

1-1-2016

Propuesta de mejoramiento del proceso industrial para el aprovechamiento de residuos drywall a partir del análisis técnico, económico y ambiental de un estudio de caso

Susan Raquel Rivera Lara
Universidad de La Salle, Bogotá

Carlos Mario Abelló Forero
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Rivera Lara, S. R., & Abelló Forero, C. M. (2016). Propuesta de mejoramiento del proceso industrial para el aprovechamiento de residuos drywall a partir del análisis técnico, económico y ambiental de un estudio de caso. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/762

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA EL
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DRYWALL A PARTIR DEL ANÁLISIS TÉCNICO,
ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE UN ESTUDIO DE CASO

SUSAN RAQUEL RIVERA LARA COD. 41121193

CARLOS MARIO ABELLO FORERO COD. 41121128

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ

2018

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA EL
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DRYWALL A PARTIR DEL ANÁLISIS TÉCNICO,
ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE UN ESTUDIO DE CASO

SUSAN RAQUEL RIVERA LARA COD. 41121193

CARLOS MARIO ABELLO FORERO COD. 41121128

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR

ALEJANDRO PARRA SAAD

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C. Marzo de 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por la salud, por la vida de mis seres queridos, por su sabiduría con la cual pude superarme a mí misma y cumplir una de mis grandes metas y sueños, gracias a Dios por cada una de las oportunidades que he tenido y las que me seguirá brindando.

Con gran cariño agradezco a mi padre a mi amada y comprometida madre los cuales durante años se dedicaron por completo para poder brindarme unos estudios profesionales consiguiendo todos los recursos que eran necesarios. Gracias a mis padres y a mi hermano por la paciencia y amor que han en este proceso formativo por el cual les quedare profundamente agradecida.

Agradezco especialmente a mi mejor amiga Carolina la cual estuvo presentes en todo este proceso, dándome continuo apoyo con palabras de ánimo y ayudándome cada vez que tuvo la oportunidad

Doy las gracias también a mi querido Carlos Rodríguez por su amor ilimitado, su paciencia, por todos sus consejos, por estar al tanto para brindarme su ayuda incondicional y por su compañía en todo el proceso formativo.

Agradezco a mi compañero de proyecto de grado por su compromiso y por llegar a acuerdos con facilidad, por avanzar y llegar a culminar una de nuestras metas.

Susan Raquel Rivera Lara

Doy infinitas gracias a toda mi familia por su apoyo y compañía en este proceso, especialmente a mis padres, quienes, con su amor incondicional, esfuerzo y dedicación me han brindado todo lo necesario para poder cumplir los sueños y metas que me he propuesto. A mi Nonita, por su amor de madre y años de dedicación en mi formación. También a mi hermano, quien es el motor de mi vida y gracias a su comprensión y sabiduría he podido salir adelante. Es por ellos que hoy puedo culminar una etapa más y con quienes estaré profundamente agradecido por el resto de mi vida.

A la Universidad de La Salle, profesores y compañeros, por brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación profesional.

Al profesor Alejandro Parra Saad, quien a pesar de los contratiempos y con su paciencia y sabiduría nos guio en el desarrollo de este proyecto.

Al Doctor Iván Fernando Rodríguez y su empresa Serfictivos Construcción y Ambiente S.A.S. (Ser-efec S.A.S), por compartir su tiempo, conocimiento e información, fundamental para el desarrollo del trabajo de grado.

A mis amigos Jennyfer, Estefania, Catalina y Luis Carlos, quienes a lo largo de este tiempo me brindaron su apoyo incondicional, sus consejos y su valiosa amistad, donde sólo aportaron cosas buenas a mi crecimiento personal y profesional, y de quienes me llevo valiosos recuerdos.

A mi compañera, Susan Rivera, quien con su valioso aporte y entrega logramos sacar un proyecto del cual hoy podemos sentirnos muy orgullosos.

Finalmente, dedico este trabajo a la memoria de mi primo y de mi abuelo, quienes desde el cielo guían cada uno de mis pasos, me acompañan y son quienes me dan la fuerza para salir adelante.

Carlos Mario Abello Forero

RESUMEN

Dentro del campo de los residuos de construcción y demolición (RCD), las placas de yeso laminado (PYL) o drywall son un material con potencial de aprovechamiento debido a sus características fisicoquímicas. En el presente trabajo se formuló una propuesta de mejora para el proceso de aprovechamiento de las placas de yeso laminado teniendo en cuenta una evaluación de aspectos técnicos, económicos y ambientales en una empresa dedicada a esta actividad en la ciudad de Bogotá. Posteriormente se analizaron alternativas o unidades operativas que fueran compatibles con la actividad económica y que permitieran mejorar la situación de los aspectos mencionados. Se seleccionaron tres alternativas (organización de la planta, filtro de manga y maquina selladora) dando como resultado un incremento en la producción de sulfato de calcio de 392,29 Kg, crecimientos en la rentabilidad de 7% para la tasa interna de retorno (TIR) y \$65.117.753 para el valor presente neto (VPN) y cambios en la calificación significativa de “alto” a “bajo” para la actividad de “generación de material particulado en el triturado”, lo que representa reducción en los impactos ambientales.

Palabras claves: Placas de yeso laminado, aprovechamiento, residuo de construcción y demolición (RCD)

ABSTRACT

Within the field of construction and demolition waste (RCD), plasterboard or drywall is a material with potential for use due to its physicochemical characteristics. In the present work, an improvement proposal was formulate for the process of utilization of laminated gypsum boards taking into account an evaluation of technical, economic and environmental aspects in a company dedicated to this activity in the city of Bogotá. Subsequently, alternatives or operational units that were compatible with economic activity and that would improve the situation of the mentioned aspects were analyze. Three alternatives were select (organization of the plant, filter sleeve and sealing machine), resulting in an increase in the production of calcium sulphate of 392.29 Kg, growth in profitability of 7% for the internal rate of return (IRR) and \$ 65.117.753 for the net present value (NPV) and changes in the significant rating from "high" to "low" for the activity of "generation of particulate material in the crushed", which represents a reduction in environmental impacts.

Key words: Plates of laminated plaster, use, construction and demolition waste (CDW)

1 Contenido

1	Aspectos generales del proyecto	14
1.1	Introducción.....	14
1.2	Justificación.....	17
1.3	Marco de Referencia.....	19
1.3.1	Marco Teórico	19
1.3.2	Marco Conceptual	33
1.3.3	Marco Normativo	35
1.4	Antecedentes.....	37
1.5	Pregunta de investigación.....	40
1.6	Hipótesis	40
1.7	Objetivos.....	40
1.7.1	Objetivo General	40
1.7.2	Objetivo Específicos.....	40
1.8	Metodología.....	41
1.8.1	Fase 1: Estado actual de la empresa Ser-efec S.A.S.....	41
1.8.2	Fase 2: Evaluación de las condiciones actuales de la empresa Ser-efec S.A.S. 42	
1.8.3	Fase 3: Propuesta de mejora para la empresa Ser-efec S.A.S.	43
1.8.4	Diagramas de Flujo.....	44

2	Estado actual de la empresa Ser-efec S.A.S.	45
2.1	Información general de la empresa.....	45
2.2	Ubicación.....	46
2.3	Recolección y Transporte	48
2.4	Almacenamiento	50
2.4.1	Dimensiones de la Planta.....	52
2.5	Triturado	53
2.6	Información Económica	53
2.7	Características ambientales.....	55
3	Evaluación de las condiciones actuales de la empresa Ser-efec S.A.S.....	58
3.1	Análisis Técnico	58
3.1.1	Proceso Productivo.....	58
3.1.2	Balance de Materiales.....	64
3.2	Análisis Económico.....	66
3.2.1	Flujo de Caja.....	66
3.2.2	Análisis de los Resultados de los Indicadores de Rentabilidad.....	71
3.3	Análisis Ambiental	73
3.3.1	Evaluación De Impactos Ambientales.....	74
3.3.2	Análisis De La Matriz	77
4	Propuesta de mejora para la empresa Ser-efec S.A.S.	81

4.1	Alternativas para la Mejora del Proceso Productivo	82
4.1.1	Descripción De Alternativas De Unidades Operativas Complementarias Al Proceso	83
4.1.2	Criterios de Selección.....	102
4.1.3	Selección de la Alternativa.....	105
4.2	Evaluación de la Propuesta Seleccionada.....	113
4.2.1	Evaluación Técnica	113
4.2.2	Evaluación Económica	116
4.2.3	Evaluación Ambiental	127
4.3	Socialización con la Empresa	130
4.3.1	Visitas Previas De Documentación	130
4.3.2	Visitas de Campo e Inspección.....	131
4.3.3	Observaciones de la Empresa.....	131
4.3.4	Presentación de Resultados	132
5	Conclusiones	134
6	Recomendaciones	136
7	Bibliografía	139
8	Anexos	145
8.1	Método para la elaboración de proyecciones de salarios y arriendos.....	145
8.2	Memoria de Cálculo para el Diseño del Filtro de Manga.....	146

Contenido de tablas

Tabla 1. Convenciones del diagrama de flujo	28
Tabla 2. Diagrama de la metodología.....	44
Tabla 3. Dimensiones de la planta.....	52
Tabla 4. Costo por unidad de material.....	54
Tabla 5. Costo de transporte por material	54
Tabla 6. Costo de alquiler de vehículos.....	55
Tabla 7. Costos de personal de campo	55
Tabla 8. Costos fijos	55
Tabla 9. Diagrama de flujo de proceso.....	63
Tabla 10. Histórico de IPC y salario mínimo legal vigente desde el año 2007.....	69
Tabla 11. Flujo de caja	70
Tabla 12. Indicadores de rentabilidad	71
Tabla 13. Tipos de metodologías de evaluación de impactos	74
Tabla 14. Clasificación del impacto significativo	77
Tabla 15. Matriz de impacto ambiental.....	78
Tabla 16. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño de la cámara de sedimentación .	94
Tabla 17. . Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del filtro de mangas.....	96
Tabla 18. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del precipitador electrostático ...	99
Tabla 19. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del ciclón.....	101
Tabla 20. Valoración de costos	103
Tabla 21. Valores del dimensionamiento	104

Tabla 22. Valoración de la importancia	104
Tabla 23. Valoración de alternativas	105
Tabla 24. Parámetros de diseño.....	108
Tabla 25. Diagrama de flujo de proceso.....	115
Tabla 26. Costo de la propuesta	118
Tabla 27. Flujo de caja con propuesta.....	119
Tabla 28. Comparación indicadores de rentabilidad	120
Tabla 29 Parámetros de simulación.....	122
Tabla 30. Datos del gráfico tornado	125
Tabla 31. Matriz de impacto ambiental de la propuesta.....	128

Contenido de Figuras

Figura 1. Placa de yeso laminado	19
Figura 2 y 3. Ubicación de la oficina y planta de producción respectivamente	47
Figura 4. Entrada de la Planta de producción	47
Figura 5. Formato para la entrega de residuos	49
Figura 6. Almacenamiento de las placas de yeso	51
Figura 7. Almacenamiento de bolsas de mortero	52
Figura 8. Plano de la planta antes de realizar el proceso productivo	59
Figura 9. Plano de la empresa con la máquina de triturado	60
Figura 10. Diagrama de flujo de operaciones	61
Figura 11. Diagrama de flujo de recorrido	61
Figura 12. Balance de materiales	64
Figuras 13 y 14. Camión, contenedor acoplamiento	86
Figura 15. Banda transportadora	87
Figura 16. Mecanismo de funcionamiento una banda transportadora	88
Figura 17. Electroimán y su campo magnético	89
Figura 18. Imán en operación	89
Figura 19. Máquinas selladoras	91
Figura 20. Cámara de sedimentación con dos tolvas	94
Figura 21. Filtro de manga tipo pulse-jet	97
Figura 22. Precipitador electrostático	98
Figura 23. Movimiento de las partículas al interior de un ciclón	100

Figura 24. Ciclón y filtro de manga en industria de ornamentación metálica.....	101
Figura 25. Esquema filtro de manga propuesto.....	110
Figura 26. Diagrama de operaciones	112
Figura 27. Plano de la planta con mejoras.....	113
Figura 28. Diagrama de flujo de recorrido	114
Figura 29. Modelación valor presente neto	123
Figura 30. Modelación tasa interna de retorno	123
Figura 31. Modelación relación beneficio-costos	124
Figura 32. Gráfico de tornado	125
Figura 33. Efecto de carga sobre la tela	152

CAPITULO 1

1 Aspectos generales del proyecto

1.1 Introducción

La disposición informal de residuos de construcción y demolición (RCD) es una práctica frecuente por parte de los generadores en el territorio colombiano, principalmente en los grandes centros urbanos, donde el sector de la construcción se encuentra en constante crecimiento y donde la contaminación del suelo y el agua, olores ofensivos, la proliferación de vectores y la percepción de inseguridad son algunas de las consecuencias de esta actividad.

Un gran porcentaje de los RCD es susceptible a someterse a procesos de aprovechamiento con el fin de reducir el volumen de los mismos para reincorporarlos al mercado, ampliando su ciclo de vida e intentando reducir tanto costos de materia prima como problemas de disposición final por parte de los generadores.

Dentro de los RCD se encuentra el drywall o placas de yeso laminado (PYL), material que en los últimos años se ha incrementado su uso debido a su bajo costo de fabricación e instalación. Usualmente es utilizado en la elaboración de cielo raso falso, paneles de división, entre otros. Por su composición física y química, las PYL se convierten en un material potencialmente aprovechable y del cual se pueden obtener diferentes subproductos, los cuales pueden tener cabida dentro del mercado de los sectores de la agricultura y construcción.

Por otro lado, se ha prohibido que los residuos de drywall sean llevados a rellenos sanitarios como procedimiento de disposición final, ya que en condiciones anaerobias generadas por el confinamiento y la compactación de residuos se produce ácido sulfhídrico (H_2S), producto de la descomposición del sulfato de calcio ($CaSO_4$), el principal compuesto de las placas de yeso. De acuerdo con esta limitación, pocas empresas se dedican al tratamiento de este residuo y algunas solo se encargan del transporte hacia sitios de disposición informales.

Actualmente se presenta un gran problema dentro de la ciudad de Bogotá para realizar una adecuada gestión de los residuos PYL, incluyendo la baja rigurosidad por parte de los organismos de control. Aunque poco a poco se ha ido priorizando el tema de la gestión integral de RCD, la ciudad aún se encuentra en vías de formular una política completa y fomentar una cultura de la correcta disposición de residuos sólidos, donde la priorización del aprovechamiento debe ser una herramienta para la mitigación y reducción de impactos ambientales negativos, los cuales están relacionados con prácticas inadecuadas de presentación y disposición de residuos sólidos.

Con el propósito de dar cumplimiento al marco legal y a la responsabilidad social correspondiente a la adecuada gestión de los RCD, hay organizaciones dedicadas a realizar el aprovechamiento de materiales, esto conlleva a que los generadores cuenten con diferentes alternativas para realizar la disposición final de los residuos generados en obra. Paralelamente, surge una oportunidad de negocio con enfoque social y ambiental que prolonga el ciclo de vida de los RCD y genera beneficios para cualquier sector que requiera el uso de materias primas, logrando obtenerlas de forma indirecta por medio de un proceso y no directamente de la explotación de recursos naturales.

En este trabajo se formulará una propuesta de mejora para el proceso industrial con el que cuenta actualmente una empresa ubicada en la ciudad de Bogotá dedicada al aprovechamiento de los residuos de placas de yeso para la elaboración de productos destinados al sector agrícola,

teniendo en cuenta una evaluación técnica, económica y ambiental de las condiciones del mismo, con el fin de optimizar la producción de yeso generado a partir del aprovechamiento de las PYL y dar cumplimiento a la normatividad legal vigente.

1.2 Justificación

Ambiental

En 2010, la cantidad total a nivel mundial de residuos de placas de yeso se encontraba en torno a 11 millones de toneladas aprovechables, de esta cantidad un 50% provenía de proyectos de demolición y la otra de construcciones nuevas. Teniendo en cuenta que el sector de la construcción se encuentra en auge, se incrementa la generación de este tipo de residuos, por lo que su reciclado o aprovechamiento pasa a ser de vital importancia.

Algunos de los impactos ambientales asociados a la disposición informal de RCD, son la proliferación de vectores, percepción de inseguridad, disposición informal en lotes y otras áreas públicas, contaminación de recursos hídricos y suelos, entre otros; los cuales perjudican la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Bogotá

La formulación de la propuesta de mejora del proceso de aprovechamiento de las PYL permitirá considerar esta actividad como una alternativa viable que garantice la reincorporación del yeso al proceso productivo para utilizarlo como insumo en la elaboración de diferentes tipos de productos, además de prolongar su ciclo de vida, evitando que un material potencialmente aprovechable sea llevado a disposición final, y de esta forma fomentar la correcta gestión de RCD, ayudando a la mitigación y corrección de los impactos ambientales.

Social

El desarrollo de la propuesta de mejora está enfocado en garantizarle a los generadores de RCD la adecuada gestión de las placas de yeso, puesto que gran parte del material es transportado a sitios que no cumplen con las especificaciones técnicas de disposición final. Adicionalmente se fortalecerá el cumplimiento del marco legal ya que hoy en día la empresa objeto de estudio lo hace de forma parcial. Se resaltarán la importancia del proceso de aprovechamiento como la primera alternativa a considerar antes de la disposición final. Finalmente, evitar que los residuos de placas de yeso generen focos de contaminación por la disposición informal, los cuales constituyen impactos negativos como la percepción de inseguridad y la falta de control sobre los generadores RCD.

Económica

La reincorporación del yeso como insumo para la elaboración de diferentes productos implica un ingreso económico para la empresa encargada de realizar el proceso de aprovechamiento. La optimización del proceso industrial permitirá aumentar la producción del yeso agrícola, de la misma forma que mejorar el proceso productivo. Todo esto con el fin de que las actividades estén en un proceso de mejora constante, que le permita a la empresa estar a la vanguardia tecnológica y operativa de la gestión de los residuos de PYL.

1.3 Marco de Referencia

1.3.1 Marco Teórico

1.3.1.1 Generalidades de las Placas de Yeso Laminado

Las placas de yeso laminado (PYL), están formadas por un alma interior de yeso ligada a dos laminas superficiales de celulosa multi hoja formando placas rectangulares con una superficie lisa (Fernández, Fernández, & Maroto, 2012), como se muestra en la Figura 1.

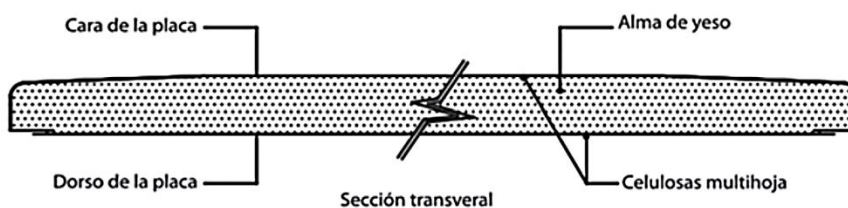


Figura 1. Placa de yeso laminado

Fuente: (Begliardo H. F., 2015)

A continuación, se mostrará el uso de las PYL como material de construcción y sus afectaciones:

1.3.1.1.1 Uso de las PYL como Material Construcción

El uso del yeso como material de construcción se remonta al periodo neolítico. Se tienen registros de su aparición en regiones como Anatolia, Turquía y Jericó (Cisjordania), entre los siglos IX a.C y VI a.C. Dentro de las principales características físicas del yeso como material de

construcción se encuentra la maleabilidad, fraguado rápido y aislamiento térmico y acústico (Villanueva, 2005).

Este material cuenta con una gran versatilidad que le proporciona diferentes características a partir del agregado de sustancias, con el fin de obtener una gama de productos para diferentes aplicaciones, como en humedad en forma de morteros, o en condiciones secas, en forma de láminas o placas (Begliardo , Panigatti , Sánchez , & Garrappa , 2013).

El yeso se obtiene a partir de rocas sedimentarias de origen evaporítico, conocida como “piedra de yeso” o “aljez”. La roca se encuentra compuesta por sulfato de calcio di hidratado ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) en su mayoría, además de impurezas como arcillas y arenas (Begliardo H. F., 2015).

Para la elaboración del producto comercial, la roca debe ser sometida a una temperatura de 170°C con el fin de evaporar las moléculas de agua presentes en la misma, en un proceso llamado deshidratación, formando hemihidrato de sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Una temperatura mayor implica la deshidratación total del material y la generación de anhidrita (CaSO_4), compuesto inestable que recupera la forma de hemidrato por medio de la absorción de agua presente en la humedad del aire. El hemidrato obtenido es llevado a un proceso de hidratación, el cual, modifica el material a su forma original de di hidrato, obteniendo mayor porosidad y menor densidad respecto al producto natural (Begliardo H. F., 2015).

El yeso también puede ser producido por medio de la desulfuración de gases de combustión, dando como resultado un material con características similares a la roca original conocido como yeso sintético. Actualmente desarrolla un papel fundamental en la elaboración de productos como

paneles, cemento y productos agrícolas. Solo en Estados Unidos hubo un incremento en la producción nacional de yeso por medio de este método; de 4% en 2002 al 54% en 2012 (Begliardo , Panigatti , Sánchez , & Garrappa , 2013).

Colombia no ha sido ajena al desarrollo de nuevos sistemas de construcción. El país ha contado con un crecimiento promedio de 32% anual en la producción de láminas de yeso, es decir, que para el año 2005 se habían consumido 6.5 millones de m²/año, lo anterior representa un total de 0.11 m²/habitante-año (Construdata, 2006).

1.3.1.1.1 Función de las PYL

Las PYL forman parte de diferentes tipos de propósitos constructivos y decorativos como residenciales, comerciales, industriales e institucionales, siendo usadas en obras nuevas, casas prefabricadas o ampliaciones, destacando su uso en remodelaciones (Sotomayor, Rojas, & Sanchez, 2015).

Su mayor ventaja es la de suministrar gran flexibilidad en diseños y formas adaptándose a las dimensiones del lugar; idóneas en remodelaciones, disminuyendo tiempo y costos en la etapa constructiva del proyecto. Cabe agregar que el material por sus características fisicoquímicas, proporciona protección contra incendios y contribuye al aislamiento térmico y acústico adecuándose a todo tipo de clima (Sotomayor, Rojas, & Sanchez, 2015).

1.3.1.1.2 Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los residuos de construcción son generados a partir de la construcción y edificación de infraestructuras nuevas, al igual que remodelación y/o demolición de obras públicas e inmuebles, independientemente de las dimensiones de las mismas. Un gran porcentaje del material que se produce es susceptible a ser sometido a procesos de aprovechamiento, puesto que son inertes, es decir, no producen reacciones químicas al entrar en contacto con otras sustancias y no cuentan con procesos de degradación biológica, otorgándoles la categoría de residuo no peligroso (Sotomayor, Rojas, & Sanchez, 2015).

La ciudad de Bogotá genera cerca de 15 millones de ton de RCD/año, el equivalente a 2000 kg*hab/año. La producción de residuos de construcción y demolición a esta escala ha generado problemas de disposición del material, puesto que no se cuenta con la infraestructura necesaria para realizar el tratamiento. El fenómeno de la disposición informal genera impactos ambientales como percepción de inseguridad y proliferación de vectores (Castaño, Misle Rodríguez, Lasso, Gómez Cabrera, & Ocampo, 2013).

1.3.1.1.2 Impacto ambiental de las PYL

1.3.1.1.2.1 Contaminación Por Medio De Biosidas

Los biosidas son compuestos químicos que se utilizan comúnmente en productos como las PYL para generar resistencia a hongos como el moho, puesto que el papel de yeso puede desarrollar crecimiento de microorganismos si la lámina no se instala correctamente. (Building Green, 2012).

1.3.1.1.2.2 Lixiviación de Yeso

Cuando las PYL se convierten en RCD suelen ser dispuestas informalmente en espacios públicos, problemática que existe en la ciudad de Bogotá, y al encontrarse en estos lugares se ven afectadas por variables meteorológicas como la precipitación, lo que termina produciendo la lixiviación del sulfato de calcio que pasa a afectar el ciclo del agua y al ecosistema circundante cambiando la composición química del fluido y el suelo (Velasco, 2015).

1.3.1.1.2.3 Disposición en Rellenos Sanitarios

Las PYL llegan en grandes cantidades a los rellenos sanitarios, donde en condiciones anaeróbicas las bacterias convierten el yeso (CaSO_4) en sulfuro de hidrógeno (H_2S). Se ha investigado acerca de la producción de este gas. A continuación, se muestran los resultados de algunas investigaciones.

En EE.UU. se realizó un análisis del impacto a la composición de los residuos por su generación de sulfuro de hidrogeno a partir de RCD. En éste de determinó que las PYL en condiciones anaerobias pueden generar concentraciones de H_2S entre 40.000 - 63.000 ppm, siendo el material con mayor generación de gas al ser comparado con otros (Haney, y otros, 2011).

En la Universidad de Nagasaki, en Japón, se realizó una investigación en la que se analizó la generación de sulfuro de hidrógeno en rellenos sanitarios, con el fin de proponer un valor límite

para el yeso (CaSO_4) y suprimir el sulfuro de hidrógeno (H_2S) en relación con el óxido sulfúrico (SO_4) y la materia orgánica. Como dice Asakura (2015) “Se determinó que la concentración de SO_4 debe ser inferior a aproximadamente 100 mg- SO_4 / L, con el fin de reducir la generación H_2S por debajo de las 2000 ppm, La concentración total de carbono orgánico (COT) debe ser inferior a aproximadamente 200 mg-C/L, suponiendo una concentración alta de SO_4 . El valor límite para el SO_4 en el suelo es de 60 mg- SO_4 /kg con 0,011% en peso como di-hidrato de yeso, es decir, aproximadamente 1/10 del valor límite en los residuos inertes definidos por la decisión del Consejo de la U.E. (560 mg- SO_4 /kg de desechos)”. (P.334). (Begliardo , Panigatti , Sánchez , & Garrappa , 2013).

Por otro lado, Heaney, menciona que “En la Universidad de Carolina del Norte, EE. UU, a partir de las preocupaciones de la comunidad acerca de la salud y calidad de vida en los barrios que bordean el relleno sanitario del condado de Orange, el cual fue emplazado en 1972, se analizó la relación entre los olores ofensivos, producto del sulfuro de hidrógeno ambiente y la salud. Los resultados del estudio que apoyan la investigación y sugieren que el H_2S y otros gases pueden desencadenar síntomas irritantes y físicos. Definiendo un buen estado de salud como *“la condición de completo bienestar físico, mental y social, no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Por lo que los resultados proporcionan evidencia de los impactos de los olores ofensivos del relleno sanitario en la salud y su relación con la calidad de vida de las personas”* (Haney, y otros, 2011)

En las investigaciones mencionadas se corrobora que los impactos por la producción de gases tóxicos y olores ofensivos en rellenos sanitarios han aumentado, lo que se demuestra que en grandes concentraciones el sulfuro de hidrógeno es peligroso para el bienestar de los seres

humanos, fortaleciendo la problemática en la salud pública. El mejor escenario que se plantea es aquel en el que no se dispongan residuos de materiales a base de yeso en los rellenos sanitarios debido a la peligrosa producción de sulfuro de hidrogeno.

1.3.1.1.3 Alternativa de reciclado de las PYL

Actualmente existe una tendencia creciente de generar RCD, lo cual ha motivado que muchos países (incluido Colombia), inicien el proceso de dictar regulaciones medioambientales tendientes a disponer correctamente y aprovechar los RCD, valorizándolos a partir de su reciclado o reutilización, a fin de reducir la cantidad de residuos que son llevados a disposición final y reinsertarlos al proceso productivo, para que de esta forma se alargue su ciclo de su vida (Begliardo H. F., 2015).

Las PYL son una fracción de esta línea de residuos que forman parte de los RCD aprovechables y cuentan con técnicas que permiten reciclar el 100% de los residuos procedentes de paneles laminados (Begliardo H. F., 2015).

1.3.1.1.3.1 Procedimiento de aprovechamiento

El procedimiento de aprovechamiento de las PYL se hace por medio de la separación de los componentes principales realizando, en primer lugar, la selección del material para reciclar, donde además de las placas obtenidas como RCD es posible incluir a aquellas que fueron dispuestas como defecto de fábrica y que, por lo tanto, no llegaron al consumidor. Posteriormente son conducidas a través de sinfines, elevadores y cintas transportadores hasta un sistema de molienda

y cribado circular rotatorio, repitiendo dos veces este proceso para eliminar el yeso retenido en las partículas de cartón, obteniendo dos subproductos totalmente separados, los cuales pueden tener diferentes usos (Fernández S. , 2013).

1.3.1.1.3.2 Yeso natural

El polvo de yeso obtenido del proceso de reciclado puede reemplazar hasta un 25% del yeso natural por lo que es útil en la producción de nuevos tableros, siendo de gran importancia para reducir impactos ambientales del sector de obtención de materias primas en minería, destacándose la recuperación de sus propiedades conglomerantes a través del secado a diferentes temperaturas (Fernández S. , 2013).

Algunos de los usos del polvo de yeso son la fabricación de cementos (regulador de fraguado), en la agricultura (compuestos aportador de calcio y regulador de pH en suelos), en la fabricación de papel, plásticos y pinturas (carga industrial), en la depuración de aguas y en la manipulación y transporte de agentes biológicos y residuos clínicos (barrera protectora), entre otros. Adicionalmente existe la posibilidad de potencialidad en procesos de absorción de grasas, tratamiento de aguas y secado de lodos (Begliardo H. F., 2015)

1.3.1.1.3.3 Fibra de Cartón Reciclado

La fibra de cartón reciclado está compuesta de fibra de celulosa virgen obtenida de especies vegetales y puede tener diferentes usos (Begliardo, 2015). En Colombia están a la venta productos

como camas para pesebreras o corrales, los cuales ofrecen beneficios como mayor poder de absorción y duración, para el control de enfermedades como de mastitis en vacas estabuladas (Green Investment, 2014).

1.3.1.2 Métodos de Evaluación Técnica

Se realiza a partir de herramientas aplicadas al diseño de planta de una empresa como apoyo al realizar propuestas operativas o de organización.






1.3.1.2.1 Elementos de los Procesos Industriales

Todo proceso industrial está compuesto por una serie de actividades organizadas para obtener un producto, estas son clasificadas en cinco acciones básicas, las cuales son:

- Operación: ésta actividad contribuye a toda transformación dentro del proceso hasta llegar al producto final (Prieto & Bello, 2002).
- Control: corresponde a las inspecciones que se realizan a las características de los materiales o a las variables que manejan los equipos para que cumplan con parámetros establecidos por las empresas o normas específicas del producto (Prieto & Bello, 2002).
- Almacenamiento: se presenta cuando se desea guardar y proteger el material o el producto frente a las condiciones externas que puedan alterar su estructura interna (Prieto & Bello, 2002).
- Transporte: son todos los movimientos o desplazamientos que realizan los materiales o personas (Prieto & Bello, 2002).
- Demora: también llamada espera o retraso corresponde a los periodos de tiempo de inactividad presentados por los materiales o por las personas durante la ejecución de cualquier clase del proceso (Prieto & Bello, 2002).

Éstas actividades se simbolizaron por medio de una serie de convenciones las cuales se muestran en la Tabla 1 (Prieto & Bello, 2002).

Tabla 1. Convenciones del diagrama de flujo

Símbolo	Significado
	Operación
	Control
	Almacenamiento
	Transporte
	Demora

Fuente: (Prieto & Bello, 2002)

1.3.1.2.2 Diagramas de flujo

Una de las herramientas para recoger o plantear información de un proceso industrial, con el fin de entender lo que está pasando en las actividades con miras a la optimización, es la representación gráfica del proceso a través de los diagramas de flujo (Prieto & Bello, 2002).

- Diagramas de flujo de bloques: Esta diagramación de un proceso es la más sencilla y se realiza por medio de bloques o cajas para las operaciones y flechas, uniendo las operaciones con el material que se maneje (Prieto & Bello, 2002).
- Diagrama de flujo de operaciones: se usan solamente los símbolos de operación y control unidos por líneas para conformar ramales verticales. Luego, al lado derecho se escribe el nombre de la actividad y al lado izquierdo el tiempo de duración representando las operaciones y los materiales que intervienen en el proceso (Prieto & Bello, 2002).

- Diagrama de flujo de proceso: se emplean todos los símbolos de las actividades de los procesos para presentar las actividades con los tiempos requeridos para cada una y las distancias recorridas durante los transportes (Prieto & Bello, 2002).
- Diagrama de recorrido: muestra el sitio exacto donde se ejecuta cada actividad y la distancia del proceso en un plano de vista de planta a escala (Prieto & Bello, 2002).

1.3.1.3 Métodos de Evaluación Económica de Proyectos

Son herramientas que facilitan la toma de decisiones por parte de los administradores de un proyecto, ya que permite generar pronósticos de acuerdo a variables como costos y precios.

1.3.1.3.1 Flujo de Caja

Es una herramienta financiera que permite observar los ingresos y salidas de capital que ha tenido una empresa o proyecto en un tiempo determinado, lo que lo hace excelente para ayudar en la planificación puesto que permite llevar el control del saldo y las variables que lo afectan. (Burbano & Ortíz, 1998)

1.3.1.3.2 Indicadores de Rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad es un método utilizado para observar y establecer que tan rentable puede llegar a ser un negocio de acuerdo a su inversión, ingresos y costos operacionales en un periodo de tiempo determinado. Por medio de la construcción de un flujo de caja es posible observar el movimiento de capital y determinar indicadores como la tasa de oportunidad, el valor presente neto, la tasa interna de retorno, la relación beneficio-costos y el periodo de repago. (Burbano & Ortíz, 1998)

- **Tasa de oportunidad (TO):** La tasa de oportunidad o tasa interna de oportunidad es un valor porcentual que indica la rentabilidad mínima que debe generar un proyecto y que el

inversor está dispuesto a recibir; es fundamental para el cálculo del valor presente neto. (Burbano & Ortíz, 1998)

- **Valor presente neto (VNP)**

Corresponde a un valor en cantidades monetarias que equivale al precio de los ingresos y egresos de la empresa. Dependiendo del resultado obtenido es posible determinar el interés para realizar una inversión.

Con valores mayores a cero, se considera un proyecto atractivo para realizar una inversión; con valores iguales a cero, el proyecto es indiferente, es decir, que no genera ganancias, pero tampoco pérdidas. Finalmente, cuando el valor presente neto es inferior a cero, es un negocio al que no es recomendable invertir. (Burbano & Ortíz, 1998).

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno representa el beneficio o la pérdida que puede llegar a tener una inversión en un proyecto. De la misma forma que el valor presente neto, es una medida de rentabilidad que muestra la situación actual de un proyecto y se determina de forma porcentual (Burbano & Ortíz, 1998).

- **Relación beneficio-costos (RB/C):** Es la relación entre el VPN de los ingresos y el VPN de los costos y es el beneficio o ganancia que se tiene por cada peso invertido en el proyecto. De la misma forma que el VPN, cuenta con una serie de rangos que muestran la rentabilidad, los cuales están distribuidos así (Burbano & Ortíz, 1998).

Si la relación es superior a uno, significa que el proyecto es rentable y se encuentra generando ganancias. Si es igual a uno, el proyecto es indiferente, por lo que no muestra ni

ganancias, ni pérdidas. Finalmente, si la relación es inferior a uno, significa que el proyecto no es rentable y por ende se encuentra generando pérdidas.

- **Periodo de repago:** El periodo de repago es un valor en unidad de tiempo en el que se muestra el lapso que debe transcurrir para que el proyecto pueda recuperar el capital inicial de inversión, y por ende empezar a ser rentable.

1.3.1.4 Métodos de Evaluación de Impactos Ambientales

El impacto ambiental es definido como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre, para evaluarlos se han desarrollado diferentes métodos con el fin de poner un valor y comparar los impactos en las actividades un proyecto.

1.3.1.4.1 Matriz Leopold

La matriz de Leopold es el primer método que se utilizó en evaluación de impactos ambientales, en 1971, por el Servicio Geológico de los EEUU y a pesar de su antigüedad con variaciones, es de los que más se utilizan en la actualidad. Se basa en una matriz donde en las columnas hay 100 acciones y en las filas 88 factores ambientales. Los cruces son posibles impactos. Las cuadrículas del cruce que presenten impactos significativos, se dividen con una diagonal marcando la importancia en la parte superior la magnitud del impacto, valorada entre 0 y 10, y en la inferior la importancia, también en una escala de 0 a 10. Sumando por filas se obtiene el impacto producido sobre un determinado factor ambiental, y sumando por columnas el impacto producido sobre un determinado factor.

1.3.1.4.2 Método Batelle-Columbus

Se desarrolló en los Laboratorios Batelle, de Columbus, Ohio, en 1971, y proporciona un sistema de evaluar el impacto global de un proyecto. Fue uno de los primeros métodos que buscó un valor agregado del impacto para cada alternativa.

Pondera 78 parámetros clasificados en 18 componentes, agrupados en 4 categorías. Entre ellos se repartieron mil unidades de importancia. Aunque no sean destacados todos los parámetros para cualquier obra, se evalúan. Para medir la magnitud de cada parámetro y utiliza unidades homogéneas, usando funciones de transformación, y con la suma ponderada de los factores se obtiene el impacto global de la obra.

1.3.1.4.3 Método Galletta

Nació de la evaluación de carreteras y autopistas, en Umbría, Italia, y propone un método general de evaluación de impactos ambientales. Un programa de computador calcula la calidad ambiental inicial del medio y localidad con el proyecto, representando gráficamente los resultados. Se consideran 14 factores ambientales que se ponderan de 0 a 100. Se divide el territorio en cuadrículas homogéneas formando una malla, y se valora en cada cuadrícula, cada uno de los 14 factores con una puntuación de 1 a 5, obteniéndose la calidad del medio. Posteriormente se calculan los impactos producidos por el proyecto y de esta forma se obtiene la calidad final con el proyecto.

1.3.1.4.4 Análisis del Medio Energético Allister

Se valora, en términos de “coste-ganancia”, el flujo de energía que produce cada alternativa del proyecto, pues considera que la energía mide mejor que el dinero la cantidad de recursos utilizados.

1.3.1.4.5 Guías Metodológicas Del Mopu

El antiguo Ministerios de Obras públicas divulgo cuatro guías: Presas, Carreteras y Vías Férreas, Reforestaciones y Aeropuertos. En ellas se indican los pasos a seguir en una evaluación de impactos ambientales, con listas de revisión de acciones, factores e impactos completas para esos tipos de obras en España. Ofrecen una valoración cualitativa y cuantitativa y desarrollan una serie de medidas de minimización de los impactos completa.

1.3.2 Marco Conceptual

A continuación se presentan una serie de términos definidos a forma de glosario para dar claridad en cuanto a conceptos que ayudaran a la interpretación del documento.

Costos fijos: son aquellos valores independientes de la actividad de producción de una empresa; es decir, representa un gasto invariable al menos, durante un cierto periodo en relación a la cantidad de bienes o servicios logrados durante un espacio de tiempo determinado (Economipedia, 2015).

Flujo de caja: hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene una empresa o proyecto en un período determinado (Economipedia, 2015).

Periodo de repago: Es el lapso de tiempo que tiene que transcurrir para que un proyecto recupere su valor de inversión inicial.

Protocolo: Cadena de pasos que se deben seguir para cumplir con actividades específicas del proceso productivo, con el fin de garantizar la calidad del mismo.

Rentabilidad: relación existente entre los beneficios que proporciona una determinada operación y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho; cuando se trata del rendimiento financiero (Economipedia, 2015).

Relación beneficio-costo: es un cociente que muestra la relación entre ingresos y egresos, mostrando la ganancia en términos de moneda respecto a la inversión inicial en un proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR): es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto (Economipedia, 2015).

Unidad operativa: hace referencia a la maquinaria que en conjunto con otros conforman un ciclo productivo a proceso.

Valor presente neto (VPN): es una fórmula que permite calcular cuál es el valor de hoy que tiene un monto de dinero que no será recibido en el momento, sino en el futuro (Economipedia, 2015).

1.3.3 Marco Normativo

El marco normativo corresponde a todas aquellas normas legales y técnicas emitidas por entidades de control o de estandarización a las cuales el proyecto estará sometido y deberá dar cumplimiento. A continuación, se muestra la normativa vigente en cuanto a la adecuada gestión de residuos de placas de yeso laminado y residuos de construcción y demolición en Colombia, además de otras de carácter técnico, necesarias para el desarrollo del proyecto.

Decreto 586 de 2015: Emitido por la Secretaría Distrital de Ambiente y “Por medio del cual se adopta el modelo eficiente y sostenible de la gestión de residuos de construcción y demolición- RCD en Bogotá D.C.”. Donde la propuesta de mejora estará enfocada en dar cumplimiento a la política de gestión integral de RCD establecida para la ciudad, como un sistema de aprovechamiento, alternativo a la disposición final donde se les garantiza a los generadores de este tipo de materiales el tratamiento adecuado de los residuos generados en obra, esencialmente los provenientes de placas de yeso.

Resolución 472 de 2017: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y “Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición-RCD y se dictan otras disposiciones”. Se consideran los procesos de aprovechamiento de RCD como la primera acción a tener en cuenta en todo el territorio nacional, dejando como última consideración la disposición final como tratamiento de este tipo de materiales. El proyecto en conjunto con la empresa donde será llevado a cabo desempeñará el papel de prestador de servicios de aprovechamiento, enfocado al tratamiento de residuos de placas de yeso laminado.

Resolución 1115 de 2012: Emitida por la Secretaría Distrital de Ambiente y donde “Se adoptan los lineamientos técnico- ambientales para actividades de aprovechamiento y tratamiento

de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital”. Tanto la propuesta de mejoramiento como la empresa donde será llevada a cabo deberán cumplir con los lineamientos técnicos y ambientales para el desarrollo de esta actividad al interior de la ciudad de Bogotá. Dentro de las obligaciones más importantes se consideran ubicación, calidad del material susceptible al aprovechamiento, medidas preventivas y sancionatorias, entre otras.

Resolución 909 de 2008: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y “Por la cual se establecen las norma y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”. Debido a que el proceso de aprovechamiento para los residuos de láminas de drywal implica la generación de material particulado, el cual, debe ser controlado para evitar la emisión de este material a la atmósfera. La propuesta de mejora también estará dirigida al control de actividades y aspectos ambientales que puedan generar impactos negativos sobre el medio ambiente.

Resolución 541 de 1994: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y “Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.”. Al realizar procedimientos de cargue, descargue transporte y almacenamiento de RCD, la empresa debe seguir los lineamientos técnicos establecidos en la presente resolución. La propuesta de mejora evaluara la viabilidad de optimizar las condiciones con las cuales estos procesos se están realizando.

Norma Técnica Colombiana NTC ISO 14001/2015: Establecida por la organización internacional de estandarización, es una norma técnica internacional donde se dictan los parámetros para la implementación y mejora continua del sistema de gestión ambiental en empresas, independientemente del tamaño de esta.

1.4 Antecedentes

En la ciudad de Bogotá se realizó un análisis de la gestión de RCD teniendo en cuenta las perspectivas y limitantes, considerando los nuevos enfoques que están buscando las entidades públicas encargadas de gestionar la construcción y el medio ambiente. Se llegó a observar la necesidad apremiante de dar solución al tema de los RCD en el Distrito, y convenientemente debe ser la administración la que proporcione las herramientas que permitan concluir satisfactoriamente el proceso, aumentando la recolección de RCD en todo el casco urbano (Castaño, Misle Rodríguez, Lasso, Gómez Cabrera, & Ocampo, 2013).

Con el objetivo de aumentar los beneficios medioambientales de preservación de un recurso natural no renovable (roca de yeso) y la reducción de consumos energéticos de la producción de las PYL, se realizó una investigación en la que se estudió el comportamiento de mezclas de yeso reciclado como un reemplazo para el yeso natural en construcción, bajo requisitos de aptitud establecidos en normas argentinas y chilenas, analizando la viabilidad de su reutilización en la construcción, determinando así las condiciones y proporciones en las que el material reciclado se puede usar sin perder las características iniciales (Begliardo , Panigatti , Sánchez , & Garrappa , 2013).

Por lo tanto, al realizar el aprovechamiento de las PYL se pueden obtener materiales de uso constructivo como se plantea en una investigación realizada en España, en la que se evaluó el ciclo de vida de productos de yeso reciclado. Se confirmó que el aprovechamiento del yeso tiene beneficios ambientales en todas las categorías cuando éste RCD fue transportado a una planta de reciclaje a una distancia igual o menor a 30 km del foco de generación. El estudio muestra que el

proceso de reciclaje de yeso consume menos del 65% de la energía necesaria para obtener yeso natural, y emite menos del 65% de los gases de efecto invernadero producidos en el proceso de obtención de yeso natural. Se observaron ahorros mayores al 35% en las categorías de efectos cancerígenos, el agotamiento del ozono y de ocupación del suelo, incluso cuando los residuos de PYL fueron transportados a una planta de reciclaje a una distancia de 50 km. Además, se encontró que el impacto ambiental en las categorías evaluadas fue inferior cuando se utilizó yeso reciclado en lugar del natural en la producción de PYL (Suárez, Roca, & Gasso, 2016).

En este mismo orden de ideas, se analizó la aplicación del yeso obtenido del aprovechamiento de drywall en todo tipo de pesebreras, lo cual produjo una reducción significativa de olores y proliferación de vectores como bacterias somáticas y bacterias en los animales. Mediante un experimento en el que aplicaron yeso reciclado en establos para vacas, se demostró que disminuía drásticamente el crecimiento bacteriano en la leche. Se comprobó el efecto reductor en cuanto a la proliferación de vectores por la aplicación de este compuesto en el estiércol de cerdos versus estiércol bruto (Pryor , Dees , & Best, 2000)

Adicional a ello, en cuanto a la opinión social, se realizó una investigación en la que exploraron los factores que influyen en el reciclaje de yeso post-consumo y su disposición en la Unión Europea. En esta se analizaron datos para clasificar los factores críticos (CFS). Se llevaron a cabo comparaciones de las opiniones de encuestados divididos en dos grupos; conocimientos sobre el reciclado del yeso y sobre la normatividad asociada a éste. Obtuvieron resultados donde se muestra que un conjunto de los encuestados tiene conocimientos de la legislación perteneciente a los RCD, lo que indica la importancia de los instrumentos normativos y económicos para la

promoción de una economía circular del yeso, contrario a los que tenían conocimientos amplios en económica, sociedad y medio ambiente (Jiménez Rivero & García Navarro, 2016).

Por otro lado, se analizó la comercialización del producto obtenido del aprovechamiento del drywall de los proyectos generadores de RCD. Se determinó que las PYL es un material de construcción que tiene mercados de reciclaje tecnológicamente factibles. Los principales campos en los que se han utilizado son: fabricación de paneles de yeso y cemento portland, además de compuestos agrícolas para el suelo (teniendo en cuenta que se usa como suplemento de micronutrientes para compost y pesebreras) (Townsend & Cochran, 2007).

En ese mismo sentido, es importante tener en cuenta que para éste material debe evaluarse la presencia de trazas de contaminantes, abordando las barreras de implementación en su aprovechamiento. Adicionalmente se necesita educar y demostrar (y en muchos casos, implementar cambios normativos) la importancia del aprovechamiento de paneles de yeso para que alcance su máximo potencial ambiental (Townsend & Cochran, 2007).

Finalmente, en otra investigación se determinó que el yeso reciclado es un material denso, pesado, difícil de compactar y de transporte costoso, sin embargo, el 100% del drywall se puede recuperar siempre y cuando el residuo de panel de yeso cumpla con las especificaciones técnicas del reciclador, ya que las características de las PYL hacen que el procesamiento sea factible. La viabilidad económica de esta forma de aprovechamiento depende en gran medida de los costos de transporte, debido a que éste es una fuente de agotamiento de recursos y contaminación del aire, donde se debe tener en cuenta que actualmente la demanda de estos residuos es mayor que la oferta (Marvin, 2000).

1.5 Pregunta de investigación

¿Cuál es el procedimiento industrial adecuado que se debe realizar para el aprovechamiento de drywall proveniente de residuos de construcción y demolición RCD?

1.6 Hipótesis

El aprovechamiento de placas de yeso laminado es una alternativa acertada a la disposición final, y supone que el proceso es técnica y económicamente viable para la unidad de estudio.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Proponer una alternativa para el mejoramiento del proceso industrial de aprovechamiento de residuos de Drywall.

1.7.2 Objetivo Específicos

1. Establecer el estado actual del proceso de aprovechamiento de residuos de drywall.
2. Realizar la evaluación técnica, económica y ambiental del proceso actual de aprovechamiento de residuos de drywall.
3. Formular una propuesta de mejora para el proceso de aprovechamiento de residuos de placas de yeso laminado.

1.8 Metodología

En la presente investigación se elaboró una propuesta de mejoramiento del proceso industrial en una empresa dedicada al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición enfocada a los residuos de láminas de yeso para la producir yeso agrícola.

El proyecto se desarrolló en tres fases, las cuales contemplan las etapas de determinación del estado actual (recopilación de la información por medio del levantamiento de información en campo y una revisión documental suministrados por la empresa); evaluación (correspondiente al análisis técnico, económico y ambiental del proceso de aprovechamiento); y finalmente se formuló una propuesta de mejora del proceso productivo (selección de operaciones, elaboración de diagrama de proceso final y socialización de resultados con la organización), con el fin de mejorar el desempeño del proceso, las condiciones económicas en cuanto a rentabilidad y el impacto ambiental de la actividad que desarrollan.

1.8.1 Fase 1: Estado actual de la empresa Ser-efec S.A.S.

Se realizó el levantamiento de la información en campo para la obtener un concepto detallado de cada una de las actividades que conforman proceso productivo. Posteriormente, se hizo la lectura de documentos que suministró la empresa objeto de estudio, con el fin de obtener información relacionada con los aspectos técnicos u operativos (maquinaria, empleados, protocolos de recolección, etc.), económicos (inversión, costos, ventas, etc.), para finalmente organizar los datos recolectados y dar inicio a la fase evaluación de las condiciones de operación actuales.

- **Obtención de la información en campo:** Se reconoció el proceso productivo por medio de visitas a la bodega donde se lleva a cabo la actividad productiva, teniendo en cuenta las unidades operativas, especificando procesos y protocolos de cada una de ellas, condiciones físicas de la estructura de la planta, maquinaria y vehículos utilizados en de las etapas que conforman el proceso de aprovechamiento.
- **Lectura e interpretación de documentos:** Se hizo lectura e interpretación de la documentación entregada por la empresa objeto de estudio, con el fin de obtener una serie de datos asociados a costos fijos, de inversión, ventas, productos generados, salarios, proyectos actuales y futuros, entre otros.
- **Organización de la información en tablas y diagramas:** Toda la información requerida para la fase de evaluación se organizó con el fin elaborar las memorias de cálculo y facilitar el desarrollo de esta.

1.8.2 Fase 2: Evaluación de las condiciones actuales de la empresa Ser-efec S.A.S.

Se analizaron las condiciones de operación técnicas, económicas y ambientales actuales del proceso productivo utilizando metodologías que permitieron observar el desempeño de cada una de ellas, como lo es el flujo de material en el aspecto técnico, el cambio en el tiempo del aspecto económico, y la cuantificación y calificación los impactos ambientales producidos por la actividad industrial, además del grado de cumplimiento asociado a la normatividad legal ambiental.

- **Análisis técnico:** Se realizó un análisis del proceso de aprovechamiento de residuos de drywall mediante diagramas y mapas de flujo, los cuales permitieron observar las características de las operaciones como almacenamiento, transporte y triturado dentro de la planta de producción.

- **Análisis económico:** Se elaboró un flujo de caja de acuerdo a la información suministrada, con el objetivo de observar cómo ha sido el movimiento de capital en el tiempo además de generar una proyección, para lo cual se tuvieron en cuenta indicadores de rentabilidad.
- **Análisis ambiental:** Se realizó una matriz de impacto ambiental que permitió observar los impactos ambientales generados por el proceso de aprovechamiento de placas de yeso.

1.8.3 Fase 3: Propuesta de mejora para la empresa Ser-efec S.A.S.

Se formuló una propuesta por medio de la selección de alternativas de mejoramiento al proceso productivo existente con base en los resultados obtenidos en el análisis de cada uno de los aspectos trabajados en la fase dos.

- **Descripción y selección de las alternativas de mejora:** Se describieron y seleccionaron las alternativas capaces de complementar el proceso de aprovechamiento actual, mediante una evaluación bajo los criterios de costos, número de operarios, adecuaciones en planta, necesidad de articular la alternativa con otras unidades operativas o procesos, espacio que ocupa la alternativa, y su importancia como complemento de la actividad económica.
- **Evaluación de la propuesta seleccionada:** Se realizó una evaluación técnica, económica y ambiental de la propuesta final teniendo en cuenta los criterios utilizados en la fase de diagnóstico.
- **Socialización con la empresa:** Coordinar una reunión en la que se muestre a la empresa la formulación de la propuesta de mejora y los resultados obtenidos tanto en la evaluación como en el desarrollo del proyecto en general.

1.8.4 Diagramas de Flujo

A continuación, se presenta la metodología desglosada en las tres fases:

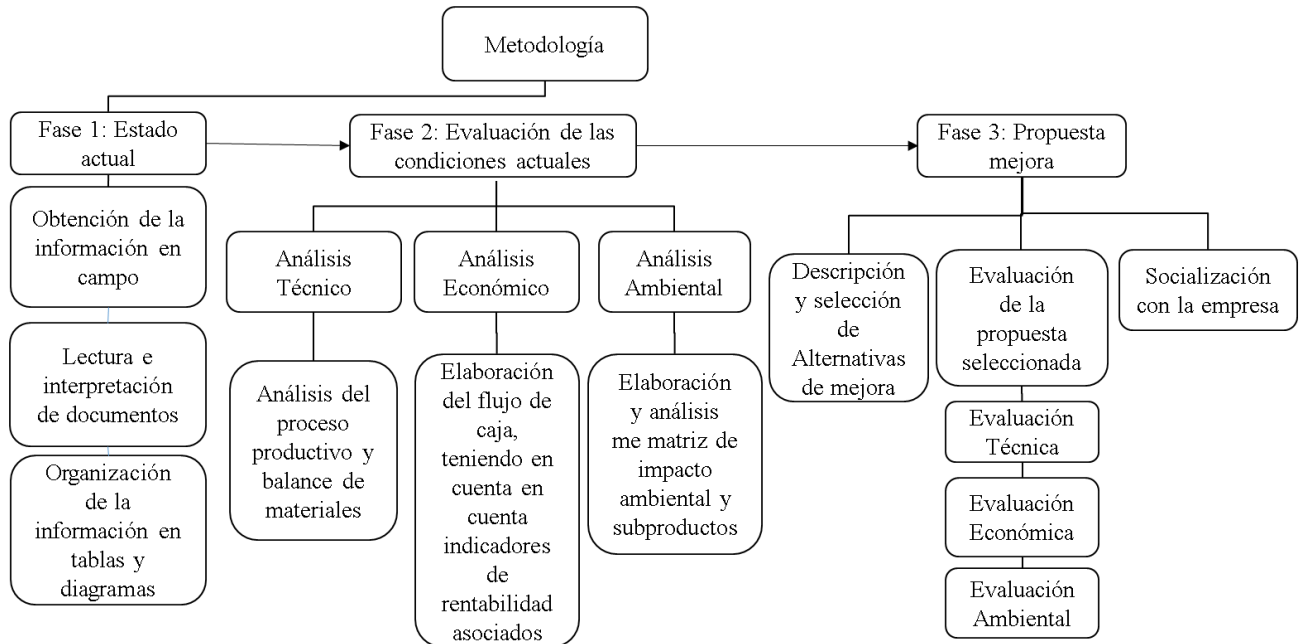


Tabla 2. Diagrama de la metodología

Fuente: Autores

CAPITULO 2

2 Estado actual de la empresa Ser-efec S.A.S.

Para el establecimiento de la línea base se tuvo en cuenta la información técnica, económica y ambiental de la empresa, realizando una serie de visitas de reconocimiento de procesos y recopilación de información documental para describir la unidad de estudio, lo cual se muestra a continuación:

2.1 Información general de la empresa

La empresa fue creada a mediados del año 2010 con el propósito de realizar actividades de asesoramiento para empresas en el ámbito jurídico-ambiental. Comenzó a enfocarse en el aprovechamiento de materiales a partir del año 2016, realizando actividades de recolección y transporte de residuos provenientes de actividades de construcción y demolición.

En este mismo orden, durante un tiempo de aproximadamente dos años la empresa se encargó de realizar la recolección y el transporte de diferentes tipos de residuos, llegando a consolidar diferentes alianzas con empresas del sector de aprovechamiento de materiales de construcción, con el fin de realizar una correcta disposición y obtener ingresos a partir de estos servicios.

Durante este periodo se realizó el almacenamiento en la planta de la empresa correspondiente a los residuos de las placas de yeso laminado y a las bolsas de mortero, con el objetivo de realizar actividades enfocadas al aprovechamiento de materiales. Pero, desde hace pocos meses ha comenzado con el proceso de trituración de las PYL con una maquina diseñada para esta labor.

Actualmente, los ingresos de la empresa provienen de la adecuada disposición de drywall y otros materiales provenientes de RCD, la empresa cuenta con un exigente proceso de recepción y transporte con el fin de acelerar el registro de éstos para que empresas del sector de la construcción observen la rigurosidad con la que se hace la gestión integral de RCD.

2.2 Ubicación

La empresa realiza las labores administrativas en una oficina ubicada en la Calle 2 Bis N° 71 D-16 en la localidad de Kennedy en la ciudad de Bogotá, como se muestra en la Figura 2. El sector es de carácter residencial, con pequeños negocios y lugares importantes como el Estadio Distrital de Techo, el Parque Mundo Aventura y el centro comercial Plaza de las Américas. Paralelamente, la parte operativa correspondiente al aprovechamiento de drywall se realiza en la planta ubicada en el barrio Venecia de la ciudad de Bogotá, en Calle 39 I sur N°68 A 61 como se muestra en la Figura 23. Es un sector caracterizado por ser de tipo industrial, ya que se llevan a cabo actividades como el mantenimiento de vehículos de carga pesada, ornamentación metálica, entre otros.

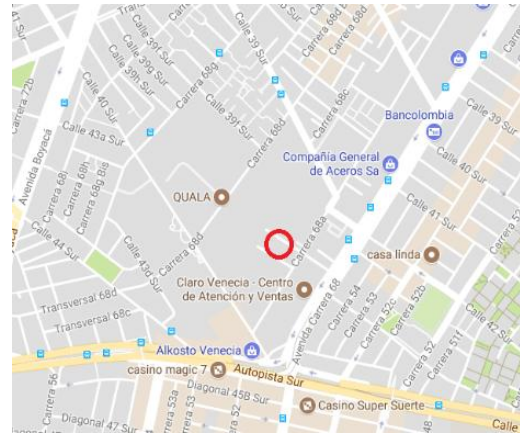


Figura 2 y 3. Ubicación de la oficina y planta de producción respectivamente

Fuente: Rescatado de Google maps (<https://www.google.es/maps/@4.6244484,-74.1396083,16z>), (<https://www.google.es/maps/@4.5983967,-74.1381318,17z>)

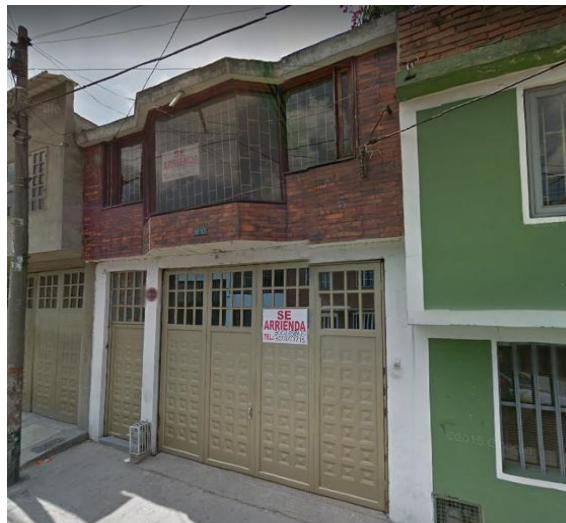


Figura 4. Entrada de la Planta de producción

Fuente: Google maps, Recuperado de <https://www.google.es/maps/@4.5983967,-74.1381318,3a,75y,189.42h,98.03t/data=!3m4!1e1!3m4!1sMnXFliSUJEacaG8w-nOpCA!2e0!7i13312!8i6656>

En la figura 4 se observa la fachada de la planta. Al ser una vía cerrada, se destaca la ausencia de espacio para realizar el movimiento de descarga de los residuos de PYL, tampoco cuenta con señalización que indique la presencia constante de vehículos de carga pesada, la cual es obligatoria efectos de la actividad que se desarrolla según la resolución 1115 de 2012.

2.3 Recolección y Transporte

Actualmente, la empresa se encarga de realizar el proceso de recolección y transporte para cualquier tipo de RCD generado en proyectos medianos y grandes de construcción, siendo el drywall y bolsas de mortero los materiales que son almacenados, ya que la empresa tiene el propósito de trabajar en su recuperación. Los demás materiales, como residuos de madera, escombros, icopor, PVC, entre otros, son llevados a diferentes centros de acopio o disposición especializados en cada uno de ellos.

El procedimiento de recolección o cargue es realizado de forma manual por el conductor y los operarios o por medio del uso de la maquinaria utilizada en la obra. Para el caso de los residuos de drywall, la empresa sugiere que el generador haga separación en la fuente, aislando este material del resto de subproductos de obra y residuos sólidos ordinarios que puedan mezclarse para que, a continuación, los ubique en sacos de lona. Esta actividad facilita el cargue por parte de los operarios, reduce la probabilidad de perder material que quede suelto durante el transporte a la bodega y evita la emisión de material particulado por medio de una fuente fugitiva.

Es importante resaltar que únicamente se hace recolección del drywall “limpio”, aquel que es generado por los cortes de la lámina para la adaptación a la medida del lugar en el que se está trabajando, o aquel que no ha sido contaminado y por lo tanto, no ha entrado en contacto con pintura o algún otro tipo de resina o solvente, ya que estos compuestos alteran la composición química del yeso e imposibilitan su aprovechamiento como producto agrícola.

El vehículo utilizado para estos procedimientos dependerá del tipo y la cantidad de material que se vaya recolectar. Las especificaciones para esta tarea deben ser dadas en el momento de realizar la solicitud del servicio.

El proceso de transporte se hace teniendo en cuenta el volumen y/o peso del residuo generado en obra, para ello es necesario llenar un formulario con el fin de garantizar que la totalidad del material recolectado va ser llevado a centros de acopio o de disposición donde se les realizará el tratamiento correspondiente a las características del residuo. Para el caso de las PYL, estas son transportadas hacia la bodega para su aprovechamiento.


		PROTOCOLO DE ENTREGA DE RESIDUOS					Código:					
NIT: 900369607-1			2016-					Fecha y hora de recepción:				
Dirección: Calle 2 Bis # 71 D - 16			Teléfono: 2612002 - 3213942472					Responsable:				
IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO / ORIGEN												
Nombre del Proyecto:			Dirección:			Responsable:						
Dirección:			Responsable:			Teléfono:						
Teléfono:			C.C.									
IDENTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE / GESTOR INTERMEDIARIO												
Tipo de vehículo:			Capacidad aproximada:			Placa:						
Capacidad aproximada:			Placa:			Nombre del Conductor:						
Placa:			PIN			C.C. Conductor:						
Nombre del Conductor:			C.C. Conductor:									
IDENTIFICACIÓN DEL RESIDUO												
Grupo	Residuos Pétreos	Metales	Madera	Plásticos	Papel y cartón	PVC	Drywall	Icopor	Otros, cuáles?	Peso (Kg)	Volumen (m3)	Unidades
Destino		Reuso	Reciclaje	Recuperación	Disposición							
GESTOR FINAL												
Nombre y/o Razón Social:			Ser-efec S.A.S. - Seriefectivos construcción y ambiente									
Contacto:			Iván Fernando Rodríguez			Cargo:		Director				
Dirección:			Calle 2 Bis # 71 D - 16			TEL:		3213942472				
OBSERVACIONES												
REALIZÓ												
NOMBRE												
CÉDULA												
TELÉFONO												

Figura 5. Formato para la entrega de residuos

Fuente: Ser-Efec S.A.S

Durante el proceso de transporte y de acuerdo a las características del vehículo contratado, se tiene en cuenta lo siguiente:

- Se debe llenar completamente el formato para la entrega de residuos, puesto que la información que allí se presenta es necesaria para evitar cualquier tipo de inconveniente, tanto con el generador como con el receptor. Garantiza que la cantidad o masa de residuo recolectado y transportado va a ser el mismo que llega al destino final. Hace especial énfasis en el tipo de residuo, cantidad, datos del conductor, datos del generador, datos del vehículo y propósito para el cual el material se ha recolectado.
- Realizar la cobertura del material con el fin de evitar la emisión de material particulado asociado a RCD, como escombros, drywall y otros residuos. Además de evitar la pérdida en masa y/o volumen que llega al centro de acopio y reducir la probabilidad de ocurrencia de cualquier tipo de accidente durante el trayecto que pueda involucrar la caída de material.
- Evitar sobrecargar el vehículo encargado del transporte, de la misma forma que realizar disposición de RCD en un lugar que no esté autorizado para dicha actividad, a fin de reducir la carga y gastos de disposición final.

Todas las especificaciones técnicas sobre recepción y transporte deberán cumplir lo establecido en las resoluciones 1115 de 2012 y 541 de 1994.

2.4 Almacenamiento

El almacenamiento de los residuos de láminas de yeso y las bolsas de mortero desocupadas ocupa gran parte del espacio destinado para la operación de la planta, debido a que la empresa se encuentra diseñando y articulando la maquinaria necesaria para llevar a cabo el proceso de triturado y separación de los componentes.

Durante esta parte del proceso productivo los vehículos llegan a la planta, el material es descargado, pesado en una báscula y colocado al interior de las instalaciones. No cuentan con un espacio específico para esta actividad, por lo que los residuos se han ido acumulando a tal punto que en el primer piso se dificulta el tránsito interno y se está llegando al tope de la capacidad.



Figura 6. Almacenamiento de las placas de yeso

Fuente: Autores

Como se puede observar en la Figura 6, la bodega se encuentra totalmente llena, la mayor cantidad del drywall permanece guardado en lonas, mientras que al costado derecho hay residuos de placas sueltas que ocupan mayor cantidad de espacio. Por otro lado, se observa la presencia de escombros y residuos sólidos ordinarios mezclados, producto de la inadecuada separación en la fuente por parte de los generadores. A la fecha de solicitud de datos, la bodega almacenaba un poco más de 3 toneladas de placa de yeso.

En cuanto al almacenamiento de las bolsas de mortero, esta actividad se hace en una habitación localizada en el segundo piso del predio, donde únicamente se tiene en cuenta la cantidad de material recibido, el cual es depositado sobre el suelo como se muestra en la Figura 7.

En comparación con la bodega principal ubicada en el primer piso, este es un espacio que aún cuenta con la capacidad de recibir mayor cantidad de residuos y no hay dificultades para el movimiento interno del personal.



Figura 7. Almacenamiento de bolsas de mortero

Fuente: Autores

2.4.1 Dimensiones de la Planta

Al no contar con planos del predio, se realizó la toma de medidas de cada una de las áreas de la bodega obteniendo los siguientes datos:

Tabla 3. Dimensiones de la planta

Lugar	Áreas(m²)
Almacenamiento (Drywall)	88,63
Almacenamiento bolsas de mortero	44,66
Espacios necesarios para el trabajo de los operarios (Baños, cocina, etc.)	43,61
Habitaciones desocupadas	47,81
Escaleras y pasillos	39,00
Total	253,82

Fuente: Autores

2.5 Triturado

Inicialmente se contaba con una trituradora pequeña con la que se generaban muestras de sulfato de calcio, el producto triturado a partir de las láminas de yeso ha sido utilizado únicamente para el desarrollo de proyectos piloto en el sector agrícola en cuanto a requerimientos nutricionales de especies vegetales, en la estabilización de compost y en el manejo de lixiviados de este último.

Al contar con la maquinaria para realizar el proceso, ésta se colocó a la entrada de la bodega para triturar el material con el propósito de liberar espacio y ubicarla en un lugar más adecuado, ya que gran parte de la bodega estaba ocupado por residuos de drywall. Una vez realizado este procedimiento, la maquinaria tuvo el espacio para operar y de esta forma, organizar las zonas de empaque, pesaje y almacenamiento del producto terminado.

2.6 Información Económica

La empresa se encuentra desarrollando pruebas piloto del producto final a partir del proceso de aprovechamiento de las PYL con el fin de generar un compuesto agrícola, por lo tanto, el producto aún no se encuentra a la venta de forma directa al público; sin embargo, obtiene ingresos a partir de actividades como la recolección, transporte y disposición en centros de acopio de RCD, según las características de cada uno de los materiales transportados. La información que se presenta a continuación corresponde a las tarifas utilizadas para los servicios de recolección y transporte, las cuales están relacionadas a las características del RCD que va a ser tratado y al tipo de vehículo que fue utilizado para el transporte.

Tabla 4. Costo por unidad de material

Recolección		
Material	Unidad	Valor por unidad
Drywall	Kg	\$ 500,00
Madera	M ³	\$ 18.000,00
Escombros	Kg	-
Bolsa de mortero	Kg	\$ 670,00
Fibra natural	Kg	\$ 1.250,00
Tubería PVC	Kg	-
Residuos Peligrosos	Kg	\$ 670,00
Residuos aprovechables	Kg	-
Sólidos contaminados	Kg	\$ 1.250,00

Fuente: Autores

Tabla 5. Costo de transporte por material

Transporte		
Material	Unidad	Valor por unidad
Drywall	Viaje	\$ 280.000,00
Madera	Viaje	\$ 255.000,00
Escombros	Viaje	\$ 255.000,00
Bolsa de mortero	Viaje	\$ 289.000,00
Fibra natural	Viaje	\$ -
Tubería PVC	Viaje	\$ -
Residuos Peligrosos	Viaje	\$ 280.000,00
Residuos aprovechables	Viaje	\$ -
Sólidos contaminados	Viaje	\$ 142,00
Bolsa de mortero	Viaje	\$ 991,00

Fuente: Autores

Los costos que son asumidos por la empresa están asociados al alquiler de vehículos para realizar labores de recolección y transporte, pues hoy en día no cuentan con maquinaria propia, además del pago correspondiente al día de trabajo del conductor y de los operarios que lo acompañan y de los gastos de disposición en centro de acopio. También existen gastos, los cuales están relacionados con servicios de oficina y arriendo de la bodega. Los costos corresponden a las siguientes variables:

Tabla 6. Costo de alquiler de vehículos

Vehículos	
Tipo	Costo día de operación
Camión	\$ 250.000,00
Volqueta	\$ 150.000,00
Volqueta sencilla	\$ 150.000,00
Camión de estacas	\$ 250.000,00

Fuente: Autores

Tabla 7. Costos de personal de campo

Operarios	
Tipo	Costo día de trabajo
Conductor	\$ 50.000,00
Ayudante	\$ 50.000,00

Fuente: Autores

Tabla 8. Costos fijos

Costo mensual de servicios oficina y bodega	
Administración	\$ 21.778,00
Seguridad	\$ 17.500,00
Servicios	\$ 35.205,00
Arriendo Oficina	\$ 290.000,00
Bodega anterior (Marzo a Julio)	\$ 2.900.000,00
Bodega actual (Julio a actual)	\$ 2.400.000,00
Disposición en centro de acopio	\$ 28.000

Fuente: Autores

2.7 Características ambientales

Ambientalmente la empresa desempeña un papel importante en la reducción de impactos ambientales llevando a cabo el proceso de aprovechamiento de las PYL para la adecuada gestión de RCD. Sin embargo, como cualquier actividad industrial presenta aspectos o situaciones generadores de impactos ambientales.

A pesar de que el triturado actualmente se hace a nivel piloto y por tanto la producción es baja, se presenta generación de material particulado que debe ser controlado debido a que esto representa una situación de riesgo para la salud tanto de operarios como de la comunidad.

Por otro lado, la situación de acumulación en la bodega facilita la proliferación de vectores de acuerdo a las condiciones de encierro durante tiempo prolongado, y la mezcla con residuos sólidos ordinarios que se hayan mezclado antes de realizar la recolección de RCD.

La generación de ruido ambiental y ocupacional se presenta durante el descargue de los residuos de PYL, es una situación normal y forma parte del impacto general del sector debido a las actividades industriales que se desarrollan en la zona

En cuanto a los vehículos utilizados, éstos cumplen con la reglamentación técnica respecto al control y manejo de emisiones por fuentes móviles, ya que de no ser así, se pierde el beneficio ambiental que genera el aprovechamiento de los residuos de PYL.

Paralelamente y de acuerdo con lo establecido en la resolución 1115 de 2012 en el artículo 8, el cual especifica las obligaciones de los sitios de tratamiento y aprovechamiento, la empresa se encuentra en vías de dar total cumplimiento a lo exigido en esta resolución, puesto que cumple con seis de los nueve puntos establecidos para el funcionamiento de la operación, haciendo énfasis en el registro en la Secretaría Distrital de Ambiente, inventario de residuos y la no mezcla de RCD con otro tipo de residuos. Actualmente se están articulando esfuerzos para dar cumplimiento total a los puntos relacionados con la operación y limpieza de vehículos y vías de acceso. Por otro lado, al realizar actividades de recolección y transporte, cumple con lo establecido en el artículo 9 por medio del uso de un protocolo que garantiza la prestación del servicio.

Según con lo establecido en la resolución 541 de 1994, en el capítulo 2, la empresa cumple en su totalidad con lo exigido en materia de transporte de residuos de construcción y demolición,

dando como resultado acciones de control y reducción de impactos ambientales correspondientes a emisiones fugitivas que se presentan durante el transporte.

CAPITULO 3

3 Evaluación de las condiciones actuales de la empresa Ser-efec S.A.S.

La fase de evaluación fue dividida en tres partes, en ellas se contemplaron las condiciones actuales técnicas-operativas, económicas y ambientales del proceso de aprovechamiento de PYL con el fin de observar las falencias con las que cuenta el proceso productivo y cómo es posible optimizar cada uno de los aspectos mencionados.

3.1 Análisis Técnico

El análisis técnico contempla todo lo relacionado con las actividades realizadas al interior de la bodega, el procedimiento fue realizado a partir del análisis del balance de materiales, diagramas y mapas del proceso productivo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

3.1.1 Proceso Productivo

Inicialmente la bodega era utilizada para el almacenamiento de placas de yeso con el fin de acumular el material, mientras se llevaba a cabo el diseño y construcción de la máquina trituradora, como se muestra en la Figura 8.

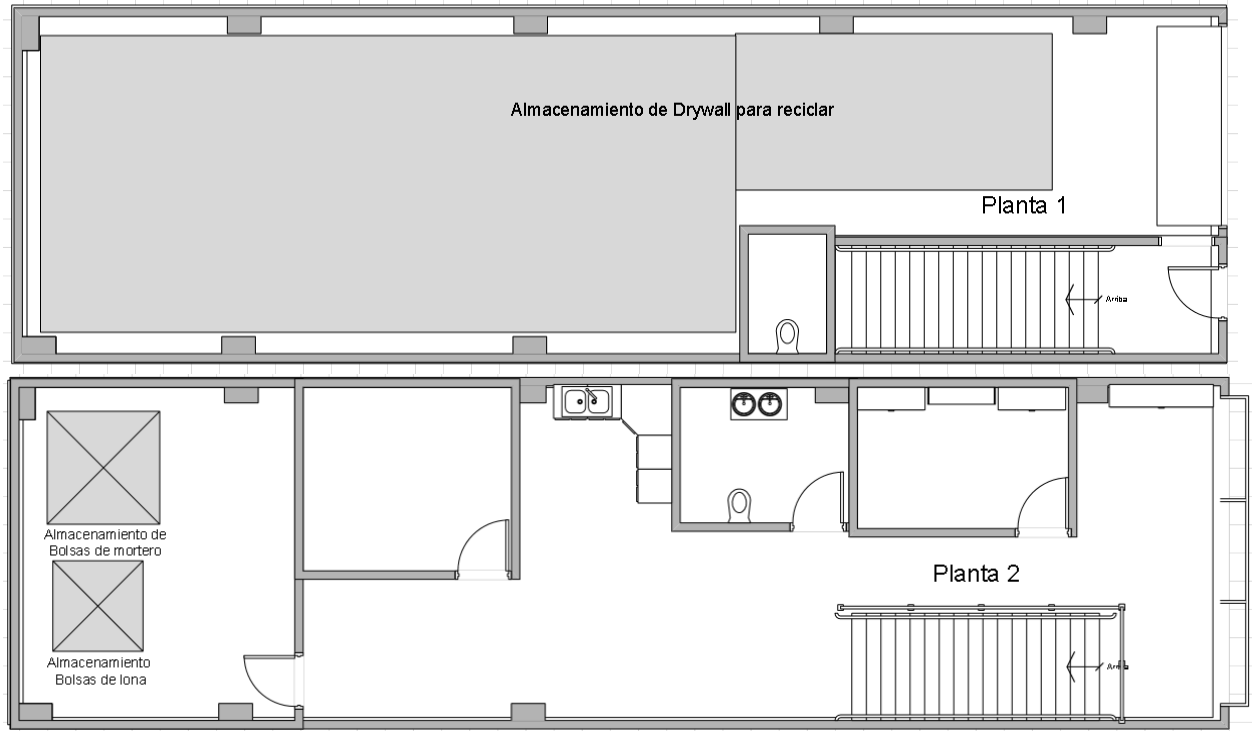


Figura 8. Plano de la planta antes de realizar el proceso productivo

Fuente: Autores

Una vez que llegó la máquina trituradora se inició la operación, realizando el triturado del material para habilitar espacio a la maquina en el primer piso cambiando, como se muestra en la Figura 9, el orden del mobiliario de la empresa.

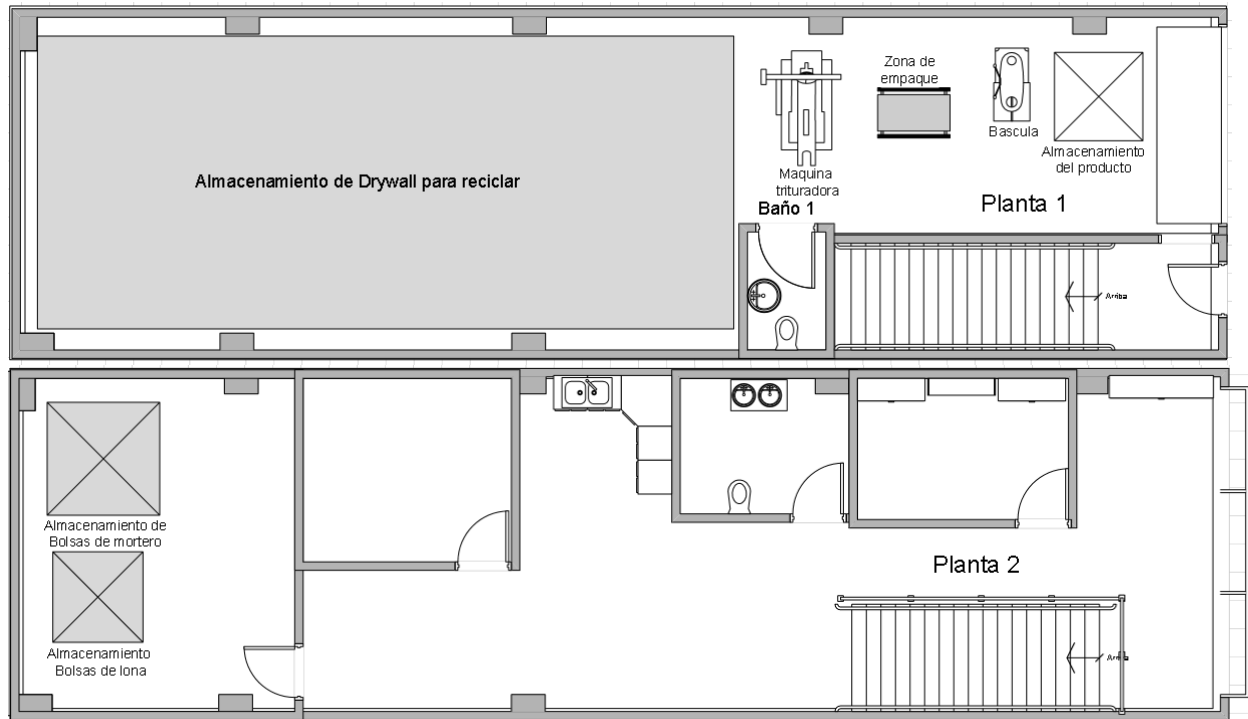


Figura 9. Plano de la empresa con la máquina de triturado

Fuente: Autores

El proceso productivo inicia desde la recepción del material y su traslado a la zona de almacenamiento de drywall; se realiza en la primera planta de la bodega ocupando el 44% del área total. Los operarios toman el material en bruto y lo transportan a la máquina trituradora. Seguidamente se hace pasar las placas por la unidad operativa, la cual se encarga de remover la celulosa del yeso. Una vez son separados, el yeso se empaqueta en bolsas y es pesado en la báscula, pasando a la zona de almacenamiento de producto terminado.

3.1.1.1 Análisis Mediante Diagramas

Se realizaron una serie de diagramas como herramienta para analizar con mayor claridad el proceso productivo en la empresa.

En primer lugar, se realizó un diagrama de flujo de operaciones donde se muestra la secuencia cronológica de éstas, como control de calidad, y materiales que se utilizan en el proceso

desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado, como se muestra en la Figura 10 (Prieto & Bello, Diseño de planta, Apuntes de clase, 2002).

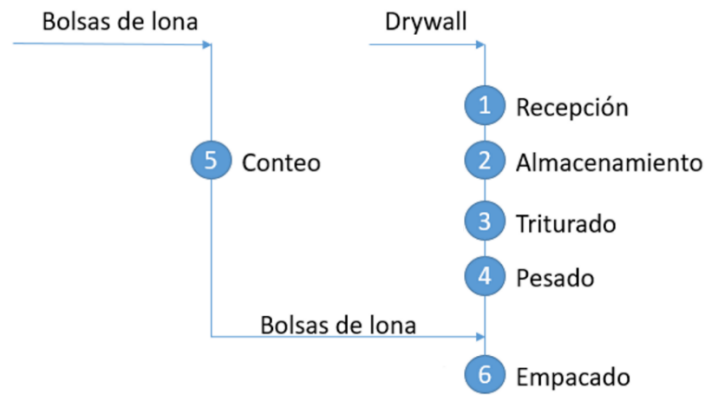


Figura 10. Diagrama de flujo de operaciones

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

Posteriormente se elaboró el diagrama de flujo de recorrido, el cual se ubicó en el plano mostrando la ruta de trabajo; es de utilidad para visualizar las áreas potenciales de almacenamiento temporal o permanente, las estaciones de inspección y los puntos de trabajo, como se muestra en la Figura 11 (Garand & Niebel, 2008).

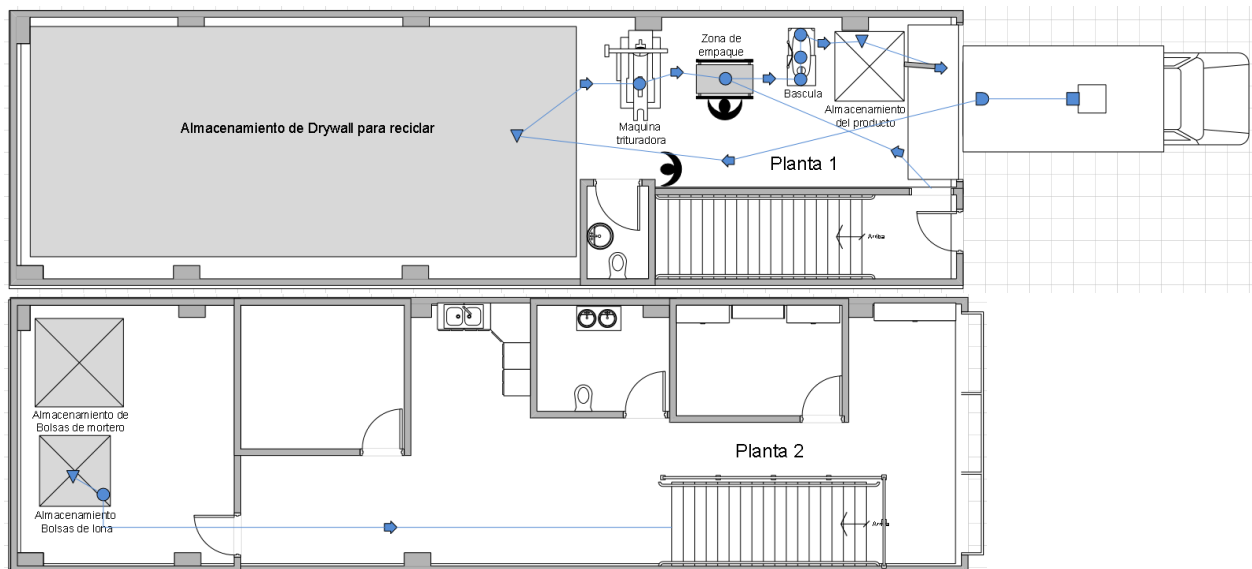


Figura 11. Diagrama de flujo de recorrido

Fuente: Autores

El diagrama de flujo de recorrido que se muestra en la Figura 11, presenta la ruta de transporte de materiales de gran tamaño en una distancia amplia al mover las PYL al lugar almacenamiento, para el cual se requiere que los operarios puedan levantar estos materiales. Una vez se llega a la zona de almacenamiento, se manejan distancias cortas para las operaciones posteriores; sin embargo, hay problemas en el empaque ya que los operarios deben subir al segundo piso a buscar bolsas y continuar con el proceso. Finalmente, el almacenamiento del producto terminado se realiza cerca a la puerta, lugar donde se realiza el transporte para su comercialización.

A continuación, se realizó el diagrama de flujo en el que se muestra cada paso del proceso representándolo con un símbolo diferente que contiene una breve descripción cada etapa. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de éste, ofreciendo una descripción visual de las actividades implicadas, mostrando la relación secuencial entre ellas y facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, el flujo de la información, los materiales, la existencia de bucles repetitivos y el número de pasos. Cabe aclarar que el cálculo de los tiempos promedio se realizó al cuantificar el tiempo de producción de 5 bultos de yeso (Prieto & Bello, 2002).

Tabla 9. Diagrama de flujo de proceso

Actividad		Tiempo	Transporte	Observaciones
Recepción		15 min		Inicio de operación revisando las condiciones en las que esta el material
Tiempo de espera		5 min		Tiempo de espera hasta el traslado
Traslado a bodega		30 min	10,4 m	Se lleva el material del transporte a la empresa
Almacenamiento		.		Se almacena el drywall
Traslado a trituración		20 min	3,2 m	Se traslada el material a la zona de triturado
Triturado		35 min		Se tritura el material en la maquina
Traslado del yeso		20 min	0,8 m	Traslado del yeso triturado a empacado
Almacenamiento				Se almacena las bolsas de lona
Conteo de bolsas		5 min		Antes del empacado se cuentan las bolsas a usar
Traslado de bolsas		8 min	24 m	Se transportan las bolsas para el empacado
Empacado		10 min		Empacar el yeso triturado hasta llenar la bolsa
Traslado a bascula		8 min	0,7 m	Se traslada el material
Pesaje		20 min		Se pesa el material
Acomodar peso en las bolsas		20 min		Se saca el material adicional o se adiciona para tener un peso fijo en las bolsas
Sellado de las bolsas		20 min		Se sellan las bolsas
Traslado a almacenamiento		20 min	0,3 m	Se traslada el material a almacenamiento para la distribución del producto
Almacenamiento				Almacenamiento del producto terminado
Transporte		40 min	0,6 m	Se saca el material a camiones para su distribución
Total	6 1 2 7 1	256 min	40,6 m	

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

Se determinó que al llegar los camiones se presenta una demora durante el registro de llegada del material a la empresa y se transporta a la zona de almacenamiento. Aquí se recorre una distancia de más de 10 metros en la que los operarios llevan grandes cantidades de material. A continuación, el drywall pasa a la zona productiva donde se mueve en distancias más fáciles de maniobrar. En este proceso se resalta la importancia de mejorar la zona de empaque ya que actualmente la empresa no cuenta con máquinas que faciliten esta actividad por lo que los operarios se encargan del sellado manual de las bolsas llenas de yeso triturado. Finalmente se observa que el

lugar en el que se realiza el almacenamiento del producto terminado es reducido, por lo que se debe considerar reubicar la zona productiva para aumentar el lugar de almacenamiento en la primera planta.

3.1.2 Balance de Materiales

Al ser una empresa nueva en el sector, para la elaboración del balance de materiales se consideró el proceso de recolección y transporte, debido a que por el momento son las actividades principales. De acuerdo a la información suministrada, el balance obtenido fue el siguiente:

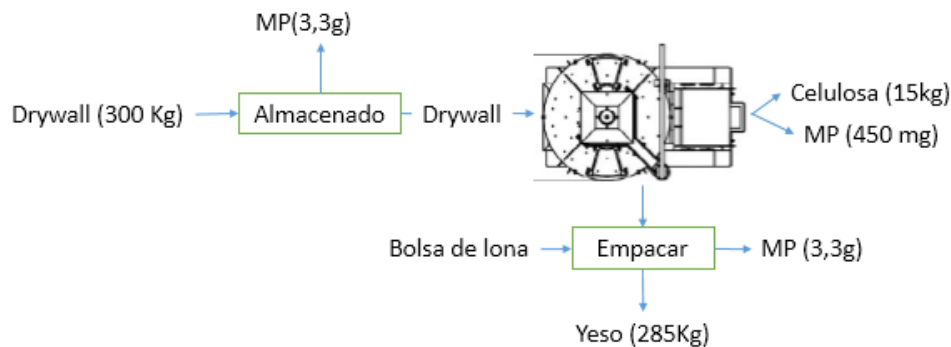


Figura 12. Balance de materiales

Fuente: Autores

El proceso de aprovechamiento de la lámina de yeso genera diferentes tipos de productos, el primero es el yeso, compuesto fundamental que va a ser utilizado en actividades agrícolas como suplemento nutricional para diferentes especies vegetales. El segundo es sulfato de calcio (CaSO_4) en polvo y que en este caso actúa como compuesto contaminante en forma de material particulado originado por medio de la trituración del residuo y se encuentra en condiciones de ser recuperado, ya que de acuerdo a sus características fisicoquímicas es inerte y durante el proceso no ha sido sometido a procesos que puedan alterar su composición química.

El tercer material es la celulosa, una lámina de papel que está adherida en el dorso de las láminas y la cual se encuentra en condiciones de ser aprovechada, sin embargo, presenta la dificultad de estar impregnada de yeso. El último subproducto que se puede hallar son residuos de plásticos y metales como tornillos, tuercas y otro tipo de aditamentos utilizados durante la instalación de las placas y que durante el proceso de demolición no fueron desmontados de la misma.

Según las especificaciones técnicas de la máquina, esta cuenta con la capacidad de triturar un aproximado de 300 Kg/h y de acuerdo a la composición porcentual del drywall (5% celulosa y 95% yeso), donde es posible recuperar 285 Kg de éste compuesto.

Durante el traslado del almacenamiento a la zona de triturado, es posible perder cerca del 3g (0,01%) debido al fraccionamiento del material y a la suspensión en el aire del mismo como material particulado. Una vez llevado a cabo el proceso se obtendrán 15 Kg de celulosa y 285 Kg de sulfato de calcio como producto final. Habrá una fracción que se perderá de manera constante como material particulado que podrá ser recuperado.

Finalmente, durante el proceso de empaque se puede perder material ya que entra en suspensión o queda adherido a superficies. Todas las cantidades relacionadas con las pérdidas de masa son discriminadas de la cantidad final debido a que en una hora de trabajo son muy pequeñas para tenerlas en cuenta; sin embargo, a largo plazo pueden representar una cantidad importante de yeso que puede ser recuperado.

3.2 Análisis Económico

El análisis económico fue elaborado a partir de la construcción y estudio de un flujo de caja, herramienta cuya función es la de mostrar el movimiento del capital presente y a futuro, con el propósito de que la organización lleve a cabo una planeación acorde a la situación financiera en la que se encuentra. Para ello fue necesario utilizar los valores obtenidos en la fase de diagnóstico del estado actual de la empresa. Adicionalmente, el análisis no se hace a nivel de mercado debido a los acuerdos de confidencialidad acordados por la empresa.

Teniendo como punto de partida un flujo base de acuerdo a la información suministrada, se tomó como inicio el mes de marzo de 2016, fecha en la cual la empresa dio inicio a las actividades de recolección y transporte hasta julio de 2017, último mes que contaba con información concreta. Se consideró un rango de cuatro meses para los intervalos de tiempo a analizar y a partir de esta fecha se realizó una proyección de crecimiento completando el año en curso y a diez años. Adicionalmente se tuvieron en cuenta indicadores de rentabilidad como la tasa interna de oportunidad (TO), la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN), la relación beneficio- costos (RB/C) y el periodo de repago para determinar la rentabilidad de la empresa actualmente y las posibles medidas correctivas que se deberían tomar a futuro.

3.2.1 Flujo de Caja

Para la elaboración del flujo de caja fue necesario asumir valores y escenarios con el fin de plantear un panorama lo más cercano a la realidad y complementar la información ya existente para mostrar el crecimiento en el periodo de tiempo establecido. Los supuestos de entrada para construcción del flujo de caja fueron los siguientes:

- Recuperación del 90% anual de la cartera, correspondiente a las actividades de cobro que deben realizarse en los 10 primeros días del mes, rige partir del segundo año.
- Pagos del 80% anual del valor del servicio por parte de los clientes, correspondiente a la mora, rige partir del segundo año.
- Valor parcial de \$13.141.228 anual en las ventas de contado, correspondiente a un valor base de los servicios de recepción y transporte, generado a partir del promedio de la facturación de los cinco primeros cuatrimestres, rige a partir del segundo año.
- Valor parcial \$8.617.000 anual en las ventas de contado, correspondiente a las ventas del producto elaborado a partir del aprovechamiento de las placas de yeso, generado a partir del producto entre la cantidad de material dispuesta para la venta y el precio de venta, rige a partir del segundo año.
- Valor parcial de \$25.000 anual, correspondiente a la venta por unidad de producto, fue asumida teniendo en cuenta los valores promedio del sulfato de calcio agrícola en el mercado.
- Crecimiento del 5% anual en las ventas de contado a partir del tercer año y aumento en 1% anual para los años posteriores y da cuenta del inicio del proceso industrial.
- Valor parcial de \$ 2.012.500 anual en el pago a proveedores, correspondiente a los costos de alquiler de vehículos para el transporte de residuos, generado a partir del promedio de costos de transporte en los primeros cuatro cuatrimestres, rige a partir del segundo año.
- Valor parcial de \$ 616.000 anual en el pago a proveedores, correspondiente a los costos de disposición final para RCD diferentes a las placas de yeso y bolsa de mortero, generado a partir del promedio de costo de disposición en los primeros cuatro cuatrimestres, rige a partir del segundo año.

- Valor parcial de \$ 230.935 anual en el pago a proveedores, correspondiente a los costos de material para el empaque del producto.
- Valor de \$1.500.000 mensual, asociados a salario de la gerencia para un trabajador y rige a partir del primer cuatrimestre del primer año. También se consideró un incremento de 9,6% anual en éstos valores, calculado a partir de la elaboración de una proyección aritmética utilizando los valores del salario mínimo mensual legal vigente en Colombia desde el año 2007. De la misma manera, el incremento va hasta el último periodo donde acaba la proyección y rige a partir del tercer año.
- Valor de \$ 480.000 mensual, asociado al salario de contabilidad para un trabajador y de acuerdo al tiempo de trabajo (medio día por tres días a la semana), rige a partir del segundo año.
- Valor de \$ 737.717 anual, asociado al salario mínimo legal vigente destinado para el pago de operarios, rige a partir del segundo año y da cuenta del inicio del proceso industrial.
- Dos operarios encargados de realizar las labores de cargue, descargue y triturado del residuo de PYL
- Incremento del 4,27% anual en el pago de servicios públicos y arriendos, de acuerdo a lo estipulado en el código de comercio, en el cual se menciona que el incremento en el precio del arriendo debe estipularse en el contrato de arrendamiento y no puede superar el 10% del valor del avalúo predial, rige a partir del tercer año y va hasta el último año la proyección
- Valor de \$6.000.000 asociados a imprevistos generados a partir del transporte de residuos de drywall debido al cambio de bodega.
- Valor de \$7.000.000 asociados a gastos publicitarios.

En la tabla 10 se muestran los valores históricos de índices de precios al consumidor (IPC) y salario mínimo legal vigente utilizados para el cálculo de las proyecciones de las tasas de crecimiento para la construcción del flujo de caja, el método utilizado se encuentra en el anexo 8.1.

Tabla 10. Histórico de IPC y salario mínimo legal vigente desde el año 2007

Arriendo		Salario	
Año	IPC	Año	Salario
2007	5,67	2007	\$ 433.700
2008	7,67	2008	\$ 461.500
2009	2,00	2009	\$ 496.900
2010	3,17	2010	\$ 515.000
2011	3,73	2011	\$ 535.600
2012	2,44	2012	\$ 566.700
2013	1,94	2013	\$ 589.500
2014	3,66	2014	\$ 616.000
2015	6,77	2015	\$ 644.350
2016	5,75	2016	\$ 689.455
2017	4,12	2017	\$ 737.717
		2018	\$ 781.242

Fuente: DANE y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Tabla 11. Flujo de caja

Flujo de caja											
	Año 0	Año 1 (2016)	Año 2 (2017)	Año 3 (2018)	Año 4 (2019)	Año 5 (2020)	Año 6 (2021)	Año 7 (2022)	Año 8 (2023)	Año 9 (2024)	Año 10 (2025)
Presupuesto de ingresos											
Entradas de efectivo		\$ 50.000.000,00	-\$ 37.856.354,00	\$ 28.667.990,60	\$ 16.075.122,96	\$ 12.791.253,96	\$ 16.633.850,10	\$ 22.161.684,83	\$ 29.638.389,76	\$ 39.437.599,83	\$ 52.035.150,36
Ventas de Contado	Recepción										
	Transporte										
	Recepción y transporte	\$ 53.912.942,00	\$ 24.934.428,00	\$ 41.394.868,20	\$ 43.878.560,29	\$ 46.950.059,51	\$ 50.706.064,27	\$ 55.269.610,06	\$ 60.796.571,06	\$ 67.484.193,88	\$ 75.582.297,15
	Ventas de producto		\$ 8.617.000,00	\$ 9.047.850,00	\$ 9.590.721,00	\$ 10.262.071,47	\$ 11.083.037,19	\$ 12.080.510,53	\$ 13.288.561,59	\$ 14.750.303,36	\$ 16.520.339,77
Recuperación de cartera		\$ 11.242.400,00	\$ 66.968.030,20	\$ 50.492.290,38	\$ 52.977.500,09	\$ 56.548.653,02	\$ 60.971.552,71	\$ 66.355.656,56	\$ 72.880.294,05	\$ 80.776.488,82	\$ 90.337.215,42
Aportes de capital	\$ 50.000.000,00										
Monto de efectivo disponible		\$ 65.155.342,00	\$ 100.519.458,20	\$ 100.935.008,58	\$ 106.446.781,38	\$ 113.760.784,00	\$ 122.760.654,17	\$ 133.705.777,15	\$ 146.965.426,70	\$ 163.010.986,06	\$ 182.439.852,33
Cuentas por cobrar		\$ 42.670.542,00	\$ 9.253.939,80	\$ 9.204.367,62	\$ 9.696.148,82	\$ 10.359.626,78	\$ 11.177.175,53	\$ 12.171.639,56	\$ 13.376.478,17	\$ 14.834.486,59	\$ 16.599.908,09
Presupuesto de costos											
Desembolso de efectivo		\$ 103.011.696,00	\$ 71.851.467,60	\$ 84.859.885,62	\$ 93.655.527,43	\$ 97.126.933,90	\$ 100.598.969,35	\$ 104.067.387,39	\$ 107.527.826,87	\$ 110.975.835,71	\$ 114.406.896,49
Pago a proveedores	Transporte	\$ 7.250.000,00	\$ 5.225.000,00	\$ 5.381.750,00	\$ 5.543.202,50	\$ 5.709.498,58	\$ 5.880.783,53	\$ 6.057.207,04	\$ 6.238.923,25	\$ 6.426.090,95	\$ 6.618.873,68
	Disposición final	\$ 1.680.000,00	\$ 1.400.000,00	\$ 1.442.000,00	\$ 1.485.260,00	\$ 1.529.817,80	\$ 1.575.712,33	\$ 1.622.983,70	\$ 1.671.673,22	\$ 1.721.823,41	\$ 1.773.478,11
	Material de empaque		\$ 230.935,60	\$ 237.863,67	\$ 244.999,58	\$ 252.349,57	\$ 259.920,05	\$ 267.717,65	\$ 275.749,18	\$ 284.021,66	\$ 292.542,31
Cancelación de salarios	Gerencia	\$ 18.000.000,00	\$ 18.000.000,00	\$ 18.699.654,77	\$ 19.426.504,91	\$ 20.153.355,06	\$ 20.880.205,20	\$ 21.607.055,34	\$ 22.333.905,49	\$ 23.060.755,63	\$ 23.787.605,78
	Contabilidad		\$ 1.920.000,00	\$ 5.760.000,00	\$ 11.519.999,04	\$ 11.951.024,23	\$ 12.382.049,42	\$ 12.813.074,61	\$ 13.244.099,80	\$ 13.675.124,99	\$ 14.106.150,18
	Operarios		\$ 5.901.736,00	\$ 18.749.808,00	\$ 19.478.607,59	\$ 20.207.407,17	\$ 20.936.206,76	\$ 21.665.006,34	\$ 22.393.805,93	\$ 23.122.605,51	\$ 23.851.405,10
Gastos	Arriendo oficina	\$ 3.480.000,00	\$ 3.480.000,00	\$ 3.628.437,82	\$ 3.771.959,03	\$ 3.915.310,62	\$ 4.058.041,48	\$ 4.199.685,58	\$ 4.339.764,18	\$ 4.477.788,41	\$ 4.613.261,86
	Arriendo Bodega	\$ 34.800.000,00	\$ 28.800.000,00	\$ 30.028.450,91	\$ 31.216.212,64	\$ 32.402.570,61	\$ 33.583.791,59	\$ 34.756.018,57	\$ 35.915.289,77	\$ 37.057.559,24	\$ 38.178.718,85
	Administración	\$ 261.336,00	\$ 261.336,00	\$ 272.483,17	\$ 283.261,12	\$ 294.026,33	\$ 304.744,92	\$ 315.381,91	\$ 325.901,33	\$ 336.266,47	\$ 346.440,06
	Seguridad	\$ 210.000,00	\$ 210.000,00	\$ 218.957,45	\$ 227.618,22	\$ 236.268,74	\$ 244.881,81	\$ 253.429,30	\$ 261.882,32	\$ 270.211,37	\$ 278.386,49
	Publicidad	\$ 7.000.000,00									
	Servicios	\$ 422.460,00	\$ 422.460,00	\$ 440.479,84	\$ 457.902,82	\$ 475.305,21	\$ 492.632,24	\$ 509.827,35	\$ 526.832,41	\$ 543.588,07	\$ 560.034,08
Activo fijo	Mobiliario y equipo de oficina	\$ 4.907.900,00									
	Maquinaria	\$ 25.000.000,00									
Imprevistos			\$ 6.000.000,00								
Valor de salvamento											\$ 7.476.975,00
Flujo neto de efectivo	-\$ 50.000.000,00	-\$ 37.856.354,00	\$ 28.667.990,60	\$ 16.075.122,96	\$ 12.791.253,96	\$ 16.633.850,10	\$ 22.161.684,83	\$ 29.638.389,76	\$ 39.437.599,83	\$ 52.035.150,36	\$ 59.512.125,36
TO	10%										
VPN	\$ 61.549.364,46										
TIR	21%										
RB/C	1,19										
Periodo de repago	6 años	\$ 58.473.548,44									

Fuente: Autores a partir de (Burbano & Ortíz, 1998)

3.2.2 Análisis de los Resultados de los Indicadores de Rentabilidad

Los resultados de la evaluación económica fueron los siguientes

Tabla 12. Indicadores de rentabilidad

Indicadores de rentabilidad	
Criterio de evaluación	valor
TO	10%
VPN	\$61.549.364
TIR	21%
RB/C	1,19
Periodo de repago	6 años

Según los valores obtenidos en el cálculo de los indicadores de rentabilidad se afirma que el valor de la tasa de oportunidad fue de 10% debido a que fue asignado por la empresa, ya que es lo que la gerencia espera recibir de la inversión inicial. Por otro lado se obtuvo un VPN de \$61.549.364, indicando que el proyecto se encuentra en un proceso de generación de beneficios y los ingresos de capital han sido los justos para que no se presenten pérdidas por costos de operación.

También se encontró una tasa interna de retorno del 21%, lo que indica que la rentabilidad es buena ya que la inversión inicial se verá retribuida con el paso del tiempo. Para la relación beneficio-costos se obtuvo un valor de 1,19, lo cual indica que el proyecto se encuentra en una situación rentable donde se generan 19 centavos de ganancia por cada peso invertido.

Sin embargo, el periodo de repago tiene un valor de 6 años, superior al tiempo promedio de 2 años que debe superar un proyecto para empezar a ser rentable.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el flujo de caja y cada uno de los indicadores de rentabilidad trabajados se determinó que los ingresos solventan el gasto de la operación, por lo tanto, es importante tomar medidas que permitan generar mayor cantidad de ingresos para mejorar el rendimiento general del proceso y la calidad del producto a futuro.

Tanto el valor asumido para los ingresos por servicios (recolección y transporte) a partir del segundo año, al igual que el pago a proveedores para el mismo periodo de tiempo, son valores que cuentan con un amplio grado de incertidumbre debido a que fueron realizados a partir de promedios con un rango de valores muy amplio entre ellos. Esta decisión fue tomada debido a que no hay valores constantes que puedan servir de guía para elaborar las proyecciones. Para el primer caso, se cuenta con un rango que va desde \$1.500.000 hasta los \$ 41.452.242. Por otro lado, el pago a proveedores se encuentra en un rango que va desde los \$150.000 pesos hasta \$ 5.950.000 para transporte, y de \$168.000 pesos hasta \$1.512.000 para el servicio de disposición final.

Los costos asociados al pago de arriendos y otro tipo de servicios son los gastos que mayor consumo de capital presentan, debido a que la empresa no cuenta con un lugar unificado donde desarrollar las actividades de administración y aprovechamiento del material, dando como resultado el pago de dos tipos de arriendo.

A pesar de que los indicadores de rentabilidad muestren que la empresa tiende a generar beneficios, el flujo neto de efectivo muestra que el proyecto ha estado perdiendo capital en los primeros años de desarrollo, teniendo un punto crítico en el primer año con un saldo negativo de \$37.856.354 y uno positivo donde se recupera la inversión inicial de \$ 22.161.684 en el sexto año. Adicionalmente se observó que el saldo pasa a ser positivo en el segundo año.

Es necesario contar con un valor de salvamento que permita recuperar un porcentaje del valor inicial de la inversión en caso de que por algún motivo se quiera finalizar el proyecto, para ello se realizó la suma de la inversión de los costos fijos (mobiliario, equipos, etc.) y se optó por rescatar el 25% del valor total, dando como resultado una suma de \$7.476.975.

Los flujos de caja son herramientas que permiten observar el movimiento del capital, lo que los hace ideales para la planificación de proyectos y el control sobre las inversiones y los gastos del mismo (Burbano & Ortíz, 1998). No deben ser confundidos con métodos de predicción puesto

que no pueden mostrar con exactitud situaciones que afectan el movimiento de capital, por lo tanto, se recomienda no elaborarlos para periodos de tiempo que superen los diez años.

Se trabajó bajo una serie de datos supuestos con el fin de que el flujo de caja obedezca a la mayoría de situaciones y se puedan presentar valores lógicos, debido a que la información suministrada fue la mínima necesaria para realizar el planteamiento. No obstante, se genera un grado de incertidumbre en los resultados, especialmente en aquellos cuya proyección es más lejana en el tiempo. Lo ideal es elaborar un flujo de caja con la mayor cantidad de datos reales, y de continuar con las proyecciones se debe ir actualizando.

Considerar actividades como el cobro eficiente de cartera y el inicio de la producción y venta del producto generado, fue necesario para obtener saldos netos positivos ya que representan una parte importante de ingresos de capital. Por otro lado, los costos asociados al pago de arriendo de bodega son los más altos, por lo que en un futuro es aconsejable la obtención de un lugar propio para el emplazamiento de la planta.

3.3 Análisis Ambiental

El análisis ambiental fue desarrollado a partir de la construcción y análisis de una matriz de impacto ambiental en la que se estableció la relación entre las actividades del proceso productivo de la empresa y su influencia sobre elementos del medio ambiente. Para ello se consideraron diferentes tipos de metodologías enfocadas a la medición de impactos ambientales, con el fin de seleccionar la más adecuada para el desarrollo del diagnóstico.

3.3.1 Evaluación De Impactos Ambientales

Las matrices de impacto ambiental son una serie de metodologías que permiten ponderar de manera cuantitativa y cualitativa los efectos o consecuencias de actividades de un proyecto o proceso sobre el medio ambiente, con el fin de emitir un concepto respecto a la severidad de los impactos y la responsabilidad y el compromiso del generador de prevenir, controlar, mitigar y corregir cada uno de ellos.

Para la evaluación de los impactos ambientales en el proceso de aprovechamiento de residuos de drywall se analizaron diferentes metodologías para seleccionar la que mejor se adecuara a las características del proceso productivo y del proyecto.

3.3.1.1 Elección Del Tipo De Método De Evaluación De Impactos

A continuación, se presentan una serie de metodologías para la evaluación de impactos ambientales. En primer lugar, se seleccionó el tipo de matriz a emplear según sus características y limitación de acuerdo a las características del proceso productivo.

Tabla 13. Tipos de metodologías de evaluación de impactos

Nombre del método	Usos
Matriz Leopold	Todo tipo de proyectos
Método Battelle-Columbus	Todo tipo de obras
Método Galletta	Carreteras y autopistas
Análisis del medio energético Mc Allister	Sistema de Gestión para la optimización
Guías metodológicas del MOPU	Carreteras y vías férreas, reforestaciones y aeropuertos

Fuente: Autores teniendo en cuenta (Salvador, Crespo, Garmendia, & Garmendia, 2005;

Salvador, Crespo, Garmendia, & Garmendia, 2005; Elias, 2007; Ponce, 2010; Gonzalez, 2015)

Al estudiar cada uno de los tipos de matrices que se emplean en los proyectos se observó que lo más adecuado para la evaluación del impacto ambiental era construir una matriz ambiental con base en aspectos del proyecto la matriz de Leopold y la norma técnica ISO 14001/2015 (no califica impactos ambientales), específicamente aquellos que se mencionan en el capítulo 6, “Planificación” y en el sub índice 6.1.2, “Aspectos ambientales”, ya que de este modo se adopta la forma o estructura para realizar la ponderación, asignando los aspectos ambientales a las actividades del proceso productivo, para calificarlos según criterios como la severidad e importancia, además de no generar un marco de información amplia que dificulte el proceso de calificación y reconocimiento de los aspectos e impactos más relevantes del proceso.

3.3.1.2 Diligenciamiento De La Matriz Ambiental

La matriz construida cuenta con trece campos o columnas en los cuales se hace énfasis en las actividades del proceso productivo, aspectos e impactos ambientales, temporalidad, frecuencia, severidad, importancia, acciones o mecanismos de control, etc. Por otro lado, se utilizó una ponderación con un rango entre uno y cinco, con el fin de maximizar la objetividad en el momento de realizar la calificación, teniendo como punto de referencia el cumplimiento mínimo de la normatividad al proceso según corresponda.

A continuación, se presentan cada uno de los parámetros de evaluación de la matriz que se articuló para medir los impactos ambientales en la empresa.

En primer lugar, se dividió en columnas la siguiente información:

- **Ítem:** Corresponde a los procesos que son llevados a cabo dentro de la empresa.
- **Actividad:** Son cada uno de los pasos a seguir, y que juntos forman la secuencia que conforman el proceso productivo.

- **Aspecto:** Son todos aquellos fenómenos generados a raíz del desarrollo de cada una de las actividades y que pueden llegar a tener efectos sobre el medio ambiente.
- **Partes interesadas:** Son las entidades u organizaciones que se ven involucradas o afectadas por los impactos ambientales asociados al proceso de producción.

A continuación, se procedió a evaluar cada uno de los posibles impactos de la siguiente forma:

- El tipo de **impacto** es la consecuencia sobre el medio ambiente; generada por medio de un aspecto (Ej.: Contaminación atmosférica, de suelos y recurso hídrico).
- La **situación** de cada aspecto corresponde al estado en el tiempo con la que se presenta, clasificándola en “normal”, “anormal” o “riesgo”.
- La **incidencia** indica si el aspecto genera un impacto ambiental de forma “directa” o “indirecta”.
- La **temporalidad** establece el espacio temporal en el cual se desarrolla el aspecto clasificándolo en “pasado”, “actual” y “futuro”.
- La **severidad** representa que tan fuerte es el impacto ambiental, se califica de forma cuantitativa en un rango de 1 a 5, siendo 1 la apreciación más baja y 5, la más alta.
- La **frecuencia**, se califica de forma cuantitativa en un rango de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5, la más alta. Establece la regularidad o cotidianidad con la que el aspecto se presenta.
- La **importancia** es el producto entre la severidad y la frecuencia, donde el puntaje mínimo es 1 y el máximo, 25.
- **Significativo:** Clasifica el impacto en un rango de acuerdo al valor obtenido en la importancia, siguiendo los rangos y coloreando las casillas según como se muestran en la tabla 13.

Tabla 14. Clasificación del impacto significativo

Clasificación	
1 a 8	Bajo
9 a 16	Medio
17 a 25	Alto

Fuente: Autores

- **Acciones:** presenta cuales son los métodos correctivos que se llevan a cabo, o se implementaran para la reducción, control y mitigación del impacto.

3.3.2 Análisis De La Matriz

A partir de los parámetros explicados se elaboró la matriz de impacto, la cual se encuentra en la tabla 15.

Tabla 15. Matriz de impacto ambiental

Matriz para la valoración de aspectos e impactos ambientales												
Item	Actividad	Aspecto	Partes interesadas	Impacto	Situación	Incidencia	Temporalidad	Severidad	Frecuencia	Importancia	Significativo	Acciones
Proceso de aprovechamiento de placas de yeso laminado	Recolección y transporte	Emisión de compuestos contaminantes	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Actual	3	4	12	Medio	Revisión técnico-mecánica
		Emisión de material particulado	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Actual	1	4	4	Bajo	Protocolo para la manipulación del material (Cubrimiento de material)
		Pérdida de la carga por accidentes y otros eventos	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica, de suelos y recurso hídrico	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Revisión técnico-mecánica, seguimiento de protocolo de transporte
	Almacenamiento	Organización y clasificación del material	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica por material particulado	Normal	Directa	Actual	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
			Empresa, comunidad	Proliferación de vectores	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Actividades de limpieza
	Triturado	Generación y emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	4	5	20	Alto	Diseño de sistema de control de emisiones
		Consumo de energía	Empresa, comunidad	Agotamiento de recursos naturales	Normal	Indirecta	Futura	3	5	15	Medio	Capacitación para el uso eficiente de la maquinaria
		Generación de ruido ambiental	Empresa, comunidad	Contaminación acústica	Normal	Directa	Futura	3	3	9	Medio	Implementar barreras de soído en las instalaciones
	Empacado	Emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
		Organización y clasificación del producto	Empresa, comunidad	Proliferación de vectores	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Actividades de limpieza
	Transporte de producto final	Emisión de compuestos contaminantes	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	3	4	12	Medio	Revisión técnico-mecánica
		Emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
		Pérdida de la carga por accidentes y otros eventos	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica, de suelos y recurso hídrico	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Revisión técnico-mecánica, seguimiento de protocolo de transporte

Fuente: Autores

Al observar la matriz de impacto se determinó que por las características físicas del material cada una de las manipulaciones puede generar pérdidas de masa ya que se genera material particulado, dando origen a pequeñas emisiones en el movimiento del mismo, por lo que la

manipulación del residuo de las placas debe realizarse cuidadosamente en cada una de las actividades (recolección, transporte, almacenamiento, triturado, empaçado y transporte del producto final).

Específicamente, el impacto con el valor significativo más alto es la generación y emisión de material particulado en el triturado de las PYL, resaltando la importancia de implementar un sistema de control de emisiones para la reducción de la concentración del contaminante en el aire y para el cumplimiento de la norma legal que regula la emisión de material particulado en fuentes fijas.

Una de las actividades que generan mayor impacto es el transporte del material, ya sea desde el foco de generación a la planta, o como producto a su comercialización. Cabe resaltar que considerar el manejo de grandes distancias para el aprovechamiento del drywall deja de ser una propuesta viable debido a que las emisiones generadas por vehículos de gran tamaño y sus costos operacionales contrarrestan los beneficios ambientales del aprovechamiento de PYL.

Para reducir las emisiones de fuentes móviles se debe tener en cuenta es la revisión del estado de los vehículos que se emplean con el fin de controlarlas. Cabe agregar que seguir el protocolo de transporte establecido por la empresa para llevar a cabo el servicio es la mejor forma para evitar la pérdida de carga del material.

Una vez el material llega a la bodega y es almacenado, donde existe el riesgo de que se presenten vectores como fauna nociva debido a las condiciones de encierro y a la presencia de residuos sólidos ordinarios que se han mezclado con los residuos de drywall durante la recepción en el sitio de generación. Es importante realizar actividades de limpieza en la zona de almacenamiento y empaçado.

Posterior al almacenamiento, el material pasa directamente al triturado, donde se presentan impactos ambientales relacionados con el consumo energía y agotamiento de los recursos naturales, debido a esto es recomendable que los operarios que emplean la maquinaria lo hagan de forma eficiente.

El empleo de la maquinaria genera una cantidad de presión sonora que puede fomentar la contaminación acústica a nivel ocupacional y ambiental, debido a esto el nivel de ruido debe ser controlado para reducir el impacto sobre la comunidad.

El análisis ambiental mostró que la mayoría de actividades se encuentran en una situación significativa media y están ubicados cerca del límite inferior del rango, con un valor de importancia promedio de 9,5. Por lo tanto se debe tener en cuenta acciones de control que eviten que los valores de severidad e importancia aumenten.

Finalmente se concluye que a partir del análisis de la matriz de impacto de las a condiciones actuales de operación deberá tenerse en cuenta la revisión vehículos, como se mostrará en el apartado de evaluación de la alternativa y en el apartado de las recomendaciones.

CAPITULO 4

4 Propuesta de mejora para la empresa Ser-efec S.A.S.

Las unidades operativas que se presentan a continuación son un marco de alternativas que conforman la propuesta de mejora con el fin de optimizar el proceso productivo, considerando los resultados obtenidos en los análisis técnico, económico y ambiental. Cada una de ellas estará enfocada en la mejora del desempeño de los aspectos mencionados y su elección dependerá de la necesidad y la capacidad que tenga la empresa de asumirlos.

En el aspecto técnico, la mayor dificultad que se encontró fue la ausencia de un proceso de almacenamiento organizado, por el contrario, se presenta acumulación de residuos de PYL y dificultad para el movimiento y ubicación de los equipos. No hay un proceso de triturado continuo que permita la producción de sulfato de calcio, del mismo modo, la instalación no cuenta con un área de empaque y almacenamiento del producto destinado para la venta.

Económicamente es una actividad rentable que ha podido superar dificultades dentro de un mercado que se encuentra en crecimiento. Cabe resaltar que durante la elaboración del flujo de caja se asumieron una serie de valores, como la recuperación de la cartera, la venta constante de producto finalizado, el número de operarios, el total de servicios, entre otros, que la fecha de solicitud de datos, no se encontraban totalmente claros. Sin embargo, fue posible generar un escenario que muestra un crecimiento adecuado para el tipo de actividad que desarrolla la empresa y genera un horizonte de crecimiento para el periodo de tiempo analizado.

Ambientalmente es un proceso que cumple un papel importante dentro de la gestión integral de RCD, además de generar un producto compatible con las demandas ambientales y agrícolas de hoy en día. Algunos de los problemas ambientales con los que se cuenta es la acumulación de material, interpretado como foco para la proliferación de vectores como fauna nociva, la ausencia de un sistema de control de emisiones cuando se realiza el proceso de descargue, almacenamiento y triturado, entre otros, ya que a mediano y largo plazo pueden generar problemas de tipo respiratorio en la comunidad, relacionados con la inhalación de material particulado.

4.1 Alternativas para la Mejora del Proceso Productivo

Las alternativas que se presentan a continuación están enfocadas en dar respuesta a las dificultades más importantes halladas en los análisis de cada uno de los aspectos.

En el aspecto técnico se debe plantear un sistema o unidad operativa que permita mejorar la eficiencia del proceso en cuanto a la producción de sulfato de calcio, específicamente en las actividades donde se presentan fallas, como el almacenamiento ya que en las condiciones de acumulación que hay, se dificulta el desarrollo de las otras actividades.

Económicamente, la propuesta debe tener un valor acorde a la capacidad de inversión de la empresa para adquirirla. Al estar en una situación de crecimiento lento ya que cuenta con un periodo de repago de seis años, el sistema debe generar ingresos que permitan solventar el gasto operacional y servir de apoyo para el resto de actividades. Por otro lado, se debe observar cual es el momento adecuado para realizar la inversión, teniendo en cuenta que no debe generar un vacío o saldo negativo en los fondos de la empresa.

En el aspecto ambiental se debe utilizar un método que permita controlar los impactos ambientales generados en cada una de las partes del proceso ya que, durante la evaluación y análisis ambiental, la trituración fue la actividad que mayor impacto negativo tuvo respecto a las demás. Por lo tanto, el material particulado, que está formado en su mayoría por sulfato de calcio, se encuentra en condiciones de ser recuperado con el fin de recolectar material que puede perderse debido a la suspensión de partículas.

4.1.1 Descripción De Alternativas De Unidades Operativas Complementarias Al Proceso

Para escoger la alternativa que hará parte de la propuesta de mejora se consideraron una serie de criterios de diseño con el fin de calificarlas, y de esta manera resaltar sus fortalezas y debilidades para escoger una o varias de ellas según la necesidad y beneficio de implementarlas. Los criterios de diseño para la selección fueron los siguientes:

- **Costos:** Se encuentran directamente relacionados con la inversión de capital que debería ser necesaria para la implementación de la propuesta final. El valor de la o las unidades seleccionadas no deberá superar el valor del flujo neto de efectivo del año anterior a la implementación.
- **Número de operarios:** Es la cantidad de personal que deberá ser contratado para realizar las labores de operación de las unidades seleccionadas y no deberán superar la cantidad de dos personas por unidad operativa. Este criterio de diseño implica un incremento en los costos de operación.
- **Adecuaciones en planta:** Son todas aquellas actividades adicionales que deberán ser llevadas a cabo para ubicar una o varias de las alternativas dentro de la bodega como la delimitación de áreas o la modificación de la infraestructura.

- **Articulación con las unidades:** Muestra la cohesión entre cada una de las actividades del proceso ya existente y la maquinaria que irá siendo añadida al mismo, está relacionada con el análisis técnico, económico y sus requerimientos.
- **Dimensiones:** Es de los criterios de diseño más importantes puesto que limita la implementación de maquinaria teniendo en cuenta las dimensiones de la bodega y sus alrededores, ya sea con la que se cuenta actualmente o con un nuevo lugar de operaciones.
- **Importancia:** Muestra la necesidad de implementar la alternativa, teniendo como referencia las dificultades técnicas halladas durante el análisis técnico, económico y ambiental.

La implementación de las alternativas al proceso productivo dará como resultado mejoras en la eficiencia y en la calidad del producto, características que son apetecibles y dan reconocimiento a nivel comercial. A nivel del procedimiento de aprovechamiento de las PYL se encontró que las unidades más comunes son:

4.1.1.1 Organización de la Planta

Implica no contar con un nuevo espacio para el desarrollo del proceso de aprovechamiento, sino que teniendo en cuenta las dimensiones de la bodega donde actualmente se hace el emplazamiento de la planta, se considera la ubicación de las unidades operativas que lo conforman, puesto que éste sistema permite llevar a cabo las tareas correctamente. Para esto se tendrán en cuenta espacios definidos donde actividades como el descargue y almacenamiento no alteren el movimiento interno de la producción ni el desarrollo de las demás.

Para la organización de la planta se van a delimitar los espacios de recepción, almacenamiento, triturado, y empacado, además de contar con áreas libres que serán habilitadas para la implementación de otras alternativas. Por otro lado, se hará uso del segundo piso para la ubicación de la zona administrativa, con el fin de reducir los costos de arriendo generados por la oficina en la que actualmente se encuentran, esto permitirá ejercer un mayor control administrativo sobre cada una de las actividades del proceso. La implementación requiere del apoyo de los operarios con los que cuenta la empresa en la actualidad y tiene un costo aproximado de \$3.000.000.

4.1.1.2 Sistema de Camiones y Contenedores:

Es un sistema de contenedores destinados exclusivamente a la recepción de placas de yeso producto de actividades de construcción y demolición. Estos contenedores se llevan al lugar en el que se generan los RCD, donde los pequeños y medianos generadores realizan el depósito de residuos de drywall. Una vez lleno el camión realiza el cargue del contenedor por medio de un acoplamiento mecánico y se transporta a la planta para el tratamiento del material.

La empresa debe tener una gran capacidad de almacenamiento y la posibilidad de manejar y procesar grandes volúmenes de drywall, requiriendo de la articulación con otras actividades del proceso. Éste lugar debe contar con un área de movimiento amplia para evitar inconvenientes relacionados con el descargue del material, requiriendo de mano de obra para los procesos de recepción, movimiento en planta y cargue de las PYL.

Además del pago a los conductores, la operación de estos camiones requiere de un lugar para guardarlos, contemplando aumento de los costos por alquiler de garajes. Para su

implementación, la empresa debe tener una capacidad de inversión alta ya que tienen un costo cercano a los \$280.000.000 cada uno y los contenedores deben posicionarse en determinada construcción por un periodo máximo de 15 días, teniendo en cuenta la variación en la generación de RCD. En las Figuras 13 y 14 se pueden observar los contenedores y camiones requeridos.



Figuras 13 y 14. Camión, contenedor acoplamiento

Fuente: Adaptado de (International, Gypsum Recycling (Plasterboard/Drywall/Wallboard Recycling), 2014)

4.1.1.3 Sistema de Bandas Transportadoras:

Es un sistema de transporte formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores, los cuales deben soportar la carga que transporta y tener resistencia mecánica a la tracción. Las bandas facilitan el transporte de los residuos de PYL al sistema de trituración o al empacado, simplificando el trabajo de los operarios, los cuales se encargan de alimentarla constantemente y remover objetos extraños que puedan deteriorar o dañar la máquina de triturado, como se observa en la Figura 15 (Amigo, Muñoz, & Lagos, 2013).



Figura 15. Banda transportadora

Fuente: Adaptado de (GypsumUK, Waste Management | British Gypsum, 2009)

Los criterios diseño para las bandas transportadoras son:

- Material a manejar: características, temperatura, etc.
- Capacidad y peso.
- Distancia de transporte.
- Niveles de transporte.
- Interferencias, limitaciones, apoyos.
- Función requerida del medio transportador.
- Condiciones ambientales.
- Recursos energéticos.
- Recursos financieros (presupuestos).
- Clasificación de usuarios y tiempo de utilización
- La tensión que debe vencer la fricción de la carga.

Cada banda transportadora varía dependiendo de la utilización y características propias del proceso, pues las actividades, espacio, y manejo de distintos materiales son criterios de selección para la construcción de las bandas o rodillos (Barrera , y otros, 2016). Para esta actividad se suelen emplear las bandas de sincronización, las cuales poseen una serie de dientes que entran en ranuras

axiales formadas en la periferia de las poleas, como se muestra en la Figura 16, teniendo la cualidad de ser silenciosas no necesitar lubricación, transmitiendo la energía potencial a una relación constante con la velocidad angular (Moreno, 2010).

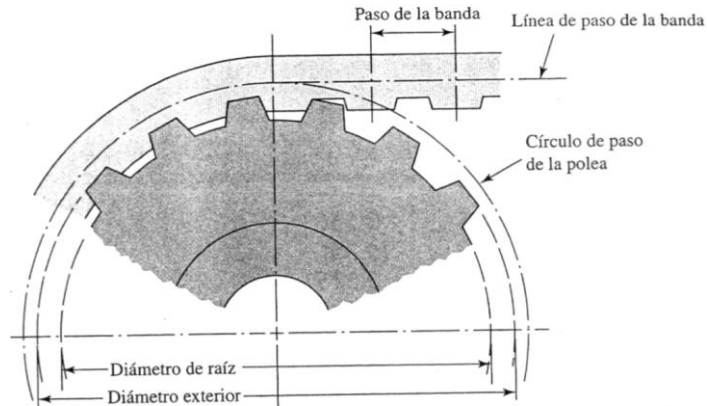


Figura 16. Mecanismo de funcionamiento una banda transportadora

Fuente: (Moreno, 2010)

Como complemento a esta unidad operativa, se suma la utilización de excavadoras, las cuales ayudan al proceso de descargue, fraccionamiento de material y movimiento del mismo al interior de las instalaciones. Son equipos que pueden superar los \$5.000.000.

Cabe agregar que al implementar las bandas transportadoras en el proceso productivo se requiere de una articulación en planta con el espacio que hay entre el almacenamiento de las PYL y la máquina trituradora. La operación de las bandas necesita de un operario alimentando el transporte y revisando la operación correcta de la misma.

4.1.1.4 Electroimán

Durante la instalación de las PYL se usan diferentes tipos de tornillos y clavos, los cuales no son removidos durante la remodelación o demolición, por lo tanto, llegan en forma de residuo adheridos a ellas, sin embargo, se pueden retirar por medio de una separación magnética, la cual extrae cuerpos metálicos que se encuentran mezclados con el residuo.

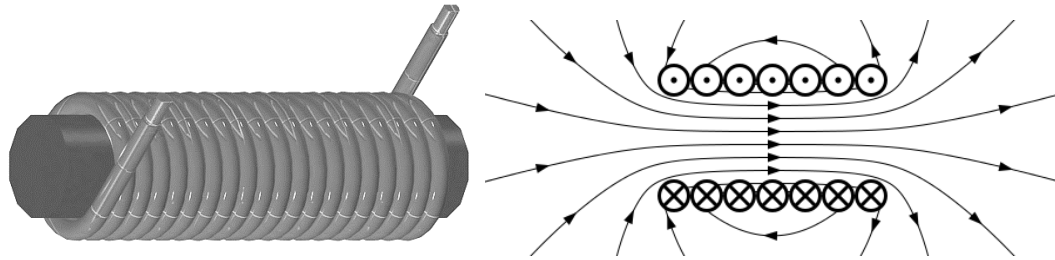


Figura 17. Electroimán y su campo magnético

Fuente: (Encured, 2010)

Un electroimán consiste en una bobina de alambre aislado envuelto alrededor de un núcleo de hierro, como se puede observar en la Figura 17. Éste núcleo sirve para aumentar el campo magnético y la fuerza de es proporcional a la cantidad de corriente que atraviesa los arrollamientos. La elección del separador y el montaje dependerá de factores como: tipo de producto, granulometría, dimensiones del material magnético velocidad y caudal del transporte. Presentando costos superiores a \$20.000.000 (Encured, 2010).



Figura 18. Imán en operación

Fuente: Adaptado de (GypsumUK, Waste Management | British Gypsum, 2009)

El funcionamiento del electroimán en el proceso productivo consiste en que las PYL circulan por la cinta transportadora, al entrar en el campo magnético, los objetos metálicos son atraídos y ascienden hacia él. Éste sistema mejora la calidad del producto final y evita posibles daños al interior de la máquina trituradora. Adicionalmente, al implementarlo es necesario articularlo con las bandas transportadoras como se observa en la Figura 18, teniendo unas

dimensiones iguales o cercanas a un metro cuadrado, ubicándolo en parte superior de tal forma que el material se va transportando mientras el electroimán realiza la separación, por esto el operario que se encarga de alimentar las bandas transportadoras puede supervisar el correcto funcionamiento de la unidad.

4.1.1.5 Maquina Empacadora y Selladora

Una vez se separa el yeso triturado se debe guardar en bolsas para su comercialización. Dicho proceso se realiza gracias a una maquina empacadora, la cual puede ser de tipo manual, semiautomáticas o automáticas (Moreno, 2010).

Las maquinas empacadoras automáticas necesitan la asistencia de un operador, reduciendo los costos por mano de obra y su precio varía entre \$ 2.000.000 a \$ 8.000.000, siendo ideales para empresas con un alto volumen de producción.

Las maquinas semiautomáticas requieren un operador para tareas de dosificación. El empaque depende del tipo de producto, dosis y habilidad del operador, generando cantidades aceptables por lo que son ideales para micro mercados donde la producción es moderada y da como resultado una buena presentación.

Las máquinas de empacado manual son aquellas que necesitan de uno o dos operadores, los cuales deben tomar las bolsas, llenarlas e ir a la maquina selladora para cerrarla. Éste sistema se suele usar en empresas con una producción baja o inconstante. El precio de esta máquina es variable y depende de las características y dimensiones de la misma, en el mercado pueden llegar a tener un valor de \$300.000 en adelante (Moreno, 2010).

El sellado se puede realizar en varios sistemas que utilizan el calor y la presión para efectuar la unión de películas plásticas, con frecuencia son más usados los que requieren una resistencia eléctrica como fuente de calor, otros pueden requerir una ultra frecuencia o aire caliente, todo depende del tipo de material a empacar (Moreno, 2010).

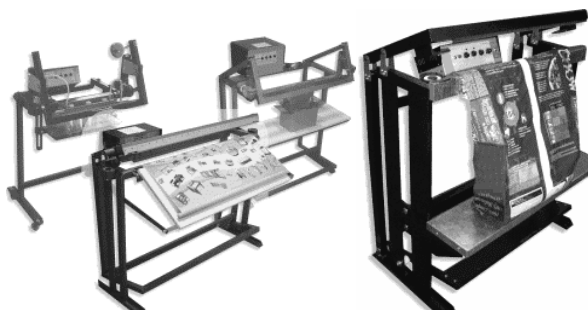


Figura 19. Máquinas selladoras

Fuente: (PYSEL, 2015)

4.1.1.6 Sistema de Control de Emisiones

Los sistemas de control de emisiones corresponden a equipos que están en la capacidad de remover compuestos contaminantes que se encuentran mezclados o disueltos en flujos de aire. Cada uno de ellos funciona haciendo pasar un caudal de aire a través de la unidad operativa, sometiéndolo a procesos físicos o químicos que permitan retener un compuesto específico de acuerdo a los requerimientos ambientales y normativos.

El proceso de aprovechamiento de las PYL se caracteriza por no generar compuestos contaminantes reactivos o corrosivos que generalmente están asociados a procesos de combustión y reacciones químicas, siendo el material particulado el principal compuesto contaminante a tener en cuenta.

El material particulado hace referencia a partículas sólidas o líquidas cuyas dimensiones se encuentran dentro del orden de los micrómetros y que al ser inhaladas a la vía respiratoria pueden generar complicaciones de salud. Este compuesto se genera en el momento en el que las placas son trituradas, el yeso en forma de polvo es depositado en el suelo y parte del sulfato de calcio entra en suspensión en el aire por efectos de choque de partículas. (De Nevers, 1997).

Es importante tener en cuenta que la corriente de aire que va a ser tratada se encuentra a temperatura ambiente debido a la ausencia de procesos de combustión y reacciones químicas que puedan afectar el estado de la misma. Esto es relevante ya que para algunos mecanismos de control es necesario realizar enfriamiento de la corriente para evitar problemas de reacción y corrosión al interior del sistema.

De acuerdo a las características del proceso productivo, los mecanismos colectores de partículas son los más adecuados para el tratamiento de la corriente contaminada, puesto que solo requieren de tratamiento físico para realizar la captura del material particulado.

Económicamente no representan un gasto considerable a largo plazo, ya que únicamente requieren de la acción de la gravedad o algún medio filtrante como mecanismo de operación que pueda retener este tipo de partículas. Adicionalmente no es necesaria la adición de compuestos químicos para neutralizar el material contaminado que se encuentra al interior de la corriente, el uso de un medio o adsorbente que tenga que ser reemplazado que deberá disponerse como residuo peligroso, o el uso de agua para realizar lavado del flujo y eliminar compuestos por arrastre (scrubbers). Sin embargo, es importante resaltar que los costos de construcción, operación y mantenimiento de cada uno de estos equipos no son fijos y por lo tanto no hay valores estandarizados en el mercado, ya que éstas características varían y dependen del estado del proceso productivo y las características fisicoquímicas de la corriente, teniendo en cuenta que los valores correspondientes a los criterios de diseño de cada unidad cambian de acuerdo a éstos valores, dando

lugar a que en el momento de realizar una evaluación económica deberá considerarse cada unidad por aparte y enfocada al caso en particular. (Fernández E. , 2008)

Técnicamente son eficientes debido a que están en capacidad de remover la gran cantidad del material particulado que se genera durante el proceso de triturado de las placas. Al ser únicamente procesos de tipo físico, el material recolectado no ha sido modificado en cuanto a su composición química y cuenta con las mismas características de calidad que posee el sulfato de calcio triturado, lo que evita pérdidas en peso de material respecto a la cantidad entrante.

Algunas de las desventajas con las que cuentan estos equipos son que, dependiendo del volumen de corriente de aire a tratar, las unidades deben ser instaladas afuera del lugar donde se genera el compuesto contaminante, por lo que son demasiado grandes, al igual que su costo de implementación; sin embargo, son para casos de procesos industriales grandes que garantizan un flujo amplio y constante de compuestos contaminantes

Los colectores de partículas que se utilizan con regularidad son:

4.1.1.6.1 Cámaras de Sedimentación:

Las cámaras de sedimentación utilizan la acción de la gravedad para remover las partículas más pesadas de una corriente de aire, cuentan con una o dos tolvas destinadas para la recuperación del material, como se observa en la Figura 20. Su funcionamiento depende exclusivamente del tamaño de la partícula y el caudal que se maneje, pues se debe garantizar un flujo laminar a lo largo de toda la unidad para garantizar la sedimentación de la mayor cantidad de material particulado, en la tabla 15 se observan las ventajas, desventajas y parámetros de diseño (De Nevers, 1997).

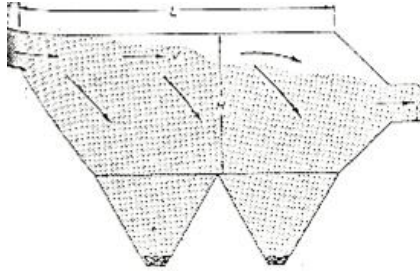


Figura 20. Cámara de sedimentación con dos tolvas

Fuente: (De Nevers, 1997)

Tabla 16. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño de la cámara de sedimentación

Ventajas	Desventajas	Parámetros de Diseño
<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad de diseño e instalación • Desgaste reducido • Bajo costo de operación 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia si se trata de partículas pequeñas • Necesidad de grandes espacios 	<ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades físicas y químicas de las partículas. • Intervalo de concentración de partículas que se podría esperar • Humedad, Temperatura y presión de la corriente de flujo. • Naturaleza corrosiva de la fase gaseosa • Los parámetros de calidad de la corriente tratada.

Fuente: (Industrial Ventilation, 2007)

4.1.1.6.2 Filtros de Manga:

Son un sistema de colector de partículas que se caracteriza por realizar la filtración del material particulado en forma ascendente por medio de un sistema de estructuras cilíndricas huecas hechas a partir de un material poroso que permite la acumulación de material filtrado, y una tolva en el fondo que se encarga de recuperar el residuo. El tipo de material de la manga dependerá

exclusivamente de las características fisicoquímicas de los compuestos presentes en la corriente y la temperatura de la misma con el fin de evitar el deterioro de la unidad.

Es un sistema efectivo para partículas de diámetro pequeño, generalmente inferior a los 20 μm . Dicha eficiencia está ligada a la formación de una capa o “torta” de material filtrado que se acumula en los costados o paredes de la manga, por lo cual, para filtros nuevos y limpios la eficiencia será baja y aumentará con el tiempo de operación.

La limpieza al interior del filtro generalmente se hace por medio de un mecanismo de agitación que desprende la gruesa capa de material acumulado para dar espacio a la formación de una nueva.

Existe otro tipo de filtro conocido como Pulse-Jet, el cual se caracteriza por realizar la limpieza de las mangas por medio del uso de una corriente de aire a presión que va en contra del flujo normal de aire al interior de la unidad, dando lugar a un mayor desprendimiento de la capa de material que se haya acumulado. (De Nevers, 1997).

Las dimensiones de esta unidad de tratamiento se encuentran ligadas al caudal que debe ser tratado, por ende, su costo de fabricación es variable, contemplando la posibilidad de ubicarlos tanto en interiores como en exteriores. Requiere de supervisión periódica para realizar actividades de mantenimiento y la articulación con otras unidades se da por medio del direccionamiento de corriente contaminada hacia el filtro, en la tabla 16 se resumen las ventajas, desventajas y parámetros de diseño.

Tabla 17. . Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del filtro de mangas

Ventajas	Desventajas	Parametros de diseno
<ul style="list-style-type: none"> • Presentan altos rendimientos de depuración, incluso para partículas muy finas • Permiten un diseño y construcción modular para caudales de gas muy distintos • Pueden operar con una amplia variedad de polvos, de distinta naturaleza 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran necesidad de espacio para su implantación. • No pueden operar en ambientes húmedos o cerca del punto de rocío de la corriente gaseosa a tratar • No pueden depurar polvos adhesivos o aglomerantes por colmatacion de la tela 	<ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades físicas y químicas de las partículas. • Tipo y grosor de tela • Operacion de la limpieza • Velocidad y caudal del gas • Perdida de la carga • Cantidad de gas a tratar

Fuente: (Hurtado, 2002).

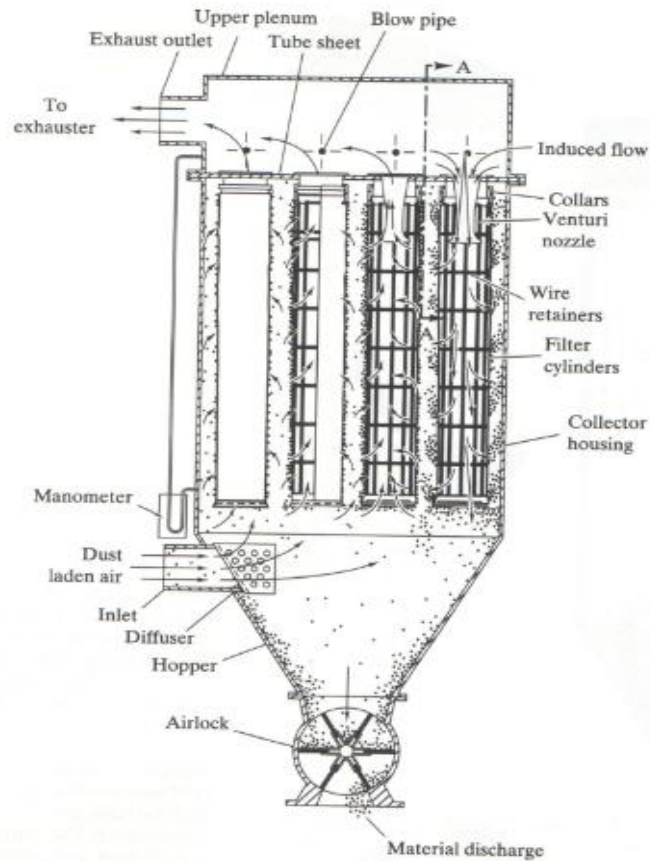


Figura 21. Filtro de manga tipo pulse-jet

Fuente: (Heinsohn & Kabel, 1999)

4.1.1.6.3 Precipitador Electrostático:

Es un mecanismo de remoción de material particulado que se encarga de generar un campo eléctrico al interior de la unidad con el fin de utilizar la diferencia de potencial y de cargas eléctricas para retirar el material presente en la corriente de aire. Generalmente son utilizados para el tratamiento de caudales grandes en cuyo proceso se hayan utilizado combustibles fósiles. El material particulado se acumula sobre unas placas, las cuales son responsables de inducir el campo eléctrico donde se hace la remoción del contaminante. Posteriormente el compuesto es depositado

en una tolva ubicada en la misma unidad para su recolección. Son muy eficientes pero están ligados a costos elevados de construcción, operación y mantenimiento debido al uso constante de energía eléctrica, la maquina se muestra en la Figura 22 (Heinsohn & Kabel, 1999).

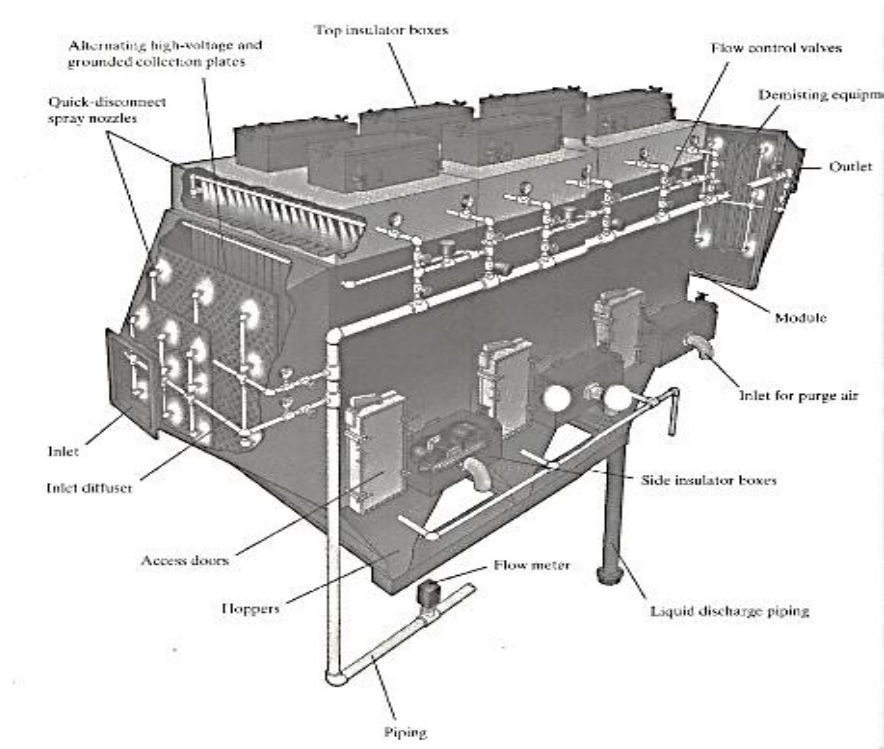


Figura 22. Precipitador electrostático

Fuente: (Heinsohn & Kabel, 1999)

La implementación de este sistema requiere que se lleve en un lugar fuera del lugar del punto de operación debido a las dimensiones del mismo, también requiere un trabajo conjunto de más de diez personas y direccionar el flujo de aire contaminado hasta el precipitador por medio de extractores para realizar la articulación con el resto de unidades, las ventajas, desventajas y criterios de diseño se muestran en la tabla 17.

Tabla 18. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del precipitador electrostático

Ventajas	Desventajas	Parametros de diseno
<ul style="list-style-type: none"> •Alta eficiencia de recolección, en ocasiones superior a 99% •Recolección de partículas de tamaño muy pequeño. •Diseño para operar en forma continua con poco mantenimiento, durante periodos prolongados •Empleo con altas temperaturas del 370 a los 540°C. •Pueden tratar grandes volúmenes de gas con pérdida de presión pequeña •Los costos de operación y mantenimiento son bajos 	<ul style="list-style-type: none"> •Alto costo inicial •Requieren espacios grandes •Pueden requerir el empleo de un limpiador previo para reducir la carga del polvo que llega al precipitador •Útiles solamente para Material particulado •Alta tensión puede representar un riesgo 	<ul style="list-style-type: none"> •Areas de los electrodos de recoleccion •Caudal del gas •Tamano de particulas •Caida de presion •Características de la particula y del gas

Fuente: (Hurtado, 2002).

4.1.1.6.4 Ciclones:

Es una de las unidades de control de emisiones más comunes debido a la eficiencia de remoción de material particulado. Utiliza el principio de la fuerza centrífuga al hacer pasar una corriente de aire por medio de una estructura de caracol que va reduciendo su diámetro a medida que la corriente va descendiendo, removiendo el material y depositándolo en la parte inferior. (Heinsohn & Kabel, 1999).

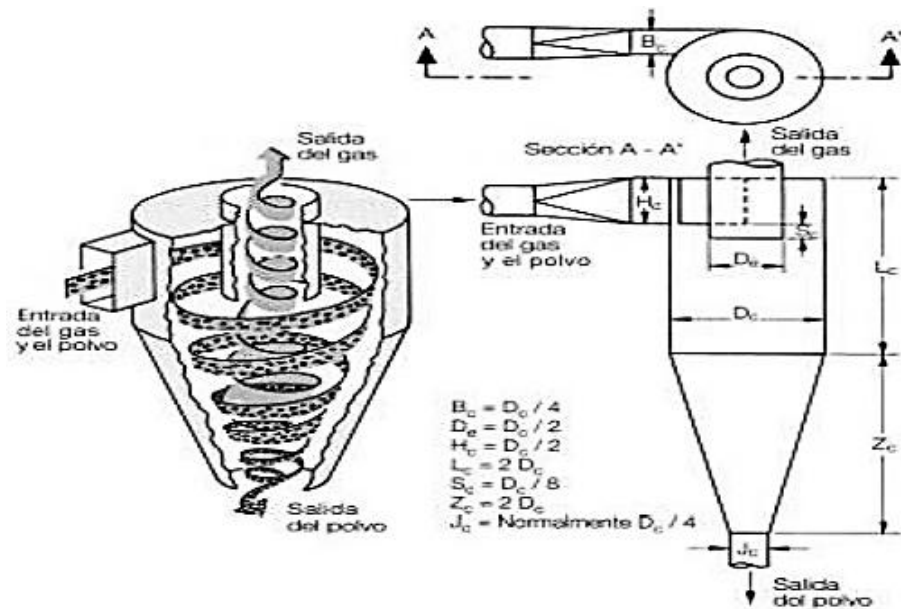


Figura 23. Movimiento de las partículas al interior de un ciclón

Fuente: (Estrucplan, 2000)

Generalmente manejan un rango de tamaño de partícula que se encuentra entre los 20 μm y 40 μm . Si se desea implementar en flujos que contengan partículas que se encuentren por fuera de este rango, presenta deficiencias en el porcentaje de remoción. (Heinsohn & Kabel, 1999). De acuerdo a las dimensiones del proceso, el costo de un ciclón puede oscilar entre los \$4.000.000 y \$15.000.000, dependiendo de la caracterización de la corriente de aire a tratar.

Tabla 19. Ventajas, desventajas y parámetros de diseño del ciclón

Ventajas	Desventajas	Parámetros de diseño
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Menor consumo de energía • Simplicidad de diseño y mantenimiento y construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia baja para partículas inferiores a $5 \times 10^{-6} \text{m}$ • Abrasión excesiva • Taponamiento por presencia de altas concentraciones de polvo 	<ul style="list-style-type: none"> • Diametro y longitud del ciclón • Tiempo de permanencia de las partículas en el ciclón • Velocidad de entrada del gas • Diametro minimo de partícula recolectada • Densidad del fluido

Fuente: (Hurtado, 2002).



Figura 24. Ciclón y filtro de manga en industria de ornamentación metálica

Fuente: Autores

Es una unidad flexible en cuanto a las dimensiones ya que depende del caudal a tratar y del diámetro de la partícula, por ende, puede ubicarse tanto al interior como al exterior del lugar donde está ubicada la fuente de emisión, requiere de la supervisión periódica por un operario para realizar actividades de limpieza del material. La articulación con otras unidades se hace por medio del

direccionamiento de la corriente contaminada por medio de ductos y extractores como se observa en la figura 24.

4.1.2 Criterios de Selección

Para evaluar cada una de las alternativas se emplearon una serie de criterios los cuales permitieron cuantificar la propuesta que mejor se adapta a las necesidades de la empresa. La matriz construida cuenta con seis columnas, en las que se evalúan los aspectos relacionados con costos, numero de operarios, adecuaciones en planta, articulación con otras unidades, dimensionamiento e importancia. En cuanto a la evaluación, se realizó numéricamente organizando los parámetros de tal forma que las alternativas con mayor puntaje son las menos viables.

A continuación, se presentan cada uno de los parámetros de evaluación la matriz que se articuló para evaluar las alternativas.

- **Costos:** Se determinaron tres categorías de costos, muy altos (mayores de 10 millones de pesos – valoración 3), altos (ente 6 a 10 millones de pesos – valoración 2), medios (entre 1,9 a 5,9 millones de pesos – valoración 1) y bajos (menores de 1 millones de pesos – valoración 0). Como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Valoración de costos

Costos		
Criterio	Rango en millones de pesos	Valoración
Muy Altos	<20	3
Altos	9-20	2
Medios	1-8	1
Bajos	>1	0

Fuente: Autores

- **Numero de operarios:** En este criterio se tiene en cuenta la cantidad de operarios adicionales que puede necesitar una alternativa. Si no se requiere ninguno, su valoración será “0”, si requiere, su valoración será 1 y así sucesivamente.
- **Adecuaciones en planta:** Se valoró si era necesario hacer modificaciones a las condiciones actuales de la planta, dándole una puntuación de 1, pero si no se requiere ninguna modificación se le dio un valor de “0”.
- **Articulación con unidades:** Se observó que hay alternativas que para operar se pueden articular con otras y mejorar su operación, al necesitar esta articulación los costos pueden aumentar y por ello se le dio un valor de 1, mientras que si es una unidad independiente se valoró con “0”.
- **Dimensiones:** Cada unidad operativa requiere determinado espacio para operar. Para las alternativas que necesitaran dimensiones amplias, mayores a 20 m², se le dio un valor de 3; para las dimensiones medias, entre 2 a 20 m² se le dio un valor de 2, y por ultimo las dimensiones depreciables, menores a 2 m², se les dio un valor de 1 como de muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Valores del dimensionamiento

Dimensiones		
Criterio	Rango en m²	Valoración
Amplias	< 20	3
Medias	2 a 20	2
Depreciables	>2	1

Fuente: Autores

- **Importancia:** Hay alternativas que se requieren con mayor prontitud en la planta y que ayudarían en gran manera a acelerar el aprovechamiento de las PYL, valorándolas según los criterios que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Valoración de la importancia

Importancia	
Muy importante	0
Importante	1
Poco importante	2

Fuente: Autores

A continuación, en la tabla 23, se muestra la valoración de cada una de las alternativas según los criterios de evaluación, mostrando en la columna de totales, si obtiene un puntaje alto es la menos viable.

Tabla 23. Valoración de alternativas

Alternativas		Criterios de selección					Total	
		Costos	# Operarios	Adecuaciones en planta	Articulación con unidades	Dimensiones		Importancia
Sistema de camiones y contenedores		3	2	1	0	3	2	11
Sistema de bandas transportadoras		1	0	1	1	2	1	6
Imán		1	0	1	1	1	1	5
Organización de la planta		1	0	1	0	3	0	4
Maquina empacadora/selladora	Automática	2	1	1	1	2	2	9
	Semiautomática	1	1	1	1	1	1	6
	Manual	0	1	1	1	1	0	4
	Selladora	0	1	1	1	1	0	4
Sistema de control de emisiones	Cámaras de sedimentación	0	0	1	1	3	1	6
	Filtros de mangas	1	0	1	1	2	0	5
	Precipitado electrostático	3	0	1	1	3	1	9
	Ciclones	1	0	1	1	2	1	6

Fuente: Autores

4.1.3 Selección de la Alternativa

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las evaluaciones y la calificación según los criterios de diseño, se optó por el diseño de un filtro de manga; un sistema de control de emisiones de tipo colector de partículas que permitirá realizar la recolección del material particulado que se genere al interior de las instalaciones de la planta, además de garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental asociada a la emisión de este compuesto. Adicionalmente se va a realizar el diseño para la organización de la planta, con el fin de incluir la unidad de tratamiento y una máquina de sellado dentro de las unidades operativas del proceso, además de plantear un panorama general de cuál debería ser la organización de cada una de las unidades para la optimización de todo el sistema.

Por otro lado, el material que sea recolectado estará en condiciones de ser recuperado por medio de mecanismos de limpieza para ser utilizado como una fracción del producto final, esto producto de un proceso de separación físico que evita el cambio en la composición química del residuo, reduciendo pérdidas y procurando que la cantidad de material entrante al proceso se conserve durante el mismo.

Se requiere invertir en la instalación una maquina selladora de bolsas de lona porque el cierre de los empaques se realiza de una forma mucho más veloz y por lo tanto se reduce el tiempo de operación en una de las actividades. Esta unidad suele ser empleada en empresas con bajos volúmenes de producción, descartando las otras alternativas que son usadas en empresas con volúmenes mayores.

Actualmente se está trabajando en el diseño un ciclón como mecanismo de control de material particulado; sin embargo, es necesario implementar un sistema complementario para la recolección de material que se encuentre por fuera del rango de operación de la unidad y garantice la remoción total de la concentración del contaminante remanente en el aire.

En la valoración de alternativas se observó que por la baja producción que hay en la empresa debido al reciente inicio de actividades no es viable instalar la banda transportadora ni el electroimán a pesar de que son unidades que aceleran el transporte y mejoran la calidad del proceso. Por otro lado, no cuentan con los volúmenes de residuos suficientes para instalarlas, además de que el costo de implementación es elevado y el espacio reducido en la planta actual.

La cámara de sedimentación fue descartada debido a que las dimensiones de la unidad no son adecuadas para el espacio disponible en la planta, además de la baja eficiencia que representa para el diámetro de las partículas de sulfato de calcio, las cuales, generalmente no se encuentran en el rango de operación de la unidad.

A pesar del buen rendimiento que pueda tener un precipitador electrostático, las dimensiones requeridas para su instalación no son factibles para el tamaño de la producción y la planta. Adicionalmente el costo que se requiere para su operación y mantenimiento es elevado y dicho valor no está contemplado para ser asumido.

Los sistemas de camiones y contenedores no fueron tenidos en cuenta para la optimización del proceso debido a que el volumen de residuos que se maneja en la actualidad no es suficiente para poder implementarlos. Por otro lado, las dimensiones de la planta y los alrededores de la bodega no son reducidos para el movimiento de éstos.

4.1.3.1 Diseño De Unidades Propuestas

A continuación, se presentan los parámetros utilizados en la elaboración del diseño del filtro de manga, maquina selladora y organización de la empresa.

4.1.3.1.1 Filtro de Manga

Los parámetros mostrados a continuación corresponden a valores teóricos y experimentales utilizados para el diseño del filtro de manga. Cada uno de ellos fue tenido en cuenta de acuerdo al tipo de filtro que se seleccionó y a las características del contaminante, estas últimas están ligadas a variables como tipo de residuo volumen de producción. Los parámetros utilizados fueron los siguientes.

Tabla 24. Parámetros de diseño

Parámetro	Rango	Valor	Unidad
Densidad CaSO ₄	-	2,32	g/cm ³
Velocidad de filtración: agitación/contracorriente (tela tejida)	-	0,01	m/s
Factor de resistencia (K) yeso	-	6,452	mm H ₂ O*m*s/g
Diámetro de la bolsa	0,15 - 0,30	0,3	m
Altura de las bolsas	1,5-12	1,9	m
Diámetro comercial del extractor	150	-	mm
Diámetro interior	146	-	mm
Tiempo de operación del extractor	3600	-	s
Caudal máximo del extractor	550	-	m ³ /h
Caudal de operación del extractor	550	-	m ³ /h
Concentración	450	-	mg/m ³

Fuente: Autores

- La velocidad de filtración corresponde a un valor experimental para el sulfato de calcio, compuesto predominante en el caudal de aire que va a ser tratado.
- El factor de resistencia está relacionado con la caída de presión y es una relación inversa entre ésta y el tamaño de la partícula y corresponde a un coeficiente experimental para partículas de yeso con un tamaño máximo de 40 micrómetros.
- Tanto el diámetro como la altura de las mangas son rangos de valores teóricos, la elección de cada uno de los valores obedeció a las dimensiones de la bodega.
- Se seleccionó un extractor comercial de 150 mm (4" aproximadamente) con un caudal de operación máximo de 550 m³/h.
- Se tomó un tiempo de una hora de operación como base para cada uno de los cálculos.

- La concentración utilizada corresponde al triple de lo exigido en la resolución 909 de 2008 para emisión de material particulado en actividades industriales nuevas. Se toma este valor debido a que aún no se ha implementado el proceso de triturado.
- Se asumió que un día de operación del filtro corresponde a cinco horas de funcionamiento, este dato es variable ya que depende de la cantidad de residuos de placas que vayan a ser trituradas.
- Se asumió que el año de operación corresponde a 317 días, puesto que se consideró una operación de lunes a sábado. Este valor puede variar ya que depende de la cantidad de residuos de placas de yeso que vaya a ser triturado.

Se obtuvieron 392,29 Kg anuales de sulfato de calcio provenientes de la filtración de la corriente de aire, cuya fuente de emisión se concentra en el proceso de triturado de las láminas de yeso. Cabe resaltar que el resultado obtenido es un valor variable que obedece a cambios ligados a factores como la concentración de material particulado, el tiempo de operación de la maquinaria y el volumen de residuos, este último se encuentra encadenado al incremento que se pueda presentar en la producción de sulfato de calcio.

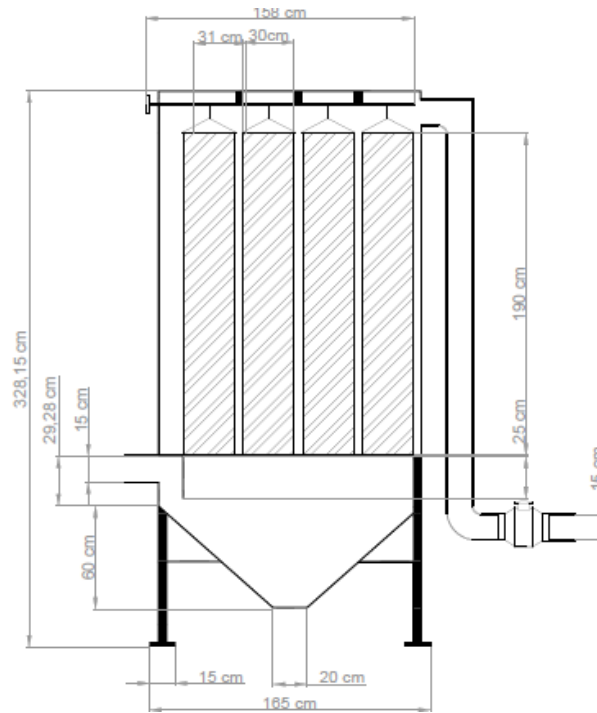


Figura 25. Esquema filtro de manga propuesto

Fuente: Autores

En la Figura 25 se presenta el corte transversal del filtro de manga diseñado La memoria de cálculo utilizada para el diseño de la unidad se encuentra en el Anexo 8.2.

4.1.3.1.2 Maquina Selladora

Para la obtención de la maquina selladora se debe hacer la gestión de compra del equipo, puesto que es una unidad que para efectos de la propuesta de mejora no requiere ser diseñada, las características corresponden a una selladora de pedal modelo MSL-600 y son las siguientes:

- **Voltaje:** 220 V
- **Potencia:** 800 W
- **Largo del sellado:** 600 mm
- **Tiempo de calentamiento:** 0,2 s a 3,5 s

- **Ancho del sellado:** 3mm
- **Peso:** 11 Kg

Una vez obtenida la máquina va a ser ubicada según el nuevo diseño de planta.

4.1.3.1.3 Diseño Y Organización De La Planta

El diseño de la planta corresponde a la distribución espacial que deberán tener las actividades desarrolladas con el propósito de aprovechar los espacios y paralelamente optimizar el movimiento al interior de la bodega, para que de esta manera se puedan mejorar los tiempos y la productividad de cada uno de ellos. Posterior al diagnóstico del estado actual y a la selección de alternativas se ubicaron las unidades operativas en el mapa de la empresa realizando los siguientes cambios en el proceso productivo.

Al analizar el proceso productivo se observa que, al ir triturando el material, las máquinas y el filtro de manga propuesto, se van posicionar en un lugar para agilizar el aprovechamiento de los residuos y no incomodar el transporte de material, dejando así un espacio para establecer la zona de producto terminado la cual no existía. La implementación de estos sistemas implica cambios en cuanto a tiempos, el uso de energía y costos de los servicios.

Adicional a ello se añadió la zona admirativa al segundo piso, ya que se cuenta con el espacio para ubicarla, de esta forma se reducirán los costos actuales que tiene que asumir la empresa frente al pago de arriendo en un lugar diferente a la planta.

Lo anterior también implica un control eficiente de cada una de las actividades del proceso productivo. Para ello se analizaron los métodos de distribución como herramienta para orientar el direccionamiento de las actividades del proceso de tal modo que se presenten pocos cruces entre los materiales y los operarios en las zonas de circulación y entre los puestos de trabajo, ya que el

proceso que realiza la empresa no maneja alimentos ni productos que requieran de condiciones higiénicas específicas. El método de distribución que se empleó es el tipo “U” como se muestra en la Figura 26. Diagrama de operaciones (Prieto & Bello, 2002).

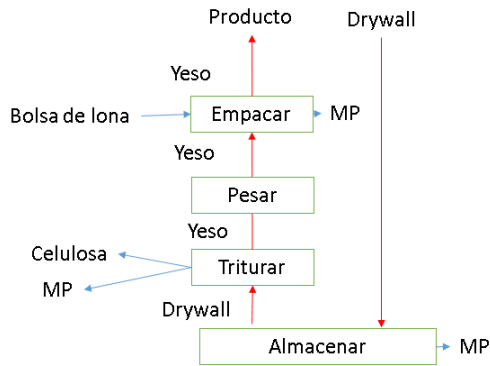


Figura 26. Diagrama de operaciones

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

Por ello se propone cambiar el lugar de la báscula para ponerlo de forma consecutiva a la máquina trituradora, situar al lado de la báscula la máquina selladora, ubicando el lugar de almacenaje de las bolsas de lona en la primera planta y situando en el segundo piso el almacenaje de celulosa; tal como se observa en la Figura 27.

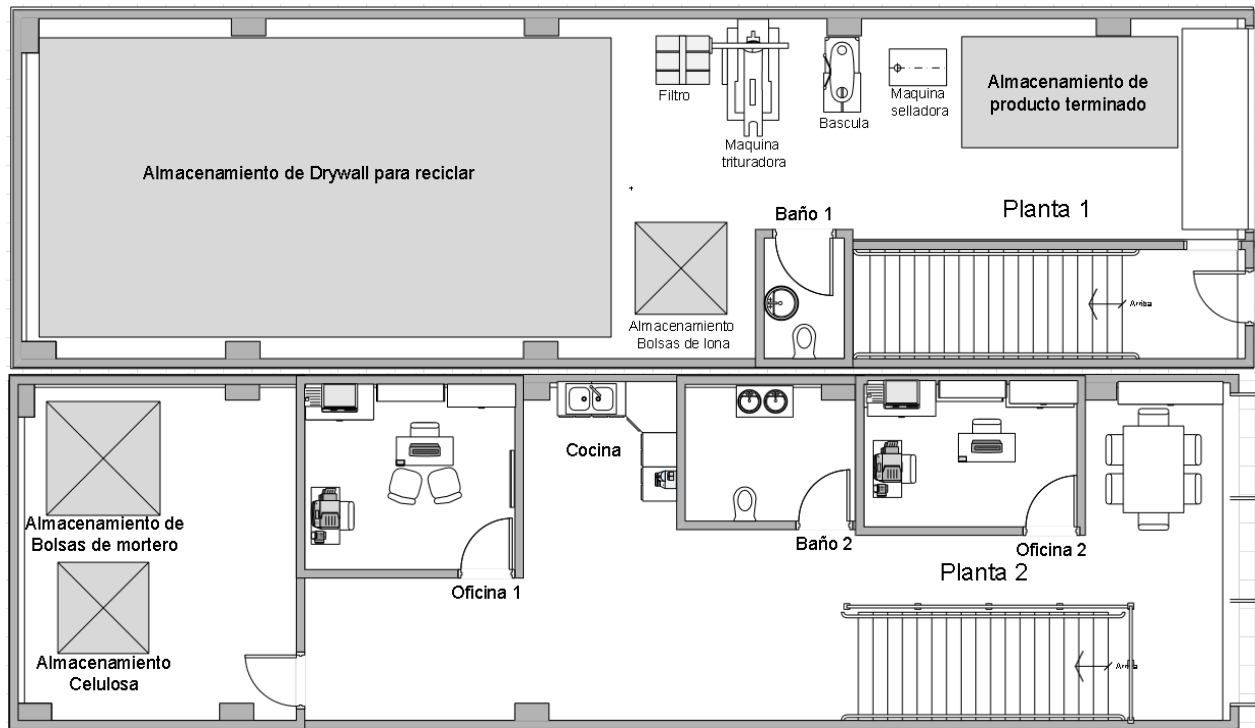


Figura 27. Plano de la planta con mejoras

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

4.2 Evaluación de la Propuesta Seleccionada

En la evaluación de la propuesta seleccionada analizó cómo cambia el proceso de aprovechamiento de PYL según las alternativas que fueron seleccionadas como propuesta de mejora técnica. Para ello, se realizaron evaluaciones en los aspectos técnico, económico y ambiental) bajo los mismos métodos (diagramas de flujo de proceso, flujo de caja y matriz de impacto ambiental), donde se revisó la eficiencia de la misma.

4.2.1 Evaluación Técnica

Para la implementación de la propuesta de mejora en la organización de la planta se requiere realizar modificaciones en el proceso productivo. Estos cambios se analizaron con base en los

diagramas de flujo de proceso y recorrido, los cuales permiten observar los cambios que se presentan en las actividades, sus tiempos y distancias. Como se observa en la Figura 28, se está aprovechando todo el espacio en la planta. En el primer piso se realiza el 94% de las actividades de la empresa y solo se sube a la segunda planta para llenar las bolsas de lona de celulosa lo cual puede durar de 6-8 horas, presentando un flujo asertivo de distribución.

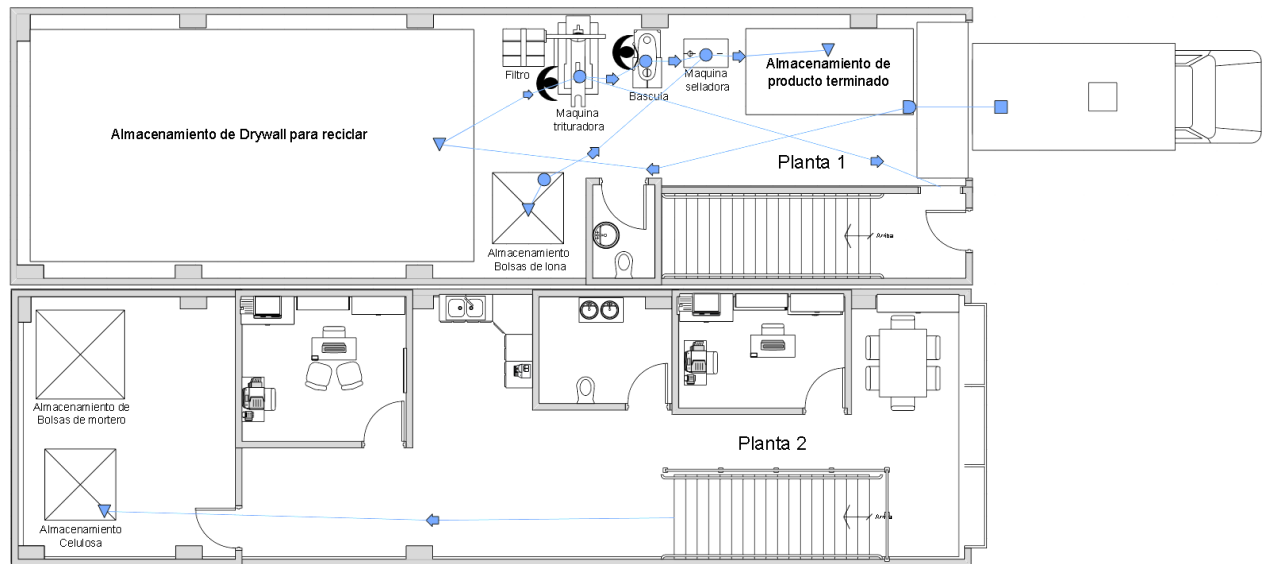


Figura 28. Diagrama de flujo de recorrido

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

En cuanto al análisis del diagrama de flujo de proceso, éste muestra que aumentaron las distancias totales, pero al tener en cuenta que a la segunda planta solo se subiría en periodos de 6 a 8 horas en los que se recorre una distancia de 18 metros, representa una ventaja. Por otro lado, en cuanto el tiempo se disminuyó un 15%, lo cual demuestra que el método de distribución fue el adecuado.

Según los cálculos realizados, se estima que se generen 392,29 Kg anuales de material particulado, proveniente del triturado PYL, lo que supone una producción de seis bultos y medio de sulfato de calcio adicional y en condiciones de ser puesto a la venta, dicho valor corresponde al

aumento de la producción en un 2,28%. Cabe resaltar que este valor es variable y cambia según la cantidad y la velocidad con la que se realice el procedimiento.

También se prevé aumento en el uso de energía puesto que de acuerdo a las especificaciones técnicas de la nueva maquinaria a implementar el gasto energético aumentará en 123,45 KW/ mes, lo que en términos económicos implica un aumento de cercano a los \$46.500 mensuales en la factura de energía, teniendo en cuenta que los equipos son utilizados durante cinco horas diarias.

Tabla 25. Diagrama de flujo de proceso

Actividad		Tiempo	Transporte	Observaciones
Recepción		15 min		Inicio de operación revisando las condiciones en las que está el material
Tiempo de espera		5 min		Tiempo de espera hasta el traslado
Traslado a bodega		30 min	10,4 m	Se lleva el material del transporte a la empresa
Almacenamiento				Se almacena el drywall
Traslado a triturado		20 min	3 m	Se traslada el material a la máquina de triturado
Triturado		35 min		Se tritura el material en la máquina
Traslado del yeso		20 min	2 m	Traslado del yeso triturado a empacado
Pesaje		20 min		Se pesa el material
Almacenado de bolsas de lona				Las bolsas de lona se almacenan en un espacio determinado para su posterior uso en el empacado
Conteo de bolsas		2 min		Antes del empacado se cuentan las bolsas a usar
Traslado de bolsas		2 min	3,6	Se transportan las bolsas para el empacado
Empacado		10 min		Se empaenan las bolsas
Acomodar peso en las bolsas		20 min		Se saca el material adicional o se adiciona para tener un peso fijo en las bolsas
Sellado de las bolsas		20 min		Se sellan las bolsas
Traslado a almacenamiento		20 min	0,3 m	Se traslada el material a almacenamiento para la distribución del producto
Almacenamiento				Almacenamiento del producto terminado
Transporte		10 min	18 m	Transporte de la celulosa a la segunda planta para su almacenamiento
Almacenamiento				La celulosa es almacenada para su posterior comercialización
Total		219 min	37,3 m	

Fuente: Autores a partir de (Prieto & Bello, 2002)

4.2.2 Evaluación Económica

Para el desarrollo de la evaluación económica se retomó el flujo de caja utilizado durante la fase de análisis, incluyendo los costos de la implementación de la propuesta, al igual que los aumentos en los ingresos, los cuales están relacionados con el incremento de la producción y a los servicios de recepción y transporte de residuos debido a la mejora en la eficiencia de las labores al interior de la planta, además de hacer una comparación entre los indicadores de rentabilidad en ambos escenarios para observar el aumento o disminución de los ingresos. Los supuestos que se tomaron para la elaboración del flujo de caja fueron los siguientes:

- Se conservaron todos los valores relacionados con ingresos y costos, información que fue suministrada por la empresa. De la misma forma, se mantuvieron los incrementos porcentuales para cada uno de ellos asignados durante la evaluación inicial.
- El costo de la propuesta entra como activo fijo debido a que está conformada por equipos que requieren ser comprados, de la misma forma entra a ser parte del valor de salvamento.
- La implementación se da en el año tres de la proyección, año más cercano que la empresa debe afrontar.
- Se toma un incremento del 2,28% en la producción de sulfato de calcio debido al material recolectado por el filtro de manga y rige a partir del año tres de la proyección.
- Se toma un incremento del 10% en los servicios de recepción y transporte de residuos de drywall debido a la mejora en el desarrollo de las actividades al interior de la planta, rige a partir del año tres de la proyección.
- Se aumenta el número de operarios de dos a cuatro debido a la implementación de equipos, rige a partir del tercer año de la proyección.

- Se incrementa el costo de pago de salarios de los operarios debido a que uno más entra a formar parte de las actividades del proceso productivo. El valor del salario corresponde al realizado en la proyección para el año tres, periodo de tiempo en el que empieza a laborar.

4.2.2.1 Costo De La Propuesta

La implementación de la propuesta de mejora implica un gasto de recursos económicos, de personal y tiempo, puesto que se harán modificaciones en todo el entorno laboral, dificultando el desarrollo normal de las actividades según las alternativas seleccionadas (organización en planta, maquina selladora y filtro de manga), el costo para la fabricación e implementación es el siguiente:

Tabla 26. Costo de la propuesta

Unidad	Material	Características	Cantidad	Costo unidad	Costo Total
Adecuación de la planta	Cinta adhesiva para delimitar áreas	22 m por unidad	2	\$ 22.000,00	\$ 44.000,00
	Estantería metálica	5 niveles, dimensiones: 160x30x80	1	\$ 269.900,00	\$ 269.900,00
	mesa de reunión		1	\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
	Sillas		8	\$ 125.000,00	\$ 1.000.000,00
	pintura	caneca de 5 galones	4	\$ 290.000,00	\$ 1.160.000,00
Maquina selladora			1	\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
Filtro de manga	Canastilla	Acero inoxidable	16	\$ 7.300,00	\$ 116.800,00
	Mangas	Malla de monofilamento de nylon	16	\$ 20.300,00	\$ 324.800,00
	Extractor	Diámetro de 4" y caudal 900 m3/hora	1	\$ 358.200,00	\$ 358.200,00
	Tubería	4" PVC para ventilación, 6m	1	\$ 53.000,00	\$ 53.000,00
	Accesorios	Codo PVC 4" para ventilación	2	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
	Lámina de acero	Galvanizado calibre 14, 1,4 m x 2,40 m	8	\$ 126.400,00	\$ 1.011.200,00
	Varilla de acero	10 unidades, 2 m, 3mm de espesor	1	\$ 128.300,00	\$ 128.300,00
	Soldadura	Mig 0,45 x 15Kg	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
	Mano de obra	3 operarios x 30 días	3	\$ 781.242,00	\$ 2.343.726,00
Total					\$ 7.759.926,00

Fuente: Autores

De acuerdo a las características de cada alternativa, se requiere una inversión de **\$7.759.926,00** para la implementación de la propuesta de mejora.

Tabla 27. Flujo de caja con propuesta

Flujo de caja											
	Año 0	Año 1 (2016)	Año 2 (2017)	Año 3 (2018)	Año 4 (2019)	Año 5 (2020)	Año 6 (2021)	Año 7 (2022)	Año 8 (2023)	Año 9 (2024)	Año 10 (2025)
Presupuesto de ingresos											
Entradas de efectivo		\$ 50.000.000,00	-\$ 37.856.354,00	\$ 28.667.990,60	\$ 8.315.196,96	\$ 11.351.184,00	\$ 21.339.478,53	\$ 34.581.082,05	\$ 51.711.147,02	\$ 73.709.232,65	\$ 101.863.435,20
Ventas de Contado	Recepción										
	Transporte										
	Recepción y transporte	\$ 53.912.942,00	\$ 24.934.428,00	\$ 41.394.868,20	\$ 45.948.303,70	\$ 52.059.428,09	\$ 59.555.985,74	\$ 68.787.163,53	\$ 80.205.832,68	\$ 94.402.265,06	\$ 112.149.890,89
	Ventas de producto		\$ 8.617.000,00	\$ 9.047.850,00	\$ 9.809.389,44	\$ 10.735.356,56	\$ 11.858.532,51	\$ 13.220.508,69	\$ 14.874.129,91	\$ 16.886.718,68	\$ 19.344.344,17
Recuperación de cartera		\$ 11.242.400,00	\$ 66.968.030,20	\$ 50.492.290,38	\$ 54.851.963,26	\$ 61.481.986,79	\$ 69.783.926,93	\$ 79.998.377,53	\$ 92.595.299,29	\$ 108.201.230,93	\$ 127.635.934,62
Aportes de capital	\$ 50.000.000,00										
Monto de efectivo disponible		\$ 65.155.342,00	\$ 100.519.458,20	\$ 100.935.008,58	\$ 110.609.656,40	\$ 124.276.771,45	\$ 141.198.445,18	\$ 162.006.049,74	\$ 187.675.261,88	\$ 219.490.214,68	\$ 259.130.169,68
Cuentas por cobrar		\$ 42.670.542,00	\$ 9.253.939,80	\$ 9.204.367,62	\$ 10.110.097,50	\$ 11.422.895,37	\$ 13.053.486,68	\$ 15.062.781,37	\$ 17.547.444,67	\$ 20.635.197,48	\$ 24.493.497,93
Presupuesto de costos											
Desembolso de efectivo		\$ 103.011.696,00	\$ 71.851.467,60	\$ 92.619.811,62	\$ 99.258.472,40	\$ 102.937.292,92	\$ 106.617.363,13	\$ 110.294.902,72	\$ 113.966.029,23	\$ 117.626.779,47	\$ 121.273.132,44
Pago a proveedores	Transporte	\$ 7.250.000,00	\$ 5.225.000,00	\$ 5.381.750,00	\$ 5.543.202,50	\$ 5.709.498,58	\$ 5.880.783,53	\$ 6.057.207,04	\$ 6.238.923,25	\$ 6.426.090,95	\$ 6.618.873,68
	Disposición final	\$ 1.680.000,00	\$ 1.400.000,00	\$ 1.442.000,00	\$ 1.485.260,00	\$ 1.529.817,80	\$ 1.575.712,33	\$ 1.622.983,70	\$ 1.671.673,22	\$ 1.721.823,41	\$ 1.773.478,11
	Material de empaçado		\$ 230.935,60	\$ 237.863,67	\$ 244.999,58	\$ 252.349,57	\$ 259.920,05	\$ 267.717,65	\$ 275.749,18	\$ 284.021,66	\$ 292.542,31
Cancelación de salarios	Gerencia	\$ 18.000.000,00	\$ 18.000.000,00	\$ 18.699.654,77	\$ 19.426.504,91	\$ 20.153.355,06	\$ 20.880.205,20	\$ 21.607.055,34	\$ 22.333.905,49	\$ 23.060.755,63	\$ 23.787.605,78
	Contabilidad		\$ 1.920.000,00	\$ 5.760.000,00	\$ 11.519.999,04	\$ 11.951.024,23	\$ 12.382.049,42	\$ 12.813.074,61	\$ 13.244.099,80	\$ 13.675.124,99	\$ 14.106.150,18
	Operarios		\$ 5.901.736,00	\$ 18.749.808,00	\$ 28.853.511,59	\$ 29.933.076,81	\$ 31.012.642,03	\$ 32.092.207,25	\$ 33.171.772,47	\$ 34.251.337,69	\$ 35.330.902,91
Gastos	Arriendo oficina	\$ 3.480.000,00	\$ 3.480.000,00	\$ 3.628.437,82	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
	Arriendo Bodega	\$ 34.800.000,00	\$ 28.800.000,00	\$ 30.028.450,91	\$ 31.216.212,64	\$ 32.402.570,61	\$ 33.583.791,59	\$ 34.756.018,57	\$ 35.915.289,77	\$ 37.057.559,24	\$ 38.178.718,85
	Administración	\$ 261.336,00	\$ 261.336,00	\$ 272.483,17	\$ 283.261,12	\$ 294.026,33	\$ 304.744,92	\$ 315.381,91	\$ 325.901,33	\$ 336.266,47	\$ 346.440,06
	Seguridad	\$ 210.000,00	\$ 210.000,00	\$ 218.957,45	\$ 227.618,22	\$ 236.268,74	\$ 244.881,81	\$ 253.429,30	\$ 261.882,32	\$ 270.211,37	\$ 278.386,49
	Publicidad	\$ 7.000.000,00									
	Servicios	\$ 422.460,00	\$ 422.460,00	\$ 440.479,84	\$ 457.902,82	\$ 475.305,21	\$ 492.632,24	\$ 509.827,35	\$ 526.832,41	\$ 543.588,07	\$ 560.034,08
Activo fijo	Mobiliario y equipo de oficina	\$ 4.907.900,00									
	Maquinaria	\$ 25.000.000,00									
	Propuesta de mejora			\$ 7.759.926,00							
Imprevistos			\$ 6.000.000,00								
Valor de salvamento											\$ 9.689.981,50
Flujo neto de efectivo	-\$ 50.000.000,00	-\$ 37.856.354,00	\$ 28.667.990,60	\$ 8.315.196,96	\$ 11.351.184,00	\$ 21.339.478,53	\$ 34.581.082,05	\$ 51.711.147,02	\$ 73.709.232,65	\$ 101.863.435,20	\$ 111.553.416,70
TO	10%										
VPN	\$ 121.071.720,76										
TIR	28,0%										
RB/C	1,31										
Periodo de repago	\$ 66.398.578,14	6 años									

Fuente: Autores con a partir de (Burbano & Ortíz, 1998)

Tabla 28. Comparación indicadores de rentabilidad

Indicadores de rentabilidad			
Indicador	Con alternativa de mejora	Sin alternativa de mejora	Variación o cambio
Tasa de oportunidad (TO)	10%	10%	0%
Valor presente neto (VPN)	\$ 121.071.720,76	\$ 55.953.967,69	\$ 65.117.753,07
Tasa interna de retorno (TIR)	28%	21%	7%
Relación beneficio- costo (RB/C)	1,31	1,19	0,2
Periodo de repago (años)	6 años	6 años	-
Valor del periodo de repago	\$ 66.398.578,14	\$ 58.473.548,44	\$ 7.925.029,70
Valor de salvamento	\$ 9.689.981,50	\$ 7.476.975,00	\$ 2.213.006,50
Flujo neto de efectivo al final de 10 años	\$ 111.553.416,70	\$ 59.512.125,36	\$ 52.041.291,35

Fuente: Autores

Del cuadro anterior se puede apreciar que la implementación de la propuesta no presenta cambios en el periodo de repago, es decir, que el capital invertido con y sin alternativa de mejora se recupera en el sexto año. Por otra parte, se presenta un incremento de 7%, de \$ 0,2 y de \$ 65.117.753 en la TIR, la RB/C y el VPN, respectivamente. Esto quiere decir que la alternativa de mejora genera valor a la compañía Ser-efec SAS, puesto que incrementa en poco más del doble el beneficio económico neto, pasa a 28% la tasa a la que retorna (se recupera) el capital invertido y además, por cada peso asignado de costo se genera 31 centavos de ingreso.

Con el desarrollo de la propuesta, a largo plazo se facilita el desarrollo de otras actividades que permitan aumentar los ingresos, debido a que la generación de ingresos adicionales permitirá apalancar otras operaciones como el aprovechamiento de la celulosa generada durante el triturado, lo cual permite tener ingresos mejorar los resultados obtenidos en los criterios de evaluación que se observan en la columna 2 de la Tabla 28.

Por otra parte, se presenta un aumento de \$ 2.213.006 en el valor de salvamento y de \$ 52.041.291 en el flujo neto de efectivo al final del periodo de estudio, ya que la propuesta incluye

la adquisición de activos fijos que influyen en el aumento del primero. Por otro lado, el incremento en el valor del flujo neto de efectivo se presenta gracias al incremento de la producción de sulfato de calcio y los servicios de recolección y transporte.

Finalmente, es necesario considerar mercados adicionales al de productos agrícolas, puesto que el sulfato de calcio generado sirve como aditivo para la elaboración de productos dentro del sector de la construcción, por lo que la incursión en un nuevo mercado puede generar ingresos adicionales que permitan incrementar los ingresos de la alternativa evaluada.

4.2.2.2 Análisis De Sensibilidad

Por medio del software “Risk Simulator” se realizó un análisis de sensibilidad con el propósito de mostrar la probabilidad de ocurrencia de eventos en los valores de los indicadores de rentabilidad según variaciones en datos de los ingresos y los egresos para el flujo de caja correspondiente a la implementación de la propuesta de mejora, todo ello para comprobar la existencia de pérdidas económicas en algún momento determinado. Los datos de entrada fueron los siguientes:

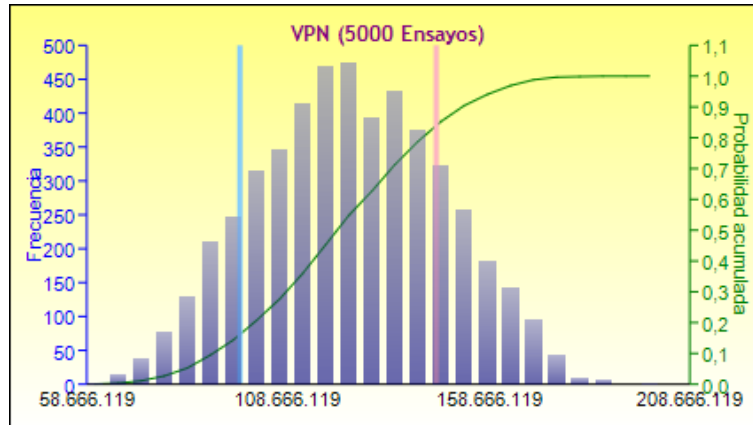
Tabla 29 Parámetros de simulación

Parámetro	Mínimo	Medio	Máximo
Promedio cuatrimestral de servicios	\$ 11.827.105,20	\$ 13.141.228,00	\$ 14.455.350,80
Precio de venta unidad	\$ 22.500,00	\$ 25.000,00	\$ 27.500,00
Gasto promedio de transporte cuatrimestral	\$ 1.811.250,00	\$ 2.012.500,00	\$ 2.213.750,00
Costo cuatrimestral de disposición final promedio	\$ 554.400,00	\$ 616.000,00	\$ 677.600,00
Precio unidad de empaque	\$ 603,00	\$ 670,00	\$ 737,00
Salario gerencia	\$ 1.350.000,00	\$ 1.500.000,00	\$ 1.650.000,00
Salario contabilidad	\$ 432.000,00	\$ 480.000,00	\$ 528.000,00
Salario operarios	\$ 663.453,90	\$ 737.717,00	\$ 811.488,70
Administración	\$ 19.600,20	\$ 21.778,00	\$ 23.955,80
Seguridad	\$ 15.750,00	\$ 17.500,00	\$ 19.250,00
Servicios	\$ 31.684,50	\$ 35.205,00	\$ 38.725,50
Arriendo Oficina	\$ 261.000,00	\$ 290.000,00	\$ 319.000,00
Bodega actual (Julio a actual)	\$ 2.160.000,00	\$ 2.400.000,00	\$ 2.640.000,00

Fuente: Autores

El valor medio es el valor más probable de ocurrencia y con ellos fue elaborado el flujo de caja. Los datos correspondientes a valores mínimos y máximos obedecen a cifras 10% por debajo y 10% por arriba del valor medio, respectivamente. El modelo utilizado fue la simulación de Montecarlo utilizando una distribución triangular y el análisis de tornado como herramienta analítica, la cual requiere los valores introducidos muestren el comportamiento mencionado.

En la ejecución del modelo se realizaron 5000 ensayos para cada uno de los indicadores de rentabilidad seleccionados para generar un espacio muestral lo suficientemente amplio que pudiera arrojar la mayor cantidad de escenarios para el análisis. Los indicadores trabajados fueron el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio-costos (RB/C) y el flujo neto de efectivo al final del periodo de proyección. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

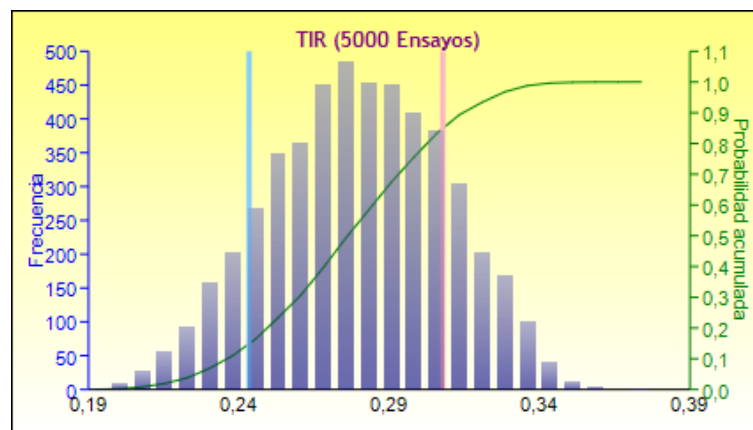


Tipo: Doble vínculo, Más Bajo: 96.756.615, Superior: 145.608.966, Certeza: 68,2000%

Figura 29. Modelación valor presente neto

Fuente: Autores

Existe una probabilidad acumulada de obtener valores de VPN entre \$95.000.000 y \$145.000.000 de 68%, teniendo en cuenta que el VPN promedio es de \$121.071.720. Por lo tanto, el valor del proceso se verá afectado por un grado de incertidumbre bajo, el cual estará influenciado por variables como los costos de producción y los ingresos por ventas, como se evidenciara al revisar el gráfico de tornado.

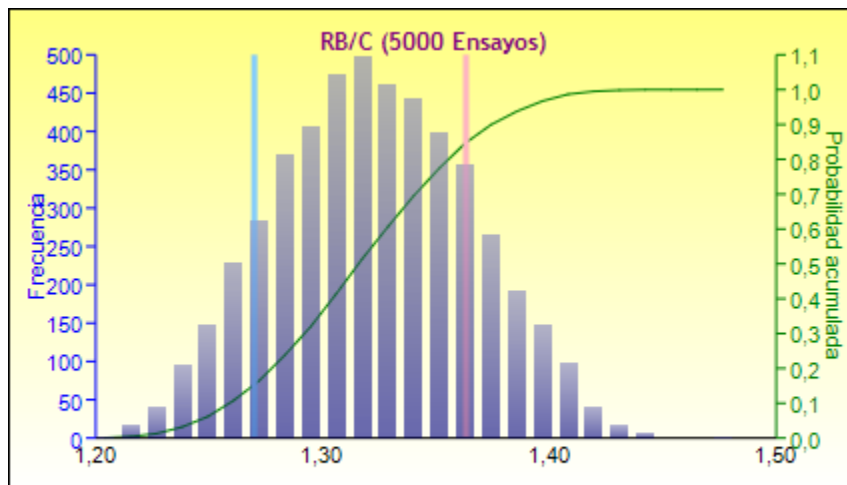


Tipo: Doble vínculo, Más Bajo: 0,2473, Superior: 0,3117, Certeza: 70,4800%

Figura 30. Modelación tasa interna de retorno

Fuente: Autores

La tasa interna de retorno para valores altos tiene una probabilidad mayor a 0.7 de ocurrencia individual para un rango con un valor mínimo del 25%, y uno máximo de 31%, y teniendo como dato actual un 28%. Para este fenómeno se cuenta con una certeza del 70,4%, lo anterior muestra que es un indicador poco variable y por lo tanto el valor que se espera ir recuperando se verá ligeramente afectado por cambios en el mercado como costos de transporte o el costo de venta del producto.



Tipo: Doble vínculo, Más Bajo: 1,2651, Superior: 1,3584, Certeza: 69,7200%

Figura 31. Modelación relación beneficio-costos

Fuente: Autores

La relación beneficio-costos presenta una variación aproximadamente entre 1,20 y 1,50 pesos, centrándose con mayor probabilidad de ocurrencia entre 1,27 y 1,36, con una probabilidad cercana al 69,8%. Esto indica que por cada peso asignado al proyecto se puede esperar una ganancia entre 26 y 36 centavos, dicho de otra forma, por cada millón de pesos asignados de costo el proyecto compensa este valor y genera entre \$260.000 y \$360.000 de beneficios.

Asimismo, los análisis de sensibilidad sobre los indicadores financieros respaldan la evidencia a favor del valor agregado que genera la implementación del proyecto en la empresa, es

decir, que la implementación de la organización de la planta, el filtro de mangas y la compra de la maquina selladora generan beneficios a largo plazo para la empresa objeto de estudio.

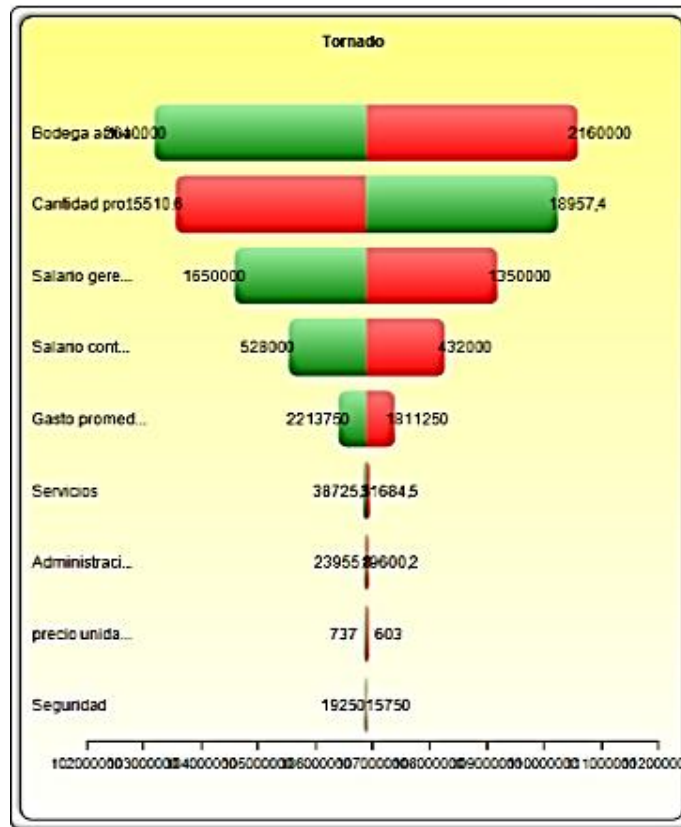


Figura 32. Gráfico de tornado

Fuente: Autores

Tabla 30. Datos del gráfico tornado

Celda Precedente	Valor Base: 106891523,393353			Cambio de Ingreso		
	Resultado Inferior	Resultado Superior	Rango de Efectividad	Ingreso Inferior	Ingreso Superior	Valor Caso Base
Datos de entrada\N7) Bodega actual (Julio	110597279	103185767	7411511,85	\$ 2.160.000,00	\$ 2.640.000,00	\$ 2.400.000,00
Datos de entrada\B15) Cantidad promedio	103542582	110240465	6697883,14	15510,6	18957,4	17234
Datos de entrada\K10) Salario gerencia	109197599	104585448	4612151,13	\$ 1.350.000,00	\$ 1.650.000,00	\$ 1.500.000,00
Datos de entrada\K11) Salario contabilidad	108259036	105524011	2735025,23	\$ 432.000,00	\$ 528.000,00	\$ 480.000,00
Datos de entrada\K1) Gasto promedio de tr	107386548	106396499	990048,46	\$ 1.811.250,00	\$ 2.213.750,00	\$ 2.012.500,00
Datos de entrada\N4) Servicios	106945882	106837165	108717,61	\$ 31.684,50	\$ 38.725,50	\$ 35.205,00
Datos de entrada\N2) Administración	106925150	106857897	67253,29	\$ 19.600,20	\$ 23.955,80	\$ 21.778,00
Datos de entrada\B18) precio unidad de en	106919926	106863121	56804,33	\$ 603,00	\$ 737,00	\$ 670,00
Datos de entrada\N3) Seguridad	106918545	106864502	54042,27	\$ 15.750,00	\$ 19.250,00	\$ 17.500,00

Fuente: Autores

Finalmente, en la Figura 32 se observan los parámetros que tienen mayor influencia sobre el flujo neto de efectivo, mostrando valores para los cuales se empieza a tener valores negativos, por lo tanto, disminuye la cantidad de dinero disponible. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa detalladamente los valores del gráfico de tornado.

En la Figura 32 y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que los precedentes que tienen mayor influencia sobre el flujo neto de efectivo son el alquiler de la bodega, la cantidad promedio de producto y el salario del gerente y el contador, es decir, cualquier cambio positivo o negativo de estos valores afecta ampliamente el valor del flujo neto de efectivo. El que mayor impacto tiene sobre el indicador es el del alquiler en bodega y si se llega a tener un valor por debajo de \$2'160.000 el flujo neto de efectivo pasa a ser negativo, por lo que debe encontrarse en un intervalo de \$ 2'400.000 y \$2'640.000 para que el flujo sea positivo. El siguiente precedente que tiene gran afectación es la cantidad promedio de producto, si esta cantidad se encuentra por debajo de 15510 kg, el flujo neto de efectivo pasa a ser negativo, por lo que en el proceso técnico se debe velar por que la producción se encuentre ente 17234, valor base, y 18957 kg de yeso para que el indicador no pase a tener valores negativos. En este mismo sentido otro precedente que afecta el flujo neto de efectivo es el salario del gerente y del contador, sueldos que siempre deben estar presentes en la nómina de la empresa y debe tener un valor base de 1'500.000 y 480.000 respectivamente. Por otro lado, hay precedentes que no llegan a repercutir ni positiva ni negativamente en los valores del flujo neto de efectivo los cuales son los gastos de servicios, administración y seguridad.

El proyecto puede ser sensible, puesto que influye de formas diferentes (arriendos, salarios, servicios, costos de operación, etc.) en las ganancias. Por lo tanto, se requiere que el proyecto genere los ingresos suficientes por servicios de recolección y transporte, así como la cantidad de material que será sometido al proceso de aprovechamiento. Este último es de vital importancia

puesto que además de ser la materia prima y según las cantidades que el generador presente, se pueden determinar el número de viajes necesarios además de la cantidad estimada de sulfato de calcio que puede generarse en el triturado.

Por lo tanto, el valor comercial del yeso agrícola es un valor determinante en la generación de ingresos capital, ya que con un precio comercial mínimo de \$18.000, se puede obtener un flujo neto aproximado a los \$97.000.000, respecto a los \$107.000.000 en la actualidad generados con un precio unitario de \$25.000. Adicionalmente una reducción de 10% en los servicios de recolección y transporte implicaría una reducción en los residuos que se llevan al triturado, y por lo tanto se puede generar una ganancia neta cercana a los \$85.000.000.

4.2.3 Evaluación Ambiental

Con el fin de analizar los posibles impactos ambientales que se pueden producir al efectuar la propuesta, se evaluó la matriz ambiental previamente explicada y evaluada, la cual se muestra en tabla 31.

Tabla 31. Matriz de impacto ambiental de la propuesta

Ítem	Actividad	Aspecto	Partes interesadas	Impacto	Situación	Incidencia	Temporalidad	Severidad	Frecuencia	Importancia	Significativo	Acciones
Proceso de aprovechamiento de placas de yeso laminado	Recolección y transporte	Emisión de compuestos contaminantes	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Actual	3	4	12	Medio	Revisión técnico-mecánica
		Emisión de material particulado	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Actual	1	4	4	Bajo	Protocolo para la manipulación del material (Cubrimiento de material)
		Pérdida de la carga por accidentes y otros eventos	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica, de suelos y recurso hídrico	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Revisión técnico-mecánica, seguimiento de protocolo de transporte
	Almacenamiento	Organización y clasificación del material	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica por material particulado	Normal	Directa	Actual	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
			Empresa, comunidad	Proliferación de vectores	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Actividades de limpieza
	Triturado	Generación y emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	2	5	10	Medio	Diseño de sistema de control de emisiones
		Consumo de energía	Empresa, comunidad	Agotamiento de recursos naturales	Normal	Indirecta	Futura	3	5	15	Medio	Capacitación para el uso eficiente de la maquinaria
		Generación de ruido ambiental	Empresa, comunidad	Contaminación acústica	Normal	Directa	Futura	3	3	9	Medio	Implementar barreras de sonido en las instalaciones
	Empacado	Emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
		Organización y clasificación del producto	Empresa, comunidad	Proliferación de vectores	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Actividades de limpieza
	Transporte de producto final	Emisión de compuestos contaminantes	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	3	4	12	Medio	Revisión técnico-mecánica
		Emisión de material particulado	Empresa, comunidad	Contaminación atmosférica	Normal	Directa	Futura	2	5	10	Medio	Protocolo para la manipulación del material
		Pérdida de la carga por accidentes y otros eventos	Empresa, comunidad, generador de residuo	Contaminación atmosférica, de suelos y recurso hídrico	Riesgo	Indirecta	Futura	3	1	3	Bajo	Revisión técnico-mecánica, seguimiento de protocolo de transporte

Fuente: Autores

Al analizar la matriz de impacto, se observó una reducción en los valores de los impactos ambientales encontrados en la fase de evaluación. La empresa, al articular el filtro de manga cumple la función de reducir a la contaminación atmosférica que genera, llegando a disminuir el valor del impacto, de significativo alto a significativo medio al reducir la severidad del mismo. En la implementación de éste, es importante contar con una alta eficiencia de remoción para evitar

cualquier impacto negativo sobre el medio, lo que se logra por medio de capacitación de los operarios para que tengan conocimiento de la operación y mantenimiento de la unidad.

La propuesta generó que el valor promedio de la importancia disminuyera de 9,5 a 8, estableciéndose en el límite máximo de la calificación baja, demostrando que ésta da solución a los principales problemas ambientales encontrados durante la primera evaluación como lo fueron la emisión de material particulado y el estado de acumulación de los residuos de PYL. Lo anterior se verá reflejado en la calidad de la salud de los operarios, la comunidad y el cumplimiento de la ley.

La máquina selladora, al igual que el filtro de manga presentan un incremento indirecto relacionado al agotamiento de los recursos naturales, debido a que ambas unidades requieren del uso de energía eléctrica para su funcionamiento, la situación puede permanecer estable en el tiempo si los equipos son operados de forma moderada y de acuerdo lo que la producción requiera.

La organización de la actividad de almacenamiento tiende a disminuir el riesgo de generar un foco para la proliferación de vectores, puesto que se cuenta con un área ordenada y en constante movimiento, lo que permite realizar la limpieza y reducir la acumulación de residuos; sin embargo, el lugar no debe descuidarse y se deben centrar en las zonas de almacenamiento de las PYL y producto terminado para evitar caer en la situación inicial, la cual se mostró en la Figura 6.

El filtro de manga permite reducir la cantidad de material particulado que se genera durante el triturado del residuo, además de recuperarlo en condiciones óptimas para la venta, y de esta forma evitar una nueva fuente contaminante.

4.3 Socialización con la Empresa

La fase de socialización comprende todas aquellas reuniones y visitas que se realizaron para desarrollar el proyecto. De la misma manera, se proyecta realizar una reunión final donde se presenten todos los resultados obtenidos.

4.3.1 Visitas Previas De Documentación

Durante la elaboración del anteproyecto de grado se contactó con empresa y se llegó a un acuerdo de trabajo conjunto especificado en una carta firmada en la que establecieron una serie de compromisos. Las fechas y las actividades realizadas fueron las siguientes:

- **4 de enero de 2017:** Se llevó a cabo la reunión inicial donde se presentaron las intenciones y el objetivo del trabajo, de igual forma, la empresa solicitó una carta por parte de la universidad especificando que el trabajo de grado iba a ser manejado bajo una serie de condiciones de confidencialidad, además del acuerdo de no remuneración entre los estudiantes y la empresa.
- **6 de marzo de 2017:** Se realizó la firma del compromiso de trabajo, donde se hace énfasis en la no remuneración, y el tratamiento de datos en confidencialidad. Adicionalmente, la empresa solicitó un cuestionario donde se muestre que tipo de información se va suministrar para el desarrollo del trabajo.
- **25 marzo de 2017:** Se lleva el cuestionario para poder dar inicio al desarrollo de la fase de diagnóstico
- **9 de mayo de 2017:** Se habló acerca de los avances del anteproyecto y los ajustes que se deben hacer para continuar con el proyecto

- **19 de junio de 2017:** Se realiza la primera visita a la planta, allí se observan las características del sector donde se encuentra ubicada, además de las condiciones de recepción y almacenamiento.

4.3.2 Visitas de Campo e Inspección

- **8 de septiembre de 2017:** Se hace la revisión de documentos relacionados con el aspecto económico de la empresa, además de mostrar avances relacionados con la evolución del proyecto y el documento.
- **6 de octubre de 2017:** Se realiza una segunda visita a la planta donde se detallan nuevas características del proceso productivo y se siguen mostrando avances del desarrollo del trabajo de grado; se toma registro fotográfico.
- **9 de noviembre de 2017:** Se realiza una reunión donde se informa sobre los avances del trabajo y se solicita información adicional para complementar la fase de análisis situacional
- **23 de noviembre de 2017:** Se realiza la última visita a la planta para observar algún tipo de cambio en el proceso productivo y se realiza la toma de medidas de la instalación.
- **30 de noviembre de 2017:** Se realiza el acompañamiento a la empresa en una ponencia en la Universidad Libre realizada por la Secretaría de Desarrollo Económico sobre agro negocios.

4.3.3 Observaciones de la Empresa

A lo largo del acompañamiento realizado, la empresa se ha mostrado interesada en enfatizar cada uno de los siguientes puntos:

- Resaltar la importancia del aprovechamiento de los residuos de las placas de yeso y hacerlo según las exigencias de ley.

- Resaltar el valor de los productos generados a partir del triturado del drywall y su incursión en el campo agrícola, tanto como insumo para el suplemento de los requerimientos nutricionales de diferentes especies vegetales, al igual que para el control de vectores y lixiviados generados por compostaje, además de otras aplicaciones dentro del campo ambiental.

4.3.4 Presentación de Resultados

No se ha fijado una fecha para coordinar un encuentro entre el equipo de trabajo y la empresa debido a los compromisos que maneja actualmente. Por el momento se ha hecho contacto con ellos en 6 oportunidades, distribuidos en los meses de diciembre de 2017, enero de 2018 y febrero de 2018 a través de correo electrónico para concertar la reunión sin obtener respuesta alguna. Sin embargo, como la presentación de resultados hace parte de los productos finales, la reunión será realizada una vez sustentado el trabajo.

Los resultados del trabajo serán expuestos por medio de diapositivas, donde se hará énfasis en los siguientes puntos:

- Evaluación técnica, económica y ambiental actual y de la propuesta
- Presentación de la propuesta de mejora para el proceso de aprovechamiento de residuos de drywall
- Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, se hará entrega de los resultados acordados en las reuniones iniciales; se presentarán en medio magnético los siguientes entregables:

- Documento completo del trabajo de grado

- Memoria de cálculo correspondiente al flujo de caja, con sus proyecciones y análisis de sensibilidad.

La presentación se hará por medio del uso de diapositivas en la oficina, donde estarán presentes el gerente de la empresa y el equipo de trabajo.

CAPITULO 5

5 Conclusiones

Se observaron falencias en la parte operativa y logística ya que la empresa se encuentra alquilando un lugar aparte para llevar a cabo las actividades administrativas, mientras que la planta cuenta con un espacio en el segundo piso para dicha actividad por lo que se está perdiendo parte de los recursos. Por otro lado, en la parte productiva es posible acortar distancias y tiempos al bajar las bolsas de lona con las que se empaca el producto al primer piso y allí realizar esa actividad con más facilidad.

La propuesta es económica rentable una vez se tenga el sitio y la maquinaria para llevar a cabo el proceso de aprovechamiento, ya que para el final del horizonte planteado se prevé un incremento significativo en la rentabilidad, siendo el valor presente neto el indicador que más crecimiento presentará, con un valor cercano a los \$10.000.000 y por ende también crece la valorización e importancia del proceso.

Se puede hacer un aprovechamiento completo de los residuos de drywall, llegando al punto de recuperar los subproductos que se generan y en ese sentido, obtener ingresos por medio de estos, lo que se ve reflejado en el incremento de la producción de yeso agrícola en un 2,28% por medio de la captura del material particulado proveniente del triturado, o el posible tratamiento de la celulosa adherida a las láminas.

Es un proceso sostenible ambientalmente puesto que no requiere del uso de insumos diferentes a residuos de PYL. Por otro lado, el gasto energético y las emisiones de compuestos contaminantes durante el transporte son mínimos. Lo anterior es un reflejo de que un proceso de aprovechamiento de residuos sólidos no debe generar impactos superiores a los que se presentan por la disposición incorrecta de estos, ya que con la implementación de la propuesta y de acuerdo a lo mostrado en la matriz de impacto se pretende disminuir el valor de aquellas actividades que se encontraron valoración significativa media y alta (emisión de compuestos contaminantes en el transporte, organización y clasificación del material, emisión de material particulado en el triturado, consumo de energía, generación de ruido ambiental), y evitar que las que corresponden a valores bajos como la pérdida de carga aumenten.

La generación de material particulado en la etapa de triturado fue la que tuvo más importancia durante el desarrollo de la propuesta, puesto que era la única actividad que contaba con valoración significativa alta. Con la propuesta de mejora se disminuyó la severidad inicial de 4 a 2 unidades, reduciendo la valoración significativa de 20 a 15 unidades, llegando a un valor medio, lo anterior se ve reflejado en la recuperación del material particulado en el filtro de manga.

Adicionalmente, en cuanto a la propuesta al evaluar las alternativas se determinó que aparte de la implementación del filtro para disminuir el impacto ambiental es importante adicionar al proceso productivo una maquina selladora tipo manual la cual permita agilizar la operación de la planta y reestructurar la organización en planta al adecuar en el segundo piso la zona administrativa y bajar al primero el almacenamiento de las bolsas para empacar, reduciendo 37 minutos en el total de los tiempos promedios de transporte de materiales lo que acelera el proceso productivo.

CAPITULO 6

6 Recomendaciones

En primer lugar, para mejorar las condiciones técnicas, económicas y ambientales actuales de la empresa se recomienda que consideren implementar la propuesta que se encuentra en la presente investigación.

Se recomienda que se centren las actividades operacionales de la empresa en el triturado de las PYL lo cual permite tener más campo operacional de tal forma que a medida que llegue el drywall tenga el lugar adecuado para ser colocado. Por ello mantener las condiciones de higiene debe ser una prioridad realizando actividades de limpieza en toda la planta y específicamente en los lugares de almacenamiento para evitar la proliferación de fauna nociva.

Se recomienda que los operarios cuenten con la indumentaria requerida, ya que por el peso que deben levantar y por el material particulado que se genera deben mantener el residuo en bolsas de lona y realizar movimientos en los que se evite la agitación del mismo.

En cuanto a la operación de la maquinaria también se resalta la importancia de realizar un mantenimiento periódico para evitar daños y demoras en el proceso productivo por pérdida de la eficiencia de las máquinas alargando lo más posible el ciclo de vida de las mismas.

Al realizar las visitas se observó falta de claridad en el diligenciamiento de los registros de información y logística digitalizados. Por lo que se recomienda ser rigurosos en la actividad administrativa por medio de la capacitación de empleados en cuanto a logística de documental, lo que permitirá realizar un proceso de registro completo de las actividades de la empresa.

Es necesario contar con un plan de contingencia como un fondo de ahorros, que permita solventar los gastos operacionales, ya que al presentarse imprevistos como el cambio de bodega, se pueden generar saldos negativos. Adicionalmente se puede ingresar en otro tipo de mercados diferentes al de compuestos agrícolas, ya que el estado final en el sulfato de calcio luego del aprovechamiento es óptimo para ser utilizado como aditivo en diferentes productos relacionados con el sector de la construcción, como en la elaboración de nuevas placas o resinas.

Una vez se tenga un proceso de triturado en forma, es necesario realizar la medición del material particulado que se genera, no solo para determinar la concentración y poder establecer si se está cumpliendo con los valores concentración exigidos por la ley, también para determinar con mayor precisión la cantidad del residuo que puede ser recolectado y agregado al material triturado disponible para la venta, ya que representa un incremento en las ventas.

Algunas de las alternativas que se consideraron para la propuesta de mejora no deben ser descartadas, ya que debido al estado en el que se encuentra la empresa no es recomendable implementarlas aún; sin embargo, operaciones como la banda transportadora y el imán pueden ser necesarias si las actividades de recepción y transporte continúan en aumento, de la misma forma, tanto el proceso como las ventas demandarán un incremento de la productividad.

Al contar con un subproducto como la celulosa, es posible vender el residuo o implementar un procedimiento de reciclaje de papel y cartón para aprovecharla y generar una materia prima o un producto para obtener ingresos adicionales.

Se deben realizar seguimientos muy precisos a la cantidad de material que se recoge en cada uno de los servicios, puesto que de esto depende la producción de la empresa. Adicional a ello, se debe mantener contacto con otros proveedores del mismo producto, además de contactos en el sector agrícola con el fin de tener referencias del funcionamiento del sector y los precios que

comúnmente se manejan, esto con el fin de evitar cambios drásticos en los indicadores de rentabilidad más sensibles como la TIR y la RB/C.

Se recomienda profundizar en temas como el diseño del filtro de manga y otras unidades o procesos que puedan ser utilizados para el desarrollo del aprovechamiento de las placas de yeso laminado.

CAPITULO 7

7 Bibliografía

Ambiente, S. D. (s.f.). Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/generador>

Amigo, O., Muñoz, A., & Lagos, P. (2013). *Diseño Cinta Transportadora Intralox para Pesquera Bahía Caldera S.A.* (U. d.-B. Chile, Ed.) Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/801/1/Mu%C3%B1oz_Oporto_Cristian_Alejandro.pdf

Barrera , A., Correa , J., Echeverry , S., Martínez , F., Martínez , C., & Parra , R. (Febrero de 2016). *Banda transportadora con electroimán.* Obtenido de Encuentro de Investigación Formativa : <file:///D:/Tesis/Banda%20transportadora%20%20electro%20iman.pdf>

Begliardo , H., Panigatti , C., Sánchez , M., & Garrappa , S. (2013). Reutilización de yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilena. *Revista de la construcción.* Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000300003

Begliardo, H. F. (2015). *REUTILIZACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL YESO RESIDUAL DE CONSTRUCCIONES.* Tesis, Universidad Tecnológica Nacional, Ing.Civil, Santa Fe, Argentina . Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/tesis_Begliardo_FRSF.pdf

Brenneman. (2011). *Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo*. Obtenido de SULFURO

DE

HIDRÓGENO:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/Ficheros%202011/DLEP%2069%20Sulfuro%20de%20hidr%C3%B3geno.pdf

Building Green. (14 de Marzo de 2012). *Building Green*. Recuperado el 17 de Octubre de 2016,

de Gypsum Board: Are Our Walls Leaching Toxins:

<https://www.buildinggreen.com/blog/gypsum-board-are-our-walls-leaching-toxins>

Burbano, J., & Ortíz, A. (1998). *Presupuestos, Enfoque moderno de planeación y control de recursos* (Segunda ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Castaño, J., Misle Rodríguez, R., Lasso, L., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. (13 de Abril de

2013). Waste management from construction and demolition (RCD) in Bogota: prospects and limitations. (P. U. Javeriana., Ed.) *Tecnura*, 17(38). Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2013000400010

Construdata. (29 de Junio de 2006). *Placas de yeso en Colombia*. Obtenido de

http://www.construdata.com/BancoConocimiento/L/la_construccion_liviana/la_construccion_liviana.asp

De Nevers, N. (1997). *Ingeniería de control de la contaminación del aire* (Primera ed.). México

D.F., México: McGraw-Hill.

Echeverri, C. (2008). Diseño de filtros de talegas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*,

7(12), 43-60.

Economipedia. (2015). *Economipedia*. Obtenido de [http://economipedia.com/definiciones/flujo-](http://economipedia.com/definiciones/flujo-de-caja.html)

[de-caja.html](http://economipedia.com/definiciones/flujo-de-caja.html)

Edwin, F. (2008). *Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo pulse jet y precipitador electrostático*. Piura: Universidad de Piura.

Elias, B. (2007). *Informe Matriz Battelle-Columbus*. Obtenido de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:InX4cuzNVIIJ:https://www.u-cursos.cl/fau/2009/1/GEO-705/2/material_docente/bajar%3Fid_material%3D451948+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

Fernández, E. (2008). *Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo jet pulse y precipitador electrostático*. Piura: Universidad de Piura.

Fernández, I., Fernández, S., & Maroto, P. (2012). *Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energetica*. Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Madrid, España: Fenercom. Obtenido de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

Fernández, S. (1 de Junio de 2013). *Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado*. Obtenido de Knauf GmbH: <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/109556-Reciclaje-y-cierre-del-ciclo-de-vida-de-las-placas-de-yeso-laminado.html>

Gonzalez, H. (12 de Agosto de 2015). *MATRIZ DE CORRELACIÓN DE ISO 14001:2004 A ISO 14001:2015*. Obtenido de <https://calidadgestion.wordpress.com/2014/12/08/matriz-de-correlacion-de-iso-140012004-a-iso-140012015/>

Green Investment. (2014). *Reciclaje*. Obtenido de <http://guillerminagreeninvestment.com/index.html>

GypsumUK, B. (Dirección). (2009). *Waste Management | British Gypsum* [Película].

- GypsumUK, B. (Dirección). (2009). *Waste Management / British Gypsum* [Película].
- Haney, C., Wing, S., Campbell, R., Caldwell, D., Hopkins, B., Richardson, D., & Yeatts, K. (31 de Agosto de 2011). Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill. *Environmental Research*, 111(6), 847–852. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0013935111001502>
- Heinsohn, R., & Kabel, R. (1999). *Sources and control of air pollution* (Vol. II). New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Hoyos Barreto, A. E., Jiménez Correa, M. M., Ortiz Muñoz, A., & Montes de Correa, C. (2008). Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 41-46.
- Hurtado, S. (2002). *DISEÑO DEL FILTRO DE MANGAS*. Obtenido de Filtro de Mangas: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20229/fichero/3.+Anexos+del+Proyecto%252FAnexo8.+Filtro+de+Mangas.pdf>
- Industrial Ventilation. (25 de Enero de 2007). *Control de Partículas* . Obtenido de <file:///D:/Tesis/doc5553-9b.pdf>
- International, G. R. (Dirección). (2014). *Gypsum Recycling (Plasterboard/Drywall/Wallboard Recycling)* [Película].
- International, G. R. (Dirección). (2014). *Gypsum Recycling (Plasterboard/Drywall/Wallboard Recycling)* [Película].
- Jiménez Rivero, A., & García Navarro, J. (13 de Junio de 2016). Exploring factors influencing post-consumer gypsum recycling and landfilling in the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 116-123. Obtenido de

<http://www.sciencedirect.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0921344916302476>

Marvin, E. (2000). *Gypsum Wallboard Recycling and Reuse Opportunities in the State of Vermont*. Vermont, EEUU: Vermont Agency of Natural Resources. Obtenido de http://www.cdrecycling.org/assets/docs/State_Experience_PDFs/gypsum.pdf

Ministerio de Vivienda, C. y. (s.f.). *Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS*.

Moreno, P. (25 de Enero de 2010). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. (T. Velasteguí, Ed.) Obtenido de <file:///D:/Tesis/selladora%20empacadora%20y%20dosificadora.pdf>

PLADUR. (2012). *Placas de yeso laminado*. Obtenido de <https://www.pladur.com/es-es/particulares/descubre-pladur/Paginas/placa-de-yeso-laminado.aspx>

Ponce, M. V. (2010). *LA MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL*. Obtenido de https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html

Prieto, L., & Bello, C. (2002). *Diseño de planta, Apuntes de clase*. Bogota: Universidad de La Salle.

Pryor , A., Dees , J., & Best, M. (2000). *METHODS OF USING RECYCLED*. Brooklyn: Ulllited States Patent.

PYSEL. (2015). *Cerradoras y Confeccionadoras*. Obtenido de <http://www.pysel.com.ar/soldadoras/soldadoras.htm>

Rivas, C., & Mota, M. (2008). *Bacterias anaerobias*. Bacteriología. CEFA. Obtenido de <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteriasAnaerobias.pdf>

Rodríguez, D. F., & Martínez, J. P. (2008). *Análisis de alternativas para valorizar como material de reciclaje las bolsas de suero y los equipos de venoclisis generados en IPS de Bogotá*.

Trabajo de Grado , Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ,
Bogotá, Colombia. Obtenido de
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14112/T41.08%20R618a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salvador, A., Crespo, C., Garmendia, L., & Garmendia, A. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Valencia : Pearson.

Sotomayor, S., Rojas, J., & Sanchez, L. (2015). *Sistema drywall*. Obtenido de Ventajas y usos:
<http://civilgeeks.com/2015/05/28/sistema-drywall-ventajas-y-usos/>

Suárez, S., Roca, X., & Gasso, S. (20 de Mayo de 2016). Product-specific life cycle assessment of recycled gypsum as a replacement for natural gypsum in ordinary Portland cement: application to the Spanish context. *Journal of Cleaner Production*, 117, 150-159. Obtenido de
<http://www.sciencedirect.com.hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0959652616000792>

Townsend, T., & Cochran, K. (2007). *RECYCLING GYPSUM DRYWALL RECOVERED FROM DECONSTRUCTION PROJECTS: A TECHNOLOGY AND MARKET OVERVIEW*. Florida: Gainesville.

Velasco, C. E. (2015). *Contaminantes generados en la exploración y explotación minera, métodos de análisis y sus efectos ambientales*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Ciencias Químicas, Quito, Ecuador. Obtenido de
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8654/Monografia%20Contaminantes%20en%20Industria%20Minera%20final.pdf?sequence=1>

Villanueva, L. (Agosto de 2005). *Las tres edades de la construcción*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/26524627_Las_tres_edades_de_la_construccion

CAPITULO 8

8 Anexos

8.1 Método para la elaboración de proyecciones de salarios y arriendos

La ecuación utilizada para la elaboración de las proyecciones de crecimiento de salarios y arriendos corresponde al método aritmético

$$V_f = V_u + \frac{V_u - V_i}{TV_u - TV_i} * (T_f - TV_u)$$

(Ministerio de Vivienda)

Donde:

V_f: Valor final

V_u: Último valor

V_i: Valor inicial

TV_u: Tiempo último valor

TV_i: Tiempo Valor inicial

T_f: Tiempo final

TV_u: Tiempo último valor

8.2 Memoria de Cálculo para el Diseño del Filtro de Manga

- **Caudal de entrada**

$$Q = Q_o * T_o$$

Donde:

Q: Caudal de entrada

Q_o: caudal de operación

T_o: Tiempo de operación

$$Q = 550 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$Q = 0,15 \frac{m^3}{s}$$

- **Velocidad de entrada**

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

Donde:

V: velocidad

Q: Caudal

A: área

$$V = \frac{0,15 \frac{m^3}{s}}{\left(\pi * \left(146mm * \frac{1m}{1000 mm} \right)^2 \right)}$$

$$V = 2,28 \frac{m}{s}$$

- **Área de filtración**

$$A_f = \frac{Q}{V_f}$$

Donde:

A_f : Área de filtración

Q: Caudal

V_f : Velocidad de filtración

$$A_f = \frac{0,15 \frac{m^3}{s}}{0,01 \frac{m}{s}}$$

$$A_f = 15,28 m^2$$

- **Área total**

$$A_t = A_f * f$$

Donde:

A_t : Área total

A_f : Área de filtración

f: factor multiplicador según el área

$$A_t = 15,28 m^2 * 2$$

$$A_t = 30,56 m^2$$

- **Área de la manga**

$$A_m = (\pi * D_b * h_b) + \left(\pi * \left(\frac{D_b}{2} \right)^2 \right)$$

Donde:

A_m : área de la manga

D_b : Diámetro de la manga

h_b : altura de la manga

$$A_m = (\pi * 0,3 \text{ m} * 1,9 \text{ m}) + \left(\pi * \left(\frac{0,3 \text{ m}}{2} \right)^2 \right)$$

$$A_m = 1,86 \text{ m}^2$$

- **Número de mangas**

$$N_m = \frac{A_t}{A_m}$$

Donde:

N_m : número de mangas

A_t : Área total

A_m : área de la manga

$$N_m = \frac{30,56 \text{ m}^2}{1,86 \text{ m}^2}$$

$$N_m = 16,42 \approx 16$$

- **Flujo de masa**

$$\dot{m} = Q * c$$

Donde:

\dot{m} : Flujo de masa

Q: caudal

c: Concentración

$$\dot{m} = 0,15 \frac{m^3}{s} * 450 \frac{mg}{m^3} * \frac{3600 s}{1 h}$$

$$\dot{m} = 247.500 \frac{mg}{m^3} * h$$

- **Factor W**

$$W = \left(\frac{\text{masa de sólidos extraídos}}{\text{volumen del gas}} \right) * \left(\frac{1}{\rho_{\text{torta}}} \right)$$

Donde:

ρ : Densidad de la torta

$$W = \left(\frac{247.500 \frac{mg}{m^3} * h}{550 \frac{m^3}{h}} \right) * \left(\frac{1}{\left(2,32 \frac{g}{cm^3} * \frac{1000 mg}{1 g} * \frac{1.000.000 cm^3}{1 m^3} \right)} \right)$$

$$W = 1,94 \times 10^{-7}$$

La densidad de la torta fue asumida y se optó por utilizar el valor correspondiente a la del sulfato de calcio, ya que es el material del cual está formada

- **Δ_x Torta**

$$\Delta_x \text{ Torta} = \left(\frac{Q * T_o}{A_f * N_m} \right) * W$$

Q: Caudal de entrada

A_f : Área de filtración

T_o : Tiempo de operación

N_m : número de mangas

W: Factor W

$$\Delta_x \text{ Torta} = \left(\frac{0,15 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1h}}{15,28 \frac{m^2 * 16}} \right) * 1,94x10^{-7}$$

$$\Delta_x \text{ Torta} = 6,98x10^{-6} \frac{m}{h}$$

Este delta representa el incremento o el grosor de la capa de material particulado que se acumula durante el tiempo en el que el filtro se encuentra en operación.

- **Caída de presión en el material filtrante**

$$\Delta_p \text{ MF} = V * K_1$$

Donde:

$\Delta_p \text{MF}$: Caída de presión en el material filtrante

V: velocidad

K_1 : factor de resistencia del material filtrante

$$\Delta_p \text{ MF} = 2,28 \frac{m}{s} * 13,5 \text{ mmH}_2\text{O} \frac{s}{m}$$

$$\Delta_p \text{ MF} = 30,8 \text{ mm H}_2\text{O}$$

- **Caída de presión en la torta**

$$\Delta_p \text{ T} = c * K_2 * (V_f)^2 * T_o$$

Donde:

$\Delta_p \text{T}$: Caída de presión en la torta

c: Concentración

K_2 : factor de resistencia de la torta

V_f : velocidad de filtración

T_o : tiempo de operación

$$\Delta_p T = \left(450 \frac{mg}{m^3} * \frac{1g}{1000 mg} \right) * 6,45 mmH_2O \frac{ms}{g} * \left(0,01 \frac{m}{s} \right)^2 * 3600 s$$

$$\Delta_p T = 1,045 mmH_2O$$

- **Caída de presión total**

$$\Delta P_{total} = \Delta_p MF + \Delta_p T$$

Donde:

$\Delta_p T$: Caída de presión en la torta

$\Delta_p MF$: Caída de presión en el material filtrante

$$\Delta P_{total} = (30,8 mm H_2O + 1,045 mmH_2O) * \frac{9,81 Pa}{1 mmH_2O}$$

$$\Delta P_{total} = 312,39 Pa$$

La caída de presión al interior de la unidad es un indicativo de la acumulación de material al interior de las mangas, a mayor crecimiento de la torta, mayor caída de presión y disminución de la velocidad de salida.

- **Carga sobre la tela**

Corresponde a la cantidad de masa de material particulado filtrado que se ha depositado sobre el área de las mangas.

$$C_g = \rho * \Delta_x Torta$$

Donde:

ρ : Densidad de la torta

C_g : Carga sobre la tela

$$C_g = \left(2.32 \frac{g}{cm^3} * \frac{1.000.000 cm^3}{1 m^3} \right) * 6,98x10^{-6} \frac{m}{h}$$

$$C_g = 16,20 \frac{g}{cm^2}$$

De acuerdo a la siguiente gráfica y considerando la carga sobre la tela y la velocidad de filtración fue posible obtener la concentración de salida, la cual corresponde a un valor de 0,1 g/m³ o 100 mg/m³.

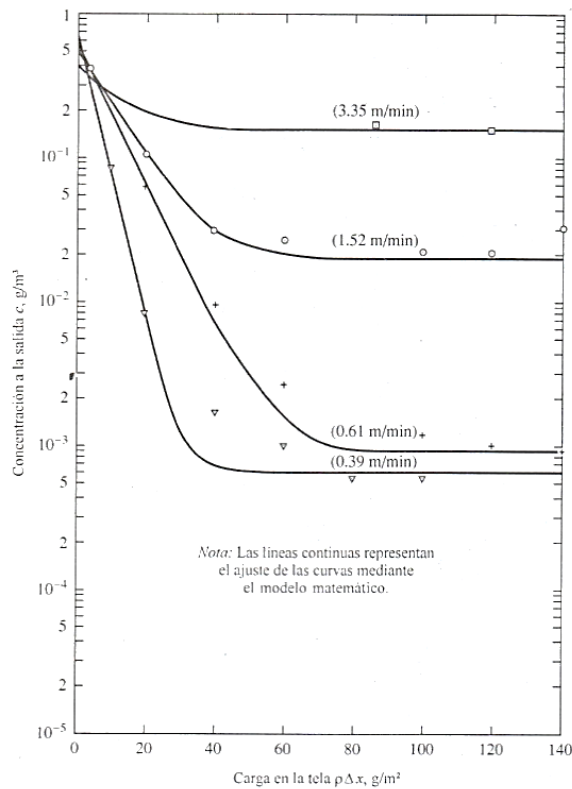


FIGURA 9.15
Efecto de la carga sobre la tela (cantidad de ceniza capturada por unidad de área) y de la velocidad en la cara sobre la concentración a la salida del filtro. Para todas las pruebas, la concentración en la admisión fue alrededor de 0.8 g/m³. (Tomado de la referencia 15.)

Figura 33. Efecto de carga sobre la tela

Fuente: (De Nevers, 1997)

- **Cantidad de material removido**

$$C_{mr} = \frac{C_g * A_f * H_o * A_o}{1000}$$

Donde:

C_{mr} : Cantidad de material removido

C_g : Carga sobre la tela

A_f : Área de filtración

H_o : Horas de operación

A_o : Años de operación

$$C_{mr} = \frac{16,02 \frac{g}{m^2}}{h} * 15,28 m^2 * \frac{5h}{1d} * \frac{317 d}{1 \text{ año}}$$
$$1000$$

$$C_{mr} = 392,29 \frac{Kg}{año}$$