que garantiza el lavado optimo según ensayos realizados. Al inicio de la batea antes del punto de caída del plástico se encuentra una flauta que dispensa agua, a presión constante a través de una bomba de 3 hp industrial, trifásica, 220v.

La bomba de agua hace circular el agua dentro de la carcasa impulsando al material a entrar en contacto con cuatro rodillos, los cuales propulsan el plástico a través del sistema y a su vez lo sumergen en agua con desengrasante para desprender las trazas de polvo y cualquier partícula contaminante del plástico.

Los rodillos tienen configuraciones diferentes siendo el primero de paleta impulsora para introducir el plástico en el sistema. El segundo rodillo está compuesto por cuatro filas de dientes de acero tipo peine para separar y sumergir el material en el agua para separar las partículas más pesadas del mismo, el tercer rodillo consta de cuatro paletas con hoyos tipo colador para seguir removiendo sucio adherido al material y el cuarto rodillo que impulsa el material hasta el siguiente tornillo sin fin, está compuesto por cuatro filas de dientes de acero tipo peine para lograr sacar del tanque menor cantidad de agua y mayor cantidad de material prepicado y mojado con desengrasante. Los rodillos tienen 0,70 metros de diámetro y se mueven a través de un motor reductor eléctrico de 10hp y transmite su potencia por medio de un sistema de cadena de distribución que los hace girar lentamente y que deben mantenerse engrasadas para asegurar su funcionamiento.

En el fondo de la carcasa, el sistema cuenta con un sistema de drenaje de líquidos y remoción de las partículas sólidas que caen al fondo

por decantación. Los líquidos son drenados con una bomba de tantos 3hp y son dirigidos al sistema de tratamiento de efluentes de la empresa.

Sección 4. Lavado y centrifugado

Corresponde al sistema de lavado y centrifugado que consta de un motor eléctrico de 110 hp, conectado directamente a la fuente generadora de potencia con base y soporte para proporcionar estabilidad al ensamble.

El tambor de lavado consta de un cilindro de acero al carbono API 5L GrB, de 0,375 pulgadas de espesor, con dimensiones de 1,30 metros de alto por 1,07 metros de diámetro, fijado a una base de vigas de acero, calculadas para soportar 1,20 veces el peso total del tambor 100% lleno de agua. En la parte superior cuenta con una tapa anti derrames, removible para facilitar el mantenimiento de la máquina, a la cual se adosa la tolva de descarga del tornillo sin fin que transporta el material desde el taque de decantación y una ventana de verificación de manera que se pueda monitorear el correcto funcionamiento del sistema de lavado. La carga de material se mide a través del medidor de amperaje ubicado en el tablero eléctrico de la máquina la cual se limita a 180 ampere que equivale al 80% de la capacidad del motor.

En el interior del tambor, en la parte superior, se encuentra la flauta dispensadora de agua a presión a través de una bomba de 3 hp industrial, trifásica, 220v. En la superficie interna del cilindro de lavado se encuentran 3 láminas helicoidales que garantizan el flujo dematerial en el fondo de la sección evitando derrame de material. En la sección inferior del cilindro hay un primer fondo donde la cuchilla rotativa es sujeta a una lámina de hierro negro de 3 mm de espesor perforada con orificios de 4 mm, adicionalmente existe un doble fondo con una compuerta lateral

donde cae el agua con el sucio despendido del material lavado. Adicionalmente el cilindro tiene una compuerta lateral por donde se extrae el plástico prepicado a través de la fuerza de un extractor eléctrico de 8 hp trifásico 220v.

El proceso de lavado se lleva a cabo mediante la acción de la fuerza centrífuga ejercida por las cuchillas rotatorias, al golpe del material con las paredes del tambor y la alimentación de agua a presión. Estos elementos actúan constantemente durante un período de mínimo 5 minutos aproximadamente asegurando la mayor eficiencia de lavado. La eficiencia del lavado se observa a través del color del agua que drena la maquina hasta la planta de tratamiento de efluentes.

Cuando el agua aclara su color pueden pasar de 3 a 5 minutos depende de la condición del material. Una vez que el plástico está limpio se cierra la alimentación de agua para dar inicio al proceso de centrifugado que se lleva a cabo mediante la acción de la fuerza centrífuga ejercida por el motor de 110 hp y el la lámina perforada al fondo del tambor que permite drenar el agua adherida al plástico hasta el segundo fondo donde se distribuye a través de una tubería de 6 pulgadas de diámetro hasta la planta de tratamientos.

El proceso de ésta máquina es semicontínuo y se inicia con la alimentación de agua a presión, inmediatamente se enciende el motor de la lavadora y llega el material proveniente del tanque de decantación. El proceso de lavado dura de 3 a 5 minutos dependiendo la calidad del plástico mientras que el proceso de centrifugado dura de 4 a 6 minutos dependiendo de la humedad que contenga. Ambos procesos se controlan a través del medidor de amperaje de la maquina alcanzado 180 ampere cuando está en su máxima carga de trabajo y baja hasta 30 ampere cuando ha liberado la humedad.

Sección 5. Secado

Corresponde al sistema de secado del material. Para utilizar el plástico reciclado se debe tener en cuenta el nivel de humedad, por lo que la máquina lavadora de plástico posee esta sección donde se desliza el plástico lavado a través de un ducto de 6 pulgadas de diámetro como se observa en la sección 5 del apéndice C. El material es transportado desde la sección de lavado a través de la fuerza de un extractor de 8 hp por un ducto de 16 metros de longitud donde se garantiza el secado del material. Al final del ducto se encuentra una tolva que recolecta el plástico limpio y seco para ser dispuesto a los procesos aguas abajo del lavado.

La propuesta de diseño de lavado de plástico abarca un área de 64 m² y considera que todas sus secciones cuentan con sus respectivos tableros eléctricos de forma independiente para dar seguridad al sistema, garantizar la flexibilidad operacional y conservar la vida útil de los equipos. El apéndice D muestra la lista de materiales y componentes de los tableros eléctricos de cada sección.

4.6. Análisis de la rentabilidad del proyecto

Para el análisis de la rentabilidad del proyecto es necesario conocer la inversión inicial del sistema de lavado de plástico, que representa un monto de 9.773,5 USD y se puede apreciar en la Tabla 4.5, los materiales para la fabricación y construcción de la propuesta de sistema de lavado de plástico reciclado se indican con detalle en el apéndice C.

Es necesario mencionar que para el valor de la inversión y presupuesto de materiales y mano de obra se contempla la utilización de materiales reutilizados o recuperados dentro de la misma planta, tales como, acero, cadenas, cable, motores y otros.

Tabla 4.5. Valor de la inversión - Presupuesto de materiales y mano de obra

Materiales y mano de obra	Costo USD
Cinta transportadora	526
Sección de predicado y atrapa polvo	2406
Tanque de decantación	1489
Sección de lavado y centrifugado	2300
Sección de secado	354
Tableros eléctricos	1810
Mano de obra	888.5
Total:	9773.5

Para el cálculo del VPN (Valor Presente Neto) se tienen las siguientes consideraciones:

Precio del polietileno de baja densidad reciclado limpio en el mercado interno es de Bs. 350.000 por Kg. y el LDPE sucio se obtiene a la mitad del precio, Bs. 105.000 por Kg., según datos suministrados por la planta.

Actualmente la planta procesa 3000 Kg/día y tiene una capacidad de 10.000 Kg/día. El precio en el mercado de cada kilogramo de polietileno de baja densidad reciclado limpio es de 0.10 USD y el hecho de procesar 7.000 Kg de producto sucio adquirido 0.03 USD/kg representaría un ingreso de 490 USD al mes, que al proyectarlo a una escala anual y considerando una parada programada por efectos de mantenimiento de dos meses por año, se obtiene un ingreso total anual de 4.900 USD.

Tomando en cuenta que el proceso debe ser asistido por personal constituido por 3 operadores y 3 empleados con formación técnica o mano de obra calificada para garantizar la continuidad operacional y condiciones óptimas de la materia prima demandada por el proceso final. La cantidad estimada de personal para operación de la máquina es de 6,

para una capacidad de 240 kg/día y así lograr procesar los 7.000 kg mensuales:

El salario para mano de obra calificada cumpliendo con todas las exigencias de la ley del trabajo se tiene un estimado de Bs. 70.000.000,00 mensuales (Incluyendo bonos, vacaciones, utilidades y dotación de EPP), y para operadores de Bs. 35.000.000,00 (Incluyendo bonos, vacaciones, utilidades y dotación de EPP), por lo tanto, los costos de operación se traducen a 1080 USD anuales.

El mantenimiento anual de la unidad de lavado de plástico se estimó en un 5% de la inversión inicial, ya que en su mayoría los materiales a utilizar son materiales de producción nacional, lo que se traduce en 488,68 USD.

Ahora los costos de producción anual se enfocan a los 10 motores trifásicos, que operando al mismo voltaje se puede estimar un consumo de energía eléctrica con la suma de todas las potencias de los motores involucrados en el diseño que serían 258 hp y por iluminación un 5% del consumo total de energía eléctrica representando unos costos anuales de producción de 3,03 USD.

Es importante mencionar que si tomamos la referencia del precio internacional de Kwh de 9.89 centavos de USD, los costos de producción alcanzarían un monto de 1.598,94 USD lo que comprometería la rentabilidad del proyecto ó la recuperación de la inversión sería mayor al horizonte de planeación de 5 años con valor residual de 20% de la inversión inicial.

Finalmente, el costo por concepto de consumibles anuales que involucra lubricantes, cuchillas y bicarbonato de sodio se estimó en 300 USD anuales. Considerando el precio del bicarbonato de sodio a 0.5 USD/Kg.

(Quiminet, 2018). Si la proporción según datos experimentales obtenidos debe ser como mínimo de 1 gr. de bicarbonato de sodio por cada 3 litros de agua, se tiene que, para un volumen total del tanque de decantación de 3840 litros de agua diarios, se necesitan 384 Kg anuales de bicarbonato de sodio que a precio internacional equivaldría a 192 USD anuales.

Y según la Ley Orgánica de Impuestos sobre la Renta que para personas jurídicas al exceder las 3.000 unidades tributarias en el ejercicio fiscal puede llegar a tarifar el 34% del ingreso neto, se tiene que:

Ahora tomando en cuenta, que la tasa pasiva bruta promedio del sistema financiero para depósitos de EUA es de 1,33% y que el horizonte de planeación es de 5 años, entonces se tiene que el VPN es de 27.01 USD, lo que nos indica que el proyecto es rentable, ya que el $VPN \geq 0$.

Para la Tasa Interna de Retorno se obtiene el factor de actualización de la serie uniforme y se obtuvo un valor del 1.6%. Lo que quiere decir que la factibilidad financiera debe ser revisada si el sistema financiero para depósitos de EUA incrementa la tasa de interés pasiva sobre el 1.6% y se debe ajustar el nuevo horizonte de planeación para lograr recuperar la inversión inicial del proyecto.

CONCLUSIONES

- En relación a la capacidad de entrada de plástico a la planta, a través del análisis de la base de datos durante 3 meses se logró determinar un promedio de la cantidad de plástico que recibe la planta, tratándose de 10.000 kg. de plástico mensual, dividido en 70% plástico sucio y 30% plástico limpio.
- Las características físicas del plástico que alimentará el sistema de lavado de plástico, se proyectaron a través de la visualización del plástico de entrada a la planta y se determinó que el porcentaje de plástico sucio que actualmente recibe la planta es directamente proporcional a las limitaciones de producción de la empresa que equivale al 70% de la alimentación.
- Mediante los ensayos de lavado a escala piloto, se determinó la relación 1/3 bicarbonato de sodio – agua como mezcla de detergente para el lavado óptimo, y se demostró que el tiempo no es factor determinante en la eficiencia del lavado.
- A través del método de selección AHP Proceso de Análisis Jerárquico, se seleccionó el sistema de aletas rotatorias como la tecnología más eficiente en sistemas de lavado de plástico según los parámetros y requerimientos funcionales exigidos por la empresa de plásticos R.F.C., C.A.
- El diseño propone eficiencia en el lavado, sustentado en la alimentación de agua y la configuración de las cuchillas. Es un sistema de trabajo semi continuo que permitirá aumentar la producción, disminuir las horas hombre en selección y separación de material, y contar con un sistema eficaz, rápido y oportuno para mejorar las condiciones de operación de los procesos de cotufado,

paletizado, extrusión y sellado, que se ubican aguas abajo del sistema de lavado.

- Los cálculos del valor presente neto, TIR y TPD del proyecto arrojan una rentabilidad positiva y aceptable con un TIR mayor a la tasa de retorno y el tiempo necesario para que la suma de los flujos netos anuales descontados sea igual a la inversión es de 1,35 años.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la empresa Plásticos R.F.C., C.A., implemente el sistema de lavado para aumentar la producción, mejorar la calidad del producto final y alargar la vida útil de los equipos de procesos ubicados aguas abajo del sistema de lavado.
- Es recomendable elaborar un manual operacional, instrumento de calidad e indicaciones de trabajo del sistema de lavado de plástico reciclado.
- Capacitar al personal de la planta para la operación, mantenimiento y beneficios del sistema de lavado de plástico reciclado.
- Implementar este tipo de sistemas en los vertederos del país, pues constituye una solución a la degradación del plástico considerando que la única manera de degradarlo es reutilizándolo.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, F., (2012). "El proyecto de investigación". Editorial Episteme. Sexta Edición. Caracas.

Cerro, M.,(1992). "Reciclaje de plásticos". Departamento de química y biología, universidad de las Américas-Puebla, Cholula, México.

Crisanto, P., (2002). "Diseño de una lavadora de plástico reciclado". Escuela politécnica nacional, departamento de materiales y procesos de fabricación, Quito Ecuador.

Delgado, A., (2005). "Mezclas de película plástica reciclada". Grupo de investigación de polímeros de la universidad libre. Colombia.

Freites, I. y Romero, M., (2015). "Manual operacional de la planta plásticos R.F.C., C.A.". Los Guayos, Carabobo.

Hernández, R., Fernández C. y Baptista P. (2006). "Metodología de la investigación". McGraw-Hill. Cuarta edición.

Inche, J., Vergiú J., Mavila, D., Godoy, M. y Chung, A. (2004). "Diseño y evaluación de una planta de reciclaje de envases tetra pak a pequeña escala". Revista de la facultad de ingeniería industrial. Lima. Perú.

Lazzari, M y López M.,(2005). "Aspectos químicos del reciclaje de plástico". Departamento de química física Universidad de Santiago de Compostela. España.

Márquez, E., (2017). "lineamientos para la evaluación económica de propuestas de inversión de capital". Primera edición. PDVSA.

Medina, J., Saldaña, C., Hernández, V. y Becerra, S. (2011). "Diseño de una trituradora para plástico polietileno de tereftalato (PET)". SIIR. México.

Myers J. and Farrisey W. (2002). "Energy Recovery Option for RIM Polyurethanes". Designing for Recyclability and Reuse of Automotive Plastics.

Osorio J. C. y J. P. Orejuela. 2008. **El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la Toma de Decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación.** (Disponible en: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/proceso-analisis-jerarquico-ahp-toma-decisiones-multicriterio-ejemplo-aplicacion/id/5884 Consultado el: 8 de enero de 2017).

Paris, L. y González, S. (2009). "Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la elaboración de madera plástica". Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Pérez, L. (2010). "Que son las bases teóricas de la investigación". Clase magistral Universidad José María Vargas. Venezuela.

Placido, R. (2012). "Control de calidad de alimentos". Club Alianza Lima.

Placido, R. (2013). "Métodos de limpieza y clasificación de detergentes". Club Alianza Lima.

Quiminet, 2018 (Disponible en: <https://www.quiminet.com/productos/bicarbonato-de-sodio-10782512/precios.htm>. Consultado el: 10 de Enero de 2018).

Sanz A. (2014). "La Industria de los Agentes tenso activos". Química Orgánica Industrial.

Apéndices

Apéndice A
(Selección de la alternativa más eficiente según método AHP)

Tabla A1. Resultados de selección de la alternativa mediante el método de selección AHP según parámetros y requerimientos funcionales.

Opción 1	Tanques de Agua
Opción 2	Sistema de agua a presión
Opción 3	Sistema de aletas rotatorias

Método de selección AHP
Selección del sistema de lavado.

	Capacidad	Continuidad	Costo	Montaje	Área de trabajo	Nº de operadores	
Opción 1	Baja	Media	Bajo	Alta	Media	Alto	
Opción 2	Media	Media	Medio	Media	Baja	Medio	
Opción 3	Alta	Alta	Alto	Baja	Alta	Bajo	
	Capacidad						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	0,33333333	0,11111111	0,07692	0,052632	0,08474576	0,07143347
Opción 2	3	1	0,2	0,23077	0,157895	0,15254237	0,18040211
Opción 3	9	5	1	0,69231	0,789474	0,76271186	0,74816441
SUMA	13	6,33333333	1,31111111				
	Continuidad						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	1	0,2	0,14286	0,142857	0,14285714	0,14285714
Opción 2	1	1	0,2	0,14286	0,142857	0,14285714	0,14285714
Opción 3	5	5	1	0,71429	0,714286	0,71428571	0,71428571
SUMA	7	7	1,4				
	Costo						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	5	9	0,76271	0,806452	0,6	0,72305449
Opción 2	0,2	1	5	0,15254	0,16129	0,33333333	0,21572201
Opción 3	0,11111111	0,2	1	0,08475	0,032258	0,06666667	0,0612235
SUMA	1,31111111	6,2	15				
	Facilidad de Montaje						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	3	5	1	0,6	1,66666667	1,08888889
Opción 2	0,33333333	1	3	0,33333	0,2	1	0,51111111
Opción 3	0,2	0,33333333	1	0,2	0,066667	0,33333333	0,2
SUMA	1,53333333	4,33333333	9				
	Área de trabajo						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	0,33333333	3	0,23077	0,217391	0,33333333	0,26049796
Opción 2	3	1	5	0,69231	0,652174	0,55555556	0,63334572
Opción 3	0,33333333	0,2	1	0,07692	0,130435	0,11111111	0,10615632
SUMA	4,33333333	1,53333333	9				
	Nº de operadores						
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Matriz normalizada			Vector Prom.
Opción 1	1	0,33333333	0,11111111	0,07692	0,052632	0,08474576	0,07143347
Opción 2	3	1	0,2	0,23077	0,157895	0,15254237	0,18040211
Opción 3	9	5	1	0,69231	0,789474	0,76271186	0,74816441
SUMA	13	6,33333333	1,31111111				

Continuación

	Matriz de comparación por pares según los criterios									
	Capacidad	Continuidad	Costo	Montaje	Área	Operadores	Matriz Normalizada			Vector promedio
Capacidad	1	5	3	3	3	5	0,41666667	0,51369863	0,60810811	0,51282447
Continuidad	0,2	1	0,33333333	5	5	3	0,08333333	0,10273973	0,06756757	0,08454688
Costo	0,33333333	3	1	5	5	5	0,13888889	0,30821918	0,2027027	0,21660359
Montaje	0,33333333	0,2	0,2	1	0,333333	0,11111111	0,13888889	0,02054795	0,04054054	0,06665912
Área	0,33333333	0,2	0,2	3	1	0,2	0,13888889	0,02054795	0,04054054	0,06665912
Operadores	0,2	0,33333333	0,2	9	5	1	0,08333333	0,03424658	0,04054054	0,05270682
SUMA	2,4	9,73333333	4,93333333	26	19,33333	14,3111111				

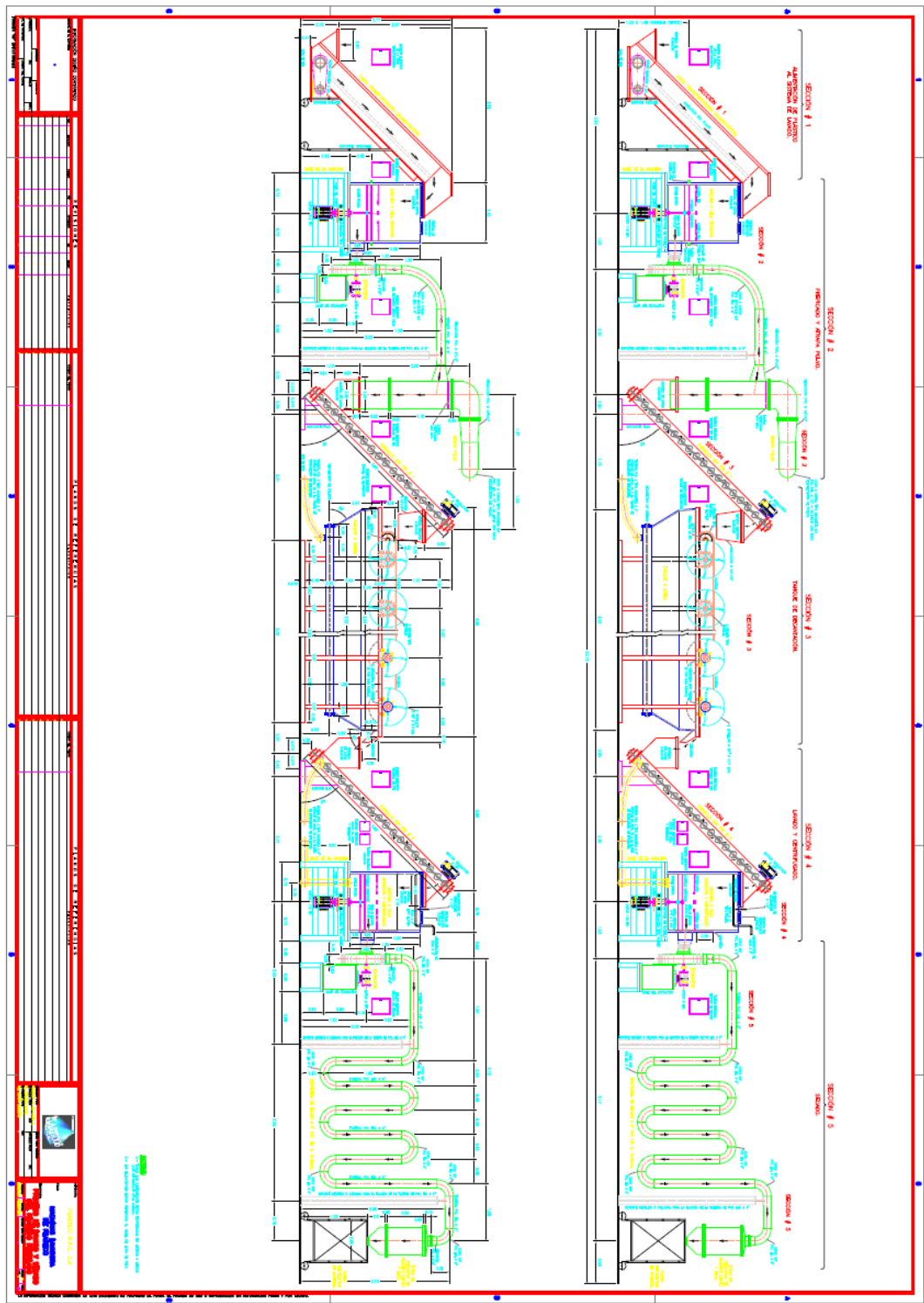
	Capacidad	Continuidad	Costo	Montaje	Área	Operadores	TOTAL
Opción 1	0,07143347	0,14285714	0,72305449	1,08889	0,260498	0,07143347	0,29904113
Opción 2	0,18040211	0,14285714	0,21572201	0,51111	0,633346	0,18040211	0,23711582
Opción 3	0,74816441	0,71428571	0,0612235	0,2	0,106156	0,74816441	0,51717035
Ponderación	0,51282447	0,08454688	0,21660359	0,06666	0,066659	0,05270682	

Alternativa más eficiente

Fuente. Caguao, 2018

Apéndice B
(Planos de propuesta de sistema de lavado de plástico
reciclado)

Figura B1. Planos de propuesta de sistema de lavado de plástico reciclado



Apéndice C
(Lista de materiales de sistema de lavado de plástico reciclado)

Tabla C1. Lista de materiales para fabricación de cinta transportadora para alimentación de plástico al sistema de lavado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
4	Uni.	Lamina (Para base y seguridad de la sección.)	Hierro negro 3 mm	120
8	Metro	Viga estructural (Para base y seguridad de la sección.)	Acero estructural	16
12	Metro	Cinta transportadora	Goma	70
1	Uni.	Motor reductor	2 HP	200
6	Metro	Cable eléctrico	THW 2/0	30
1	Uni.	Detector de metal	Banda	90
			Total	526

Tabla C2. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de cinta transportadora de alimentación.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
			Total	120

Fuente. Caguao, 2018

Tabla C3. Lista de materiales para fabricación de sección de prepicado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tambor de prepicado	Acero al carbono API 5L Gr B. Ø 42" y 1.20 m de alto.	70

Continuación

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Lamina perforada (para el doble fondo)	Hierro negro 8 mm de espesor perforada con orificios de 7 cm.	100
4	Uni.	Cuchilla fija	De ballesta	40
1	Uni.	Cuchilla rotatoria	De ballesta	10
4	Uni.	Base de cuchilla fija	De ballesta	40
1	Uni.	Base cuchilla rotatoria	De ballesta	40
1	Uni.	Motor eléctrico	110Hp, 1750 rpm, trifásico, 220v.	1200
1	Uni.	Lamina (ventana de verificación)	Hierro negro 4 mm de espesor	40
4	Uni.	Lamina (Base del motor)	Hierro negro 4 mm de espesor	160
14	Metro	Viga (Base de la sección)	Acero estructural	28
1	Uni.	Lamina (fondo)	Hierro negro	100
			Total	1828

Tabla C4. Lista de materiales para fabricación de atrapa polvo.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Motor Extractor	8 HP, 3000 RPM, trifásico, 220v	300
6	Uni.	Lamina hierro (Base del extractor)	3 mm	240
10	Metro	Viga (Base y estabilidad del extractor.)	Acero estructural	20
6	Metro	Tubería (Ducto del extractor)	PVC Ø 6"	12
2	Metro	Tubería (Ducto del extractor)	PVC Ø 16"	6
			Total	578

Tabla C5. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de prepicado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	25 cm * 100 cm * 60 cm	90
2	Uni.	Contactador	300 ampere * 90 hp, 220v, modelo ABBEH170	90
1	Uni.	Contactador	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Breaker	500 ampere	40
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Relé Retardador	SIEMENS	15
20	Metros	Cable eléctrico	THW 2/0	100
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Indicador de amperaje	300/5	45
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
Total				485

Tabla C6. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de atrapa polvo.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30
1	Uni.	Contactador	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
Total				120

Tabla C7. Lista de materiales para fabricación de tanque de decantación.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
4	Uni.	Rodillos de enjuague	Acero inoxidable	200
8	Uni.	Chumacera (Estabilidad de rodillos)	SYNT 50	160

Continuación

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
14	Metro	Cadena (Giro de rodillos)	cadena de distribución	100
1	Uni.	Motor reductor	10 hp	400
15	Metro	Cable eléctrico	THW 2/0	75
1	Uni.	Bomba de agua	3HP	300
15	Metro	Viga (Base y estabilidad de la sección)	Acero estructural	30
8	Metro	Tubería PVC Ø 2" (alimentación de agua)	PVC Ø 2"	8
8	Metro	Tubería PVC Ø 4" (drenaje de agua)	PVC Ø 6"	16
			Total	1489

Tabla C8. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de tanque de decantación.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220 v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
			Total	105

Tabla C9. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de bomba de agua.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30

Continuación

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Contactador	60 ampere * 25 hp, 220 v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
			Total	135

Tabla C10. Lista de materiales para fabricación de sección de lavado y centrifugado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tambor de prepicado	Acero al carbono API 5L Gr B. Ø 42" y 1.20 m de alto.	70
1	Uni.	Lamina perforada (Doble fondo)	Hierro negro de 3 mm con orificios de 4 mm.	100
1	Uni.	Cuchilla rotatoria	De ballesta	10
1	Uni.	Cuchilla de fondo (Aspa)	De ballesta	10
1	Uni.	Base de cuchilla	Acero	40
1	Uni.	Motor eléctrico	110Hp, 1750 rpm, trifásico, 220v.	1200
6	Metro	Cable eléctrico	THW 2/0	30
1	Uni.	Bomba de agua	3HP	300
8	Metro	Tubería PVC Ø 2" (alimentación de agua)	PVC Ø 2"	8
8	Metro	Tubería PVC Ø 4" (drenaje de agua)	PVC Ø 6"	16
1	Uni.	Lamina (Tapa verificación)	Hierro negro 4 mm de espesor	60
4	Uni.	Lamina (Base de motor.)	Hierro negro 4 mm de espesor	240
8	Metro	Viga (Base de la sección.)	Acero estructural	16
1	Uni.	Motor Ventilador (Ventilación del motor.)	2 hp	200
			Total	2300

Tabla C11. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de lavado y centrifugado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	25 cm * 100 cm * 60 cm	90
2	Uni.	Contactor	300 ampere * 90 hp, 220v, modelo ABBEH170	90
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Breaker	500 ampere	40
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Relé Retardador	SIEMENS	15
20	Metros	Cable eléctrico	THW 2/0	100
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Indicador de amperaje	300/5	45
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
			Total	485

Tabla C12. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de sección de bomba de agua.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
			Total	135

Tabla C13. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de ventilador.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30

Continuación

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220 v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
1	Uni.	Luz de encendido	220 v	15
			Total	135

Tabla C14. Lista de materiales para fabricación de sección de secado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
20	Metro	Tubería (Para el ducto del extractor)	PVC Ø 6"	40
2	Metro	Viga estructural (Base de la sección.)	Acero estructural	4
1	Uni.	Motor Extractor	8 HP	300
2	Metro	Cable eléctrico	THW 2/0	10
			Total	354

Tabla C15. Lista de materiales para fabricación de tablero eléctrico de la sección de secado.

Cantidad	Unidad	Nombre del Material	Especificación	Precio USD
1	Uni.	Tablero eléctrico	15 cm * 40 cm * 30 cm	30
1	Uni.	Contactor	60 ampere * 25 hp, 220v, modelo ABBEH170	30
1	Uni.	Térmico	GE 100 hp	30
1	Uni.	Botón star	Pulsante de arranque	15
1	Uni.	Botón stop	Pulsante de parada	15
			Total	90

Apéndice D
(Cálculos de la rentabilidad del proyecto)

Los anuales por concepto de lavado de plástico serían los siguientes:

$$0.10 \frac{USD}{Kg} - 0.03 \frac{USD}{Kg} = 0.07 \frac{USD}{Kg} * 7000 \frac{Kg}{mes} * 10 meses = 4900 \frac{USD}{año}$$

Costos anuales atribuibles a la operación de la máquina de lavado

$$\frac{[(3personas \times 70.000.000Bs) + (3personas \times 35.000.000Bs)] \times 12 meses}{3.500.000 \frac{Bs}{USD}} = 1080 USD$$

Costos de producción anual:

$$258hp * 0.746 \frac{Kw}{hp} * 8 \frac{h}{día} * 30 días * 10 meses = 15.397,44 \frac{Kwh}{anuales}$$

A esto se adiciona el consumo por iluminación por efectos de un segundo turno, que se considera como un 5% del consumo de la máquina lavadora de plástico, resultando 769.87 Kwh anuales.

El consumo total anual de energía eléctrica es de 16.167,32 Kwh anuales.

Kwh Comercial en Venezuela es de Bs. 656.60 (El Estímulo, 2017) lo que se traduce en un costo anual por concepto de consumo de energía eléctrica de 3,03 USD

Costos de Energía Eléctrica (Precio Nacional) = 3,03 USD

Kwh Industrial en California EEUU (El Nuevo Día, 2018) es de 9.89 ¢ USD = 0.0989 USD lo que se traduce en un costo anual por concepto de consumo de energía eléctrica de 1.598,94 USD comprometiendo la rentabilidad del proyecto.

Cálculo del ingreso neto gravable:

ING = 4900 USD-1080 USD-468.68 USD-3,03 USD-500 USD

ING=2848.29 USD anuales

Ingresos netos anuales: $2848.29 - (2848.29 \times 0.34) = 1879.87$ USD

El Valor Residual de la máquina a los 5 años se puede considerar en un 20% de la inversión inicial una vez culminado el mantenimiento correspondiente al quinto año.

Cálculo del Valor Presente Neto (VPN)

$$VPN = -9973,50USD + \frac{1879.77USD}{(1+0.013)^1} + \frac{1879.77USD}{(1+0.013)^2} + \frac{1879.77USD}{(1+0.013)^3} + \frac{1879.77USD}{(1+0.013)^4} + \frac{2902.61USD}{(1+0.013)^5}$$

VR=20% Inversión Inicial.

VR=0.2 x 9.773,5 USD=1954.7 USD

VPN=27.01 USD

Igualando VPN a 0, se obtiene el factor de actualización de la serie uniforme

$$\left(\frac{P}{R_{i_{a,5}}} \right) = \frac{9973,50USD}{2102,10USD} = 4.74$$

Con la ayuda de las tablas financieras de Giugni et al. (1997), se obtuvo que la TIR es de 1.6%

TIR = 1.6%