

**Propuesta del proceso de producción para la fabricación de tejas mediante el aprovechamiento de los residuos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio.**



Alex Castañeda Fonseca  
Abril 2021.

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de ingeniería  
Ingeniería Industrial

**Propuesta del proceso de producción para la fabricación de tejas mediante el aprovechamiento de los residuos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio.**

Alex Castañeda Fonseca  
Abril 2021.

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de ingeniería  
Ingeniería Industrial

**Notas del autor**

Alex Castañeda Fonseca, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Cartagena.

**Nota de Aceptación**

Nombre y firma jurado 1

---

Nombre y firma jurado 2

---

Nombre y firma Comité Trabajo de Grado

---

## **Dedicatoria**

A mis padres, quienes además de brindarme una grandiosa familia, son mis referentes como profesional y persona, siendo mi mayor apoyo, además de ser mis confidentes.

A mi padre Félix Castañeda, que siempre ha mostrado su apoyo y ayuda incondicional, quien además de guiarme con su gran sabiduría e incalculable experiencia es un gran referente de entrega y dedicación ante la realización de mis proyectos.

A mi madre María Fonseca, quien con su amor, paciencia y calidez ha sido partícipe y pilar fundamental para mi desarrollo y crecimiento personal y profesional.

## **Agradecimientos**

A mis padres por estar presentes y apoyarme ante todos los aspectos y situaciones que se presentaron en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y amigos de la universidad, quienes además de brindarme momentos de felicidad, me brindaron su apoyo y ayuda durante mi formación académica, quienes influenciaron en mí para crecer y mejorar como persona.

Y brindo un agradecimiento especial a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y guía en esta formación académica, especialmente a la ingeniera Nancy Saray, quien con su tutoría me permitió lograr el mayor honor de un estudiante universitario, el desarrollo del trabajo de grado.

## Resumen

El aumento de los residuos de la construcción representa un considerable factor de afectación al medio ambiente, principalmente ante las limitadas o inexistentes oportunidades de aprovechamiento y reutilización. Tal es el caso de los residuos sólidos de vidrio plano, que aunque no sean consecuentes directamente de las operaciones de las constructoras, si lo son de aquellas empresas que suministran productos en este material para dicha industria. En Villavicencio existe una considerable demanda de vidrio plano lo que también representa considerables niveles de residuos sólidos de este material, los que ante una inadecuada disposición pueden representar un considerable factor de contaminación ambiental, esta investigación tiene la finalidad de plantear un sistema de producción que permita el aprovechamiento de estos residuos, para fabricar un producto que sirva de sustituto a las tejas convencionales.

Para ello se partió realizando la caracterización de la industria del vidrio plano en Villavicencio realizando labores de campo para identificar las empresas de dicha industria, sus funciones y los niveles de residuos sólidos que generan, lo que se determinó por medio de encuestas. Al unísono se realizó consulta de distintas fuentes, que sirvieron de apoyo para determinar las características del vidrio, sus propiedades y procesos de fabricación, lo que sirvieron de base fundamental para la proyección del proceso productivo proyectado.

Mediante esta investigación se determinó que el vidrio es un material completamente reciclable y mediante su proceso de fundición permite la creación de nuevos productos, mitigando la contaminación consecuente de los residuos de este material.

**Palabras Clave:** Vidrio, teja reciclaje de vidrio, proceso de producción, residuo sólido.

### **Abstract**

The increase in construction waste represents a considerable factor in affecting the environment, mainly in the face of limited or non-existent opportunities for use and reuse. Such is the case with solid flat glass waste, which although not directly consistent with the operations of the construction companies, if they are those companies that supply products in this material for that industry. In Villavicencio there is a considerable demand for flat glass which also represents considerable levels of solid waste of this material, which in the face of an inadequate arrangement can represent a considerable factor of environmental pollution, this research aims to propose a production system that allows the use of these wastes, to manufacture a product that serves as a substitute for conventional shingles.

To this end, the characterization of the flat glass industry in Villavicencio was carried out by carrying out fieldwork to identify the companies in that industry, their functions and the levels of solid waste they generate, which was determined by means of surveys. In unused, consultation was carried out from different sources, which served as support to determine the characteristics of the glass, its properties and manufacturing processes, which served as a fundamental basis for the projection of the projected production process.

This research determined that glass is a fully recyclable material and through its casting process allows the creation of new products, mitigating the consequent contamination of the residues of this material.

**Keywords:** Glass, tile, glass recycling, production process, solid waste.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Planteamiento del Problema .....	16
Descripción del Problema .....	16
Formulación del Problema .....	18
Justificación .....	21
Objetivos .....	24
General .....	24
Específicos .....	24
Marco Referencial .....	25
Antecedentes .....	25
Marco Teórico .....	29
ALVI Aluminio y Vidrio .....	29
Residuos Sólidos de la Construcción .....	31
Proceso de producción del vidrio plano .....	31
Tipología del vidrio plano .....	32
Reciclaje del Vidrio .....	36
Construcción Sostenible .....	38
ODS .....	39
Marco Conceptual .....	40
Acopio .....	40
Cubierta .....	41
Marquesina .....	41
Reciclaje .....	41
Teja .....	41
Vidrio .....	41
Vidrio plano o arquitectónico .....	41
Marco Legal .....	42
Diseño Metodológico .....	44
Tipo y Enfoques de Investigación .....	44
Variables de Medición .....	44
Recolección y Análisis de Datos .....	46
Desarrollo del Proyecto .....	48
Etapa 1. Caracterizar los niveles de residuos sólidos de vidrio plano en la Ciudad de Villavicencio .....	48
Empresas que conforman la industria de vidrio plano en Villavicencio .....	48
Etapa 2. Establecer el Proceso de Recolección de Vidrio Plano y el Proceso de Producción .....	59
Proceso de recolección de los residuos de vidrio plano .....	60
Requerimientos de transporte de residuos .....	62
Requerimientos de Almacenamiento .....	63
Proceso de producción .....	65
Etapa 3. Estandarización del Proceso de Productivo para la Fabricación de Tejas en Vidrio .....	69
Recolección .....	71
Depósito de residuos .....	73

Vertimiento en banda transportadora.....	74
Extracción manual de escoria .....	75
Trituración.....	76
Lavado.....	76
Almacén Silo.....	77
Fundición .....	77
Moldeo .....	78
Solidificación .....	78
Control de Calidad .....	79
Almacén producto terminado.....	79
Conclusiones.....	81
Recomendaciones .....	83
Lista de referencias .....	85
Anexos .....	89

**Lista de Tablas**

Tabla 1: <i>Normativa colombiana</i> .....	42
Tabla 2: <i>Variables</i> .....	45
Tabla 3: <i>Adquisición de materias primas – Comercializadoras de vidrio plano</i> .....	51
Tabla 4: <i>Residuos sólidos comercializadoras de vidrio plano.</i> .....	52
Tabla 5: <i>Productos Aluvidarq S.A.S.</i> .....	55
Tabla 6: <i>Residuos sólidos de las empresas de aluminio arquitectónico y vidrierías.</i> .....	58
Tabla 7: <i>Residuos sólidos de vidrio plano en Villavicencio.</i> .....	59
Tabla 8: <i>Ruta de recolección de los residuos de vidrio plano.</i> .....	61
Tabla 9: <i>Cursograma proceso de recolección</i> .....	73

## Lista de Figuras

Figura 1: <i>Ubicación planta de producción ALVI.</i> .....	30
Figura 2: <i>Tipología vidrio plano</i> .....	34
Figura 3: <i>Reciclaje envases de vidrio</i> .....	37
Figura 4: <i>Sector San Benito.</i> .....	49
Figura 5: <i>Ubicación comercializadoras de vidrio plano.</i> .....	50
Figura 6: <i>Ubicación empresas que transforman el vidrio plano</i> .....	57
Figura 7: <i>Diagrama de flujo proceso de recolección.</i> .....	62
Figura 8: <i>Morfología de las tejas curvas.</i> .....	67
Figura 9: <i>Diagrama de proceso de la producción de teja curva en vidrio.</i> .....	70
Figura 10: <i>Diagrama del proceso de cargue.</i> .....	72

**Lista de Anexos**

Anexo 1 – Encuesta empresas comercializadoras de vidrio plano .....	89
Anexo 2 – Encuesta empresas transformadoras de vidrio plano .....	90
Anexo 3 – Ruta de Recolección.....	91
Anexo 4 – Elementos de Protección Personal (EPP): Proceso de Recolección .....	92
Anexo 5 – Cursograma proceso de producción .....	93
Anexo 6 – Formato de Recolección.....	94

## **Introducción**

Como consecuencia del crecimiento urbanístico, el vidrio arquitectónico ha presentado una creciente demanda, lo que va entrelazado con la evolución de la arquitectura, que además de acoplarse a los estándares cambiantes a nivel estético, ha presentado una mayor tendencia hacia el aprovechamiento de los factores ambientales del entorno, enfatizando en la disminución del consumo de recursos necesarios para el funcionamiento de las estructuras habitacionales.

En este aspecto, el vidrio ha presentado una gran alternativa de aprovechamiento de la iluminación natural dirigida a los interiores de las estructuras y además del brindar un terminado estético a las mismas, su alta resistencia a la corrosión ha conllevado a que la aplicación de este material sea cada vez más constante.

Aun así, la creciente demanda de este material, también ha generado el aumento de los residuos del vidrio dirigido a la construcción, lo que representa un riesgo de contaminación ambiental ante la inadecuada disposición de estos residuos y la falta de oportunidades de aprovechamiento, principalmente en aquellas ciudades que debido a su crecimiento urbanístico, este material presenta una gran demanda.

Este es el caso de Villavicencio – Meta, la cual es una ciudad en plena etapa de desarrollo, donde es notorio su crecimiento urbanístico y la construcción representa una de las mayores industrias locales, lo que ha generado un considerable consumo de vidrio plano, pero la mayoría de este material es importado por las comercializadoras que lo distribuyen localmente, ante la ausencia de plantas de producción de este material a nivel regional.

Por ende, las posibilidades de aprovechamientos de los residuos sólidos consecuentes de los procesos propios de dichas comercializadoras, o de las demás empresas que lo implementan como materia prima dentro de sus procesos productivos, son muy limitadas, lo que ha conllevado

a un aumento considerable en los costos de funcionamiento de estas organizaciones ante la evacuación de estos residuos.

La opción disponible para brindarle una disposición final a estos residuos, es por medio de la empresa de recolección de basuras local, pero ante los volúmenes de este material, esta tiene tarifas que dependen de las cantidades entregadas, y ante esta situación, los residuos son vertidos en el relleno sanitario de la ciudad.

En el reciclaje de vidrio son abundantes las investigaciones que se han desarrollado para el aprovechamiento y reutilización principalmente del vidrio de uso doméstico, es decir, aquel que se utiliza para la producción de envases de toda índole y objetos de uso común como copas, vasos y demás utensilios en este material, pero respecto al vidrio plano, el único enfoque que se ha aplicado a nivel investigativo ha sido el aprovechamiento de estos residuos como agregado para la producción de cerámicas, en la fabricación de concreto, hormigón y elementos dirigidos a la construcción como tejas y ladrillos.

Este escenario puede ser consecuente del aprovechamiento que realizan las empresas que fabrican el vidrio plano a nivel industrializado, quienes ante los desechos por deficiencias de la calidad de las láminas, las reintegran al proceso de función para la creación de nuevos productos dentro de la misma línea productiva.

Esto representa para dichas empresa una considerable disminución en los requerimientos de materias primas vírgenes para sus procesos, además, que la producción mediante estos desechos representa una disminución no solo en la energía que se requiere para el mismo, sino en la polución emanada al ambiente con relación al proceso inicial de fabricación.

Esto expone el gran potencial que tiene el vidrio para su reciclaje, ya que además de representar una disminución en los requerimientos de producción y en la afectación ambiental

consecuente de su proceso original de fabricación, este material puede ser reutilizado ininidad de veces sin alterar sus características.

Es correcto afirmar que este material al encontrarse en estado sólido, no puede alterarse físicamente, al menos de que sea realizado por medio de procesos industrializados, pero en su estado próximo al estado de solidificación posterior a su fundición, su plasticidad lo vuelve un material maleable, al cual se le puede brindar cualquier forma, lo que permite su aplicabilidad para la fabricación de distintos productos que puedan servir como sustituto a los ya existentes en el mercado, presentando como valor agregado las características que este material brinda.

Para este caso, la implementación de tejas en este material, representaría una gran posibilidad de aprovechamiento de la iluminación natural para interiores, acompañado de una gran resistencia a los factores ambientales, permitiendo en muchas estructuras mantener su diseño estético y representando una considerable disminución del consumo de energía para dichos espacios.

## **Planteamiento del Problema**

### **Descripción del Problema**

La expansión urbanística de las ciudades, junto a la arquitectura cambiante que se desarrolla en el área de la construcción, ha llevado a la implementación de distintos tipos de materiales, que doten de un valor estético a las estructuras y permita el beneficio de distintos factores naturales disponibles en el ambiente, siendo la iluminación natural el más influyente en este aspecto.

El aumento de la implementación de materiales para dicha industria, no solo repercute a nivel industrial y económico, sino representa afectaciones en el aspecto ambiental, tanto por el aumento en la explotación de recursos naturales, como en el crecimiento de los residuos sólidos consecuentes de dicha industria (Cabrera, Castaño, Lasso, Ocampo & Rodríguez, 2013), el cual es palpable en las ciudades que se encuentran en proceso de crecimiento y desarrollo urbanístico.

Dentro de estos materiales encontramos el vidrio plano, el cual se implementa comúnmente en las construcciones estructuras urbanísticas, ya que tiene como característica principal ser un material translucido que permite el aprovechamiento de la iluminación natural en interiores (Gamallo, 2015), a la vez que presenta gran resistencia ante la corrosión resultante de los factores ambientales.

Pero estas propiedades, también lo convierten en un factor considerable de contaminación ambiental, ya que es un material que no es biodegradable, y por su estructura, ante su inadecuada disposición, puede representar un riesgo considerable para la salubridad de las personas y afectar la fauna y flora local.

Esta problemática se agrava ante la falta de posibilidades de aprovechamiento de los residuos de este material (Gómez, Moreno & Salinas, 2013), lo que representa gastos adicionales

para las empresas que implementan el vidrio plano dentro de sus procesos de producción, ya que deben pagar a la empresa de recolección de basuras local para que estas recepcionen dichos residuos y realicen su disposición final.

En dicho caso, la empresa de recolección de residuos sólidos de Villavicencio, vierte estos desechos en el relleno sanitario local, aunque el vidrio sea un material con altas posibilidades de aprovechamiento y reciclaje, pero el realizar este proceso no es rentable para este tipo de empresas (Huérfino, 2018).

El vidrio es un material que puede ser reciclado en su totalidad, gracias a sus características físicas y químicas, las cuales se mantienen al ser sometido nuevamente al proceso de fundición (Alfonso, Lince & Luis 2010), lo cual brinda una gran oportunidad de aprovechamiento para el desarrollo y fabricación de productos sustitutos a los existentes en el mercado, principalmente enfocados a la construcción, lo que al unísono representaría una disminución en la cantidad de residuos sólidos de este material.

Dentro de las organizaciones que implementa el vidrio plano para desarrollar sus procesos de producción, se encuentra la empresa ALVI, Ilumino y Vidrio, la cual cuenta con más de dos décadas de experiencia en la fabricación y suministro de productos en aluminio y vidrio arquitectónico en la ciudad de Villavicencio – Meta.

Actualmente, en dicha urbe, esta organización es una de las empresas que tiene mayor experiencia en el desarrollo de estos productos, cuya finalidad fundamental es la satisfacción de los clientes garantizando un producto óptimo, principalmente a las empresas constructoras, permitiéndole así ampliar su mercado con la diversificación de productos dirigidos a dicha industria, mediante el aprovechamiento y la reutilización de los residuos obtenidos de la industria del vidrio plano.

Por ende, en este trabajo se planteó una propuesta para el proceso de producción requerido para la fabricación de tejas translúcidas en vidrio, utilizando como materia prima los residuos sólidos generados por las empresas y/u organizaciones que implementan este material en sus procesos de producción, en aras de que dicho producto sirva como sustituto de las tejas de arcillas convencionales, brindando iluminación a los interiores de las estructuras residenciales o similares, mediante el aprovechamiento de la iluminación natural, a la vez que cumpla con los requerimientos propios de la arquitectura.

### **Formulación del Problema**

En la ciudad de Villavicencio – Meta, la industria de la construcción ha presentado un gran crecimiento en las últimas décadas, como consecuencia del desarrollo urbanístico y comercial, lo que a su vez, ha aumentado las cantidades de residuos sólidos de dicha industria (Betancourt, Mahecha, Molina & Suarez, 2019), los cuales han crecido de forma proporcional al desarrollo y expansión de esta urbe.

Los residuos de vidrio plano son generados por las empresas que distribuyen este material, o en una menor escala, por aquellas que los utilizan en sus procesos de productivos. Algunos de estos residuos son almacenados, ya que dependiendo de sus dimensiones pueden ser implementados en la fabricación de otros productos, pero, gran cantidad de sobrantes no se pueden reutilizar y se disponen como residuos y/o desechos.

Dentro del último grupo de empresas relacionadas, se encuentra ALVI Aluminio y Vidrio, quien fabrica y suministra todo tipo de estructuras en aluminio y vidrio plano, la cual realiza su proceso de producción en lotes, es decir en base a los requerimientos de sus clientes, los cuales siempre presentan variaciones en las cantidades, tipo y esencialmente en las dimensiones requeridas de los productos terminados.

El vidrio plano es una materia prima producida a nivel industrial y comercializada en láminas de distintas dimensiones dependiendo de sus características, para la cual las láminas de vidrio grabado se adquieren en tamaños que no superan los 2,2 metros de ancho y los 1,5 metros de alto, mientras que las láminas de vidrio plano se comercializan en dimensiones inferiores de los 3,3 metros de ancho y los 2,2 metros de ancho.

El no aprovechamiento de los residuos de este material, se debe a que las láminas adquiridas deben ser sometidas al proceso de corte para obtener piezas de las dimensiones demandadas, según los requerimientos de producción, lo que conlleva que las piezas sobrantes en la mayoría de casos no presenten dimensiones que permitan su aprovechamiento, y aquellas que si lo permiten, deben ser sometidas nuevamente al proceso de corte, lo que genera inevitablemente sobrantes más pequeños que no se puedan reutilizar.

Esto representa una problemática permanente para las empresas pertenecientes a la industria del vidrio, principalmente por que no se cuenta con opciones que permitan el aprovechamiento de estos residuos, lo que genera gastos adicionales ante la necesidad de almacenar y posteriormente entregarlos a las empresas de recolección de basuras local, quienes realizan la disposición final de los mismos, mediante el pago de tarifas que dependen de la cantidad que se les entregue.

Puntuablemente en la ciudad de Villavicencio, esta situación es una constante que ha ido en aumento en las empresas de la industria del vidrio plano, ante el crecimiento que ha presentado esta urbe y a las nuevas aplicaciones que ha tenido este material dentro de las arquitectura, la cual ha mostrado cada vez una tendencia mayor a la implementación del vidrio por sus características estéticas, físicas y los beneficios que brinda.

El vidrio plano era comúnmente utilizado para la fabricación de distintos tipos de productos destinados a la construcción como fachadas para locales comerciales u oficinas, divisiones de interiores o como complemento a estructuras de distintos materiales utilizados como puertas y ventanas, pero gracias a sus cualidades se ha implementado también para cubiertas.

Estas últimas son denominadas marquesinas, las cuales son estructuras en vidrio plano, que tienen como finalidad la cobertura, tanto de interiores como de exteriores, presentando como mayor cualidad su resistencia a la humedad, la exposición directa a los rayos solares y demás factores ambientales y el aprovechamiento de la iluminación natural.

Las marquesinas, al ser cubiertas para las estructuras construidas, cumplen la misma función que las tejas convencionales en arcilla u otros materiales, brindando un añadido estético notable a las construcciones, pero gracias a su diseño, estructuras y materiales que las componen, representa un costo elevado a comparación de las cubiertas tradicionales, además de presentar repercusiones estéticas en aquellas estructuras con diseño más convencionales o menos recientes.

¿Cómo aprovechar los residuos generados por la industria del vidrio plano en la ciudad de Villavicencio?

### **Justificación**

La inadecuada disposición de los residuos sólido de vidrio plano, repercute de forma negativa en las condiciones ambientales del entorno, inicialmente por la estructura de este material, el cual presenta bordes prominentes y cortantes, lo que podría generar laceraciones tanto a personas como a los animales que habitan en los lugares donde son arrojados, además, el vidrio es un agente que puede ocasionar incendios forestales, consecuentes del efecto lupa (Corporación Nacional Forestal de Chile, 2016), que se da ante la exposición directa del vidrio a los rayos solares.

Aunque la inadecuada disposición de los residuos de vidrio plano puede causar las repercusiones ya relacionadas, este material tiene grandes posibilidades de aprovechamiento, lo que conllevaría a una disminución de la contaminación en las urbes, a la vez que brindaría la posibilidad de crear productos sustitutos para industrias como la de la construcción, en la cual se aprovechen las cualidades que el vidrio brinda, como los son la resistencia ante la corrosión causada por distintos factores ambientales y su translucidez, la cual permitiría el aprovechamiento de la iluminación natural dirigiéndola a los interiores.

Además, el vidrio presenta como mayor característica, que puede ser reciclado en su totalidad por infinidad de veces sin perder sus cualidades (Vidrio España, 2017), lo que disminuyendo de forma considerable los costos de producción, gracias a que la fabricación de elementos de vidrio con material reciclado demanda un 26% menos de energía, reduce en un 20% la contaminación atmosférica y en un 40% la contaminación del agua (Villegas, 2012) con relación a su producción inicial.

Aun así, en la ciudad de Villavicencio no existen organizaciones que implementen o aprovechen los residuos de vidrio plano para sus procesos de producción o que tengan como

finalidad el reciclaje de este material, lo que ha llevado a las empresas como ALVI Aluminio y Vidrio a costear con gastos adicionales de almacenamiento, transporte y evacuación de los residuos consecuentes de sus procesos productivos.

Las empresas de dicha industria, se han acoplado a los requerimientos de una arquitectura cambiante que ha presentado fuerte tendencias a brindar valor agregado a la construcción, no solo en sentido estético, si no también mediante el aprovechamiento de distintos factores ambientales que permitan la disminución de los costos de funcionamiento de las estructuras terminadas.

Puntualmente para este caso, es notoria la implementación de envolventes (fachadas) o cubiertas (marquesinas) en vidrio para edificaciones que permitan el aprovechamiento de la iluminación natural (Novas, 2016), a las vez que presentan gran longevidad por la resistencia que tiene este material al deterioro y a la corrosión., incluso en ambientes con alta salinidad.

Ante la implementación de estas estructuras, ya sea como fachadas o marquesinas, las construcciones deben cumplir con ciertos parámetros estructurales que permitan su instalación y soporten su peso, por lo cual estas son comúnmente aplicadas en el diseño de construcciones nuevas, lo que también se debe a que estas estructuras no presentan una estética acorde con las edificaciones antiguas o diseñadas bajo parámetros arquitectónicos conservadores.

Considerando estos parámetros y los requerimientos de la arquitectura y la construcción, la producción de tejas que permitan el aprovechamiento de la iluminación natural en los interiores de las estructuras, mediante la transformación de los residuos de vidrio plano, brindaría un productos sustituto de las tejas en arcilla convencionales, las cuales son frecuentes en estructuras antiguas y en distintos tipos de construcciones nuevas por su diseño, pero no brindan ningún valor adicional más allá de su estética y protección de los factores ambientales.

Por ello, mediante este trabajo se procedió a diseñar el proceso de producción que permita a la empresa ALVI Aluminio y Vidrio el aprovechamiento de los residuos de vidrio plano procedente de la industria que implementa este material en sus procesos productivos en la ciudad de Villavicencio, transformándolos en tejas traslucidas.

## **Objetivos**

### **General**

Diseñar el proceso de producción para la fabricación de tejas mediante el aprovechamiento de los residuos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio.

### **Específicos**

- Determinar los niveles de residuos de vidrio plano generados en la ciudad de Villavicencio – Meta.
- Proponer el proceso de recolección de los residuos de vidrio plano y el proceso de producción requerido.
- Estandarizar el proceso productivo para la fabricación de tejas en vidrio.

## **Marco Referencial**

### **Antecedentes**

(Abdeen Hisham & Shihada Samir, 2017) Estudio experimental, en el cual se realiza el análisis de los resultados obtenidos ante la aplicación de residuos sólidos de vidrio como añadido en la producción de ladrillos de arcilla. Al aplicar distintas cantidades de dicho material al proceso de producción, el ladrillo obtenido presenta distintas características físicas, al igual que variaciones en sus procesos productivos.

Se determina mediante experimentación, que de la fabricación de ladrillos de arcilla con una composición de 30% de vidrio, se obtiene un producto con resistencia a la presión mayor en comparación a los ladrillos de arcilla convencionales, a la vez que presenta una menor adsorción de humedad. Con relación al proceso de producción, para la fabricación de bloques con dicho porcentaje de vidrio, requiere una mayor temperatura de cocción, pero presenta disminución en las cantidades de arcilla requerida.

El vidrio es un material que se obtiene mediante la función de distintos minerales, que se caracteriza por presentar gran resistencia ante la corrosión del ambiente, principalmente porque este materia no absorbe agua, por lo cual, al agregarlo al proceso de producción del ladrillo, la pieza obtenido presenta una menor adsorción de humedad, lo que brinda un gran beneficio al considerar que las estructuras que se construyen con estas piezas están expuestas de forma constante a factores como la lluvia.

(Vidrio España, 2017) Informe que expone las contribuciones de la industria productora del vidrio en España desde el 2014 al 2016, enfocándose en aspectos económicos y ambientales, enfatizando en el acoplamiento de dicha industria a las estrategias de economía circular proyectadas por la Unión Europea.

El vidrio es un material que se puede reciclar en su totalidad por infinidad de veces, sin perder sus propiedades intrínsecas, ni de cantidad o calidad, lo cual convierte a este material en un fiel representante de la economía circular, la cual busca una producción sostenible que minimice los niveles de contaminación ambiental.

Con la finalidad de demostrar dicha afirmación, se exponen las repercusiones socio – económicas consecuentes de todo el proceso de producción y la reutilización del vidrio, dando a conocer aspectos tan relevantes como los tipos de vidrio que se fabrican, sus procesos productivos y el aprovechamiento de los residuos tanto dentro, como fuera de la industria vidriera.

(Giraldo, Mejía & Martínez, 2013) El crecimiento acelerado que ha presentado la industria de la construcción en Colombia, dentro de la que se incluye también la demolición, ha conllevado al aumento de los residuos sólidos o escombros que representan un foco considerable de contaminación ambiental, motivo por el cual se realiza un análisis bibliográfico sobre las afectaciones a la salud y al medio ambiental, la gestión de los residuos y tendencias globales para su disposición y aprovechamiento.

Se encontró que los residuos sólidos de la construcción y demolición se clasifican como peligroso y no peligrosos en Colombia según el Decreto 4741 del 2005, decreto que a su vez reglamenta el manejo de los mismos, pero en la práctica es evidente la falta de opciones que permitan el aprovechamiento o reprocesamiento de los mismos en dicho país, terminando estos en vertederos o en los rellenos sanitarios de las ciudades.

(Mousalli, 2015) Mediante este estudio se exponen los pasos y temática a desarrollar al realizar investigaciones del tipo cuantitativo, a la vez que suministra los parámetros necesarios

para el planteamiento de cada uno de los aspectos que son de vital importancia para la exposición los trabajos investigativos que se encuentren enmarcados en este parámetro.

La investigación cuantitativa se aplica para aquellas investigaciones que buscan la solución de distintas situaciones de estudio, las cuales pueden variar dependiendo del enfoque u objetivo que se plantee desarrollar, ante lo cual cada estudio puede clasificarse dentro de los distintos tipos de en los que se subdivide la investigación cuantitativa.

(Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios de Colombia, 2016) Informe que da un diagnóstico integral y general del aprovechamiento de los residuos sólidos a nivel nacional, exponiendo que para el año 2016, se aprovecharon 97.905 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 80% corresponde a la ciudad de Bogotá.

Entre el total de dicho material se aprovecharon 6.771 toneladas de vidrio a nivel nacional, lo que representa solo el 7% de dicha ponderación, lo cual corresponde principalmente a envases e implementos de un solo uso, ya que en dicho informe, se clasifica al vidrio plano como un material no aprovechable, es decir, no se considera como un material que se pueda reciclar.

(Garzón, 2018) Tesis de grado sobre la implementación del vidrio como material agregado en las edificaciones, fundamentado en la constante histórica por la aplicación de este en la industria de la construcción a nivel mundial ejemplificando esta situación en la ciudad de Bogotá, destacando que su mayor uso es apreciable en los envolventes y/o fachadas de las estructuras habitacionales.

Pero el aumento en la aplicación de este material ha conllevado a un crecimiento de los residuos sólidos generados en las ciudades, principalmente por la falta de guías que permitan determinar las características técnicas y propiedades de los distintos tipos de vidrio

arquitectónico, por lo cual, esta investigación tiene la finalidad de desarrollar una herramienta que permita la selección dentro de los tipos de vidrio arquitectónico, considerando sus características y que estas satisfagan las necesidades de los clientes finales.

(Puig de Francisco, 2020) Trabajo de grado que expone la necesidad de implementar una cubierta que permita el aprovechamiento de la iluminación natural dentro de la catedral de Notre Dame en Paris – Francia, con la intención de rehabilitar la antigua cobertura de dicho lugar histórico, el cual fue considerablemente afectado en el incendio presentado en año 2019.

Con esta finalidad, se exponen los beneficios de la implementación del vidrio como materia prima para dicha estructura, facilitando el ingreso de los haces de luz al interior de las bóvedas que componen la catedral, además de brindar gran longevidad y permitir la conservación de las aristas arquitectónicas de la estructura, la cual se encuentra estipulada como patrimonio de la humanidad.

(Gonzáles, 2017) Tesis que tiene como objetivo final la documentación del proceso artesanal de la fabricación de tejas y ladrillo en arcilla, ejecutado en la vereda El Olivo, jurisdicción del municipio de Cogua – Cundinamarca, para lo cual se exponen los factores más relevantes de esta población, en los que se incluye su cultura, economía, industria y principales fuentes de ingreso, empleo y comercio, especificando la importancia que presenta esta industria, ya que esta es la mayor fuente de empleo, tanto por los procesos de producción, como por la extracción de materias primas.

Posterior a este aspecto, se realiza una descripción detallada de los procesos relacionados con las materias primas, a la vez que expone las clasificaciones de las misma, seguido de una detallada descripción de los procesos de producción que se realizan para la fabricación de los productos, los cuales se desarrollan tanto de forma artesanal, como tecnificada.

(Villegas, 2012) Mediante esta investigación se exponen las tres dimensiones en las que la construcción genera afectaciones en el medio ambiente: Obtención y transformación de materias primas, acondicionamiento de terrenos y el final de la obra, este último hace referencia al final de la vida útil de los materiales convirtiéndose en desechos.

Por lo cual se realiza un análisis de las repercusiones que genera esta industria, para posteriormente exponer distintos métodos de reutilización de los residuos, en aras de disminuir las afectaciones que puedan generar, pero para esto se debe considerar inicialmente si son tóxicos, reutilizables o biodegradables, lo que permite realizar la reutilización de la mayor cantidad de residuos posibles, basándose en si se pueden aprovechar en la fabricación de otros productos, tanto para la construcción como para otras industrias.

Como ejemplo práctico se expone el desarrollo de muros en latas y botellas de virio, los cuales permiten el aprovechamiento de la iluminación natural, a la vez que brindan un excelente aislamiento dentro de los recintos cerrados de los demás aspectos ambientales que los puedan afectar.

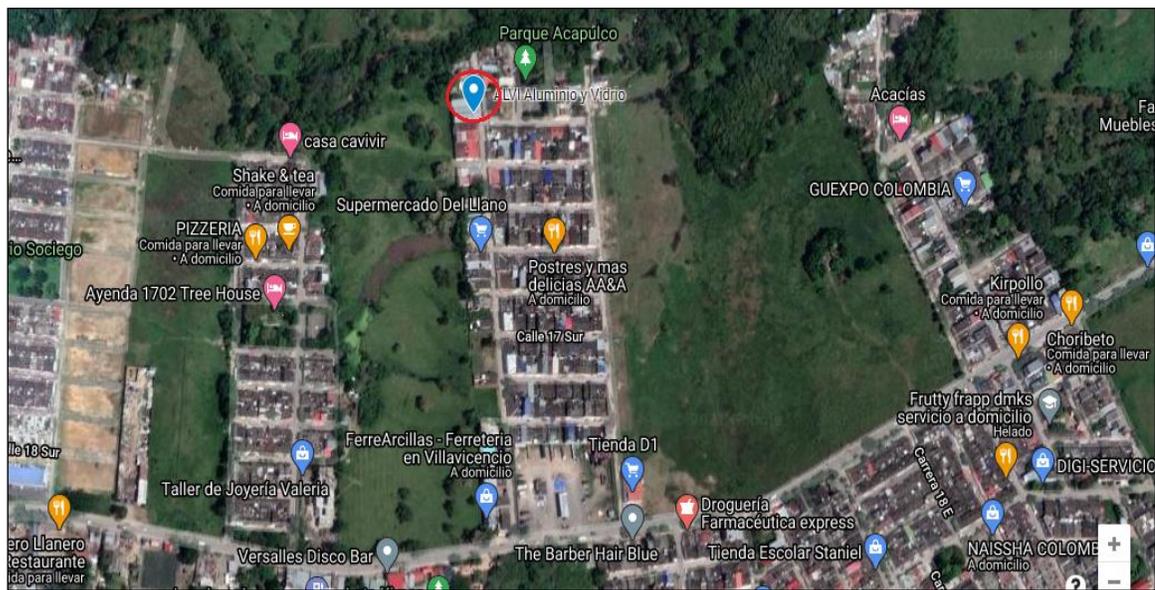
## **Marco Teórico**

### ***ALVI Aluminio y Vidrio***

Empresa llanera especializada en todo el proceso de fabricación y suministro de productos en aluminio y vidrio arquitectónico, su fundación data del año 1998, fecha desde la cual realizo gran variedad de trabajos a nivel local, departamental y nacional, labores que permitieron su posicionamiento en la capital del Metal en el área de la construcción, participando tanto en obras civiles como colegios, hospitales y complejos deportivos, como en la construcción de complejos privados, tanto como edificios, centros comerciales y urbanizaciones.

Esta se encuentra ubicada en la Manzana D Bodega No 7 del Barrio Acapulco, exactamente en la Calle 15 Este # 11-65 de la ciudad de Villavicencio-Meta; este barrio se caracteriza por ser un sector netamente residencial con una baja presencia de comercio, esta actividad es desempeñada únicamente por tiendas pequeñas, pero en la parte norte de este sector se encuentran ubicadas tres bodegas, dos utilizadas por una empresa de fabricación de muebles, una bodega que actualmente se encuentra desocupada y por último se encuentra la planta de producción de la empresa ALVI Aluminio y Vidrio. Dicha ubicación se expone mediante la siguiente imagen:

**Figura 1:** *Ubicación planta de producción ALVI.*



Fuente: Google maps. 2020

Esta organización, al igual que las demás empresas pertenecientes a la industria de la ornamentación en aluminio, emplea un tipo de producción discreta, y la fabricación de productos, se realiza bajo pedido, según las cantidades y necesidades especificadas por el cliente, iniciando su producción con la adquisición de materias primas para su posterior transformación.

### ***Residuos Sólidos de la Construcción***

Los Residuos de la Construcción y Demolición (RDC), son aquellos desechos procedentes de los procesos propios de la industria de la construcción, remodelación y demolición, en los que se encuentran gran variedad de materiales como piezas de cemento, concreto, bloques, varios tipos de cerámicas, todo tipo de tuberías en distintos materias como PVC y/o metal, todo tipo de elementos metálicos como varillas y en algunos casos puertas y ventanas, piezas de estructuras para coberturas compuestas por tejas, madera, piezas de aluminio, vidrio entre otros.

Este tipo de residuos ha presentado un aumento considerable, principalmente en aquellas ciudades en etapa de desarrollo (Benavides, Betancourt, Mahecha & Suarez, 2019), lo que ha comenzado a representar un factor de riesgo considerable para el medio ambiente, principalmente por su inadecuada disposición final y el aumento de la explotación de materias primas para satisfacer la demanda de la construcción.

### ***Proceso de producción del vidrio plano***

El vidrio es un material que se obtiene mediante la fundición a 1.500°C de arena de sílice y carbonato de sodio, elementos que se encuentran de forma natural en la tierra, y su obtención se realiza mediante el proceso de explotación, aun así, el vidrio es un material que se encuentra de forma natural en la tierra, pero en piezas de características uniformes.

La fundición para obtener este material realiza mediante hornos industriales, dentro de los cuales se vierten las materias primas hasta alcanzar su punto de fusión, posteriormente en su estado líquido, es trasladado y depositado en un piscina de estaño, donde gracias a que este elemento es más denso, el líquido vertido flota sobre la superficie de la piscina para ser extraído

por un orificio rectangular, que lo transforma en láminas, las cuales varían sus dimensiones dependiendo de los requerimientos de producción.

Al terminar el material inicia su proceso de enfriamiento y solidificación avanzando por una banda transportadoras que cuenta con inyectores de aire en la parte superior, que de forma gradual van enfriando la lámina hasta alcanzar la temperatura ambiente, en esta etapa el producto presenta bordes irregulares, y ya que estas deben ser completamente rectas, se realiza el proceso de corte para obtener piezas más pequeñas que permitan su manipulación a la vez que se eliminan las aristas irregulares, tanto estos sobrantes como las piezas que no cumplen con los estándares de calidad, son reincorporados al proceso de fundición.

El resultado de esta cadena producción son láminas que dependiendo de sus características pueden variar sus dimensiones, para el caso del vidrio plano, sus dimensiones son de 3,3 metros de ancho con 2,2 metros de alta, mientras que en otros tipos de vidrio como los grabados sus dimensiones son menores; al finalizar las láminas son almacenadas para posteriormente ser comercializadas.

### ***Tipología del vidrio plano***

El vidrio ha sido implementado en la construcción desde tiempos antiguos, pero como consecuencia del desarrollo de la arquitectura, que además de evolucionar en sus diseños, se ha enfocado en el aprovechamiento de materiales que presenten gran longevidad y resistencia a la corrosión ambiente, como que brinden valor agregado a las estructuras y beneficios adicionales; el vidrio se ha vuelto una constante para la construcción de edificaciones.

La gran aplicabilidad de este material ha llevado al desarrollo de distintos tipos de vidrio, enfocados a satisfacer distintas necesidades consecuentes de los diseños estéticos y requerimientos especiales de la construcción, tales como la disminución de la ingreso de luz

solar, o piezas con mayor resistencia que permitan su aplicabilidad en estructuras puntuales, además que brinden mayor seguridad ante su ruptura.

Por ende, en la actualidad el vidrio arquitectónico se divide en dos grupos: vidrio crudo y vidrio de seguridad. Estos pueden encontrarse en una variedad considerable de tonos y presentan grosores que van desde 4 a 10 milímetros, aunque también pueden presentar grosores menores o inferiores a los relacionados, los cuales son utilizados para fines como marquetería, o complemento de muebles.

Estos también se encuentran disponibles comercialmente en distintas tonalidades, las cuales son determinadas en el proceso de producción de las láminas, específicamente en el proceso de fundición, donde dependiendo el óxido metálico agregado se obtienen distintos tonos, entre los que se encuentran: Amarillo (Óxido de Hierro; FeO), violeta (Óxido de Magnesio; MnO<sub>2</sub>), verde (Óxido de Cromo; CrO), azul (Óxido de Cobalto; CoO), bronce y gris (Gamallo, 2015). Estos colores alteran el paso de los haces de luz, pero aparte de su tonalidad no presenta ninguna otra diferencia con el vidrio traslucido, por lo que al fundirlos se obtienen un producto con el mismo tono.

Dentro de los vidrios arquitectónico se encuentra la gama de vidrios reflectivos, que pueden ser crudos o de seguridad, pero como característica especial, estos disminuyen gradualmente el paso de la iluminación, lo cual se debe a que cuentan con una delgada capa de óxido metálico, lo que refleja parte de los haces de luz proyectados sobre su superficie. En la figura 2, que se expone a continuación, se aprecian los distintos vidrios arquitectónicos y su aplicación en el área de la construcción.

**Figura 2:** *Tipología vidrio plano*



Fuente: Propia.

### **Vidrio Crudo**

Son aquellas láminas, de distintos grosores, que se obtienen como resultado del proceso de producción, pero posterior a este no son sometidos a ningún tipo de proceso especial para alterar sus características, por ende, es más económico comercialmente, y es utilizado como añadido a estructuras de puertas y ventanas (metálicas, aluminio, PVC y madera).

Aun que presentan gran resistencia ante los factores ambientales, no tienen una resistencia considerable ante impactos, por lo cual son utilizados en estructuras con marcos, aunque al aumentar su grosor, su resistencia es mayor al igual que su peso, aun así, este tipo de vidrio al fracturarse se divide en partes irregulares de distintos tamaños, con filos cortantes pronunciados.

Dentro de este grupo se encuentran tanto los vidrios planos, como los grabados y/o martillados, los cuales se obtienen al pasar la lámina antes de su proceso de enfriamiento, sobre rodillos con distintas formas y figuras impresas por presión, lo que le brinda a una de las superficies un terminado decorativo, este tipo también se encuentra en distintos tonos a nivel comercial.

Este tipo de vidrio es utilizado comúnmente en estructuras residenciales, tanto para puertas y ventanas, como para claraboyas, ya que permite el paso de la iluminación, pero su superficie corrugada distorsiona los haces de luz, lo que conlleva a la disminución en la introducción de los rayos solares, además evita la visibilidad a través de ellos, lo que ha extendido su aplicabilidad a estructuras para divisiones de interiores.

### **Vidrio de Seguridad**

Este tipo de vidrio es el resultado de someter al vidrio crudo a distintos procesos industriales, para brindarle una mayor resistencia térmica y ante impactos, con el fin de implementarlo en la construcción de estructuras de grandes dimensiones, además de su resistencia, se enfatiza que en caso de su fractura, las piezas resultantes no representen un riesgo para el público en general.

#### *Vidrio templado*

Este se obtiene al someter a las láminas de vidrio a un proceso térmico, el que consiste en calentar el vidrio hasta que se suba su temperatura este cerca a su punto de fusión, y

posteriormente de forma abrupta es enfriado con aire; como consecuencia de este proceso, el vidrio adquiere una resistencia entre 4 y 5 veces mayor a los impactos y a los cambios térmicos.

Este tipo de vidrio no puede ser modificado ni cortado luego de mencionado proceso, ya que cualquier afectación en su estructura hace que este se despedace en su totalidad en pequeñas partes, por lo que cuando se requiere algún proceso de maquinado como terminados estéticos o perforaciones, deben ser realizados antes de ser introducidos al proceso térmico. Gracias a sus características, este tipo de vidrio es implementado como cobertura (fachadas) de estructuras.

#### *Vidrio laminado*

Este se obtiene mediante la unión de una o más láminas de vidrio con láminas intermedias traslucidas de butiral de polivinilo (Alfonso, 2018), lo que le brinda una gran resistencia ante los impactos, por lo que es implementado principalmente cuando existe alguna posibilidad de impacto; al romperse las piezas resultantes se quedan unidas a mencionada lámina.

Entre más láminas de vidrio, su resistencia es aún mayor, por lo cual es implementado tanto para la construcción, como para blindajes de seguridad para vehículos y estructuras. En la fabricación de este tipo de vidrio, son implementados tanto láminas de vidrio crudo como de vidrio templado de distintos grosores.

#### ***Reciclaje del Vidrio***

Proceso por medio del cual se convierten los residuos sólidos de vidrio en productos que satisfagan necesidades específicas, dentro de estos encontramos los envases de este material, que al encontrarse en óptimas condiciones, son sometidos a procesos de lavado y asepsia para volverse a reutilizar, mientras que aquellos residuos que no se puedan reutilizar son sometidos al proceso de fundición (Hernández & Sobalvarro, 2015) para la obtención de nuevos productos del mismo material.

El vidrio es un material completamente reutilizable, ya que se puede fundir ininidad de veces sin que pierda sus características físicas o químicas, por lo cual las organizaciones que lo producen a nivel industrializado, reincorporan estos desechos a los procesos de producción, lo que representa un 26% menos de gasto de energía, reduce en un 20% la contaminación atmosférica y en un 40% la contaminación del agua (Villegas, 2012) respecto con el proceso de producción en el que se implementan materias primas para su procesamiento. En la siguiente imagen, se expone el ciclo del reciclaje de los envases de vidrio que ejecutan las empresas del grupo ANFEVI, la cual se ha vuelto un referente de buenas prácticas ambientales en España.

**Figura 3:** *Reciclaje envases de vidrio*



Fuente: Vidrio España y la Economía Circular (2017)

La Asociación Nacional de Empresas de Fabricación Automática de Envases (ANFEVI) fue creada en 1977, agrupando las organizaciones españolas fabricantes de envases de vidrio; esta industria, gracias al reciclaje integral (Vidrio España, 2017), principalmente de productos que han cumplido su vida útil, han logrado disminuir el impacto ambiental de esta industria, al igual que sus gastos de producción, principalmente ante los menores requerimientos de materias primas vírgenes para su transformación, disminución en la energía aplicada para estos procesos y menores niveles de emisión de polución ambiental.

El proceso del reciclaje del vidrio plano, es un proceso nuevo en la ciudad de Villavicencio, lo que conlleva a la necesidad de su aplicabilidad por la gran abundancia de desechos de este material, consecuente de los procesos de las industrias que lo implementan para la creación de productos dirigidos al área de la construcción, por lo que se vuelve indispensable la estandarización de un proceso que permita el aprovechamiento de los residuos con el fin de generar nuevas fuentes de mercado, logrando de forma paralela mitigar el impacto ambiental en dicha urbe.

### ***Construcción Sostenible***

Esta va ligada con el desarrollo sostenible, el cual se define como: “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Villegas, 2012).

Por ende, la construcción sostenible (Álvarez, Gonzales & Quevedo, 2019) tiene como finalidad la implementación de materiales reciclados o que se obtengan mediante ambientes controlados, en aras de minimizar los efectos ambientales consecuentes de su extracción y procesamiento, además de proyectar y diseñar estructuras que permitan la disminución del consumo de recursos para su funcionamiento.

Si bien es cierto que en Colombia es abundante la jurisprudencia relacionada a los factores ambientales, también existen las ODS, que están enfocadas al desarrollo sostenible y autosostenible amigable con el medio ambiente, por ende es necesario que la industria de la construcción busque la integración de empresas que incorporen los residuos sólidos consecuentes de sus procesos y los reutilicen de forma óptima, enfatizando en la disminución de las repercusiones ambientales.

### ***ODS***

Según Chavarro, Hernández, Montenegro, Olaya, Tovar & Vélez (2017), los Objetivos de Desarrollo Sostenible son 17 propósitos a nivel económico, social y medioambiental acordados por 193 países integrantes de la Organización de Naciones Unidas (ONU), que tienen la finalidad de mejorar las condiciones de vida de la población mundial.

Dentro de estos objetivos se relacionan problemáticas como la pobreza, hambruna, desigualdad, integración y cumplimiento de algunos de los derechos básicos estipulados en los derechos humanos, el cuidado y la protección del medio ambiente, además de fomentar la industria y la innovación dentro del marco del desarrollo sostenible.

En este último aspecto, se encuentran los numerales 9 y 11 de dichos objetivos, los cuales relacionan la innovación y sostenibilidad de la industria, ciudades y comunidades; compartiendo este enfoque, el numeral 12 trata sobre el desarrollo de un consumo y producción sostenible, para lo cual se especificaron 11 metas adicionales.

En aras de cumplir estos objetivos, es necesario el desarrollo de proyectos que estén enfocados en la sostenibilidad que contribuya con la disminución de los niveles de polución emanados al ambiente, a la vez que su implementación requiera bajos niveles de materiales no

renovables, o que tengan la finalidad de transformar productos que ya han cumplido su vida útil y/o residuos provenientes de las industrias productoras.

Por ende, también es de vital importancia la investigación, desarrollo e implementación de procesos productivos que requieran de menores cantidades de energía o demás requerimientos de producción para su ejecución, caso para el cual, la implementación de procesos productivos que permitan el aprovechamiento de materiales como el vidrio, cumplen intrínsecamente con estos parámetros.

La fabricación de productos consecuentes del reciclaje de vidrio, disminuye considerablemente las emisiones de agentes contaminantes al ambiente con relación a la producción original de este material, también se evita la extracción de materiales vírgenes y disminuye los niveles de contaminación generados por los residuos de este material, lo cual se acopla a los parámetros de sostenibilidad y protección del medio ambiente proyectados por los ODS.

Aun así, estos objetivos tienen la proyección de que se incentive el desarrollo de soluciones similares para todas las industrias productoras, a la vez, de generar una conciencia colectiva de consumo y sostenibilidad entre la población mundial, que permita mejorar la calidad de vida de las personas, mediante la generación de proyectos que brinden bienestar a la misma y a su vez, protejan los recursos naturales que se encuentran disponibles.

### **Marco Conceptual**

#### ***Acopio***

Según Huérfano, 2018, es el proceso por medio del cual se reciben y almacenan de forma temporal materiales para su aprovechamiento, posterior a su selección, tanto en la fuente

como en el lugar de almacenamiento, el cual se realiza comúnmente en las instalaciones del generador o de quien las utilizara para destinarla en sus procesos o actividades.

### ***Cubierta***

Conjunto de piezas que cumplen la función de brindar protección a las edificaciones ante la exposición de los factores ambientales, principalmente de los rayos solares y lluvia, por lo cual se ubican en la parte superior de las estructuras. Estas piezas se encuentran en gran variedad de formas y materiales (Puig de Francisco, 2020)

### ***Marquesina***

Cubierta para edificaciones, que tiene la finalidad de permitir el aprovechamiento de la iluminación natural en interiores o en exteriores (Gamallo, 2015), las cuales se encuentran cubiertas por materiales traslucidos que cumplan dicha función y protejan las áreas donde se encuentran ubicadas de la corrosión, evitando la exposición a los factores ambientales.

### ***Reciclaje***

Aprovechamiento de materiales y/u objetos que han cumplido su vida útil o han sido desechados, para transformarlos en su totalidad o de forma parcial en productos que satisfagan las necesidades de una población en general o específica (Huérfano, 2018).

### ***Teja***

Piezas producidas mediante la transformación de distintos materiales, que tienen como finalidad brindar cobertura a las edificaciones, fabricadas comúnmente con arcilla y mediante procesos artesanales de cocción (González, 2017). También se denomina de la misma forma las piezas para cobertura de edificaciones de otros materiales como Eternit, Zinc y Asbesto.

### ***Vidrio***

Material inorgánico, duro, frágil, transparente y amorfo que se encuentra en la naturaleza, aunque también se puede producir por el ser humano (Alfonso, 2018).

### ***Vidrio plano o arquitectónico.***

Este tipo de vidrio es utilizado principalmente en la construcción para distintas finalidades como: coberturas estructurales (fachadas), láminas añadidas a puertas y ventanas en distintos materiales, divisiones de interiores y coberturas (marquesinas y/o lucernarios) (Alfonso, 2018).

### Marco Legal

**Tabla 1:** *Normativa colombiana*

<b>Tipo, número y fecha</b>	<b>Entidad que expide la norma.</b>	<b>Impacto en el proyecto</b>
<b>Constitución política de Colombia de 1991</b>	Congreso de la república	Obligación del estado de proteger, prevenir, controlar y planificar la diversidad, integridad y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de conservarlos para garantizar no solo el desarrollo sostenible, sino el derecho que todas las personas tienen de gozar un ambiente sano.
<b>Ley 9 de 1979</b>	Congreso de la república	Código Sanitario Nacional: Por el cual se dictan medidas sanitarias para la regulación del medio ambiente y manejo de los recursos naturales.
<b>Decreto 1713 de 2002</b>	Presidencia de la república	Reglamentación relacionada con la prestación del servicio público de aseo y la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
<b>Decreto 1077 de 2015</b>	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudadanía y Territorio:
<b>Resolución 754 de 2014</b>	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los

---

	Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos
<b>Resolución 472 de 2017</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	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.

---

Fuente: Propia

## **Diseño Metodológico**

### **Tipo y Enfoques de Investigación**

Este trabajo se enmarca dentro de la investigación exploratoria, la que tiene como finalidad el estudio de temas o problemas de investigación poco abarcados, sobre los cuales solo hay vagas ideas y posterior a la revisión literaria, solo se encuentran ideas vagamente relacionadas o guías no investigativas (Mousalli, 2015).

Esta investigación tiene como finalidad determinar los niveles de residuos sólidos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio, enfocándose en proyectar un proceso productivo que permita su aprovechamiento para la fabricación de un producto dirigido a la construcción y que a su vez sea sustituto de las tejas de arcilla convencionales.

El desarrollo de este trabajo ha permitido apreciar la gran variedad de investigaciones que tienen como fin el aprovechamiento del vidrio para su reciclaje, pero todas enfocadas hacia el tipo de este materia que se conoce como vidrio doméstico, el que es implementado para la fabricación de envases o productos dirigidos al hogar, pero no se encontró investigaciones que tengan como finalidad del aprovechamiento del vidrio plano, el cual va dirigido a la industria de la construcción.

De igual forma, no se encontraron investigaciones que tengan como objeto de estudio estos residuos en la ciudad de Villavicencio o a nivel nacional, lo que deja al descubierto la falta de oportunidades para su aprovechamiento, y de forma subjetiva, considerar esta situación como un riesgo ambiental ante la su inadecuada disposición.

### **Variables de Medición**

Se utilizan en el trabajo de investigación para designar cualquier característica de la realidad que pueda ser determinado por observación y que pueda mostrar diferentes valores de

una unidad de observación a otra. Existen varias maneras de clasificar las variables, las más importantes son: variables independientes, dependientes e intervinientes.

En el desarrollo de esta investigación se consideraron principalmente variables que permitieron determinar las cantidades de residuos sólidos que se generan, con lo cual se proyectó el proceso de producción necesario para su transformación y demás requerimientos relacionados con dicho proceso.

Para la transformación de las materias primas dentro del proceso productivo, estas deben ser expuestas a altas temperaturas hasta lograr su punto de fusión pasando de estado sólido a líquido; también se consideró su volumen para determinar las cantidades de vidrio requerido para la fabricación de una unidad de teja.

Sobre el producto terminado, se identificaron sus dimensiones para establecer los requerimientos de producto en proceso y almacenamiento de producto terminado. Las variables implementadas en el desarrollo de la presente investigación se relacionan mediante la siguiente tabla.

**Tabla 2:** *Variables*

<b>Variable</b>	<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo variable</b>
<b>Residuos sólidos</b>	Residuos sólidos de vidrio plano	Kilogramo	Continua
<b>Materia prima</b>	Materia prima para la fabricación de tejas por unidad	Kilogramo	Continua
<b>Volumen</b>	Material fundido	Centímetros cúbicos	Continua
<b>Temperatura</b>	Temperatura de cocción	Centígrados	Continua
<b>Dimensión</b>	Tamaño de las tejas	Centímetros	Continua

---

	Requerimientos de espacio para planta de producción.	Metros	Continua
--	--	--------	----------

---

Fuente Propia

### **Recolección y Análisis de Datos**

En esta etapa del proyecto se debe describir claramente cómo se realizó la recolección y el análisis de la información en cada una de las etapas establecidas. No se focaliza en la descripción de las herramientas de recolección si no por el contrario en como este fue aplicado en la ejecución del mismo.

Para la recolección de la información se partieron de los tipos de fuentes, de las cuales la primaria sirvió como base fundamental para realizar la caracterización de la industria del vidrio plano en la ciudad de Villavicencio, que permitió el desarrollo del primer objetivo, el cual consiste en la identificación de los niveles de residuos de este material generados en dicha urbe.

Con dicho fin, se realizaron labores de campo en las organizaciones que implementan el vidrio plano dentro de sus procesos, a quienes se les indago sobre las cantidades de vidrio que adquieren y los residuos que generan de forma mensual, este proceso se ejecutó inicialmente en el sector de San Benito, donde se encuentran ubicadas las distribuidoras Vidrios La Sabana, Vidrio Oriente y Vidrios del Meta, las cuales son las únicas comercializadoras de vidrio plano y crudo en la ciudad de Villavicencio, por ende, son quienes manejan los mayores volúmenes de este material y residuos de los mismos.

Este proceso se ejecutó mediante la aplicación de la encuesta que se encuentra relacionada en el anexo 1 del presente documento, la cual se aplicó también a aquellas empresas que tienen como finalidad la comercialización de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio. Mientras que para las empresas que implementan este material dentro de sus procesos productivos para la fabricación de estructuras en aluminio, o lo comercializan directamente con

los consumidores finales, se aplicó la encuesta que se encuentra relacionada en el anexo 2, al final de este documento.

Dichas encuestas se diseñaron con la finalidad de definir las cantidades de residuos sólidos, además de identificar los parámetros de manipulación y disposición final de estos desechos, al igual que las repercusiones que representan estas actividades dentro de las organizaciones.

Al finalizar este proceso, se realizó tabulación de la información obtenida, con lo que se logró determinar los niveles y/o cantidades de residuos de vidrio plano que se generan mensualmente en la ciudad de Villavicencio y sus principales fuentes junto con sus ubicación, lo que permitió proponer inicialmente el proceso de recolección y acopio, seguido a lo cual se determinaron los requerimientos de producción.

Mediante las fuentes secundarias, se realizó la consulta de distintas fuentes virtuales, principalmente de instituciones académicas, logrando determinar la inexistencia de investigaciones que tengan como hipótesis el aprovechamiento de los residuos sólidos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio o su identificación.

Por medio de dichas fuentes también se realizó una investigación de estudios que sirvieron de análisis para determinar métodos similares para la transformación del vidrio, permitiendo establecer el proceso de producción expuesto dentro de los resultados de esta investigación, junto con las propiedades que dicho material presenta para su de reciclaje y los beneficios de este proceso con relación a la fabricación de vidrio con materias primas vírgenes.

## **Desarrollo del Proyecto**

### **Etapa 1. Caracterizar los niveles de residuos sólidos de vidrio plano en la Ciudad de Villavicencio**

Con el fin de determinar los niveles de residuos sólidos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio se caracterizaron aquellas empresas que utilizan en mayor incidencia este tipo de material en sus procesos, para dicho fin se procedió a identificar aquellas que se encuentran legalmente constituidas en dicha urbe, dentro de las cuales se identificaron 6 empresas, de las cuales 3 tienen como única finalidad la comercialización de vidrio plano y 3 empresas que lo transforman para añadirlo dentro de sus procesos productivos.

#### **Empresas que conforman la industria de vidrio plano en Villavicencio**

Las comercializadoras de vidrio plano son las que cubren los requerimientos de las empresas a nivel local y departamental, que implementan en sus procesos el vidrio plano o que lo venden directamente al consumidor final, es decir, las organizaciones que se relacionan en este parámetro son quienes adquieren las láminas de vidrio después de su fabricación y las comercializan, pero no tienen relación con los clientes finales.

En la ciudad de Villavicencio solo se encuentran establecidas tres empresas que cumple esta función: Vidrios del Meta, Vidrios La Sabana y Vidrioriente, estas venden las láminas de vidrio por mayor y al detal en todos los municipios del departamento del Meta, las cuales son entregadas directamente en las ubicaciones de las empresas o donde estas las requieran, además prestan el servicio de corte de las láminas de vidrio, según los requerimientos de los clientes.

Estas comercializadoras se encuentran ubicadas en el barrio de San Benito; sector localizado cerca de la zona central y administrativa de la ciudad, que es conocido por su desarrollo económico por la gran variedad de empresas que allí desempeñan sus labores como

comercializadoras de materiales de construcción, mecánica de automotores, y organizaciones dedicadas a la ornamentación en aluminio y metales estructurales.

**Figura 4:** Sector San Benito



Fuente: Google Maps.

En esta imagen se aprecia el área urbana de la ciudad de Villavicencio – Meta, donde se resalta la ubicación del sector de San Benito, el cual debe su desarrollo comercial principalmente a que limita con tres de las más importantes vías de la ciudad (La avenida 40, que desemboca en la salida a Acacias, la Avenida Puerto López y la Calle 15, que une estas dos avenidas), lo que además de facilitar su acceso, permite el traslado desde este, tanto con cualquier sector de la urbe, como con el anillo vial que rodea el área urbana.

La comercializadora Vidrio La Sabana se encuentra ubicada en la Calle 15 cerca de la Avenida Puerto López, en la glorieta de Postobón, dicha comercializadora se encuentra en un complejo de bodegas que cuentan con bahías para los procesos de carga de material; las

comercializadoras Vidrios Del Meta y Vidrioriente, se encuentran en una zona más central de dicho sector pero con fácil acceso y sus plantas físicas presentan un diseño que permite el acceso de vehículos de carga al interior de sus plantas físicas.

**Figura 5:** *Ubicación comercializadoras de vidrio plano*



Fuente: Google Maps.

Estas empresas desempeñan sus labores en los horarios comprendidos en las 08:00 hasta las 12:00 horas en la jornada de la mañana, y posterior a la hora destinada para el almuerzo del personal, estas retoman sus operaciones desde las 14:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes, mientras que el día sábado su horario de atención es únicamente desde las 08:00 hasta las 14:00 horas; las comercializadoras manejan sus mayores volúmenes de trabajo en el horario de la mañana, ya que despachan los pedidos realizados el día anterior y los recibidos en las primeras horas de la jornada laboral.

Las comercializadoras de vidrio plano locales, realizan el proceso de compra directamente con las empresas que lo producen de forma industrializada, principalmente con aquellas que se

encuentran en el exterior, tanto por calidad como por disponibilidad de productos, ante lo cual, las comercializadoras acarrean los gastos de importación y transporte desde el puerto donde son desembarcadas.

Según Ronderos & Cárdenas (2017), entre el 2013 y 2017, las mayores importaciones de vidrio realizadas en Colombia, provenían principalmente de Brasil, China y Estados Unidos, donde se ubican las principales empresas que generan este producto, lo que en parte se debe a la industrialización presente en dichas naciones. A nivel nacional solo existen dos empresas que fabrican y comercializan el vidrio plano, las cuales son Favidrio y Vidrio Andino.

En la siguiente tabla, se relaciona la tipología y cantidades de vidrio plano y/o arquitectónico que adquieren de forma anual, ya que estas realizan su aprovisionamiento comprando las láminas por lotes, considerando los pronósticos de demanda que tienen estipulados y en base de la disponibilidad de productos y variaciones en sus precios:

**Tabla 3:** *Adquisición de materias primas – Comercializadoras de vidrio plano*

<b>Empresa</b>	<b>4mm</b>	<b>5mm</b>	<b>6mm</b>	<b>Grabado</b>	<b>Reflectivo y tonos</b>
<b>Vidrioriente</b>	1368	720	456	3900	3960
<b>Vidrios del meta</b>	2160	1152	600	6240	4800
<b>Vidrios La Sabana</b>	1920	1000	360	5700	4500
<b>Totales</b>	5448	2872	1416	15840	13260

Fuente Propia

Como se especificó anteriormente, estas organizaciones comercializan las láminas en vidrio tanto enteras como en piezas según los requerimientos de los clientes, pero en este proceso es donde se generan la mayor cantidad de residuos de vidrio, ya que comúnmente en este resultan piezas sobrantes de pequeñas dimensiones, las cuales son consideradas desperdicio.

En menor medida, también se generan residuos ante la ruptura de las láminas, ya sea por inadecuada manipulación de las mismas, incorrecta aplicación del proceso de corte, falencias en los procesos de descargue, el cual se realiza manualmente, o por mala calidad de los productos; pero al ser ocasional la ocurrencia de estas situaciones, no se tiene un control o registro de estos.

Estos residuos son almacenados en las instalaciones de las comercializadoras en canecas metálicas con capacidad de 55 galones, las que son evacuadas al llegar al límite de su capacidad. Estos recipientes además de ser idóneos para dicho fin por el material en que son fabricados, el cual es resistente ante las aristas cortantes del vidrio, permiten medir la cantidad de residuos por el peso que presentan al llenarse; por ende se en la siguiente tabla se exponen las cantidades en kilogramos de los residuos de vidrio resultantes mensualmente:

**Tabla 4:** *Residuos sólidos comercializadoras de vidrio plano*

<b>Empresa</b>	<b>4mm</b>	<b>5mm</b>	<b>6mm</b>	<b>Grabado</b>	<b>Reflectivo y tonos</b>	<b>Total por empresa</b>
<b>Vidrioriente</b>	140	60	50	450	300	1000
<b>Vidrios del meta</b>	150	150	0	600	600	1500
<b>Vidrios La Sabana</b>	250	100	50	400	400	1200
<b>Total</b>	540	310	100	1450	1300	3700

Fuente Propia

Como se puede apreciar, las comercializadoras de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio generan mensualmente 950 kilogramos de residuos sólidos de vidrios transparente en distintos grosores, 1450 kilogramos de vidrio grabado y 1300 kilogramos de residuos de vidrio reflectivos o de distintas tonalidades.

Estos residuos son almacenados en las instalaciones de cada empresa hasta que se obtenga la cantidad de residuos suficientes para ser evacuados, los cuales, ante los costos que

representaría su disposición final por parte de la empresa de recolección de basuras local Bioagropecuaria, la que tiene tarifas definidas para la recolección, transporte y disposición final en el vertedero de basuras local por peso, optan por entregarlos en la empresa Covitel, ubicada a las afueras de la ciudad de Villavicencio.

Dicha empresa fue fundada hace 10 años, con la finalidad de abarcar el mercado local de fabricación y comercialización de vidrio templado, y desde tiempo después de comenzar operaciones, comenzó a recepcionar todos los residuos sólidos de vidrio producidos a nivel general en la ciudad de Villavicencio.

Aun así, esta empresa no ofrece ningún tipo de retribución a las organizaciones que llevan dichos residuos, las cuales tienen que cubrir con todos los costos de transporte y disposición hasta la planta de producción de la empresa ya relacionada, además, de ser bastante selectivos con el tipo de material que reciben, lo que hace que la operación de entrega sea más tediosa para los operarios que la realizan, esto según lo manifestado por las empresas relacionadas en este título.

Esto ha representado una opción acorde para la evacuación de estos residuos, pero se desconoce el tipo de aprovechamiento o procesos que realice con estos residuos, además la organización que implementan este método para evacuar residuos de vidrio, manifiestan inconformidad al respecto, ya que ellos mismos tienen que costear con los costos de transporte, disposición de tiempo y personal para llevarlos hasta el lugar de recepción de dicha empresa, manifestando que debido a los procesos de verificación que se implementan, el proceso de disposición de este material tarda 1 día en realizarse.

Dicha situación, no solo representa costos adicionales dentro de las comercializadoras, sino que también representa pérdidas al tener que disponer de los recursos con que cuenta la

empresa para sus procesos de distribución y comercialización, en la ejecución del proceso de evacuación y disposición de residuos.

En el caso de las organizaciones delicadas al proceso de transformación de vidrio plano, encontramos las siguientes: las empresas de ornamentación en aluminio, quienes transforman el vidrio plano para añadirlo a las estructuras fabricadas en dicho metal, y las vidrierías que son quienes lo suministran directamente a los consumidores finales en las dimensiones que los clientes requieran.

Estas realizan su producción bajo pedido, ya que la totalidad de productos que se fabrican tanto en aluminio como en vidrio para la industria de la construcción, varían en cada proyecto según los requerimientos de los clientes, siendo las características más variables sus dimensiones y tonalidad de productos, por lo cual no se puede precisar una cifra exacta sobre las cantidades de vidrio que adquieren, ya que esto depende de las unidades y tipos de productos fabricados.

A su vez, como consecuencia de las dificultades que presenta la disposición de residuos sólidos de vidrio en la ciudad de Villavicencio, junto a las facilidades que ofrecen las comercializadoras de este material para suministrar las láminas en las piezas y/o cortes que se requieran, las cantidades de residuos consecuentes son mínimos.

Los residuos sólidos generados por estas empresas se deben principalmente a errores en las solicitudes de vidrio, equivocada manipulación de las piezas que concluye con la fractura de las mismas, o cortes de las piezas por errores en los requerimientos de producción; ante estas situaciones las empresas tienden a guardar estas piezas con el fin de implementarlas en la creación de otros productos, pero la probabilidad de que estos se aprovechen en su totalidad es muy reducida, por lo que se busca introducirlas en las fabricación de productos que permitan la cantidad mínima de desperdicio.

En la ciudad de Villavicencio, ante el extenso mercado que brinda la industria de la construcción, se han establecido y desempeñado gran variedad de empresas y trabajadores independientes, pero muchos de estos se encuentran en la informalidad, lo que se debe en parte a la variable demanda que existe en este mercado, influenciada en gran parte por el aumento de la oferta de la industria del aluminio y vidrio a nivel local.

Esto conlleva a que gran parte del personal que ofrece estos productos, no cuente con instalaciones fijas donde desarrollar sus procesos productivos, y en algunos casos mantienen su condición de informalidad ante los gastos legales que representan el establecimiento de una organización dentro de los parámetros de la ley.

Aun así, en la ciudad de Villavicencio se desempeñan varias empresas que cuentan con organizaciones acordes a los parámetros legales, lo que les ha permitido un notable desarrollo y permanencia en el mercado, entre las que se encuentran las empresas Aluvidarq S.A.S., Vidriaautos y Artividrios, en el caso de estas dos últimas, ofrecen servicios que tienen relación con el manejo y transformación de vidrio, pero que tienen relación con el mercado de la construcción.

La empresa Aluvidarq S.A.S. se especializa en todo el proceso de fabricación e instalación de productos en aluminio y vidrio arquitectónico destinados a satisfacer los requerimientos de la industria de la construcción, principalmente para el desarrollo de obras urbanísticas. Los productos que ofrece esta empresa se relacionan a continuación:

**Tabla 5:** *Productos Aluvidarq S.A.S.*

<i>Aluminio</i>	<i>Vidrio</i>
<i>Puertas</i>	<i>Vitrinas Comerciales</i>
<i>Ventanas</i>	<i>Divisiones para baño</i>
<i>Divisiones para interiores</i>	<i>Divisiones para interiores</i>
<i>Fachadas</i>	<i>Fachadas</i>

---

Fuente Propia

Vidriautos es una organización que tiene como finalidad principal el suministro de vidrios para automotores, siendo su clientela más frecuente los propietarios de vehículos para el transporte público, pero esta organización también se especializa en la fabricación de estructuras en aluminio y todo tipo de productos en vidrio arquitectónico, participando en el desarrollo de varios proyectos urbanísticos a nivel local y departamental.

Por su lado, la empresa Artividrio, tiene como único fin el suministro y transformación de vidrio arquitectónico y espejos con terminados especiales como biselado, sandblasting y con perforaciones, al igual que la fabricación de objetos conmemorativos y decorativos mediante la transformación de vidrio plano.

La planta de producción de la empresa Aluvidarq S.A.S., se encuentra ubicada en el barrio Acapulco a las afueras del casco urbano de la ciudad de Villavicencio, el cual se encuentra dentro del sector conocido como el Camino Ganadero; sus instalaciones cuentan con un diseño estructural que permite el ingreso de vehículos pesados para realizar todos los procesos de carga.

Las empresas Vidriautos y Arquividrios, se encuentran ubicadas en los barrios El Estero y Porvenir respectivamente; las plantas físicas de estas organizaciones se encuentran cerca de avenidas principales lo que facilita el acceso a las mismas, pero estas no cuentan con infraestructuras destinadas para los procesos de carga.

**Figura 6:** Ubicación empresas que transforman el vidrio plano



Fuente: Google Maps.

Aunque dichas organizaciones se encuentren fuera del sector de San Benito, a excepción de Aluvidarq S.A.S., sus ubicaciones son relativamente cercana a las comercializadoras de vidrio plano; Artividrio se encuentra cerca de la Carrera 23, vía que conecta la Avenida 40 con la Avenida Catama, las cuales son vías principales en la ciudad de Villavicencio y que conducen a las salidas de dicha urbe. La empresa Vidriautos, se encuentra a una cuadra de la Calle 15, vía que comunica el sector de Los Maracos con el barrio el Estero y desemboca en el anillo vial.

Con esto se expone que la manipulación y transformación del vidrio plano tiene una considerable rama de organizaciones y operaciones, las cuales generan residuos sólidos de este material, aunque sea en una menor escala que las comercializadoras relacionadas en el título anterior.

Considerando estos aspectos, y que dichas organizaciones no generan cantidades constantes de residuos de vidrio plano, al aplicar la herramienta para la obtención de información,

estas realizaron un aproximado, con el fin de determinar una cantidad de residuos mensual para tener como referencia, la cual se expone mediante el siguiente cuadro:

**Tabla 6:** *Residuos sólidos de las empresas de aluminio arquitectónico y vidrierías.*

<b>Empresa</b>	<b>4mm</b>	<b>5mm</b>	<b>6mm</b>	<b>Grabado</b>	<b>Reflectivo y tonos</b>	<b>Total por empresa</b>
<b>Aluvidarq S.A.S.</b>	60	10	0	20	10	100
<b>Vidriautos</b>	80	20	5	5	15	125
<b>Artividrio</b>	40	50	40	0	5	135
<b>Total</b>	180	80	45	25	30	360

Fuente Propia

Al comparar estos datos se aprecia que la cantidades de residuos sólidos de vidrio plano son mucho menores a comparación de las comercializadoras de esta materia prima; mensualmente las tres empresas relacionadas generan aproximadamente 305 kilogramos de residuos de vidrio incoloro en distintos grosores, 25 kilogramos de vidrio grabado y 30 de vidrios reflectivos y de distintos tonos.

Dichas empresas almacenan estos residuos de distintas formas, siendo las canecas plásticas o metálicas las más comunes, también se implementan las lonas, ya que permiten una manipulación más práctica, y en ocasiones, estos residuos son depositados abiertamente dentro de sus instalaciones, en lugares cercanos a donde se realizan los procesos del área productiva de las organizaciones.

La disposición final de estos residuos por parte de estas empresas se realiza de dos formas. La primera es ante la generación de bajos volúmenes, los cuales son depositados junto a otros residuos para que sean recogidos por la empresa de recolección de basuras local, sin que este proceso genere costos adicionales; cuando son cantidades considerables, son almacenados en las plantas de producción y al completar cierta cantidad, son recolectados por personal particular

que cuentan con vehículos de cargar, quienes realizan todo el proceso de acopio y manifiestan llevarlo a la ciudad de Bogotá y entregarlos en fábricas que les pagan por las cantidades suministradas.

Ante esta última situación, se desconoce la verdadera destinación final que se le brinda a los residuos de vidrio plano, pero las empresas optan por esta opción, ya que aunque no les brinden ningún tipo de reconocimiento económico, este método no genera ningún tipo de costo para la evacuación de los residuos sólidos.

## **Etapa 2. Establecer el Proceso de Recolección de Vidrio Plano y el Proceso de Producción**

Para poder determinar el proceso de recolección se hace necesario establecer las cantidades de residuos de este material, se definieron los volúmenes resultantes de las tres únicas comercializadoras de vidrio plano que se desempeñan en la ciudad de Villavicencio, quienes generan la mayor cantidad de estos, a la vez que se consideró las tres empresas con mayor recorrido en esta área en la ciudad; de este estudio se relaciona la información unificada mediante la siguiente tabla:

**Tabla 7:** *Residuos sólidos de vidrio plano en Villavicencio*

<b>Vidrio incoloro o traslucido en distintos grosores</b>	1.255 kg
<b>Vidrio grabado</b>	1.475 kg
<b>Vidrio reflectivo y en tonalidades.</b>	1.330 kg
<b>Total</b>	4.060 kg

Fuente Propia

Aproximadamente en la ciudad de Villavicencio se generan 4.06 toneladas de residuos sólidos de vidrio plano; esto sin considerar las organizaciones o personal que informalmente lo transforman y suministran a los clientes finales, además, estas cifras solo se relacionan los residuos

consecuentes de la fabricación de nuevos productos, ante lo cual habría que agregar aquellos residuos de este material consecuentes de los procesos de demolición y remodelación.

Para el desarrollo del proceso productivo que es la base de esta investigación, se consideraran únicamente los residuos de vidrio incoloro o traslucido y de vidrio grabado, ya que los vidrio reflectivos y de distintos tonos contienen componentes que les brindan estas características especiales, las cuales se mantienen aun después del proceso de fundición, por lo que agregarlos al proceso de fabricación para la creación de un producto traslucido, afectaría su tonalidad.

Es decir, para determinar el proceso de acopio y producción, se considerara la disponibilidad de 2,73 toneladas mensuales de vidrio, lo que representaría un 67,24% de los residuos de este material que se generan en el mismo lapso de tiempo en la ciudad de Villavicencio.

### **Proceso de recolección de los residuos de vidrio plano**

Como se ha expuesto con anterioridad, para el desarrollo del proceso productivo que es objeto de la presente investigación, se implementa como materia prima únicamente los residuos sólidos de vidrio plano transparente o incoloro y grabado, lo que es el equivalente a 2,73 toneladas, las cuales se generan mensualmente.

Con lo cual, se procede a considerar los requerimientos para el proceso de recolección y acopio de los mismos, para posteriormente determinar los requerimientos para el proceso de producción requerido para la fabricación de tejas en vidrio, en base a las cantidades de materia prima disponibles.

Mediante la caracterización de las empresas comercializadoras de vidrio plano y aquellas que lo transforman para implementarlo en sus procesos productivos, se proyectó el proceso de recolección de los residuos que generan, al igual que los requerimientos para llevarlo a cabo.

Mediante el anexo 3 del presente documento se expone la ruta a seguir para realizar dicho proceso, el cual se realiza en 1 hora aproximadamente, tal como se expone a continuación:

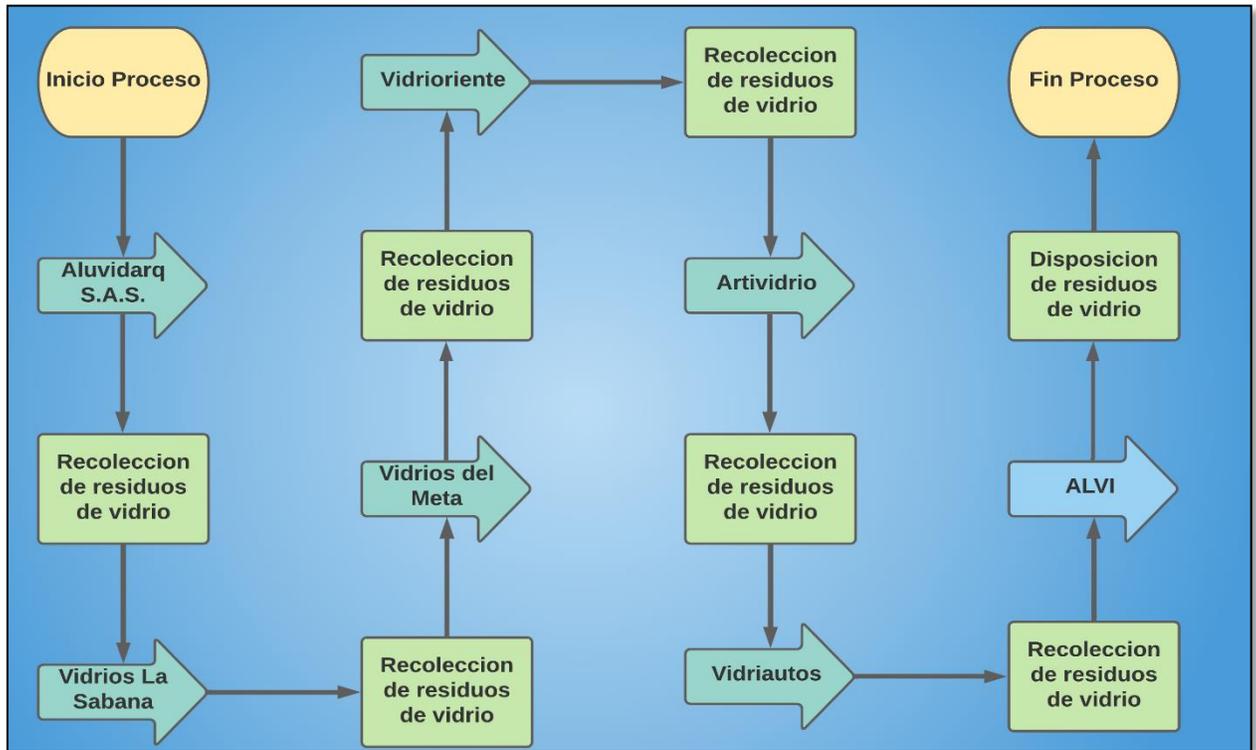
**Tabla 8:** *Ruta de recolección de los residuos de vidrio plano*

<b>Punto de partida</b>	<b>Distancia entre ubicaciones (Km)</b>	<b>Tiempo de recorrido (Minutos)</b>	<b>Destino</b>
<b>Aluvidarq</b>	5,4	14	La Sabana
<b>La Sabana</b>	2,0	7	Vidrios del Meta
<b>Vidrios del Meta</b>	0,068	1	Vidrioriente
<b>Vidrioriente</b>	1,7	7	Artividrio
<b>Artividrio</b>	3,2	13	Vidriautos
<b>Vidriautos</b>	7,3	18	ALVI Aluminio y Vidrio
<b>Total</b>	19.668	60	

Fuente Propia

Considerando el tiempo necesario para realizar la recepción y cargue de los residuos, proceso para el que se requieren 20 minutos en cada ubicación, este proceso tiene una duración total de 2 horas con 40 minutos. Este proceso tiene como primer destino las instalaciones de la empresa Aluvidarq S.A.S, considerando que esta es la que se encuentra más distante, continuando con las comercializadora de vidrio plano ubicadas en el sector de San Benito, y posteriormente por las demás organizaciones donde se realiza dicho proceso, terminando en las instalaciones de la empresa ALVI Aluminio y Vidrio, dicho proceso se expone mediante el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 7:** Diagrama de flujo proceso de recolección



Fuente: Propia.

Esta ruta se realiza de forma semanal considerando los niveles mensuales de residuos, por lo cual en cada ruta se proyecta la recolección de 682,5 kilogramos de residuos de vidrio plano; lo que le representaría a estas empresas una disminución de gastos facilitando la evacuación de estos desechos, además de generar alivio ante la acumulación de los mismos.

Considerando los horarios en los que estas empresas ejecutan sus procesos, este proceso se realiza los días viernes en el horario de tarde, ya que dicha jornada se minimizaría las afectaciones en el desarrollo de las funciones de las comercializadoras, además de que para ese día se cuenta con el acumulado semanal de residuos de los procesos realizados en la semana.

#### ***Requerimientos de transporte de residuos.***

Ante las cantidades y programación del proceso de recolección, su ejecución se realiza mediante un vehículo de carga que cuente con un diseño que permita el transporte de los

recipientes donde se depositan los residuos, por lo cual para este proceso se destina un vehículo con capacidad de carga de 1 tonelada, considerando las cantidades de residuos que serán suministradas semanalmente, además, de que este cuente con carrocería con puertas abatibles para facilitar al personal el proceso de cargue.

Ya que los residuos de vidrio plano se encuentran en pequeñas piezas de forma irregular, se utilizan canecas metálicas de 55 galones con abertura total en su cara superior, donde se deposita el material para ser transportado, las que además de evitar que se esparza durante el transporte, evita que el material recolectado tenga contacto directo con la carrocería, la cual podría afectarse ante el contacto directo con los residuos de vidrio.

Para este proceso se designan tres operarios, uno que será el conductor del automotor, quien a la vez asistirá de ser necesario, a los dos operarios en el proceso de cargue y descargue, quienes deben contar con los elementos de protección personal necesarios para dicho proceso y los requeridos para la manipulación de vidrio.

El vidrio presente bordes pronunciados con aristas cortantes que generan fácilmente laceraciones al contacto con la piel, por lo cual, los elementos de protección personal son indispensables para salvaguardar la integridad física de las personas que manipulan este material; dichos elementos son fabricados con materiales de alta resistencia a los cortes y son diseñados para evitar la exposición de cualquier parte del cuerpo ante dicho material. Estos elementos se relacionan en el anexo 4, que se encuentra al final de este documento.

#### ***Requerimientos de Almacenamiento.***

Como se ha relacionado anteriormente, los requerimientos de producción se basan en las cantidades de materia prima disponible, enfatizando también, en evitar el aumento de gastos adicionales por almacenamiento de material en exceso, aun así, se debe determinar los

requerimientos que permitan el acopio y disponibilidad de material antes de ingreso a proceso de producción.

El vidrio es un material inorgánico, y aun que permita su transformación en pequeñas piezas, en reposo este no emana ningún tipo de material particulado o sustancia que afecte la salud de los seres vivos, o altere las condiciones ambientales del entorno donde se encuentre almacenado.

Su almacenamiento se debe considerar principalmente a base de los requerimientos de producción tanto en su disponibilidad como por el proceso al que van a ser sometidos inicialmente, lo cual va ligado intrínsecamente con el proceso de producción y sus requerimientos de espacio y producción.

En estos aspectos, se considera que tanto el almacenaje, como los demás requerimientos para implementar el proceso de producción, no deben obstaculizar y/o desplazar los procesos que la empresa ALVI Aluminio y Vidrio ya tiene implementados y los cuales son la razón de ser de esta organización.

Considerando que semanalmente se realiza el acopio de 682,5 kilogramos residuos sólidos de vidrio plano, los cuales serán adquiridos mediante el proceso expuesto en el título anterior, en donde su ruta de recolección concluye en las instalaciones de la empresa ALVI Aluminio y Vidrio, donde se someterán al proceso de transformación.

El almacenaje de estos residuos, que son la materia prima del proceso de producción, se realiza de forma transitoria, en un recinto cerrado y cubierto, con el fin de evitar que este se encuentre expuesto a los factores ambientales, principalmente a la lluvia, ya que al reposar en canecas metálicas, estas se deterioran con facilidad por la humedad.

También se almacena la materia prima de esta forma, ya que al ser residuos de los procesos productivos de otras empresas, estos se encuentran en pequeñas piezas y es constante que por la ruptura de las mismas se genere esquirlas o material particulado, el cual puede ser arrastrado y esparcido por las corrientes pluviales, los que pueden desembocar en fuentes fluviales cercanas o sistemas de alcantarillado, representando alteraciones en los cuerpos de agua, y por consecuente en el sistema ambiental local.

La implementación de esta infraestructura para este proceso también se realiza con la finalidad de que el proceso de descargue y recepción de las materias primas, al igual que su selección y posterior introducción al proceso de producción no se vea afectado por las condiciones climáticas, al igual que no represente afectaciones al personal que los realiza.

### **Proceso de producción.**

Al contar con la materia prima disponible en el lugar de almacenamiento, se inicia el proceso de producción mediante la verificación y limpieza de los residuos sólidos de vidrio plano, ya que al llegar al proceso de fundición, si el material vertido presenta añadidos o elementos distintos afecta la calidad del producto final y en su aspecto físico ante, ya que ante la introducción de vidrios de tonos que no sean translucidos la tonalidad de las tejas presenta variaciones.

Por lo cual, este proceso inicia mediante el vertimiento de la materia prima en una tolva que va depositando gradual y uniformemente los residuos de vidrio plano sobre una línea transportadora, en la cual mediante inspección visual los operarios identifican y retiran los vidrio de otras tonalidades, al igual que todo tipo materiales o escoria que sean detectados; seguido a esto se pasa el material por medio rodillos magnéticos, con la intención de extraer cualquier elemento metálico ferroso.

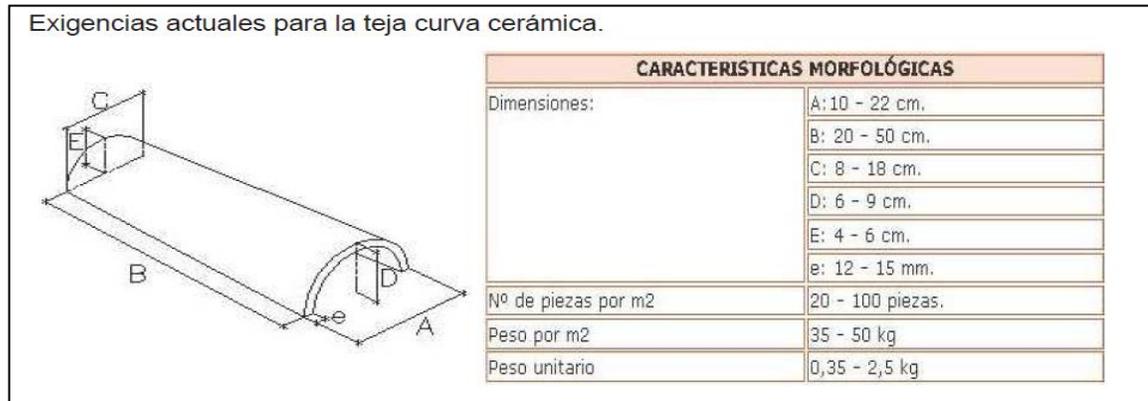
Este proceso es indispensable, ya que por distintos factores en las fuentes donde se generan los residuos de vidrio plano, pueden depositar distintos tonos o tipologías de vidrio en los contenedores donde se almacenan los residuos de vidrio plano traslucido y grabado, a la vez que el vidrio procedente de las empresas de aluminio y vidrio arquitectónico, puede presentar contaminantes como siliconas, cintas de polarizado e implementados en sus procesos de fabricación.

La materia prima sigue circundando a través de la banda transportadoras, hasta el proceso de triturado, con la finalidad de brindar un tamaño uniforme a las piezas de vidrio, ya que en los procesos donde resultan estos residuos sólidos, las piezas descartadas no cuentan con dimensiones similares. Las piezas uniformes son sometidas a un proceso de lavado para eliminar cualquier tipo de contaminante flotante que no se haya detectado como papel o plásticos.

La materia prima sigue moviéndose por medio de la banda transportadora, pasando por un ambiente controlado donde se elimina la humedad que presente del proceso de lavado, posteriormente es almacenado en silos, desde donde se van depositando gradualmente al proceso de fundición, el cual se realiza por medio de un horno de crisol con temperaturas que oxidan entre los 1300 a 1500°C, en los cuales el vidrio alcanza su punto de fusión pasando a estado líquido.

Al alcanzar dicho estado, el líquido es transportado en gotas por medio de canales al alimentador que de moldes metálicos que cuenten con las formas y dimensiones establecidas, que para este caso cuenta con una forma curvilínea, similar a un tronco cónico dividido de forma vertical, con lo que se obtendrían tejas curvas, según las especificaciones morfológicas expuestas por García, 2018, las cuales se aprecian en la siguiente imagen:

**Figura 8:** Morfología de las tejas curvas



Fuente: García (2018), La Teja Cerámica. Orígenes, análisis y estudios constructivos en Euskadi y la comunidad Valenciana.

Como se puede apreciar, las tejas convencionales en arcilla de este tipo, no presentan dimensiones unificadas, variando tanto en su largo (B) como en su ancho (A), por lo cual para este proceso de producción de tejas en vidrio, se consideraron las dimensiones más pequeñas que son de 20 cm de largo con 10 cm de ancho, y las dimensiones de 50 cm de largo con 22 de ancho la que corresponden a las de mayor medida expuestas en dicha imagen.

El vidrio plano dirigido a la arquitectura, presenta distintos grosores según su aplicabilidad, siendo aquellos de 10 mm implementados para la elaboración de envolventes y cubiertas para edificaciones (Alfonso, 2018) ya que cuentan con la resistencia de presión y ante impactos suficiente para dichas estructuras, por lo cual las tejas curvas que se obtienen en este proceso productivo cuentan con dicho grosor, ya que uno mayor no solo representaría mayor cantidad de materia prima, sino que se obtendrían un producto con mayor volumen y peso, a la vez que un producto con menor grosor cuenta con una fragilidad mayor, generando con facilidad su ruptura.

El vidrio tiene un peso de 2,5 kilogramos por metro cuadrado y por cada milímetro de grosor (Gamallo, 2015), lo que significa que en este proceso de producción se obtienen tejas

pequeñas con un peso de 8,74 kilogramos, mientras que las de mayor dimensión cuentan con un peso de 31,8 kilogramos.

Estas tejas permiten el aprovechamiento de la iluminación natural en interior, pero el vidrio por su estructura, ante la exposición directa a los rayos solares genera un efecto lupa (Corporación Nacional Forestal de Chile, 2016), lo que hace que los haces solares se magnifiquen presentando una mayor intensidad calorífica, lo que puede generar deterioro en los interiores como aumentar la temperatura térmica de los mismos, además, según el ángulo de inclinación, el vidrio puede reflejar dichos haces luminosos.

Esto representa un considerable riesgo en distintos aspectos, ya que este producto será implementado como cubierta ubicada en la parte superior de las estructuras habitacionales, por tales motivos, el molde donde se le da la forma de teja al vidrio fundido, presenta una superficie corrugada, con la finalidad de que las piezas moldeadas no presente una superficie completamente lisa en la arista que se encontrara expuesta al exterior, evitando dichos efectos.

Al finalizar el proceso de moldeo, se expondrán las piezas a un ambiente controlado, en el cual se bajara su temperatura hasta el punto de solidificación permita realizar su manipulación sin riesgo a que se deforme, lo que permite realizar inspección de cada pieza para determinar que cumpla con los requerimientos de producción.

Las piezas que cumplen con dichos requerimientos son trasladadas y ubicadas en el lugar destinado para el almacenamiento de productos terminados, donde reposan de forma transitoria hasta ser entregadas a los clientes por medio del proceso y/o canales de distribución; aquellas piezas defectuosas o que no cumplan con los requerimientos de producción, son reincorporadas al proceso de trituración para su posterior fundición dentro de esta misma línea productiva.

Considerando que el vidrio al ser sometido al proceso de fundición y transformación no pierde sus características intrínsecas, por cada kilogramo de material depositado se obtiene la misma cantidad al final de la línea productiva, por ende, mediante este proceso de producción que utiliza los residuos sólidos de vidrio plano traslucido y grabado generados mensualmente en la ciudad de Villavicencio, se transforma las 2,73 toneladas de dicho residuos en 312,25 tejas pequeñas o 85,84 tejas grandes.

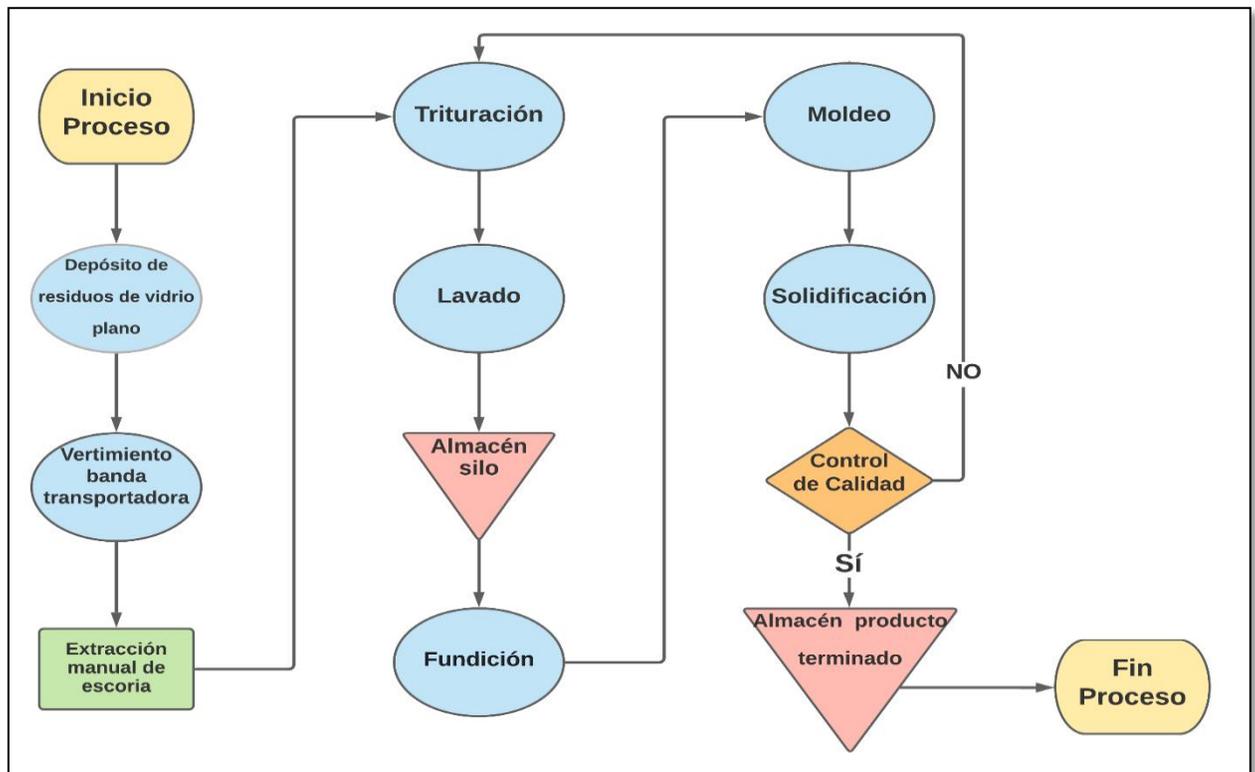
### **Etapas 3. Estandarización del Proceso de Productivo para la Fabricación de Tejas en Vidrio.**

Al determinar el proceso de producción necesario para la fabricación de tejas en vidrio, se determinaron las actividades necesarios para la transformación de los residuos de vidrio plano en tejas traslucidas, las cuales van dirigidas a satisfacer las necesidades de la industria de la construcción; cada apartado de dicho proceso se expone mediante el siguiente diagrama de proceso, considerando para ello el método y los procesos productivos que se requieren para la transformación de los residuos de vidrio solido en tejas traslucidas, la mayoría de estos se realizan de forma automática, en los cuales las actividades de los operarios se limita a la programación y control de indicadores de las maquinas que se utilizan para cada proceso de transformación.

Aun así, estos procesos en conjunto deben presentar una secuencia, y principalmente en el proceso de recolección de residuos sólidos se deben ejecutar un conjunto de tareas por parte de los operarios que lo llevan a cabo; en busca de estandarizar el proceso expuesto anteriormente y la secuencia entre tareas, se procedió a plasmarla mediante el cursograma de procesos, el cual se expone como el anexo 5 del presente documento, en el cual no se consideran los tiempos de

ejecución, ya que estos dependen directamente de diseño planta y la maquinaria implementada; a la vez, se detalla la secuencia de procesos por medio del siguiente diagrama de proceso:

**Figura 9:** Diagrama de proceso de la producción de teja curva en vidrio



Fuente: Propia

Mediante el presente proceso, se procede a realizar la estandarización de cada uno de procesos de forma general, considerando que algunos de ellos deben realizarse completamente mediante la interacción de hombre máquina, principalmente en aquellos que se realiza la transformación de la materia prima; en este apartado además de considerar dicho proceso, también se realizara estandarización del proceso de recolección y disposición de los residuos de vidrio plano, ya que de este depende en gran medida la cantidad y calidad los productos que se obtendrán.

## **Recolección**

Como se ha mencionado, este se realiza en las instalaciones de cada una de las organizaciones que generan residuos de vidrio plano en la ciudad de Villavicencio. Este proceso inicia con el arribo del personal que realiza la recolección a las instalaciones donde reposan dichos residuos, quienes verificaran de forma superficial la cantidad y calidad de los residuos que serán recolectados.

Esta inspección se realiza con la finalidad de determinar que los residuos que se van a recolectar cuenten con las condiciones solicitadas por los requerimientos de producción, verificando principalmente que estos sean residuos de vidrio incoloro, sea translucido o grabado, además de que presenten la menor cantidad posibles de objetos de otro material y/o basura. En caso de que se logre detectar una cantidad mayor de residuos de otra tipología de vidrio o de otros elementos, no se realizara el proceso de recolección, solicitando al personal de la empresa donde se presenta esta situación que realicen el proceso de selección de los residuos requeridos para su posterior acopio.

Se debe considerar que el almacenaje de estos residuos se lleva a cabo mediante la implementación de canecas metálicas con capacidad para 55 galones, las que al encontrarse vacías tiene un peso de 23 kilogramos aproximadamente, más el peso de los residuos de vidrio que se calcula como máximo en 90 kilogramos por cada caneca, representan un peso total de 113 kilogramos, los cuales debe ser movilizados desde donde se almacenan hasta el área de carga.

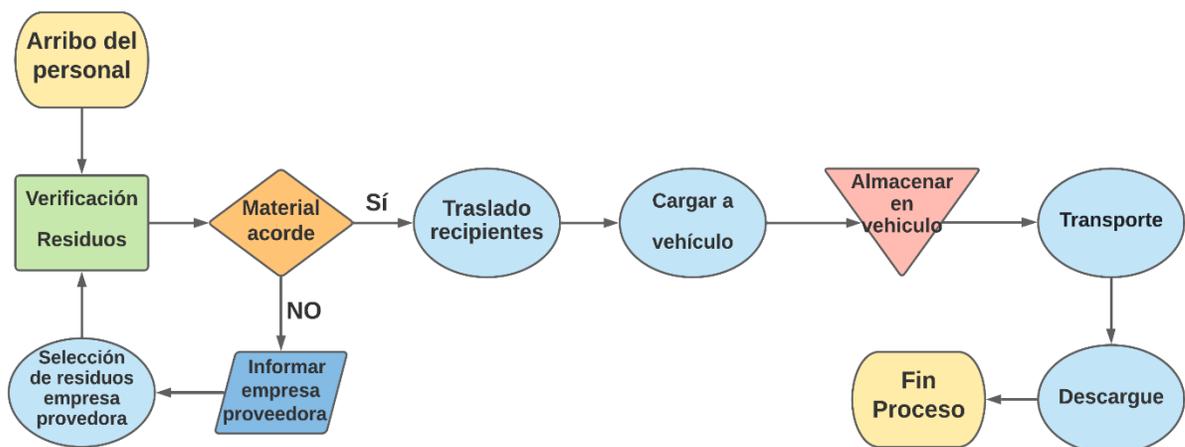
Como la cantidad de residuos sólidos proporcionados pueden variar en cantidad, se realizara el proceso de recolección solo de aquellos recipientes que tengan más de la mitad de su capacidad, lo que se realiza por parte de dos operarios cuando los recipientes estén a media capacidad, mientras que cuando estén un su máxima capacidad, se realizara apoyo a este proceso

por parte del conductor, con la finalidad de evitar lesiones o afectaciones a los operarios por levantar peso que sobrepase tanto su capacidad física como las cantidades recomendadas para este tipo de actividades. Es de vital importancia que este proceso se realice con los elementos de protección personal relacionados con anterioridad.

Con el fin de determinar los volúmenes suministrados por cada empresa, se diligenciará en este proceso el formato de recolección, que se presenta en el anexo 6 al final de este documento. Por último, los recipientes metálicos serán ubicados de forma organizada dentro del vehículo de carga y asegurados según sea el caso, para transportarse al próximo lugar donde se realizara el mismo procedimiento o a la planta de producción donde se descargarán y se pondrán en disposición.

Este proceso se explica con mayor detenimiento mediante el diagrama de proceso y cursograma analítico, los cuales se exponen en dicho orden a continuación. Dicho proceso se encuentran estandarizado para aquellas organizaciones donde se realiza la recolección y cuentan con las condiciones para su ejecución.

**Figura 10:** Diagrama del proceso de cargue



Fuente: Propia

**Tabla 9:** *Cursograma proceso de recolección*

Cursograma analítico de proceso							
<b>Proceso:</b> Recolección		<b>Inicia:</b> Inspección visual					
		<b>Finaliza:</b> Diligenciar formato de recolección					
Descripción	Tiempo	Símbolo					Observaciones
		○	□	D	⇨	▽	
Verificación visual de los residuos y su disposición	2 min		●				De no cumplir con las condiciones, no realizar
Traslado canecas al área de carga	6 min				●		
Cargar al vehículo	6 min	●					Realizar entre dos o mas operarios
Almacenaje en vehiculo	3 min					●	Asegurar los recipientes
Diligenciar formato de recolección	3 min	●					
	Total	2	1		1	1	

Fuente: Propia

Pero también se debe considerar que por distintos aspectos, principalmente en las empresas que transformar el vidrio plano, puede que los métodos y recipientes para la recolección de los residuos de dicho material presenten variaciones, pero desde que estos se encuentren almacenados o depositados en recipientes, a la vez que se cuenten con las condiciones para realizar el proceso de cargue, estos serán recolectado.

El proceso de descargue de los residuos recolectados, se ejecutara bajos los mismos parámetros que el proceso de cargue y por el mismo personal, el cual deberá informar sobre la cantidad de residuos recolectados en cada uno de los puntos de acopio, con el fin de determinar la cantidad de materia prima disponible para el proceso de producción.

### **Depósito de residuos**

Este proceso va directamente relacionado con la actividad de descargue, la cual se realiza al finalizar el recorrido de recolección de los residuos sólidos de vidrio plano en cada una de las organizaciones que lo suministran; al inicio de este se realiza verificación de que la información que se relaciona en el Formato de Recolección de Residuos de vidrio plano incoloro, corresponda con lo que va a entregar el personal del proceso de recolección.

Verificada la información y descargados los contenedores, se procede a realizar el pesaje de los mismos, esto en aras de determinar las cantidades de materia prima que suministran las organizaciones que los generan, a la vez que se determina el volumen de materias primas que se introducirán al proceso de producción, lo cual puede que no suceda inmediatamente seguido de su disposición, por lo cual también se debe considerar dentro de este proceso el almacenamiento de dichos residuos.

### **Vertimiento en banda transportadora**

La ejecución de este proceso depende directamente del diseño y recurso con que cuente la planta de producción, ya que el tipo y disposición del punto de alimentación de la banda transportadora afecta considerablemente los requerimientos para el vertimiento de los residuos de vidrio que se van a procesar.

Si el punto de alimentación de la banda requiere que se haga a un nivel elevado del suelo, este debe realizarse por medio de vehículos de carga o implementos que permiten al operario posicionar los residuos al nivel de altura requerido; mientras que si dicho punto se encuentra a nivel de suelo, puede realizarse de forma manual por dos operarios. También se plantea dicha alimentación al esparcir el contenido de los recipientes cerca de la banda e introducirlos en el punto indicado mediante el apoyo de herramientas manuales como palas, o por medio de vehículos que cuenten con la estructura para el arrastre de material.

Una vez realizado, los residuos de vidrio plano proceden a moverse mediante la banda transportadora, dentro de la cual se realizarán los procesos correspondientes hasta que los residuos de vidrio plano incoloro cuenten con las condiciones necesarias para ser ingresadas al proceso de fundición.

### **Extracción manual de escoria**

Al considerar las fuentes de donde se obtienen los residuos de vidrio plano, se considera que la existencia de contaminantes en dicho material sea mínimo, aun así, la presencia de cualquier tipo de vidrio de otro tipo u objeto de otro material puede generar alteraciones considerable en la calidad de productos que se obtendrá al final de la línea productiva.

Por ende el proceso de extracción de escoria es uno de los de mayor relevancia para obtener un producto de calidad y acorde a los requerimientos de producción, ya que es donde se extrae la mayor cantidad de escorio o elementos ajenos a los residuos de vidrio plano incoloro, logrando su primer paso transformación en una materia prima acorde para su transformación.

El material que circula en la banda transportadoras es verificado visualmente primeramente por dos operarios, posicionados cada uno al lado de la banda, quienes identificarán la escoria o basura de mayor dimensión que presente el material, a la vez que realizan la extracción manual los residuos de vidrio plano de distintos tonos o con cualidades que puedan afectar el proceso de producción, tales como espejos, vidrio reflectivos y laminados.

Continúo a este primer filtro, se disponen otros dos operarios que realizan el mismo proceso, pero enfocándose en detectar elementos más pequeños, al igual que objetos que el anterior personal no haya detectado. La banda transportadora debe movilizarse a una velocidad adecuada que permita la identificación y extracción de dicho elementos.

El lugar donde se realiza este proceso debe contar con los requerimientos de espacio e iluminación necesaria para su ejecución, además de que el personal que lo realiza debe contar con los elementos de protección personal, principalmente con guantes que protejan las manos de las laceraciones que pueda generar el vidrio, pero que a su vez permita la manipulación de los objetos detectados para su extracción.

Este proceso finaliza al pasar la banda transportadora con la materia que fluye en ella, por debajo de rodillos magnéticos, con los cuales se extrae los metales y elementos ferrosos que no se lograron detectar en la extracción manual de escoria; dentro de dichos elementos pueden hallarse tornillos, tuercas, remaches y otros elementos implementado en la fabricación de estructuras en aluminio arquitectónico.

### **Trituración**

Se proyecta que los residuos de vidrio solidos que se generan cuentan con dimensiones pequeñas pero estas presentan dimensiones y grosores irregulares, además de que es posible que se presenten residuos de dicho material de dimensiones considerables, por lo cual es necesario que estos residuos sean triturados con la intención de obtener una materia prima uniforme que permita estandarizar los requerimientos y tiempos del proceso de fundición.

El vidrio es un material frágil ante los impactos, por lo cual para este procedimiento se realiza por medio de trituradoras que mediante golpes transforman los residuos de vidrio plano en pequeñas piezas de dimensiones similares; la materia que ingresa a este proceso es el obtenido al extraer la escoria que presentaban los residuos. Una vez la materia prima cuenta con dichas características es vertida nuevamente en una banda transportadora para continuar con la circulación de la misma a los demás procesos.

### **Lavado**

El material granulado es sumergido mientras sigue circulando por medio de la banda transportadora, en una piscina de agua con la profundidad suficiente para que dicho material sea sumergido en su totalidad, esto con el fin de extraer cualquier tipo de material flotante que aun esté presente en la materia prima, principalmente papel y plástico, a la vez que permite el reposo de cualquier otro residuo presente.

Posteriormente es vertido en una malla vibratoria que permite la extracción del material particulado que no se logró desechar mediante agua, a la vez que se dirige aire al material granulado para permitir se secado, ya que para el almacenamiento del mismo requiere que este no presente humedad.

### **Almacén Silo**

La materia prima al estar completamente libre de contaminantes es depositado un silo de forma cónica, el en cual mediante sensores de volumen se puede identificar la cantidad de material granulado que se someterá al proceso del fundición, permitiendo determinar la cantidad real de materia prima que se transformara. Dentro de este silo, y por consecuencia de la gravedad el material granulado es depositado gradualmente en el horno donde se realiza el proceso de fundición.

### **Fundición**

El material granulado de vidrio incoloro es calentado gradualmente hasta alcanzar los 1300° a 1500°, temperatura en la cual el vidrio alcanza su punto de fusión (Vidrio España, 2017), lo que se logra mediante hornos de bucle con sistemas regenerativos, los que cuentan con un sistema de quemador en forma de “U” o bucle de ida y vuelta, el cual es alimentado con gas y comúnmente utilizado para la fabricación de vidrio doméstico (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2007)

Posteriormente el líquido es vertido a un canal por medio del cual es depositado en los moldes que le dan la forma requerida, en este recorrido el material fundido disminuye considerablemente su temperatura, por lo que el canal cuenta con un sistema adicional de inyectores de calor que elevan el material a las temperatura que presenta dentro del interior del horno.

El en libro “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio*” publicado en 2007 por el Ministerio de Ambiente de España, se especifica que al suministrarse el material por este sistema, el control de la temperatura debe ser riguroso, para evitar que el material alcance una temperatura en la cual su volumen no permita su circulación por el canal y desemboque para alimentar los moldes, lo que podría generar saturación en el horno.

### **Moldeo**

Esto se realizada mediante el método de moldeo por prensado, en el cual el vidrio en su estado líquido es vertido sobre una de las caras o piezas del molde, para posteriormente ser sellado con la otra cara del molde y mediante presión brindarle al vidrio la forma que del objeto que se requiere, que para este caso es similar a medio tronco cónico.

Los moldes que se utilizan en este tipo de procesos son fabricados en aleaciones de metales resistentes a altas temperaturas, por lo cual no se deforman al realizar el moldeo del vidrio en estado líquido; esto permite la estandarización de productos y su fabricación en masa, conservando sus dimensiones y estética.

Este proceso se realiza de forma mecánica por medio de prensas que manipulan los moldes y realizan la presión necesaria para obtener un producto acorde a los requerimientos de producción, lo cual también se realiza por este medio con la finalidad de crear productos estandarizados, además de permitir la optimización de este proceso y evitar la exposición de operarios al considerar las altas temperaturas en que se desarrolla.

### **Solidificación**

Al terminar el proceso de moldeo las piezas son extraídas y puestas en una banda transportadora que transita por un ambiente controlado, en el cual por medio de inyectores de

aire, se va disminuyendo gradualmente la temperatura de la pieza en vidrio obtenida, esto se realiza ya que la pieza aún se encuentra a una temperatura que conlleva a que el vidrio aun presente un grado de plastificación, por lo que al ejercer presión sobre el mismo puede causar alteraciones físicas en el producto obtenido.

Este proceso debe realizarse de forma gradual, ya que al disminuir abruptamente su temperatura las tejas en vidrio pueden fracturarse o cristalizarse, lo que conlleva que ante cualquier tipo de presión la pieza pueda romperse; este proceso también es necesario para permitir la manipulación de las piezas evitando las afectaciones anteriormente relacionadas.

### **Control de Calidad**

Este proceso se realiza por medio de escáner, el cual detecta cualquier tipo de irregularidad en las tejas de vidrio obtenidas, verificando sus dimensiones, identificando la presencia de fisuras o agrietamientos, además de determinar que dichas piezas cuenten con la tonalidad y translucidez requerida.

Este proceso, al igual que en toda empresa de manufacturas es de vital importancia para suministrar un producto que satisfaga a cabalidad las necesidades de los clientes; aquellas piezas que no cuentan con las características acorde a los requerimientos de producción, son reintegradas al proceso de trituración directamente para su reprocesamiento.

### **Almacén producto terminado**

Las tejas de vidrio que cumplen con los estándares de calidad, son las piezas ya terminadas, por lo cual estas son recolectadas y almacenadas en el almacén de productos terminado, donde reposaran hasta su extracción para el proceso de venta y/o distribución.

El vidrio es un material que no altera las condiciones del ambiente donde se encuentra depositado, a la vez que no emana ningún tipo de material particulado, por lo cual el

almacenamiento de estas tejas debe tener como enfoque la protección de las mismas, evitando su exposición a posibles impactos, los cuales pueden conllevar a fracturaciones parciales o totales del producto.

Este material también presenta gran resistencia a la corrosión de factores ambientales como la humedad o exposición directa a los rayos solares, por lo cual al encontrarse adecuadamente almacenadas, las tejas en vidrio no se alteraran ni presentara alteraciones en su estructura, por lo cual pueden ser almacenadas por tiempo indefinido con el mínimo de requerimientos para este proceso, al igual que de no necesitarse rotaciones en inventario, limitándose este proceso a la capacidad del almacén.

## Conclusiones

Las cantidades de residuos sólidos de vidrio plano presentan volúmenes considerables en la ciudad de Villavicencio, y ante la falta de oportunidades para su aprovechamiento o reutilización, a futuro pueden llegar a representar un considerable factor de contaminación ambiental, tanto en dicha urbe como a nivel nacional.

Por parte de los entes gubernamentales, es notable la falta de gestión que incentive el reciclaje de los residuos de vidrio plano, lo que se puede identificar mediante el Informe Nacional de Aprovechamiento de año 2016, el cual es realizado por la Superintendencia de Servicios Públicos en colaboración con el gobierno nacional, documento en que se relaciona el vidrio plano como un residuo no aprovechable, y mediante la verificación de los informes emanados posteriormente por dichas entidades, se logró identificar que este tipo de residuos si quiera es relacionado.

El vidrio en todas sus presentaciones es un material que se puede reciclar infinidad de veces (Vidrio España, 2017), lo que lo tipifica como un producto representante del reciclaje, el que puede aprovecharse para la creación de productos de consumo ya estandarizados y establecidos en el mercado, o nuevos productos para el consumo, permitiendo el desarrollo de industrias sostenibles, a la vez que permite la disminución de la contaminación ambiental consecuentes ante el desecho de los residuos de este material.

El desarrollo de este trabajo tiene como finalidad el aprovechamiento de los residuos de vidrio plano, evitando que estos puedan representar a futuro un factor de contaminación para el medio ambiente, lo que permite enmarcar esta investigación dentro de los parámetros establecidos en el marco del Desarrollo Sostenible, el cual es uno de los pilares de los Objetivos

de Desarrollo Sostenible, proyectados por los países integrantes de la ONU, entre los cuales se encuentra Colombia.

Los beneficios ambientales que puede generar la aplicación de este proyecto no solo se limita a la disminución de los niveles de residuos sólidos, sino que también proyecta un proceso productivo que genera niveles de contaminación menores a los que generan aquellos procesos de fabricación para la creación de productos en vidrio con materias primas vírgenes.

Aparte de la disminución de la contaminación ambiental, la fabricación de tejas translúcidas, permite la construcción de estructuras habitacionales que aprovechen la iluminación natural en el interior de las mismas, lo que genera repercusiones en el consumo de energía eléctrica, disminuyendo los costos de funcionamiento y el consumo de recursos naturales.

## **Recomendaciones**

El desarrollo de esta investigación logro determinar una aproximación de los niveles de residuos sólidos de vidrio plano que se generan en la ciudad de Villavicencio, la cual es una ciudad en etapa de desarrollo, por lo que se considera relevante el desarrollo de investigaciones que permitan identificar dicho aspecto a nivel nacional, ya que el vidrio es un material que puede generar distintas afectaciones al medio ambiente ante su inadecuada disposición, lo que significa que la problemática que incentivo el desarrollo de este trabajo puede desarrollarse a nivel nacional.

El proceso productivo proyectado permite el aprovechamiento de los residuos sólidos de vidrio plano incoloro, los cuales representa solo el 67,24% del total de los residuos que se generan en Villavicencio, por lo cual el desarrollo de proyectos similares que aprovechen los vidrio de otras tipologías, contribuiría a la disminución de los residuos de dicho material en su totalidad, ya que su principal diferencia es la tonalidad que presentan en su estado final, lo que conllevaría a mitigar la contaminación ambiental que puede generar este tipo de material.

La probabilidad de alcanzar dicha meta, depende no solamente de generar procesos de aprovechamiento del vidrio plano, sino también de la adecuada disposición y clasificación por parte de las empresas que generan los residuos en este material, para lo cual el desarrollo de estrategias ambientales de clasificación y disposición por parte de la industria y de los entes gubernamentales, debe mostrar un enfoque más real sobre esta problemática y una mayor gestión por dichas partes.

A nivel académico, se recomiendo el desarrollo de investigaciones que permitan hondear más en esta problemática, a la vez que tengan la finalidad de realizar un aprovechamiento de estos residuos, lo cual se sugiere ante el limitado desarrollo de investigaciones académicas que

tienen relación con el vidrio plano y su aprovechamiento, ya que las que tienen la finalidad de reciclar vidrio, se enfocan en los residuos de esta material de un solo uso o de consumo doméstico, a la vez que tienen un enfoque únicamente de recolección, sin plantear un método o procesos que permitan el aprovechamiento de los mismos, principalmente a nivel nacional.

Puntualmente sobre el desarrollo de este proyecto, se recomienda realizar investigaciones que permitan determinar sus costos de ejecución y su viabilidad ante la introducción en el mercado de las tejas de vidrio, las cuales van enfocadas a la industria de la construcción y remodelación, como producto sustituto a las tejas convencionales.

### Lista de referencias

- Alderete, E., Vega, W. A., Kolody, B., & Aguilar-Gaxiola, S. (2000). Lifetime prevalence of and risk factors for psychiatric disorders among Mexican migrant farmworkers in California. *American Journal of Public Health*, 90, 608 – 614.
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- Abdeen, H. & Shihada, S. (2017) Properties of fired clay bricks mixed with waste glass. *Journal of Scientific Research and reports*, (13), 1 – 9.  
[https://www.researchgate.net/publication/315936390\\_Properties\\_of\\_Fired\\_Clay\\_Bricks\\_Mixed\\_with\\_Waste\\_Glass](https://www.researchgate.net/publication/315936390_Properties_of_Fired_Clay_Bricks_Mixed_with_Waste_Glass)
- Alfonso, C. (2018). *Análisis de Diferentes Clases de Vidrio, para la Elaboración de una Ayuda Gráfica como Soporte Técnico, que Considere su Características Térmicas, Físicas y Ópticas*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16109>
- Alfonso, S., Lince, M. & Luis, I. (2010). *Diseño del Sistema Logístico de la Cadena de Abastecimiento del Desperdicio y Desechos del Vidrio en Colombia para Exportar a Chile*. [Tesis de grado, Universidad del Rosario].  
<https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/2014>
- Álvarez, B., Gonzáles, J. & Quevedo, D. (2019) *Materiales y Prácticas de Construcción Sostenible, Construcción Sostenible en Villavicencio (Meta)*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/11364>

- Benavidez, J., Betancourt C., Mahecha, L. & Suarez, S. (2019) La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, (15), 224 – 244.  
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/5408>
- Castaño, J., Gómez, A., Misle, R., Lasso, L. & Ocampo, M. (2013) Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectiva y limitantes. *Tecnura*, (17), 121 – 129. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6933>
- Chavarro, D., Hernández, A., Olaya, A., Montenegro, I. & Tovar, G. (2017) Los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Documento de Trabajo*, 1(0). [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ctei\\_y\\_ods\\_-\\_documento\\_de\\_trabajo.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ctei_y_ods_-_documento_de_trabajo.pdf)
- CONAF (2016) Plan de protección contra incendios forestales. Manual con medidas para la prevención de incendio forestales. Comuna Vallenar. Temporada 2016 - 2017.  
[https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1510588343PPCIFVallenar.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1510588343PPCIFVallenar.pdf)
- Gamallo, A. (2015) *Nuevas Soluciones para la Caracterización de Envoltentes de Vidrio*. [Tesis de grado, Universidade Da Coruña]. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/14906>
- García, N. (2018) *La Teja Cerámica, Orígenes, Análisis y Estudios Constructivos en Euskadi y la Comunidad Valenciana*. [Tesis Final de Master, Universitat Politècnica Valenciana].  
<https://riunet.upv.es/handle/10251/131914>
- González, A. (2017) *Documentación del Proceso Artesanal y Contemporáneo del Ladrillo y la Teja en Arcilla Fabricados en la Vereda El Olivo (Cogua – Cundinamarca)*. [Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional].  
<http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/10046>

- Hernández, M. & Sobalvarro K. (2015) *Estudio a Nivel de Factibilidad del Proyecto de Producción de Vidrio Plano Reciclado para el Periodo 2014 – 2018*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Nicaragua]. <https://core.ac.uk/download/pdf/230865449.pdf>
- Huérffano, D. (2018) *Plan de Negocios en Marcha para la Bodega de Reciclaje Peldar en la Ciudad de Villavicencio*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/3970>
- Ministerio del Medio Ambiente de España (2017) Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de la fabricación del vidrio. [http://prtr-es.es/Data/images/Gu%C3%ADa-MTD-en-Espa%C3%B1a-Sector-Vidrio.pdf](http://prtr.es.es/Data/images/Gu%C3%ADa-MTD-en-Espa%C3%B1a-Sector-Vidrio.pdf)
- Mousalli, G. (2015) Métodos y diseño de investigación cuantitativa. *Revista Researchgate*. [https://www.researchgate.net/publication/303895876\\_Metodos\\_y\\_Disenos\\_de\\_Investigacion\\_Cuantitativa](https://www.researchgate.net/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa)
- Novas, S. (2015) *El Vidrio como Material Estructural. Tipologías Estructurales del Vidrio a Través de un Recorrido por Obras Significativas de los Últimos Años*. [Tesis de grado, Universidade Da Coruña]. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/16140>
- Osorio, J., Salinas, G. & Victoria, A. (2013) Impacto del material reciclado en los inventarios de materias primas de una empresa manufacturera. *Revista EIA*, (10), 91 – 101. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/100>
- Puig de Francisco, N. (2020) *Notre Dame Paris. Análisis y Rehabilitación de la Cubierta*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. [http://oa.upm.es/57952/1/TFG\\_20\\_Puig\\_de\\_Francisco\\_Natalia.pdf](http://oa.upm.es/57952/1/TFG_20_Puig_de_Francisco_Natalia.pdf)

Ronderos & Cardenas (2018) Sector vidrio, estudio de mercado.

<https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/Bogota/es-es/file/Estudio%20de%20Mercado%20-%20Vidrio.pdf>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios de Colombia (2017) Informe nacional de aprovechamiento – 2016. <https://www.superservicios.gov.co/sala-de-prensa/de-interes/informe-nacional-de-aprovechamiento-2016>

Vidrio España (2017) Contribución económica, ambiental y social del sector del vidrio en España. <https://www.vidrio.org/wp-content/uploads/2017/11/informe-Vidrio-Espana-Economia-Circular-Contribucion-Economica-Ambiental-Social-2014-2016.pdf>

Villegas, A. (2012) *Uso de Materiales Reciclados para la Construcción*. [Tesina, Universidad Veracruzana].

[https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/30606/VillegasRomero.pdf?sequence=](https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/30606/VillegasRomero.pdf?sequence=1)

## Anexos

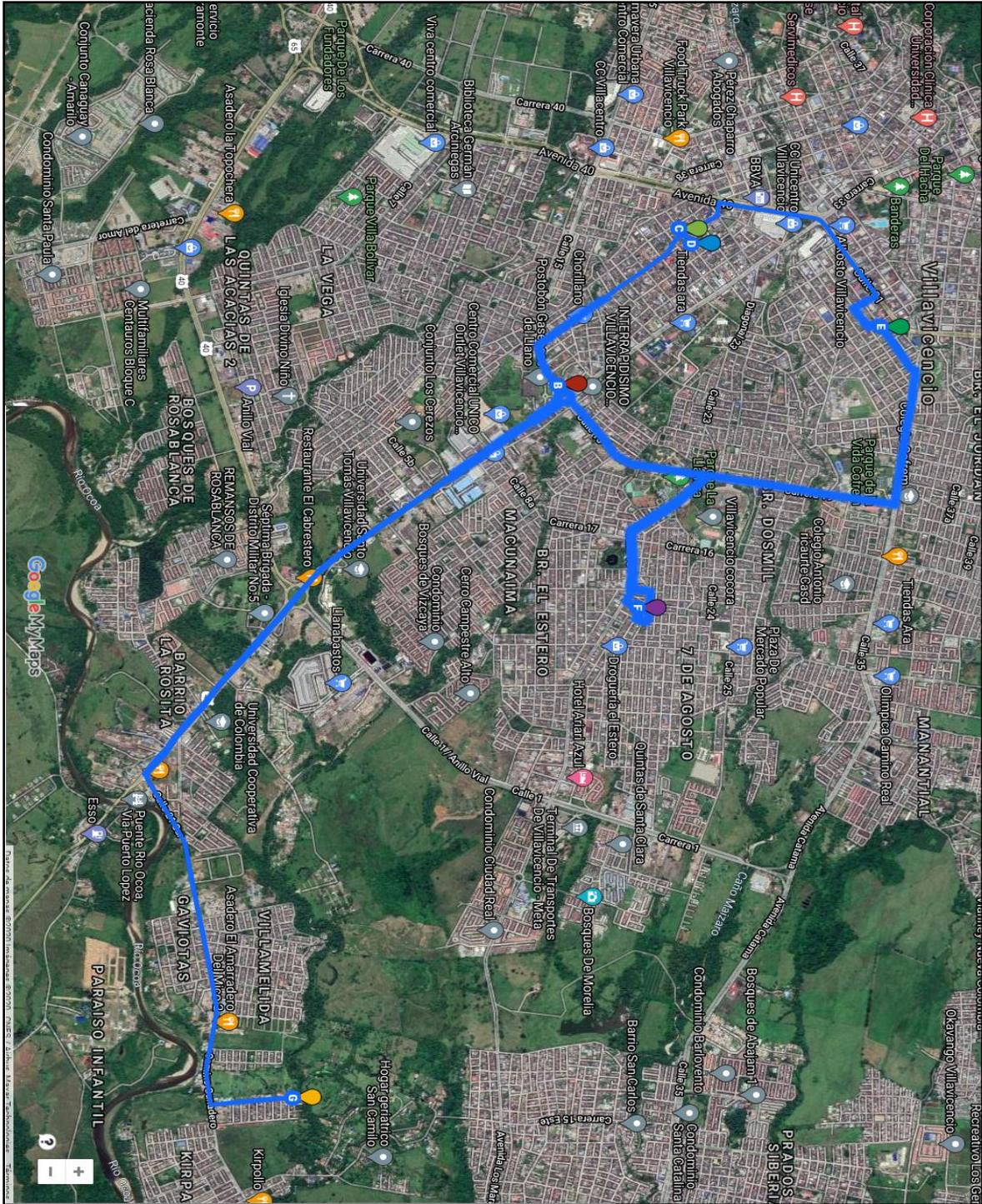
### Anexo 1 – Encuesta empresas comercializadoras de vidrio plano

Empresa					
Ubicación					
Teléfono					
Tiempo de funcionamiento					
Mediante esta encuesta se relacionarán las cantidades en el transcurso mensual (unidades por mes)					
<b>Vidrio transparente (traslucido)</b>					
Unidades adquiridas				Unidades vendidas	
Residuos solidos	SI		NO		Cantidad
Motivo					
Almacenaje y/o disposición:					
<b>Vidrio grabado y/o martillado</b>					
Unidades adquiridas				Unidades vendidas	
Residuos solidos	SI		NO		Cantidad
Motivo					
Almacenaje y/o disposición:					
<b>Otros tipos de vidrio (tonos)</b>					
Unidades adquiridas				Unidades vendidas	
Residuos solidos	SI		NO		Cantidad
Motivo					
Almacenaje y/o disposición:					
<b>Proceso de evacuación y/o disposición final de residuos</b>					
Método					
Empresa y/o entidad encargada:					
Costo del proceso:					
Lugar de disposición final					
Finalidad y/o utilización:					

**Anexo 2 – Encuesta empresas transformadoras de vidrio plano**

Empresa						
Ubicación						
Teléfono						
Tiempo de funcionamiento						
Procesos en los que se implementa vidrio:						
Mediante esta encuesta se relacionarán las cantidades en el transcurso mensual (unidades por mes)						
<b>Vidrio transparente (traslucido)</b>						
Unidades adquiridas		Residuos solidos	SI		NO	
Cantidad		Grosor				
Motivo:						
Aprovechamiento de residuos:		SI		NO		
Finalidad:						
Almacenaje residuos aprovechados:						
Almacenaje residuos sólidos de vidrio:						
<b>Vidrio grabado y/o martillado</b>						
Unidades adquiridas		Residuos solidos	SI		NO	
Cantidad		Grosor				
Motivo:						
Aprovechamiento de residuos:		SI		NO		
Finalidad:						
Almacenaje residuos aprovechados:						
Almacenaje residuos sólidos de vidrio:						
<b>Otros</b>						
Unidades adquiridas		Residuos solidos	SI		NO	
Cantidad		Grosor				
Motivo:						
Aprovechamiento de residuos:		SI		NO		
Finalidad:						
Almacenaje residuos aprovechados:						
Almacenaje residuos sólidos de vidrio:						
<b>Proceso de evacuación y/o disposición final de residuos</b>						
Método		Encargado:				
Costo del proceso:						
Lugar de disposición final						
Finalidad y/o utilización:						

### Anexo 3 – Ruta de Recolección



**Anexo 4 – Elementos de Protección Personal (EPP): Proceso de Recolección**

<b>EPP</b>	<b>Material</b>	<b>Protección</b>
 Gorro vidriero.	Tela de carnaza con ojetes en aluminio	Cabeza, orejas, mejillas y cuello
 Gafas de protección industrial	Policarbonato	Ojos
 Guantes	Carnaza	Manos
 Camisa para vidriería	Carnaza con ojetes en aluminio	Dorso superior, brazos y antebrazos
 Botas punta de acero	Cuero natural o sintético, con punta en acero	Pies y dedos
 Pantalón	Pantalón jean, con protección con ojetes en aluminio.	Piernas y muslos

### Anexo 5 – Cursograma proceso de producción

<b>Proceso:</b> Fabricación de tejas en vidrio  <b>Inicia:</b> Verificación visual de los residuos y su disposición  <b>Finaliza:</b> Almacenamiento producto terminado					
Descripción	Símbolo				
	○	□	D	⇨	▽
Verificación visual de los residuos y su disposición					
Traslado canecas al área de carga					
Carga al vehículo					
Almacenaje en vehículo					
Diligenciar formato de recolección					
Descargue					
Verificación formato de recolección					
Pesaje de contenedores					
Almacenamiento de residuos de vidrio plano					
Alimentación banda transportadora					
Verificación visual del material					
Extracción escoria					
Extracción magnética de elementos ferrosos					
Triturado					
Sumergimiento de material en agua					
Vibración de material granulado					
Secado de material granulado					
Almacenaje en silo					
Determinar cantidad de materia prima					
Vertimiento de material en el horno					
Calentamiento gradual del vidrio					
Vertimiento de líquido fundido al alimentador					
Alimentación de moldes con el líquido fundido					
Moldeo por prensado					
Extracción de piezas					
Disminución de la temperatura de las piezas					
Verificación estándares de calidad					
Extracción piezas defectuosas					
Almacenamiento producto terminado					
<b>Total:</b>	19	5	0	1	4

Anexo 6 – Formato de Recolección

### Recolección de residuos sólidos de vidrio plano incoloro

Fecha: \_\_\_\_\_

Responsable: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_ Responsable: \_\_\_\_\_

- Tipo de recipiente:**
- Metálico
  - Plástico
  - Lona
  - Bolsa

- Capacidad:**
- Kilogramos
  - Centímetro cúbicos
- \*No aplica para bolsas y lonas

- Llenado:**
- Lleno
  - Parcial
  - Medio

- Tipo de residuos:**
- Marcar con X donde corresponda

Tipo recipiente	Capacidad	Cantidad/ Unidades	Llenado	Tipo de Residuos	
				Incoloro	Grabado

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_