

**Determinación de la resistencia a flexión en vigas manufacturadas en material plástico
para su utilización en la construcción de puentes peatonales colgantes**

Carlos Andrés Sterling Curaca

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI
Ingeniería Industrial
2021

**Determinación de la resistencia a flexión en vigas manufacturadas en material plástico
para su utilización en la construcción de puentes peatonales colgantes**

Carlos Andrés Sterling Curaca

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Director:

Jhon Erickson Barbosa Jaimes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Ingeniería Industrial

2021

Dedicatorias

Este trabajo es dedicado principalmente a Dios por ser mi guía, y por permitirme llegar a este momento fundamental de mi preparación profesional. A mi madre, que trabajo con muy poco descanso, en el campo o en una casa de familia para brindarme la oportunidad de prepararme académicamente en mis primeros años de vida, sé que este logro personifica su sueño por ese motivo es tan especial para ella como lo es para mí. A mi padre, que hoy desde el cielo me acompaña, gracias a su legado, enseñanzas y valores inculcados. A mi familia y en especial a mi hermana Sandra por su respaldo incondicional. A mi compañero de estudio universitario ingeniero Alberto Bolívar, por acompañarme en las traspas de estudio. Al ingeniero Jaime Andres mi socio y hermano de corazón, porque junto a él formamos conocimiento a través del emprendimiento de nuestra empresa. A el amor de mi vida, Deicy Milena Iquira, por ser mi cómplice de aventuras y apoyarme en todo, y permitirme ser su esposo y el padre de Andres Santiago, para quien debo ser siempre su ejemplo, son ustedes mi mayor motivación para salir adelante y cumplir mis metas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por abrirme sus puertas, en especial a la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI, y en especial al Ingeniero Fabio

Ossa Ortega por todo el apoyo que me brindo para consolidar este gran sueño.

De igual forma, agradezco a mi director de Tesis, ingeniero Jhon Erickson Barbosa Jaimes, que gracias a sus orientaciones y correcciones hoy puedo culminar este proyecto. A los Profesores y compañeros de estudio que me han visto crecer como persona, gracias por su tiempo, sus conocimientos y respaldo hoy puedo decir lo logre.

Resumen

El presente proyecto se realiza en base al aprovechamiento del plástico que es considerado uno de los principales residuos contaminantes del medio ambiente y que, a su vez, causa daños irreparables al planeta. Se profundizará en la determinación de resistencia a flexión en vigas manufacturadas en material plástico reciclado para su uso e implementación en procesos relacionados con la construcción y elaboración de puentes peatonales colgantes, teniendo en cuenta información obtenida a través de pruebas de laboratorio, en ese sentido poder determinar la flexión en vigas manufacturadas en material plástico para su utilización en la construcción de puentes peatonales colgantes. Lo anterior tiene la finalidad de mitigar los impactos ambientales generados por nuestra sociedad, mediante el aprovechamiento de este residuo (plástico) en procesos de construcción civil, transformándolo en productos alternativos a los existentes entre ellos vigas, puentes peatonales entre otros; obteniendo como se mencionaba anteriormente, materiales alternos a los convencionales como materia prima, dándole paso a la construcción sostenible y amigable con el medio ambiente. Este proyecto se convierte en una importante alternativa de solución a la problemática generada por los desechos de este residuo, a los cuales no se les da un adecuado manejo ni aprovechamiento, aportando en su reducción, reutilización y reciclaje. Además de promover la innovación y sostenibilidad así como también generación de valor agregado en sistemas de producción y consumo mediante la optimización, reciclaje y aprovechamiento de materiales; implementando la economía circular mediante alternativas factibles y viables como el aprovechamiento de este residuo como refuerzo de materiales, dando a conocer nuevas formas de producción, consumo y aprovechamiento de estos residuos, aportando en la disminución de carga de los rellenos sanitarios.

Palabras clave: Resistencia a flexión, vigas, material plástico, aprovechamiento.

Abstract

This project is carried out based on the use of plastic, which is considered one of the main polluting residues of the environment and which, in turn, causes irreparable damage to the planet. The determination of flexural resistance in beams manufactured in recycled plastic material will be deepened for its use and implementation in processes related to the construction and elaboration of suspension pedestrian bridges, considering information obtained through laboratory tests, in that sense to be able to determine the bending in beams manufactured in plastic material for use in the construction of suspended pedestrian bridges. Regarding the information above, it has the purpose of mitigating the environmental impacts generated by our society, through the use of this waste (plastic) in civil construction processes, transforming it into alternative products to the existing ones, including beams, and pedestrian bridges, among others; Obtaining, as mentioned above, alternative materials to conventional ones as raw material, giving way to sustainable and environmentally friendly construction. In this sense, this project becomes an important alternative solution to the problems generated by the waste of this residue, which is not given proper management or use, contributing to its reduction, reuse, and recycling. Likewise, to promoting innovation and sustainability as well as generating added value in production and consumption systems through the optimization, recycling, and use of materials; implementing the circular economy through feasible and viable alternatives such as the use of this waste as a reinforcement of materials, revealing new forms of production, consumption, and use of this waste, contributing to the reduction of the load of sanitary landfills.

Keywords: Flexural strength, beams, plastic material, exploitation.

Tabla de Contenido

Lista de Tablas	10
Lista de Figuras.....	11
Lista de Apéndices	13
Introducción.....	14
Planteamiento del Problema	15
Justificación	18
Objetivos.....	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Marco Teórico	21
El Origen y Desarrollo de los Plásticos	21
La Industria de los Plásticos en Colombia.....	22
Clasificación del Plástico	23
Termoplásticos	23
Termofijos.....	24
Elastómeros	24
Polietileno de Alta Densidad PEAD	24
Economía Circular	25
Resistencia a Flexión en Vigas.....	26
Fanja Elástica OB	26
Fanja Plástica.....	27
Marco Conceptual.....	28

Definiciones	28
Contaminación	28
Viga	28
Flexión.....	28
Reciclaje	28
Puente Colgante	28
Plástico	28
Aprovechamiento.....	29
Reutilización.....	29
Recuperación	29
Marco Legal.....	30
La Constitución Nacional de Colombia.....	30
Las Leyes de Congreso de la República	30
Decretos y Reglamentaciones Nacionales	30
Política de Producción más Limpia	30
Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos	31
Metodología.....	33
Descripción del Proceso de Adquisición de la Materia Prima	33
Compra del Material	34
Molición	34
Empaque	35
Almacenamiento	35
Descripción del Proceso de Elaboración del Producto	36

Clasificación del Polímero a Emplear	36
Pesaje del Polímero	37
Aditivo Estabilizante al 2%	37
Mezcla	38
Proceso de Extrusión y Moldeado	38
Enfriamiento	39
Retiro Producto del Molde	39
Ensayos Mecánicos de Flexión a los Plásticos Desarrollados	40
Análisis, del Diseño Propuesto	41
Vista en Planta General	42
Sección Central Vista en Planta, y Área de Influencia.....	42
Vista Lateral General.....	43
Sección Vista Latera.....	43
Sección Vista Frontal	44
Resultados y Evaluación de la Resistencia de Vigas Construidas con este Material Plástico, de Acuerdo a un Diseño Propuesto, y, a las Condiciones de Trabajo en un Puente Colgante	44
Resultados.....	44
Evaluación	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	63
Apéndices	66

Lista de Tablas

Tabla 1.	<i>Legislación ambiental aplicable y actual.....</i>	32
Tabla 2.	<i>Pruebas de Laboratorio</i>	40

Lista de Figuras

Figura 1.	<i>Déficit de capacidad de los rellenos sanitarios, 2015-2030</i>	<i>16</i>
Figura 2.	<i>Descripción del proceso de adquisición de la materia prima</i>	<i>33</i>
Figura 3.	<i>Compra del material</i>	<i>34</i>
Figura 4.	<i>Proceso de molido.....</i>	<i>34</i>
Figura 5.	<i>Empaque del material molido.....</i>	<i>35</i>
Figura 6.	<i>Almacenamiento del material empaçado</i>	<i>35</i>
Figura 7.	<i>Descripción del proceso de elaboración del producto</i>	<i>36</i>
Figura 8.	<i>Clasificación del material plástico (Polímero) de polietileno de alta densidad ...</i>	<i>36</i>
Figura 9.	<i>Pesaje del material plástico de polietileno de alta densidad</i>	<i>37</i>
Figura 10.	<i>Aditivo estabilizante.....</i>	<i>37</i>
Figura 11.	<i>Realización proceso de extrusión y se pasa al molde</i>	<i>38</i>
Figura 12.	<i>Enfriamiento producto dentro del molde.....</i>	<i>39</i>
Figura 13.	<i>Retiro producto del molde</i>	<i>39</i>
Figura 14.	<i>Comportamiento probetas de ensayo</i>	<i>41</i>
Figura 15.	<i>Vista en planta general.....</i>	<i>42</i>
Figura 16.	<i>Sección central vista en planta, y área de influencia.....</i>	<i>42</i>
Figura 17.	<i>Vista lateral general.....</i>	<i>43</i>
Figura 18.	<i>Sección central vista lateral</i>	<i>43</i>
Figura 19.	<i>Sección vista frontal.....</i>	<i>44</i>
Figura 20.	<i>Viga transversal (metros) del puente colgante peatonal.....</i>	<i>45</i>
Figura 21.	<i>Trapecios (metros) (viga transversal)</i>	<i>46</i>
Figura 22.	<i>Viga longitudinal (metros) del puente colgante peatonal</i>	<i>47</i>

Figura 23.	<i>Viga longitudinal (metros) del puente colgante peatonal</i>	<i>48</i>
Figura 24.	<i>Baranda pieza diagonal (metros) del puente colgante peatonal</i>	<i>49</i>
Figura 25.	<i>Baranda pieza vertical (metros) del puente colgante peatonal</i>	<i>50</i>
Figura 26.	<i>Baranda pieza horizontal (metros) del puente colgante peatonal</i>	<i>51</i>
Figura 27.	<i>Carga uniformemente distribuida</i>	<i>54</i>
Figura 28.	<i>Carga uniformemente distribuida</i>	<i>55</i>
Figura 29.	<i>Carga uniformemente distribuida</i>	<i>55</i>

Lista de Apéndices

Apéndice A.	<i>Principales propiedades físicas del Polietileno de alta densidad</i>	<i>66</i>
Apéndice B.	<i>Principales propiedades químicas del polietileno de alta densidad.....</i>	<i>67</i>
Apéndice C.	<i>Principales propiedades mecánicas del Polietileno de alta densidad.....</i>	<i>68</i>

Introducción

El excesivo consumo de materiales plásticos caracterizados por tener una vida útil corta es una problemática que se viene presentado en las últimas décadas en la sociedad, lo que ha conllevado a un aumento de volumen en los rellenos sanitarios y alta preocupación por parte de las entidades de control ambiental.

El reciclaje y aprovechamiento del plástico es una alternativa de lograr e implementar una economía sostenible, que involucre especialmente al sector de manufactura a innovar con nuevos productos y mejorar cada uno de sus procesos de producción en beneficio del medio ambiente, convirtiendo la economía lineal tradicional, en una economía circular que optimiza el uso de materiales mediante la innovación, generación de empleo y reducción de costos de materias primas, convirtiéndose en una herramienta estratégica con gran valor en la sociedad por sus innumerables ventajas y aportes en los sectores económico, empresarial, social y ambiental.

En este orden de ideas, se genera conciencia ambiental en la sociedad, modificando la forma de vivir y consumir de las personas, dando paso a la construcción sostenible la cual tiene la finalidad de mitigar los impactos ambientales generados por empresas u organizaciones enfocadas en el sector de construcción, mediante el remplazo de materiales existentes por alternos que permitan la reducción del uso de recursos naturales y generación de residuos.

Planteamiento del Problema

El plástico está formado por polímeros que son derivados del petróleo, y a su vez, está compuesto por una gran variedad de sustancias y elementos químicos que equivalen a más del 50% de su peso. La contaminación ambiental generada por el uso del plástico es cada vez mayor; siendo este producto uno de los más abundantes en el sector de manufactura convirtiéndose en un foco de contaminación. Según (Leon, 2019) “Cada año, se producen alrededor de 300 millones de toneladas de plástico en el país, de los cuales un gran porcentaje termina contaminando mares y ríos”, afectando considerablemente el hábitat de muchos animales que viven en estos medios.

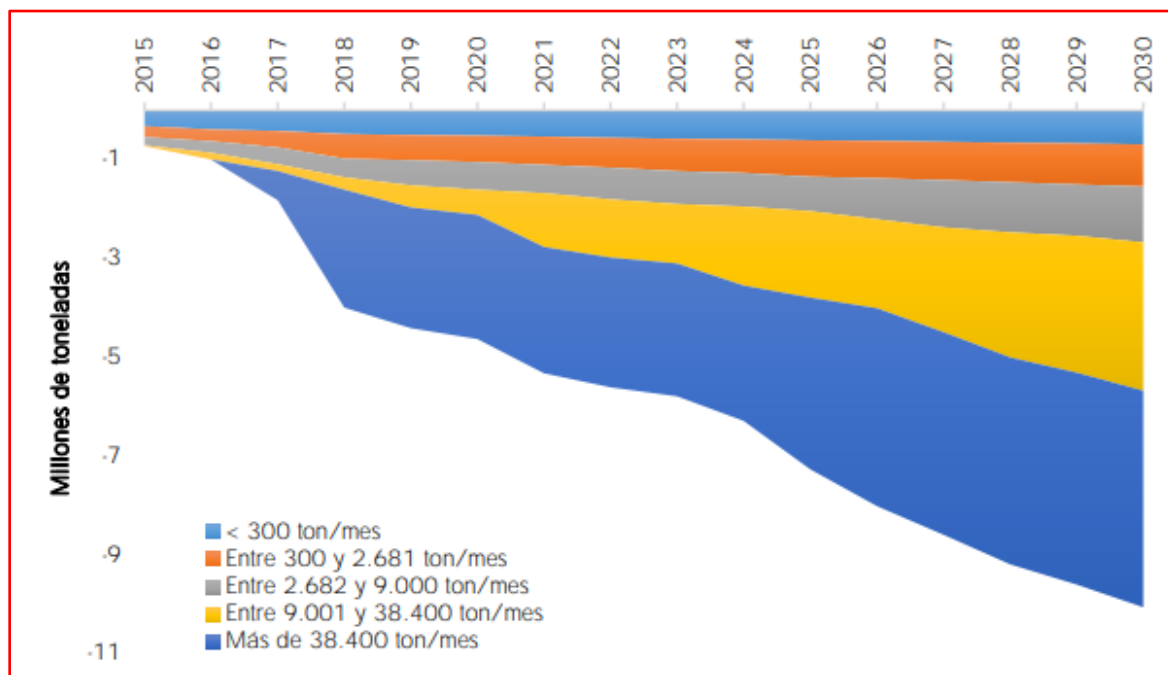
El plástico es usado con gran frecuencia en la cotidianidad, está presente en la mayoría de productos que se compran y consumen en el diario vivir, por ende el problema radica en el momento que se consume el producto o el alimento y sencillamente es desechado, sin tener conocimiento alguno por un lado del daño tan grande que se ocasiona al medio ambiente y por otro lado, los métodos que existen para realizar un aprovechamiento positivo a este residuo, dando valor agregado y utilidad al producto. En otras palabras, el problema es generado por la falta de conciencia y cultura ambiental y además la falta de conocimiento e iniciativa en cuanto a las diversas formas y estrategias de aprovechamiento que se le puede dar al plástico y que de una u otra manera se convierte en algo productivo para la sociedad, dejando como última opción el relleno sanitario.

Según estudios realizados por parte del Departamento Nacional de Planeación, la vida útil de los rellenos sanitarios de 321 municipios de Colombia se acabará en cinco años (Departamento Nacional de Planeación, 2016). Si no se actúa ahora, se presenciara una gran problemática ambiental, afectando significativamente el futuro de próximas generaciones. Por

eso, es el momento de hacer parte del cambio, y realizar las debidas acciones en beneficio de todos y que de esta manera se logre forjar y establecer un mejor mañana.

Figura 1.

Déficit de capacidad de los rellenos sanitarios, 2015-2030



Nota. Fuente. Cálculos DNP a partir de Estudio Nacional de Infraestructura. Sector Residuos. (DNP y BM, 2015).

En la figura 1, se evidencia la capacidad de los vertederos desde el año 2015 hasta 2030, evidenciando que en el 2030 se presentara un alto déficit de capacidad instalada con un aumento considerable en las toneladas de residuos; por lo cual, si no se toman las respectivas medidas de aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos, en este caso el plástico, los rellenos sanitarios estarán al tope de su capacidad generando múltiples impactos ambientales negativos para la población y la naturaleza.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, Pastori plantea que: “el volumen de residuos que se genera anualmente en Colombia es de 14 millones de toneladas y esa cantidad en otros países se aprovecha el 100% y en Colombia no lo estamos aprovechando. Por lo cual, se

evidencia la necesidad de recuperar y aprovechar los residuos de plástico, generando nuevos negocios cadenas de valor productivo, aportando en el aumento de la economía del país” (Pastori 2019).

Las toneladas de plástico producido, una vez utilizado, se han destinado al relleno sanitario, incineración, y otra parte ha terminado como contaminación en los océanos. En el 2003, se estimó que el 80% del material se ubicó en el relleno sanitario, mientras que el 8% fue incinerado y solo el 7% reciclado (Meza de Luna, Moreno Virgen, & Beltrán García, 2017).

Justificación

El plástico es un material orgánico presente en todos los ecosistemas, el cual provoca daños y alteraciones a su equilibrio natural. Por lo cual, se presenta este proyecto, dando a conocer una estrategia de aprovechamiento de este producto, mediante vigas manufacturadas en material plástico reciclado para su utilización en la construcción de puentes peatonales colgantes.

Reemplazando los productos tradicionales, y a su vez, combatiendo la contaminación ambiental, explotación y mala manipulación de los mismos, promoviendo una nueva cultura relacionada con reducir, reciclar y reutilizar.

Los puentes, son estructuras muy importantes y esenciales en el desarrollo de la sociedad, ya que permiten establecer y crear intercomunicación y conectividad con otras zonas y sectores, aportando en la generación del libre tránsito peatonal; por otro lado, tienen la finalidad de brindar seguridad a sus transeúntes, permitiendo el paso de manera confiable, estable y fluida.

La construcción de puentes peatonales con vigas manufacturadas en material plástico reciclado se convierte en una herramienta novedosa, de crecimiento y amplia consolidación que aporta significativamente en el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad.

Considerando lo anterior, es necesario implementar estrategias de aprovechamiento de este residuo, tales como vigas manufacturadas que puedan ser usadas en diversos procesos de construcción aportando en el bienestar de las personas y a su vez, mitigando los impactos ambientales que este producto genera.

El uso del plástico en diversas construcciones se convierte en una alternativa novedosa con múltiples beneficios tanto sociales como ambientales al ser un producto versátil, de fácil instalación y ligereza. (PlasticsEurope, 2017) plantea que “el plástico ahorra recursos gracias a

la rentabilidad de su producción, la facilidad de instalación y la durabilidad. Además, se puede reutilizar, reciclar o convertir en energía.”

A raíz de la problemática que se está presentando a nivel mundial y más de manera aguda en el País con lo concerniente al manejo de los residuos sólidos y específicamente al manejo del plástico desechado, por lo tanto, se hace necesario darle una reutilización adecuada a estos residuos a través de la transformación en productos alternativos de los que ya existen. La sociedad desde la antigüedad ha causado daño al medio ambiente impactándolo negativamente sin embargo es de considerar que estos aún pueden ser mitigados, por tal motivo se hace necesario evitar que los materiales sólidos aprovechables lleguen al sitio de disposición final, usándolos como materia prima en la elaboración de productos ecológicos, como en el caso de los postes para cerca que ayudan a mitigar la deforestación, o vigas manufacturadas para la elaboración de puentes peatonales.

Objetivos

Objetivo General

Determinar y analizar la resistencia a flexión en vigas elaboradas en material plástico para la construcción de puentes peatonales colgantes

Objetivos Específicos

Obtener la materia prima mediante el reciclaje de los residuos de plástico.

Establecer una mezcla de estos plásticos, específica para el estudio.

Realizar ensayos mecánicos de flexión a los plásticos desarrollados de acuerdo a la norma ASTM D790.

Efectuar Análisis, resultados y evaluación de la resistencia de vigas construidas con este material plástico, de acuerdo a un diseño propuesto, y, a las condiciones de trabajo en un puente colgante.

Consolidación y publicación de resultados obtenidos.

Marco Teórico

Un puente es definido como un elemento de comunicación que conecta y permite su libre paso y tránsito de personas de manera segura.

El puente peatonal colgante mantiene a su estructura firme a través de dos cables de acero que son apoyados sobre sus dos pórticos o torres, los cuales se colocan longitudinalmente formando un arco, en sus extremos son anclados a macizos de hormigón o anclajes, el tablero se sujeta al cable mediante péndolas, el tablero puede ser de distintos materiales mediante el cual permite la circulación de personas y ciclistas. Principalmente se emplean en zonas de difícil acceso, el beneficio para las comunidades es muy alto, porque desde tiempos arcaicos el hombre ha visto la necesidad de superar obstáculos naturales (Mena, Ochoa, & David, 2018).

El Origen y Desarrollo de los Plásticos

La palabra "plástico" no se relaciona únicamente a un material. Tal y como sucede con el metal, que designa otros materiales además del hierro y del aluminio, la palabra plástico debe entenderse como un término genérico que describe una gran variedad de sustancias, las cuales se distinguen entre sí por su estructura, propiedades y composición. Las propiedades de los plásticos son tantas y tan variadas que a menudo pueden sustituir a los materiales convencionales como la madera y los metales o complementarlos. Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros. Están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno. Principalmente, se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Dependiendo de la estructura que forma el carbono al asociarse con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, cambian las propiedades físicas y su estructura molecular. Se dividen en

termoplásticos, materiales que se ablandan al ser calentados y se endurecen al enfriarse, y termoestables, que adoptan una forma permanente al aplicarles calor y presión.

La producción de plásticos denota de 1869 cuando fue la creación de celuloide que en 1884 lo cual dio origen a la película fotográfica. Sin embargo, puede decirse que la industria de los plásticos es del siglo XX. Su crecimiento, desarrollos, aplicaciones e impactos en la sociedad y la economía han tenido lugar en los últimos cien años, lo que convierte a la industria del plástico en un invaluable aporte a la historia de la civilización y a la fabricación de productos esenciales. Desde el comienzo de la década de los 60 se produjo un marcado crecimiento en la industria de los plásticos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004).

Actualmente, la producción en el mundo de plásticos es mucho más que en aquella época y alcanza aproximadamente 100 millones de toneladas anuales. La principal materia prima para la producción de plásticos, además del gas natural, es el petróleo. Cabe anotar que sólo el 5% del petróleo extraído se utiliza para la fabricación de plásticos, lo que representa una mínima cantidad de recursos no renovables, el plástico recuperado tiene muchos beneficios que proceden de su transformación, convertidos en variados productos útiles para la sociedad. Ahora, una ventaja comparativa frente a los materiales inorgánicos, es que los plásticos demandan menor consumo de energía durante su transformación porque su punto de fusión requiere temperaturas de operación más bajas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004).

La Industria de los Plásticos en Colombia

En nuestro país, la manufactura del plástico se ha diferenciado por ser, una gran actividad industrial más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7%.

En el año 2000, la actividad transformadora de materias plásticas registró un valor de producción de 2.215 millardos de pesos (1.061 millones de dólares) y un valor agregado de 1.073 millardos de pesos (514 millones de dólares), con una contribución al total industrial nacional del 4% en las dos variables. En el mismo período, la energía eléctrica utilizada fue de 614 millones de kilovatios-hora, lo que equivale al 5,7% del consumo total de la actividad manufacturera (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004).

Los plásticos exportaron 249 millones de dólares en el año 2003, esta participación escala a un 3,3% del total de las exportaciones industriales. Las importaciones en este año alcanzaron el 2,2% en productos fabricados de plástico, ascendiendo a 260 millones de dólares (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004).

Clasificación del Plástico

Según (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004) Los plásticos según su distribución macromolecular, en relación del tipo de mecanismo de enlace que ostenten. Los plásticos se clasifican en:

Termoplásticos

Son polímeros macromoleculares los cuales se componen de cadenas lineales y ramificadas, permitiendo mantener su unión mediante fuerzas intermoleculares. Su ímpetu pende del tipo y número de ramificaciones o cadenas laterales. Su característica es que a consecuencia del calor se vuelven moldeables, se clasifican en:

Termoplásticos Amorfos.

Termoplásticos Parcialmente Cristalinos.

Termofijos

Presentan una desordenada estructura de cadenas moleculares entrelazándose entre ellas. Estas moléculas que tienen forma de red son rígidas a temperatura ambiente convirtiéndolas en frágiles. Expuestas al calor difícilmente se ablandan. Similar a los elastómeros no son fundibles ni solubles a consecuencia de su fuerte forma de red

Elastómeros

Estos polímeros su distribución molecular no tiene orden, con pocos entrelazados a consecuencia del bajo grado de reticulación. A temperatura ambiente los elastómeros se comportan como el caucho. Como consecuencia del cruce entre sus cadenas moleculares es su limitada movilidad configurando puentes que pueden liberarse por medio de temperaturas altas, teniendo en cuenta que una de sus principales características al descender la temperatura es no volver a formarse.

Polietileno de Alta Densidad PEAD

El Polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y amorfo, de color blanquecino y translucido. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización. El Polietileno de alta densidad es un termoplástico barato, fácil de obtener, procesar y con muy buenas propiedades físicas, químicas y mecánicas eléctricas, térmicas y ópticas que lo hacen el plástico más consumido en el mundo (Roca, 2005). En el anexo 1, se dan a conocer las principales propiedades físicas del Polietileno de alta densidad. En el anexo 2, se dan a conocer sus principales propiedades químicas y en el anexo 3, las propiedades mecánicas de este residuo.

El plástico de mayor uso en el mundo, es el Polietileno de alta densidad debido a sus excelentes características. Es ligero, resistente mecánicamente y químicamente, no se corroe, presenta bajo costo, y sobre todo su transformación a través de la fusión de este material permite obtener productos a medida de las necesidades del consumidor. Todas estas propiedades hacen que el Polietileno de alta densidad lo podamos volver útil gracias a su larga vida, pero al no reutilizarlo se convierte en un serio problema cuando se quiera desechar. Se recomienda adoptar técnicas de tratamiento para estos polímeros, tales como la de las 3R; Reducir, Reutilizar y Reciclar (Roca, 2005).

Economía Circular

El avance de la economía global ha sido dominado por el modelo de producción y consumo lineal, por medio del cual se manufacturan productos a partir de materias primas que luego se venden, se utilizan y después se desechan como residuos. Si bien se han conseguido avances importantes para mejorar la eficiencia de los recursos, todo sistema basado en el consumo en lugar de en el uso restaurativo de los recursos conlleva pérdidas significativas a lo largo de la cadena de valor (Fundación Ellen MacArthur, 2010).

Es aquí donde la economía circular, tiene el propósito de mantener la utilidad y valor máximo en todo momento de los materiales, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos, a través de la economía restaurativa y regenerativa o del rendimiento funcional. Este modelo económico busca categóricamente desligar el concepto de consumo de recursos finitos del desarrollo económico global. Una economía circular responde a los progresivos retos relacionados con los recursos a los que se afrontan las empresas y las economías, sin frenar su crecimiento, para poder crear empleo y reducir los efectos medioambientales, incluidos las emisiones de carbono (Fundación Ellen MacArthur, 2010).

Resistencia a Flexión en Vigas

Las vigas son elementos estructurales que trabajan principalmente a flexión. La resistencia a flexión es considerada según Instron como un esfuerzo máximo de la fibra antes de que se arranque o quiebre en un ensayo de flexión. Para los materiales que no se arrancan en el ensayo de flexión se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en lugar de la resistencia a la flexión. Siendo equivalente de módulo de rotura. Por otro lado, la flexión de vigas hace referencia a los elementos estructurales que son usados e implementados para el desarrollo y puesta en marcha de diferentes construcciones con la finalidad de soportar peso, garantizando estabilidad a las mismas. Por ende, para diseñar la flexión en vigas, es necesario conocer a profundidad las fuerzas perpendiculares a los ejes y el peso que se ejerce en todo lo largo de su longitud.

Las zonas que pueden presentar material teniendo en cuenta su proceder ante cualquier esfuerzo de tracción son:

Franja Elástica OB

Se determina porque al finalizar las tensiones aplicadas, los materiales recobran su longitud inicial. Podemos prestar atención a dos subfranjas:

Franja de Proporcionalidad (OA). Según (Cienciasfera, s.f.) Caracterizada por ser una línea recta, es decir, el estiramiento unitario (ϵ) es igual a la tensión ejercida (σ). En las prácticas industriales comúnmente se trabaja en esta franja, ya que se impiden las deformaciones permanentes y además se puede aplicar la ley de Hooke.

A continuación se definen los dos valores importantes:

Límite Elástico (σ_E). Es la tensión en el límite superior de esta zona; en el punto A

El Módulo de Young (E).

Franja no Proporcional (AB). Pequeña franja a continuación, dónde el material se comporta de forma elástica, pero no existe una relación proporcional entre deformación y tensión (Cienciasfera, s.f.).

Límite Elástico (σ_E). Se consigue precisar como la máxima tensión que este material es capaz de soportar sin sufrir imperfecciones o algún daño permanente.

Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E). Según (Cienciasfera, s.f.) Relación entre la tensión realizada y la deformación que incita en el trayecto lineal de la curva tensión-deformación. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Sus unidades son MPa o N/mm², o bien los Kp/cm².

Franja Plástica

Según (Cienciasfera, s.f.) En esta franja se ha rebasado la tensión del límite elástico y, sin embargo, no se aplique las tensiones de tracción, el material ya no recupera su tamaño original y la amplitud final será mayor que la inicial " l_0 ".

En la zona plástica (BE) también se pueden distinguir dos subzonas:

Franja de Deformación Plástica Uniforme o Franja de Límite de Rotura (CD).

Según (Cienciasfera, s.f.) Se obtienen grandes amplificaciones con un incremento de la tensión.

En el punto D hallamos el límite de rotura y la tensión en ese punto se llama tensión de rotura (σ_r). A partir de este punto, la probeta se considera rota, aunque físicamente no lo esté.

Franja de Rotura o Zona de Deformación o Franja de Estricción Plástica

Localizada (DE). Las deformaciones son delimitadas y, aunque disminuya la tensión, el material se deforma hasta la rotura. La componente de la probeta se reduce drásticamente.

Marco Conceptual

Definiciones

Definidos por la real Academia Española

Contaminación

“Es una acción y efecto de contaminar, consiste en alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos y físicos” (Diccionario de la Real Academia Española, 2020)

Viga

“Madero largo y grueso que sirve, por lo regular, para formar los techos en los edificios y sostener y asegurar las fábricas.” (Diccionario de la Real Academia Española, 2020)

Flexión

“Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido elástico por la acción de una fuerza que lo deforma.” (Diccionario de la Real Academia Española, 2020)

Reciclaje

“Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”
(Diccionario de la Real Academia Española, 2020)

Puente Colgante

“Puente sostenido por cables o por cadenas de hierro.” (Diccionario de la Real Academia Española, 2020)

También se definen

Plástico

Un plástico es un polímero, es decir, un material desarrollado por la unión repetitiva de miles de átomos hasta formar moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas. Son

compuestos orgánicos integrados principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, azufre, silicio y fósforo. Además, un plástico es un polímero que al agregársele aditivos modifica sus propiedades, de ahí que pueda mejorar su resistencia al ser transformado (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).

Aprovechamiento

Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados vuelven al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por intermedio de la reutilización, el reciclaje, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos (Rojas, 2017).

Reutilización

Dilación y acomodamiento de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante procedimientos mínimos devuelvan a los materiales su posibilidad de ser útil de nuevo en su función diversos productos, sin que para ello requieran de agregar procesos de transformación (Rojas, 2017).

Recuperación

Es la operación que admite la selección de los residuos sólidos que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la elaboración de nuevos productos. Residuo sólido aprovechable: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es apto de incorporación a un proceso productivo (Rojas, 2017).

Marco Legal

Dentro del sector plástico, encontramos una legislación ambiental que se encuentra enmarcada dentro de tres elementos fundamentales en nuestra sociedad, los cuales son

La Constitución Nacional de Colombia

“Marco legal de carácter supremo y global que recoge los enunciados sobre el manejo y conservación del medio ambiente. La Constitución Política de 1991 eleva a rango Constitucional la protección del ambiente, colocándolo en un lugar privilegiado” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004)

Las Leyes de Congreso de la República

“decretos con fuerza de ley y decretos ley del Gobierno Nacional, constituyendo las normas básicas y políticas a partir de las cuales se desarrolla la reglamentación específica o normativa” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004)

Decretos y Reglamentaciones Nacionales

Política de Producción más Limpia

La Política de Fabricación Más Limpia fue aprobada por el Consejo Nacional Ambiental, con el objeto de alcanzar la sostenibilidad ambiental en el sector productor. La fabricación más limpia es una estrategia, y su objetivo esencial es prevenir y minimizar los impactos y riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, garantizando la protección ambiental, el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad empresarial a partir de la introducción de la dimensión ambiental en los sectores productivos, como un desafío a largo plazo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004).

Los objetivos específicos de la producción más limpia son:

Aumentar la eficiencia energética y el uso de los energéticos más limpios

Prevenir y minimizar la generación de contaminantes

Prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas

Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión

Minimizar y aprovechar los residuos Minimizar el consumo de recursos naturales y materias primas

Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos

El Gobierno Nacional, busca mejorar el aprovechamiento de las potencialidades institucionales y de la capacidad de las entidades existentes involucradas en el manejo de residuos, ha puesto en marcha un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos, definido en la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, con el fin de cumplir los siguientes objetivos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS, 2004):

Minimizar la cantidad de los residuos que se generan

Aumentar el aprovechamiento y consumo de residuos generados, hasta donde sea ambientalmente tolerable y económicamente viable

Mejorar los sistemas de manejo integral de residuos sólidos

Conocer y dimensionar la problemática de los residuos peligrosos en el país y establecer el sistema de gestión de estos

En la tabla 1, se evidencian la normatividad aplicable para las empresas u organizaciones en las cuales se lleva a cabo el aprovechamiento del plástico.

Tabla 1.*Legislación ambiental aplicable y actual*

Actividad/Etapa	Normatividad y artículos	Aspectos técnicos y administrativos que debe realizar la empresa para cumplir la norma
Compra de material Polietileno	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.5.1.4.3. Organismo que emite: PRESIDENTE DE LA REPUBLICA.	Se debe realizar una sustitución del combustible de los camiones, considerando que el año de estos es muy antiguo y generan mayor contaminación.
Zona de Almacenamiento, selección y picado	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.1.1.18.6. Organismo que emite: PRESIDENTE DE LA REPUBLICA.	Acondicionar el área de almacenamiento del plástico, de manera que no se pierda la cobertura vegetal por los globos que presenta un gran peso, afectado así el crecimiento de las plantas y los nutrientes del suelo.
Zona de lavado y secado	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.5.1.5.1. Organismo que emite: PRESIDENTE DE LA REPUBLICA.	Se debe realizar un mayor control a las máquinas para reducir los decibeles de ruido que producen el motor.
	Resolución 631 de 2015. Art. 8 Organismo que emite: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.	Implementar un sistema de limpieza, que ayude a reducir la carga contaminante del agua residual que sale de la lavadora.
	Ley 373 de 1997. Art. 1. Organismo que emite: EL CONGRESO DE COLOMBIA.	Se debe implementar un programa de uso eficiente y ahorro del agua, considerando que este proceso es el que más requiere de agua para su funcionamiento.
Zona de aglutinado	Resolución 909 de 2008. Art. 4. EL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.	La fábrica debe reducir, el material particulado para poder cumplir con los estándares de emisiones permitidos.
	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.5.1.5.1. Organismo que emite: PRESIDENTE DE LA REPUBLICA.	Realizar el mantenimiento al motor de la aglutinadora, para no sobrepasar los límites de ruido permitidos. Realizar un asilamiento para no afectar los empleados y comunidad.
Zona de peletizado	Resolución 2400 de 1979. Art. 7. Organismo que emite: EL MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL.	Se debe realizar seguimiento y adecuación al área de peletizado para mantener unas condiciones apropiadas de temperatura.
Zona de cargue	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.5.1.4.3. Organismo que emite: PRESIDENTE DE LA REPUBLICA.	Realizar un mantenimiento preventivo a los carros, para evitar derrames de combustibles y afectar el medioambiente.

Nota. Fuente. (Palacino, 2019)

Metodología

Esta metodología tiene un enfoque cuantitativo el cual establece un proceso y debe ser verificable, con estudios descriptivos los cuales consisten en puntualizar sus propiedades, y el contexto de los procesos que se someten a análisis. (Roberto Hernández, 2010).

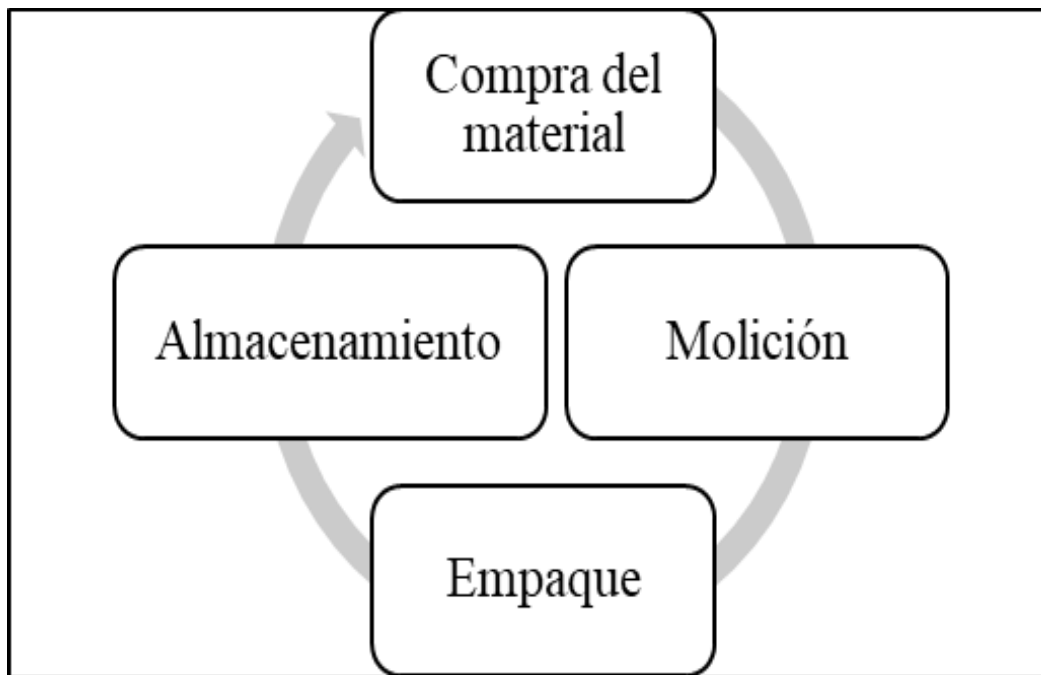
La metodología a realizar es según los siguientes pasos, así

Descripción del Proceso de Adquisición de la Materia Prima

La materia prima que se utiliza para este caso es polietileno de alta densidad y el proceso es:

Figura 2.

Descripción del proceso de adquisición de la materia prima



Fuente. Elaboración propia

Compra del Material

Figura 3.

Compra del material



Fuente. Elaboración propia

Molición

Figura 4.

Proceso de molido



Fuente. Elaboración propia

Empaque

Figura 5.

Empaque del material molido



Fuente. Elaboración propia

Almacenamiento

Figura 6.

Almacenamiento del material empacado



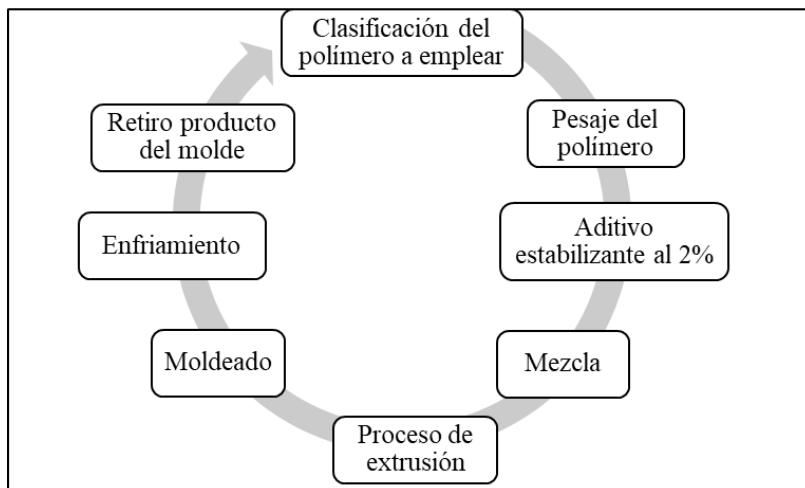
Fuente. Elaboración propia

Descripción del Proceso de Elaboración del Producto

Después de almacenar el material plástico, se describe el proceso para obtener el producto a emplear así:

Figura 7.

Descripción del proceso de elaboración del producto



Fuente. Elaboración propia

Clasificación del Polímero a Emplear

Figura 8.

Clasificación del material plástico (Polímero) de polietileno de alta densidad



Fuente. Elaboración propia

Pesaje del Polímero

Figura 9.

Pesaje del material plástico de polietileno de alta densidad



Fuente. Elaboración propia

Aditivo Estabilizante al 2%

Figura 10.

Aditivo estabilizante



Fuente. Elaboración propia

Mezcla

Se aplica un aditivo estabilizante que mejore la resistencia a los rayos UV al 2%, al total del material plástico de polietileno de alta densidad

Proceso de Extrusión y Moldeado

Figura 11.

Realización proceso de extrusión y se pasa al molde



Fuente. Elaboración propia

Enfriamiento

Figura 12.

Enfriamiento producto dentro del molde



Fuente. Elaboración propia

Retiro Producto del Molde

Figura 13.

Retiro producto del molde



Fuente. Elaboración propia

Ensayos Mecánicos de Flexión a los Plásticos Desarrollados

Para el desarrollo del presente proyecto, se realizaron una serie de siete (7) pruebas a flexión, en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma de Occidente, para lo cual se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 2.

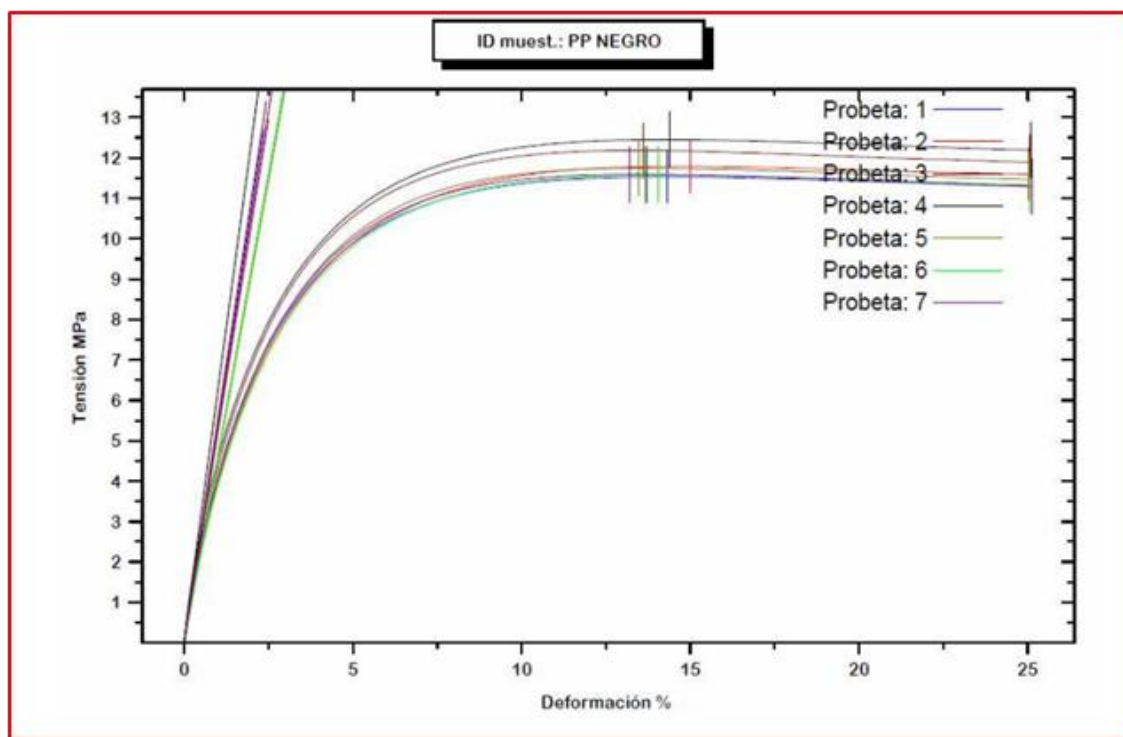
Pruebas de Laboratorio

	Carga en la Carga Max. (KN)	Tensión en la Carga Max. (MPa)	Deform % en la Carga Max. (%)	Módulo (YoungAut) (MPa)
1	0.311	11.534	14.308	538.074
2	0.318	11.786	14.980	514.723
3	0.329	12.185	13.591	548.089
4	0.336	12.451	14.389	618.848
5	0.317	11.476	13.471	457.642
6	0.312	11.575	14.035	463.440
7	0.313	11.596	13.689	524.215
Media	0.319	11.839	14.066	523.576
D.E.	0.009	0.348	0.536	54.666
C.V.	2.940	2.940	3.808	10.441
Mediana	0.317	11.746	14.035	524.215
Media +2.00 DE	0.338	12.535	15.137	632.908
Media -2.00 DE	0.300	11.143	12.995	414.244
Mínimo	0.311	11.534	13.471	457.642
Máximo	0.336	12.451	14.980	618.848

Nota. Fuente. (Elaboración Propia)

Figura 14.

Comportamiento probetas de ensayo



Fuente. Elaboración propia

Los valores medios de resistencia a la flexión y módulo de elasticidad o de Young que se utilizarán en los cálculos de la viga, son 11.839 MPa y 523.576 MPa respectivamente.

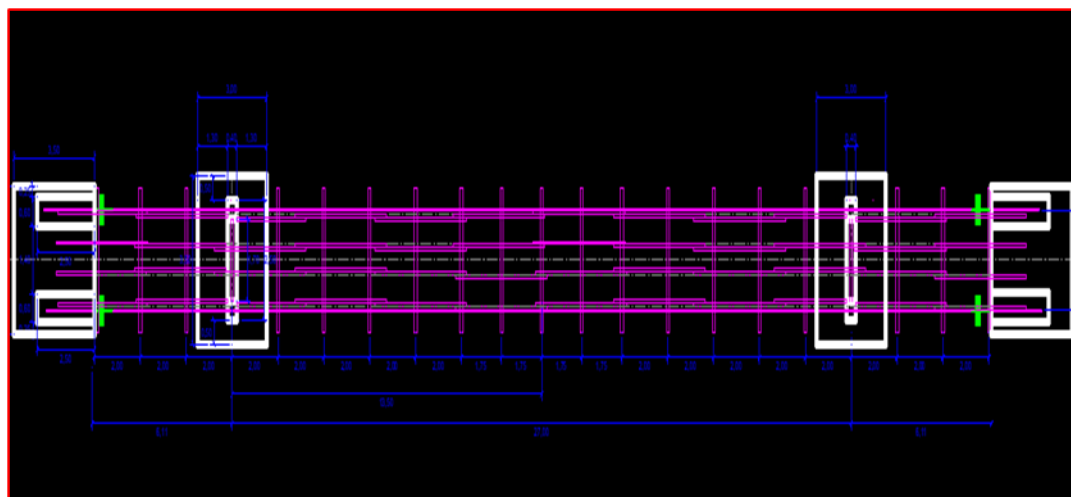
Análisis, del Diseño Propuesto

Para determinar el análisis a la resistencia de la Viga Transversal, Viga que soportará la carga muerta (Vigas Longitudinales, Tablero, barandas y Herrajes), y, carga viva según el área de influencia de la misma; a continuación, evaluaremos el diseño propuesto:

Vista en Planta General

Figura 15.

Vista en planta general

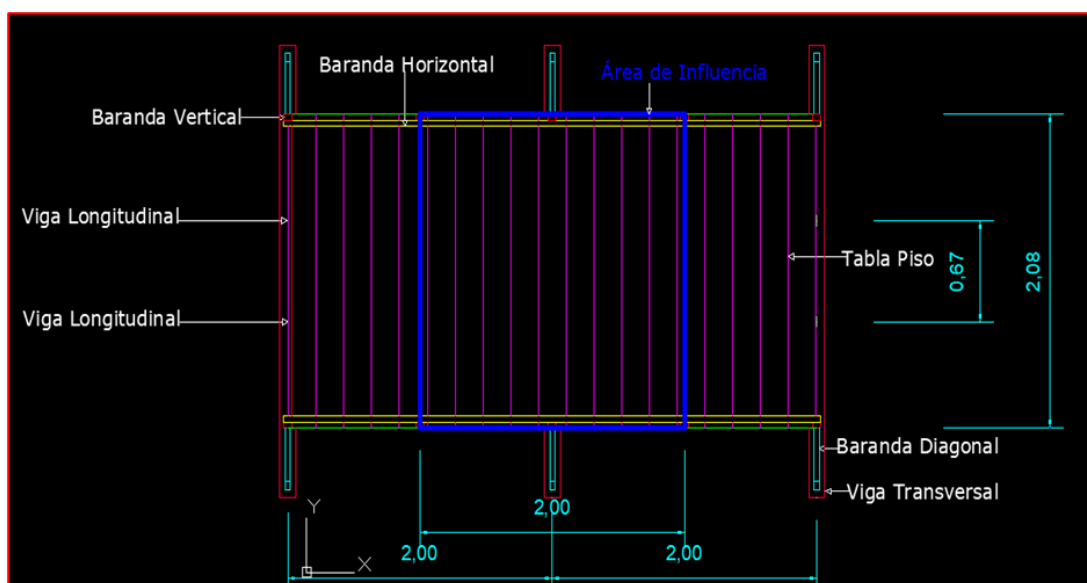


Fuente. Elaboración propia, (2021)

Sección Central Vista en Planta, y Área de Influencia

Figura 16.

Sección central vista en planta, y área de influencia

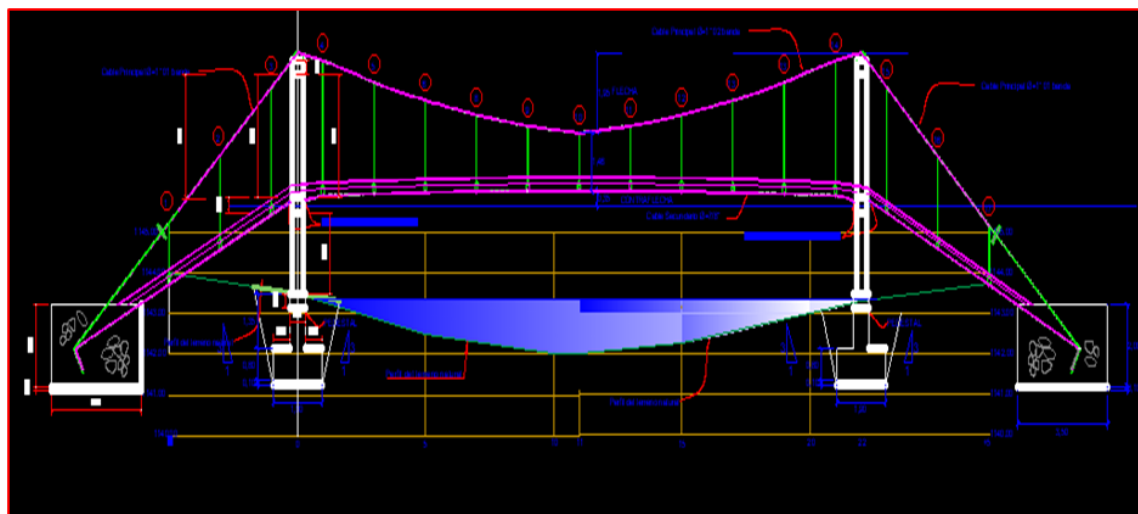


Fuente. Elaboración propia, (2021)

Vista Lateral General

Figura 17.

Vista lateral general

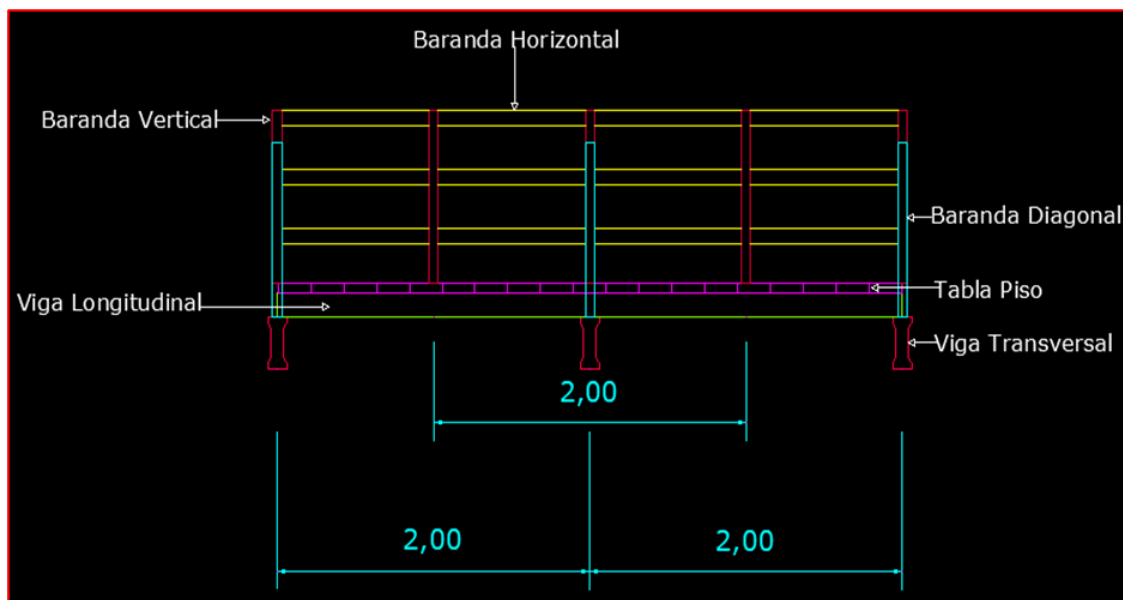


Fuente. Elaboración propia, (2021)

Sección Vista Lateral

Figura 18.

Sección central vista lateral



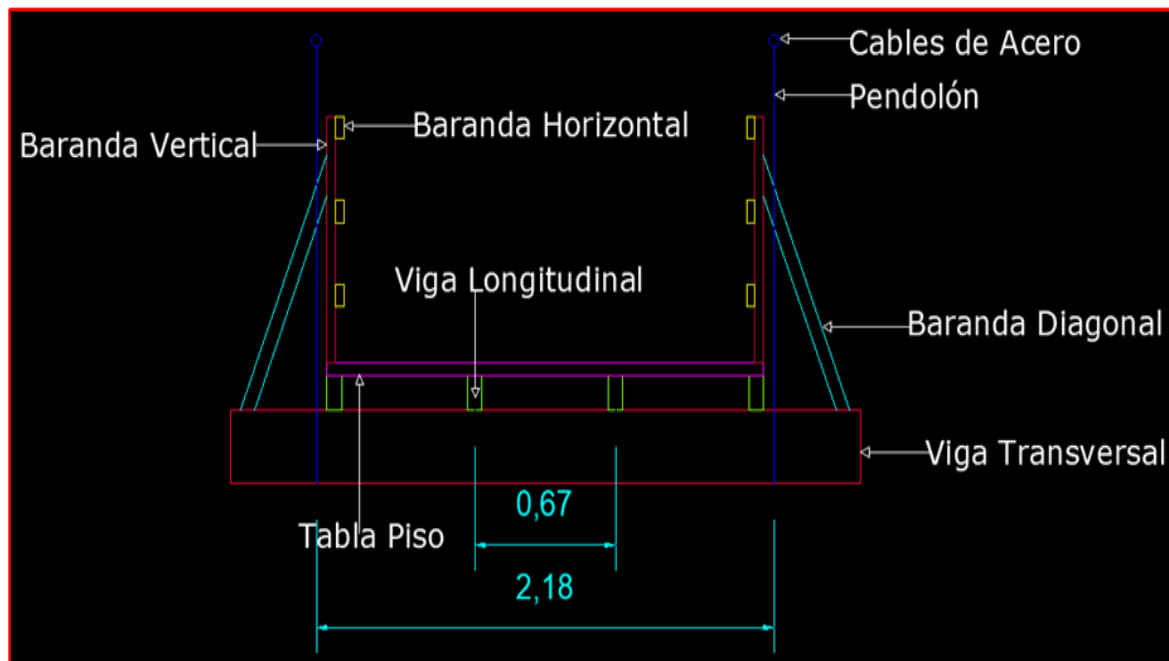
Fuente. Elaboración propia, (2021)

Para mayor comprensión del diseño propuesto evaluaremos la sección de la vista frontal del puente colgante, a continuación:

Sección Vista Frontal

Figura 19.

Sección vista frontal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

A continuación, haremos el análisis a través de la estática y resistencia del material, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo en un puente colgante así:

Resultados y Evaluación de la Resistencia de Vigas Construidas con este Material Plástico, de Acuerdo a un Diseño Propuesto, y, a las Condiciones de Trabajo en un Puente Colgante

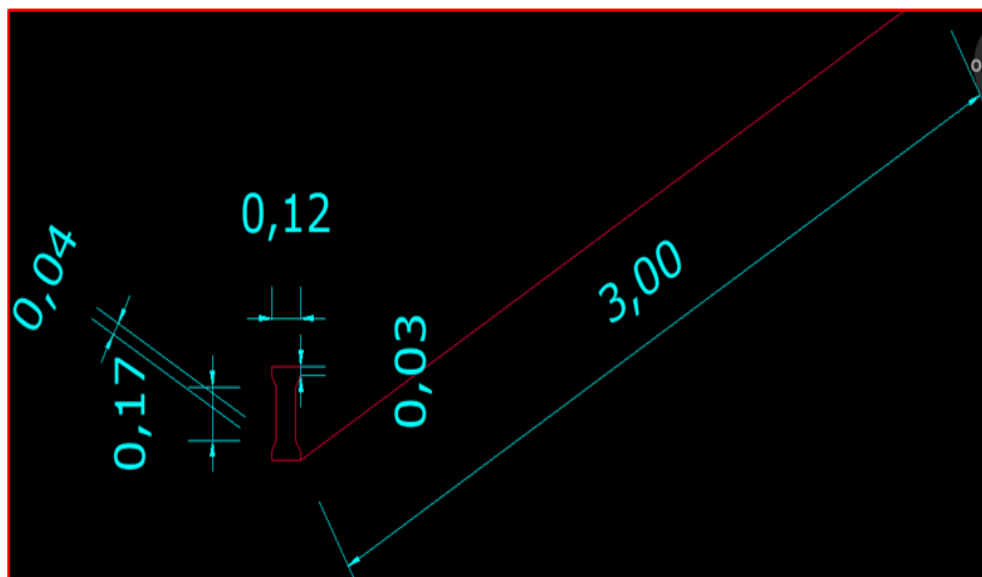
Resultados

Características, Dimensiones y Masa Nominal de las Piezas Elaboradas de Plástico Reciclado para la Estructura del Puente Peatonal.

Viga Transversal.

Figura 20.

Viga transversal (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) de la Viga Transversal en kilogramo:

Base (b) = 12 cm.

Alto (h) = 30 cm.

Largo = 300 cm.

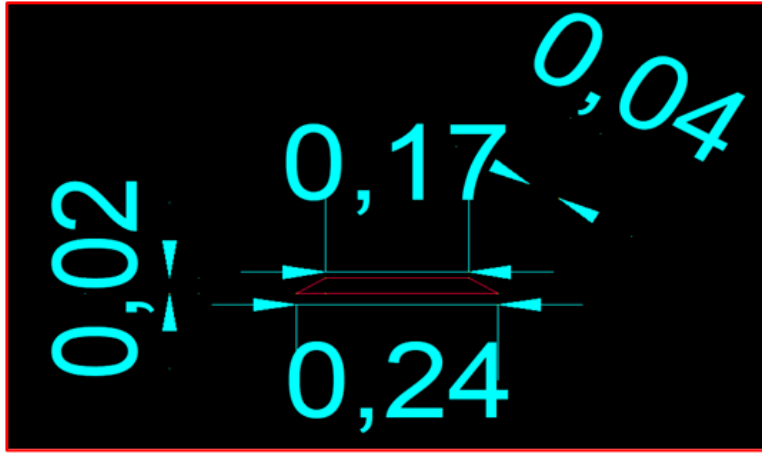
MN: $12\text{cm} * 30\text{cm} * 300\text{ cm} = 108000\text{ cm}^3$

Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$108000\text{ cm}^3 * \frac{0.965\text{ gr}}{1\text{cm}^3} = \frac{0.965\text{ gr} * 108000}{1} = 104220\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{104220 * 1\text{ kg}}{1000} = 104.22\text{ Kg.}$$

A este valor le restaremos la Masa Nominal (MN) de los trapecios formados al lado de la viga transversal, como nos lo muestra la imagen anterior ya que la viga es en I.

Trapecios Laterales de la Viga Transversal.

Figura 21.*Trapecios (metros) (viga transversal)**Fuente.* Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) de los trapecios en kilogramo:

$$\text{Volumen trapecio (V)} = \left(\frac{B + b}{2} * h \right) * L$$

Donde:

Base mayor (B) = 24 cm.

Base menos (b) = 17 cm

Altura (h) = 2 cm.

Longitud (L) = 300 cm.

$$(V) = \left(\frac{24\text{cm} + 17\text{cm}}{2} * 2\text{cm} \right) * 300\text{cm} = 41\text{cm}^2 * 300\text{cm} = 12300 \text{ cm}^3$$

Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$12300 \text{ cm}^3 * \frac{0.965 \text{ gr}}{1 \text{ cm}^3} = \frac{0.965 \text{ gr} * 12300}{1} = 11869,5 \text{ gr} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} = \frac{11869,5 * 1 \text{ kg}}{1000} =$$

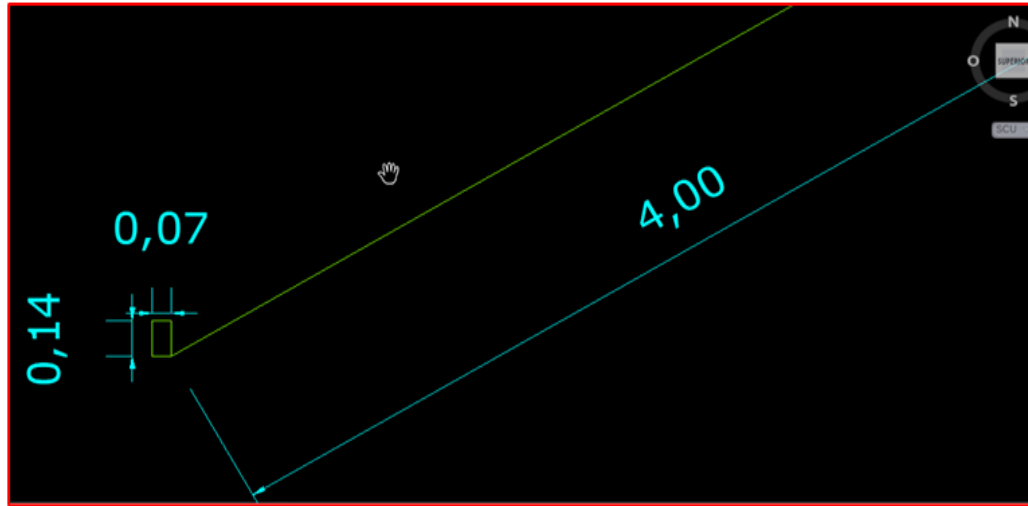
$$11.87 \text{ Kg} * 2(\text{unidades de trapecio}) = 23.74 \text{ Kg}$$

Así el total de Kilogramos de la Viga Transversal es: $104.22 \text{ Kg} - 23.74 \text{ Kg} = 80.48 \text{ Kg}$

Viga Longitudinal.

Figura 22.

Viga longitudinal (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) de la Viga longitudinal en kilogramo:

Base (b) = 7cm.

Alto (h) = 14cm.

Largo = 400cm.

MN: $7\text{cm} * 14\text{cm} * 400\text{ cm} = 39200\text{ cm}^3$

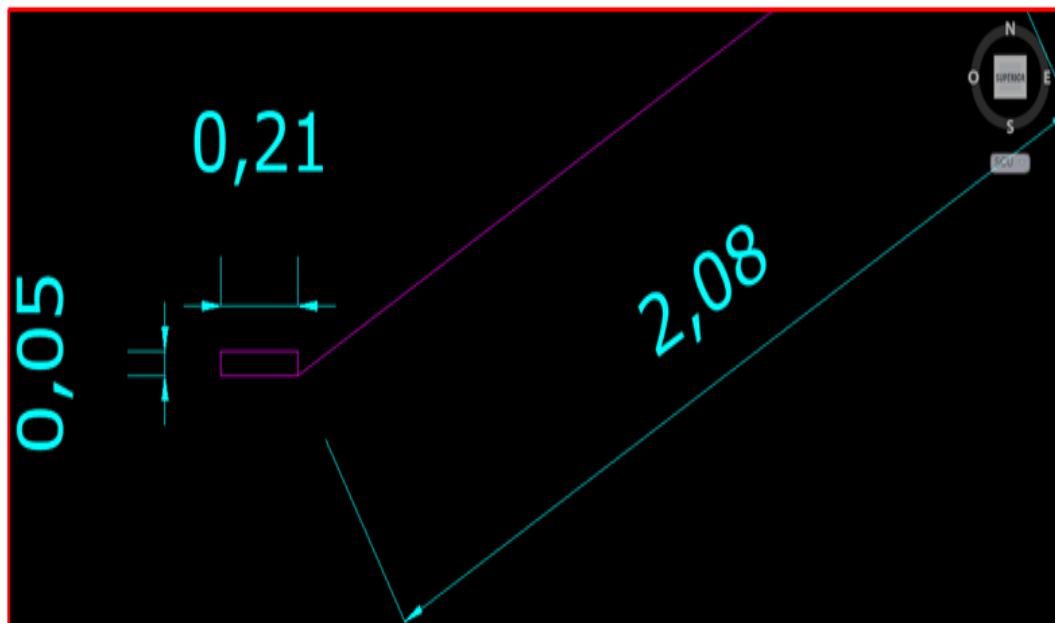
Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$39200\text{ cm}^3 * \frac{0.965\text{ gr}}{1\text{ cm}^3} = \frac{0.965\text{ gr} * 39200}{1} = 37828\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{37828 * 1\text{ kg}}{1000} = 37.83\text{ Kg}$$

Tabla para Piso.

Figura 23.

Viga longitudinal (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) de la tabla para piso en kilogramos:

Base (b) = 21cm.

Alto (h) = 5cm.

Largo = 208cm.

MN: $21\text{cm} * 5\text{cm} * 208\text{cm} = 21840\text{ cm}^3$

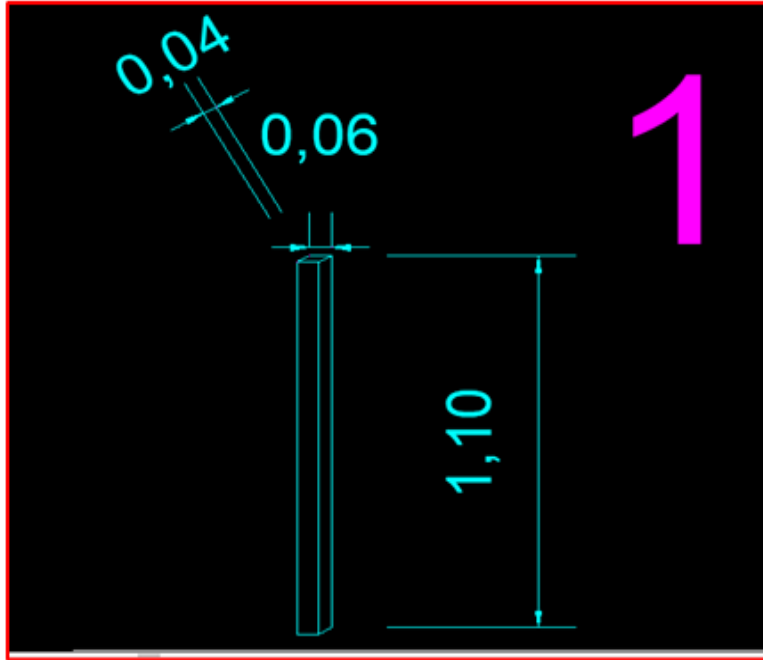
Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$21840\text{ cm}^3 * \frac{0.965\text{gr}}{1\text{ cm}^3} = \frac{0.965\text{gr} * 21840}{1} = 21075\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{21075 * 1\text{ kg}}{1000} = 21.075\text{ Kg}$$

Baranda, Pieza Diagonal, Vertical y Horizontal.

Figura 24.

Baranda pieza diagonal (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) de la Baranda, Diagonal (1) en Kilogramos:

Base (b) = 4cm.

Alto (h) = 6cm.

Largo = 110cm.

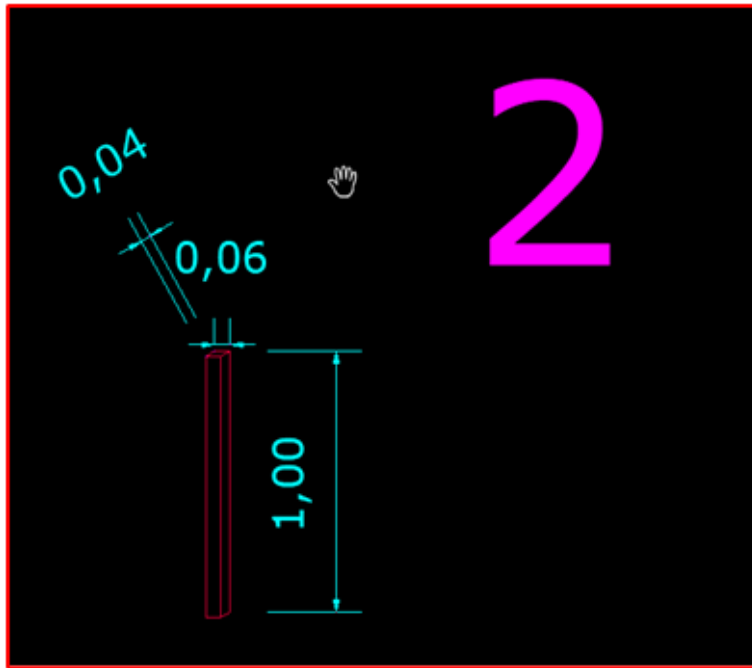
MN: $4\text{cm} * 6\text{cm} * 110\text{ cm} = 2640\text{ cm}^3$

Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$2640\text{ cm}^3 * \frac{0.965\text{ gr}}{1\text{ cm}^3} = \frac{0.965\text{ gr} * 2640}{1} = 2547\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{2547 * 1\text{ kg}}{1000} = 2.54\text{ Kg}$$

Figura 25.

Baranda pieza vertical (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) Baranda, Vertical (2) en Kilogramos:

Base (b) = 4cm.

Alto (h) = 6cm.

Largo = 100cm.

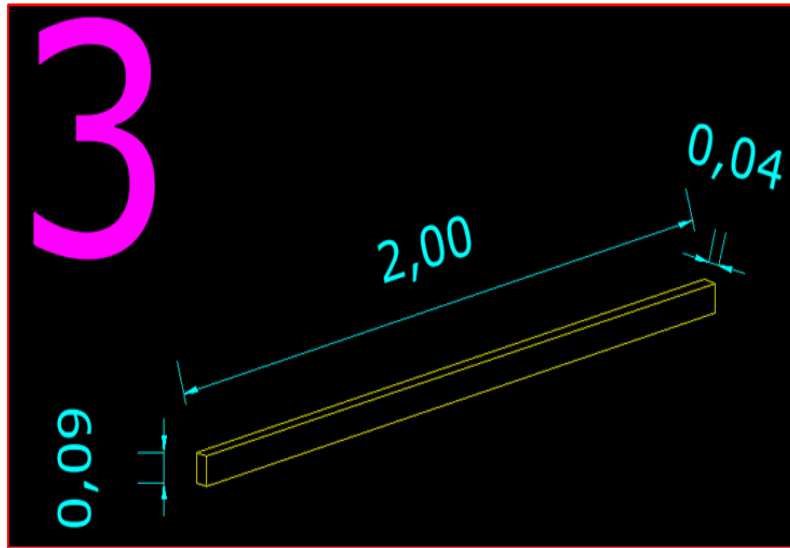
MN: $4\text{cm} * 6\text{cm} * 100\text{ cm} = 2400\text{ cm}^3$

Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$2400\text{cm}^3 * \frac{0.965\text{ gr}}{1\text{ cm}^3} = \frac{0.965\text{ gr}*2400}{1} = 2316\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{2316*1\text{ kg}}{1000} = 2.31\text{ Kg}$$

Figura 26.

Baranda pieza horizontal (metros) del puente colgante peatonal



Fuente. Elaboración propia, (2021)

Masa Nominal (MN) Horizontal (3) en Kilogramos:

Base (b) = 4cm.

Alto (h) = 9cm.

Largo = 200cm.

MN: $4\text{cm} * 9\text{cm} * 200\text{cm} = 7200\text{ cm}^3$

Conversión de cm^3 a gramos y de gramos a kilogramos:

$$7200\text{ cm}^3 * \frac{0.965\text{ gr}}{1\text{ cm}^3} = \frac{0.965\text{ gr} * 7200}{1} = 6948\text{ gr} * \frac{1\text{ Kg}}{1000\text{ gr}} = \frac{6948 * 1\text{ kg}}{1000} = 6.94\text{ Kg}$$

Cálculo de las Cargas Externas que Debe Soportar la Estructura. De acuerdo a la estructura del puente peatonal, la masa nominal, y, la cantidad de piezas elaboradas con material plástico reciclado, que soportara una Viga Transversal según su área de influencia, es:

Viga Longitudinal: $2 * 37.83\text{ Kg} = 75.66\text{ kg}$

Tablas para piso: $9,52 * 21.075\text{ Kg} = 200.64\text{ Kg}$

Baranda Diagonal: $2 * 2.54 \text{ Kg} = 5.08 \text{ Kg}$

Baranda Vertical: $2 * 2.31 \text{ Kg} = 4.62 \text{ Kg}$

Baranda Horizontal: $6 * 6.94 \text{ Kg} = 41.64 \text{ Kg}$

Total, Masa Nominal: 327.64 Kg.

Conversión de kilogramos (kg) a Newton (m.g);

Donde:

m = Masa, está dada en kilogramos, y, g = Gravedad, está dada en metros sobre segundos al cuadrado (m/s^2), en ese sentido un newton es:

$$N = \text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \text{ así que: } 327.64 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3214.14 \text{ N}$$

Carga Muerta (CM).

Carga muerta que debe soportar la Viga transversal.

3214.14 N = Piezas elaboradas con material plástico reciclado.

68.67 N = Clavos y Herrajes.

En total la CM = 3282.81 N.

Carga Viva (CV).

Carga viva que debe soportar la Viga transversal

El área de influencia sobre la viga transversal es de 4.16 m^2 ; por m^2 puede soportar 4 personas con un promedio de 70 Kg, así un m^2 soporta una carga de 280 kg/m^2 , entonces:

$$CV = 280 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 4.16 \text{ m}^2 = 4.16 * 280 \text{ kg} = 1164.8 \text{ Kg}$$

$$\text{El total de Newton de la CV} = 1164.8 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 11426.7 \text{ N.}$$

El Peso Total (w_l).

El peso total de las cargas externas es:

$$w_t = CM + CV = 3282.81 \text{ N} + 11426.7 \text{ N}$$

$$w_t = 14709,5 \text{ N}$$

Clasificación y Cálculo del Esfuerzo Máximo de la Viga Transversal.

σ_m =Esfuerzo Máximo, según mecánica de materiales (Beer Jhonston DeWolf MazureK, Séptima edición).

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}; \text{ (ecuación 1).}$$

Donde:

M=Momento flector máximo ($M_{\text{máximo}}$)

c=Distancia desde el Centroide, hasta donde se determina el esfuerzo

I=Momento de Inercia respecto al eje de flexión

A continuación, realizamos los cálculos de:

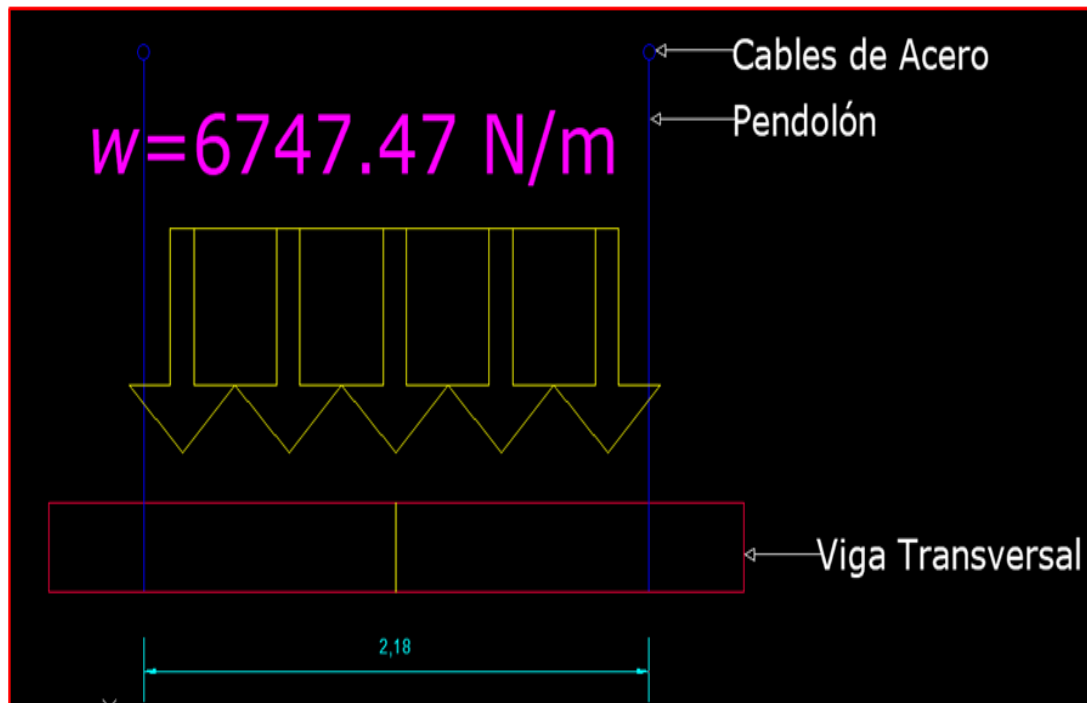
Momento Flector Máximo ($M_{\text{máximo}}$). Según mecánica de materiales (Beer Jhonston DeWolf MazureK, Séptima edición):

$$M_{\text{máximo}} = \frac{w * L^2}{8}; \text{ (ecuación 2)}$$

Donde:

w=Carga uniformemente distribuida.

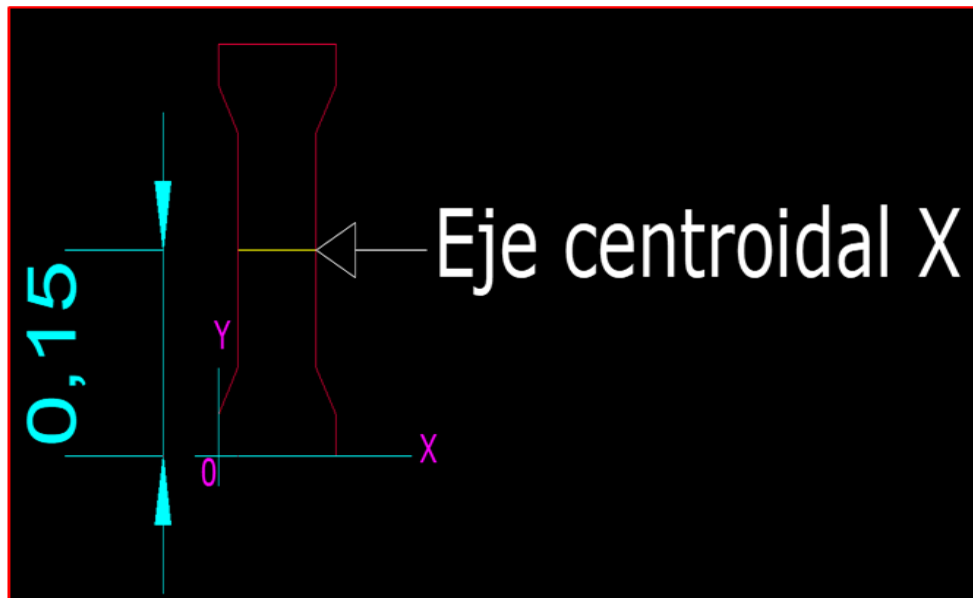
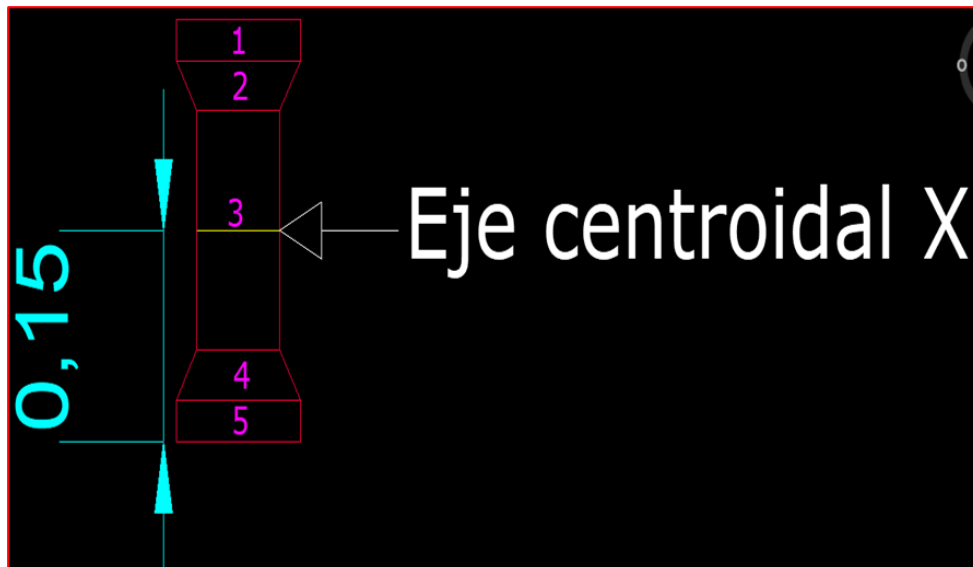
L=Longitud de la viga que soporta una w

Figura 27.*Carga uniformemente distribuida**Fuente.* Elaboración propia, (2021)

Aplicación (ecuación 2)

$$M_{\text{máximo}} = \frac{6747.47 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (2.18 \text{ m})^2}{8} = \frac{6747.47 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 4.75 \text{ m}^2}{8} = \frac{32050.42 \text{ Nm}}{8} = 4006.3 \text{ Nm}$$

Centroide o Centro de Gravedad. Para obtener el centroide o centro de gravedad para la viga transversal se tiene como referencia la geometría de la misma, para este caso la figura tiene simetría con respecto al eje X y Y, razón a ello se encuentra al eje centroidal X, porque con respecto a él es que se va a flexionar la viga, de acuerdo a lo anterior el eje centroidal en X es:

Figura 28.*Carga uniformemente distribuida**Nota.* El valor de $\dot{X}=15\text{cm}$ o 0.15 m ***Inercia.*****Figura 29.***Carga uniformemente distribuida**Fuente.* Elaboración propia, (2021)

El cálculo del momento de Inercia se hará según el Teorema de Steiner, así:

Para las secciones 1,2,3,4,5: $I_x = I_{0x} + A \cdot dy^2$; (ecuación 3).

Donde:

$$I_{0x} = \frac{b \cdot h^3}{12} ; \text{ (ecuación 4)}$$

Donde:

I=Momento de inercia respecto al eje de flexión

b=base

h=Altura

A=Área

dy^2 =Eje centroidal X, menos el centroide de la figura (1-2-3-4-5)

Para las secciones 1,3 y 5;

Sección 1: Aplicación (ecuación 3 y 4)

$$I_1 = \frac{12\text{cm} \cdot (3\text{cm})^3}{12} + 36\text{cm}^2 \cdot (28.5\text{cm} - 15\text{cm})^2 = 27\text{cm}^4 + (36\text{cm}^2 \cdot (13.5\text{cm})^2) =$$

$$27\text{cm}^4 + (36\text{cm}^2 \cdot 182.25\text{cm}^2) = 27\text{cm}^4 + 6561\text{cm}^4 = 6588\text{cm}^4$$

Sección 3: Aplicación (ecuación 3 y 4)

$$I_3 = \frac{8\text{cm} \cdot (17\text{cm})^3}{12} + 136\text{cm}^2 \cdot (15\text{cm} - 15\text{cm})^2 = 3275.33\text{cm}^4 + 136\text{cm}^2 \cdot (0)^2 = 3275.33\text{cm}^4$$

Sección 5: Aplicación (ecuación 3 y 4)

$$I_5 = \frac{12\text{cm} \cdot (3\text{cm})^3}{12} + 36\text{cm}^2 \cdot (15\text{cm} - 1.5\text{cm})^2 = 27\text{cm}^4 + (36\text{cm}^2 \cdot (13.5\text{cm})^2) =$$

$$27\text{cm}^4 + (36\text{cm}^2 \cdot 182.25\text{cm}^2) = 27\text{cm}^4 + 6561\text{cm}^4 = 6588\text{cm}^4$$

Para Secciones 2 y 4; donde:

$$I_x = \frac{h^3(b^2 + 4ab + a^2)}{36(a+b)} + \frac{1}{2}h(a+b) * \left(\frac{1}{3} \left(\frac{2a+b}{a+b} \right) \right)^2 ; (\text{ecuación 5}).$$

Donde:

h=altura trapecio

b=Base mayor

a=Base menor

$$\text{Área : } A = \frac{1}{2}h(a+b); (\text{ecuación 6}).$$

$$\text{Centroide con respecto al eje } \bar{Y} = \frac{1}{3} \left(\frac{2a+b}{a+b} \right); (\text{ecuación 7})$$

Sección 2:

Aplicación (ecuación 5,6 y 7)

$$I_2 = \frac{(3.5\text{cm})^3((12\text{cm})^2 + 4*8\text{cm}*12\text{cm} + (8\text{cm})^2)}{36(8\text{cm}+12\text{cm})} + \frac{1}{2}*3.5\text{cm}(8\text{cm}+12\text{cm}) * \left(\left(27\text{cm} - \left(\frac{1}{3} * \frac{2(8\text{cm})+12\text{cm}}{8\text{cm}+12\text{cm}} \right) - 15\text{cm} \right)^2 \right) = \frac{42.87\text{cm}^3(144\text{cm}^2 + 384\text{cm}^2 + 64\text{cm}^2)}{720\text{cm}} + \frac{70\text{cm}^2}{2} * \left(\left(27\text{cm} - \left(\frac{40\text{cm}}{60\text{cm}} \right) - 15\text{cm} \right)^2 \right) = \frac{42.87\text{cm}^3*592\text{cm}^2}{720\text{cm}} + 35\text{cm}^2*((27\text{cm}-0.67\text{cm})-15\text{cm})^2 =$$

$$\frac{25379\text{cm}^5}{720\text{cm}} + 35\text{cm}^2*(26.33\text{cm}-15\text{cm})^2 = 35.24\text{cm}^4 + 35\text{cm}^2*(11.33\text{cm})^2 =$$

$$\frac{25379\text{cm}^5}{720\text{cm}} + 35\text{cm}^2*(26.33\text{cm}-15\text{cm})^2 = 35.24\text{cm}^4 + 35\text{cm}^2*(11.33\text{cm})^2 =$$

$$35.24\text{cm}^4 + 35\text{cm}^2*128.37\text{cm}^2 = 35.24\text{cm}^4 + 4493\text{cm}^4 = 4528.24\text{cm}^4$$

Sección 4:

Aplicación (ecuación 5,6 y 7)

$$I_4 = \frac{(3.5\text{cm})^3 ((12\text{cm})^2 + 4 * 8\text{cm} * 12\text{cm} + (8\text{cm})^2)}{36(8\text{cm} + 12\text{cm})} + \frac{1}{2} * 3.5\text{cm}(8\text{cm} + 12\text{cm}) * \left(15\text{cm} - \left(3\text{cm} + \left(\frac{1}{3} * \frac{2(8\text{cm}) + 12\text{cm}}{8\text{cm} + 12\text{cm}} \right) \right) \right)^2 = \frac{42.87\text{cm}^3 (144\text{cm}^2 + 384\text{cm}^2 + 64\text{cm}^2)}{720\text{cm}} + \frac{70\text{cm}^2}{2} * \left(15\text{cm} - \left(3\text{cm} + \frac{40\text{cm}}{60\text{cm}} \right) \right)^2 = \frac{25379\text{cm}^5}{720\text{cm}} + 35\text{cm}^2 * (15\text{cm} - 3.67\text{cm})^2 = 35.24\text{cm}^4 + 35\text{cm}^2 * (11.33\text{cm})^2 = 35.24\text{cm}^4 + 35\text{cm}^2 * 128.37\text{cm}^2 = 35.24\text{cm}^4 + 4493\text{cm}^4 = 4528.24\text{cm}^4$$

Así la Inercia Total (I_t) es: $I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$

$$I_t = 6588\text{cm}^4 + 4528.24\text{cm}^4 + 3275.33\text{cm}^4 + 4528.24\text{cm}^4 + 6588\text{cm}^4$$

$$I_t = 25507.81\text{cm}^4$$

Ahora se realiza la conversión de cm^4 a m^4

$$\text{Si; } 25507.81\text{cm}^4 * \frac{(1\text{ m})^4}{(100\text{ cm})^4} = \frac{1\text{m}^4 * 25507.81\text{ cm}^4}{100000000\text{ cm}^4} = 0.00025507581\text{ m}^4$$

$$I_t = 0.0002550781\text{ m}^4$$

Aplicación (ecuación 1)

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

$$M = \text{Momento flector máximo} = M_{\text{máximo}} = 4006.3\text{ Nm}$$

$$c = \text{Distancia desde el centroide, hasta donde se determina el esfuerzo} = c = 0.15\text{ m}$$

$$I = \text{Momento de inercia respecto al eje de flexión} = I_t = 0.0002550781\text{ m}^4$$

Entonces:

$$\sigma_m = \frac{4006.3 \text{ Nm} * 0.15 \text{ m}}{0.0002550781 \text{ m}^4} = \frac{600.94 \text{ Nm}^2}{0.0002550781 \text{ m}^4} = 2355905,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2355905,9 \text{ Pa}$$

$$2355905,9 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ KPa}}{1000 \text{ Pa}} = 2355.9 \text{ KPa} * \frac{1 \text{ MPa}}{1000 \text{ KPa}} = 2,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 2,35 \text{ MPa}$$

Evaluación

Aplicando el criterio del factor de seguridad. (Department of Defense, s.f.), y, la Deflexión Máxima de la viga transversal

Factor de Seguridad (FS).

$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_m} ; \text{ (ecuación 8)}$$

Donde:

σ_f : Resistencia del material

Esta información es referenciada de la tabla 2 Pruebas de Laboratorio, según la media del módulo de Young.

σ_m : Esfuerzo máximo"

Esta información es referenciada del resultado al aplicar la Ecuación 1.

Aplicación (ecuación 8)

$$FS = \frac{11,839 \text{ MPa}}{2,35 \text{ MPa}} = 5.03$$

Deflexión Máxima de la Viga Transversal. Según mecánica de materiales (Beer Jhonston DeWolf MazureK, Séptima edición)

$$|y|_{\text{máx}} = \frac{5 * w * L^4}{384 * E * I} ; \text{ (ecuación 9)}$$

Donde:

w=Carga uniformemente distribuida

L=Longitud de la viga que soporta una w

E=Modulo de elasticidad o Modulo de Young

I=Momento de inercia respecto al eje de flexión.

Aplicación (ecuación 9)

$$|y|_{\text{máx}} = \frac{5 \cdot 6747.47 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (2.18 \text{ m})^4}{384 \cdot 523.576 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.0002550781 \text{ m}^4} = \frac{5 \cdot 6747.47 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 22.6 \text{ m}^4}{384 \cdot 523.576 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.0002550781 \text{ m}^4} =$$

$$\frac{762464.1}{51284264.17} \cdot \text{m} = 0.0148 \text{ m} \cdot \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 14.8 \text{ mm}$$

Conclusiones

Este proyecto determino la resistencia a flexión en vigas transversales manufacturadas en material plástico, a través del cálculo de las cargas externas, esfuerzo máximo; aplicando el criterio del factor de seguridad, y por último se determinó su deflexión máxima, con el propósito de utilizar las en la construcción de puentes peatonales colgantes.

Se instauró una metodología que inicio con la obtención de la materia prima mediante el reciclaje de los residuos de plástico a través de la compra del material, y que una vez en la planta de producción se muele y empaca, finalizando con el almacenamiento.

Se estableció una mezcla del material plástico (polietileno de alta densidad) específico para el estudio, con un aditivo estabilizante que mejore la resistencia a los rayos UV al 2% del total de peso del material plástico, a continuación, se lleva a la extrusora, a la cual se le instala el molde según la forma y el tamaño del producto, una vez inyectado se enfría y posteriormente de saca del molde.

Se determinaron las propiedades del material de estudio, tales como la resistencia a flexión y el Módulo de elasticidad o de Young, información relevante que permitió determinar la resistencia de vigas transversales construidas con él material ensayado, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo en un puente colgante.

Se determinó la resistencia a flexión de la viga transversal que soporta el total de la carga aplicada sobre su área de influencia, para ello se realizó la evaluación de los resultados de acuerdo a la teoría, su forma, tamaño y material, es funcional y resistente para la carga determinada, bajo el criterio de factor de seguridad dando como resultado que puede resistir hasta 5.03 veces la carga de trabajo.

Por último, se visualizó que existe la posibilidad de reemplazar productos estructurales tradicionales como la madera vegetal, acero entre otros, elaborados con elementos de material plástico reciclado, con la finalidad general de mejorar nuestro medio ambiente.

Recomendaciones

Concluido el trabajo de grado, se recomienda realizar futuros proyectos innovadores, los cuales se elaboren con materiales plásticos reciclados reforzados y no reforzados, con el propósito de ser útiles en forma estructural.

A los futuros graduandos que no teman equivocasen, porque “solo uno sabe qué valor tienen nuestros propios logros”

Bibliografía

- AENOR Confia. (24 de Julio de 2017). ASTM D790-17. Obtenido de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm?c=097762>
- Construpedia. (2019). Plástico. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Pl%C3%A1stico>
- Department of Defense. (s.f.). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de http://mahshahr.aut.ac.ir/lib/exe/fetch.php?media=labs:astm_d790.pdf
- Diccionario de la Real Academia Española. (2020). Diccionario de la Real Academia Española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Fundación Ellen MacArthur. (2010). Hacia una Economía Circular: Motivos Económicos para una Transición Acelerada (PDF). Obtenido de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf
- Instron. (2008). Resistencia a la flexión. Obtenido de <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexural-strength>
- Mena, J., Ochoa, B., & David, L. (2018). Trabajo de Titulación modalidad estudio técnico. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/>
- Meza de Luna, A., Moreno Virgen, R., & Beltrán García, C. A. (2017). Comportamiento mecánico del plástico proveniente de residuos urbanos con carga de tensión. Dialnet, 54, 12-17. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405832>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; ACOPLASTICOS. (Julio de 2004). Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo,

- aprovechamiento y disposición de residuos basicos pos-consumo (PDF). Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/inicio>
- Palacino, D. M. (20 de Noviembre de 2019). Criterios de implementación ISO 14000:2015 Caso Estudio Sector Plástico- Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30533/cpdoriac.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PlasticsEurop. (2017). EL PLÁSTICO EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/building-construction>
- Roberto Hernández, C. F. (2010). Metodología de la investigación. MCGRAW-HILL.
- Roca, E. (Septiembre de 2005). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD). Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf
- Rojas, S. (11 de Julio de 2017). decreto_456_de_2010.pdf. Obtenido de http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/decreto_456_de_2010.pdf
- Rosel Solis, M. J., Molina Salazar, J., Davalos Ramirez, J. O., Pimentel Mendoza, A. B., & Vega, Y. (2019 de Junio). Análisis de características de materiales compuestos contruidos sobre núcleos de ABS preparados por fabricación aditiva. Revista Dyna, 94(3), 286-291.
- Universidad Nacional Autonoma de Mexico. (s.f.). Una vida de plastico. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, M. (2010) Metodología de la investigación 5ta. Edición. MCGRAW-HILL

Apéndices

Apéndice A.

Principales propiedades físicas del Polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm ³	0.941 – 0.965
Absorción de Agua	.mg a 96 h	<0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión al Cede	N/mm ²	18 – 35
Elongación punto de Ruptura	%	1000
Resistencia al impacto Ranurado 1		
A 20 C	KJ/m	No rompe -6
A -20 C	KJ/m	>5
Temperatura de Defección		
1.86 N/mm ²	C°	50
0.45 N/mm ²	C°	75
Resistencia Dieléctrica	KV/cm	>600

Nota. Fuente. (Roca, 2005)

Apéndice B.*Principales propiedades químicas del polietileno de alta densidad*

Reactivo	Resistencia
Ácidos-concentrados	Buena
Ácidos-diluidos	Buena
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Aceptable
Halógenos	Mala

Nota. Fuente. (Roca, 2005)

Apéndice C.

Principales propiedades mecánicas del Polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Coeficiente de Fricción		0,29
Dureza - Rockwell		D60-73 - Shore
Módulo de Tracción	(GPa)	0,5-1,2
Relación de Poisson		0,46
Resistencia a la Tracción	(MPa)	15-40
Resistencia al impacto Izod	(Jm ⁻¹)	20-210

Nota. Fuente. (Roca, 2005)