



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE**

**DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y**

**CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**ESTUDIO DE MATERIALES DE POLÍMEROS COMBINADOS  
IMPRESOS EN 3D, PARA REEMPLAZO DE LA ARMADURA DEL  
HORMIGÓN ARMADO**

**TUTOR**

**MsC. Max Dario Almeida Franco**

**AUTOR**

**ROBERT JEFERSON ZAMBRANO LOZANO**

**GUAYAQUIL**

**2022**

## REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

Estudio de Materiales de Polímeros Combinados Impresos en 3D, para Reemplazo de la Armadura del Hormigón Armado

**AUTOR/ES:**

Zambrano Lozano Robert Jeferson

**REVISORES O TUTORES:**

MsC. Max Dario Almeida Franco

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

Ingeniero Civil

**FACULTAD:**

FACULTAD DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

**CARRERA:**

Ingeniería Civil

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2022

**N. DE PAGS:**

81 paginas

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Arquitectura y construcción

**PALABRAS CLAVE:** Polímeros, impresión, hormigón, Prefabricación (construcción), Ingeniería de la construcción

**RESUMEN:**

El uso del polímero Polipropileno (PP) para refuerzo del hormigón, y a la vez este sea impreso mediante tecnología en 3D nos lleva a realizar este estudio, determinando sus propiedades tanto físicas como mecánicas; esto mediante procesos experimentales como lo son ensayos de tracción, deformación a la rotura, carga máxima, entre otros. Se detalla desde la modelación mediante software 3D de las probetas de estudio según norma ISO 527 -1/-2, continuando con la impresión de las mismas, pasando por los ensayos realizados hasta obtener los resultados, comparando mediante norma NTE INEN 2167 los datos obtenidos en los ensayos del polipropileno (PP), también se determina mediante cálculos de una viga tipo, no es factible el uso del polipropileno como refuerzo

para elementos estructurales, determinando el porcentaje de incremento del área de refuerzo cuando se calcula con los datos obtenidos en los ensayos del plástico.		
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTORES:</b> Zambrano Lozano Robert Jeferson	<b>Teléfono:</b> 0982856296	<b>E-mail:</b> janio_zl_93@hotmail.com
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	<p>MSc. Ing. Milton Andrade Laborde Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. <b>Teléfono:</b> (04)259 6500 Ext. 241 <b>E-mail:</b> asalvatierrae@ulvr.edu.ec</p> <p>Mg. Ing. Civil Alexis Valle Benítez Director de la Carrera de Ingeniería Civil. <b>Teléfono:</b> (04)259 6500 Ext. 242 <b>E-mail:</b> avalleb@ulvr.edu.ec</p>	

# CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

ZAMBRANO LOZANO

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

1%

★ documents.mx

Fuente de Internet

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 1%

 Encicla Franco

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El estudiante egresado ROBERT JEFERSON ZAMBRANO LOZANO, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, (Estudio de Materiales de Polímeros Combinados Impresos en 3D, para reemplazo de la Armadura del Hormigón Armado), corresponde totalmente a él suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor



Firma:

ROBERT JEFERSON ZAMBRANO LOZANO

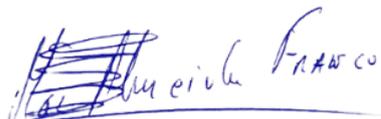
0931243711

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Estudio De Materiales De Polímeros Combinados Impresos En 3d, Para Reemplazo De La Armadura Del Hormigón Armado, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Estudio de Materiales De Polímeros Combinados Impresos En 3d, para Reemplazo de la Armadura del Hormigón Armado, presentado por el estudiante Zambrano Lozano Robert Jeferson como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

A handwritten signature in blue ink, reading "Max Darío Almeida Franco". The signature is written over a horizontal line and includes a stylized graphic element on the left side.

Firma:

MsC. Max Darío Almeida Franco

C.C. 0906706981

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme el ímpetu de culminar este hermoso capítulo de mi vida como estudiante.

Agradezco a mi familia, mi esposa y mi hija quienes fueron un pilar y apoyo incondicional durante todo este tiempo.

Al Ing. Anderson Muñoz Chichande y por sobre todo el PhD. Msc. Areche García Javier Nicolas que me mostraron y guiaron en el proceso de esta investigación.

Al MsC. Max Darío Almeida Franco quien fue mi tutor de este proyecto por la paciencia y la disposición para la culminación del mismo.

**Robert Jerferson Zambrano Lozano**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi esposa e hija porque han sido ese apoyo para superarme día tras día, por ser quienes me alentaron cuando ya no podía seguir y siempre estuvieron ahí para ayudarme cuando más lo necesitaba.

A mi mama, quien es un ejemplo notable de esfuerzo y perseverancia y por mostrarme que si queremos podemos alcanzar cualquier meta.

A mi padre, quien ya partió de este mundo, me hubiera gustado que veas donde estoy ahora, sé que estarías orgulloso.

**Robert Jerferson Zambrano Lozano**

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 Tema:</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema:</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Formulación del Problema:</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivo General</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Objetivos Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>1.7 Línea de Investigación Institucional/Facultad.</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Marco Teórico</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 Polímeros</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4 Clasificación de los Polímeros</b> .....	<b>10</b>
<b>2.5 Tipos de Polímeros</b> .....	<b>10</b>
<b>2.5.1 Polipropileno (PP)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5.2 Propiedades del Polipropileno (PP)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.6 Esfuerzo de tensión</b> .....	<b>13</b>
<b>2.7 Descripción secuencial del ensayo de tracción técnico</b> .....	<b>13</b>
<b>2.8 Hormigón Armado</b> .....	<b>14</b>
<b>2.9 Hormigón o concreto</b> .....	<b>14</b>
<b>2.10 Cemento</b> .....	<b>15</b>
<b>2.11 Agregados Finos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.12 Agregados Grueso</b> .....	<b>17</b>
<b>2.13 Agua</b> .....	<b>17</b>
<b>2.14 Hierro o Acero de refuerzo</b> .....	<b>18</b>
<b>2.15 Marco Legal:</b> .....	<b>19</b>
<b>2.15.1 Constitución de la República Del Ecuador</b> .....	<b>20</b>
<b>2.15.1.1 Convenios y Tratados Internacionales</b> .....	<b>21</b>
<b>2.15.1.1.1 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible</b> .....	<b>21</b>
<b>2.16 Normas técnicas</b> .....	<b>23</b>

2.17	Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC .....	23
2.18	Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-CC de las NECs .....	23
2.19	Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción).....	24
2.19.1	Seguridad estructural de las edificaciones .....	24
2.20	Métodos de ensayo .....	25
2.21	Límite de fluencia y esfuerzo de prueba .....	26
2.22	Ensayo de doblado (Flexión) .....	26
2.23	<b>La Norma Técnica Ecuatoriana JNEN-ISO 527-1 PLÁSTICOS.</b>	
	<b>Determinación De Las Propiedades En Tracción .....</b>	<b>27</b>
2.23.1	Ensayos de Tracción.....	27
2.24	Definición de la geometría y dimensiones de las probetas a ensayar según la norma ISO .....	27
2.25	Requisitos de acondicionamiento y condiciones ambientales definidos....	28
3.1	Enfoque de la investigación.....	29
3.2	Alcance de la investigación.....	29
3.3	Técnica e instrumentos para obtener los datos .....	29
3.4	Población y muestra.....	30
3.4.1	Población .....	30
3.4.2	Muestra .....	31
3.5	Presentación y análisis de resultados .....	31
3.5.1	Obtención del material plástico – Polipropileno para este estudio.....	31
3.5.2	Elaboración del diseño digital 3D para impresión de probetas .....	32
3.5.3	Impresión de probetas mediante tecnología de impresión en 3D .....	32
3.5.4	Ensayos de laboratorio (Ensayo de Tracción en Plásticos) según Norma ISO 527 -1 /-2.....	33
3.5.5	Para el objetivo específico: determinar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D.....	33
3.5.6	Para el objetivo específico: Comparar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con lo establecido en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado.	36
3.5.7	Comparar el área mínima necesaria de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con el área mínima necesaria de acero de refuerzo con un elemento estructural tipo.....	37
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Proceso de mezcla del cemento.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 2: Tabla de la clasificación de los aceros según la ASTM (American Society of Testing Materials) .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 3: Tabla de técnicas e instrumentos .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4: Tabla de Población .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 5: Tabla de Muestras .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 6: Tiempo en horas para impresión en 3D de las probetas .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 7. Propiedades Físicas del Polipropileno (PP) .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 8. Resultados de ensayos de tensión (PP) .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 9. Análisis teórico del comportamiento del (PP) – Esfuerzo Máximo .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 10. Especificaciones mecánicas de las varillas lisas y corrugadas para hormigón armado .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 11. Comparativa entre Áreas de refuerzo para el acero y para el plástico .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Polimerización del estireno para dar poliestireno .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2: El parachoques del automóvil es de polipropileno para disminuir el peso sin que afecte a la seguridad. En los coches modernos el parachoques no está separado de la estructura y es casi invisible .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3: La fórmula y propiedades del polipropileno .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4: ejemplo de esfuerzo de tensión .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5: Morfología de probeta para el ensayo de tracción: a) dimensiones originales; b) dimensiones durante el ensayo (etapa de deformación uniforme); e) dimensiones finales (morfología para aleaciones metálicas) .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 6: Viga de hormigón armado .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7: Vaciado de Hormigón o concreto en losa .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 8: Proceso de mezcla del cemento .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 9: Tabla de Especificaciones mecánicas de las varillas lisas y corrugadas para hormigón armado .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10: Tabla de Relación de aplicación de esfuerzos .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11: Geometrías de probeta para el ensayo de materiales de moldeo .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12: Dimensiones de probetas para ensayo .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 13: Dimensiones de probetas para ensayo modelado en 3D .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 14: Probetas impresas en 3D según (Norma ISO 527, 2012) .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15: Resultados de Ensayos de Tracción .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16: Viga tipo para diseño de Área de acero .....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1: Modelado 3D de probetas en software SketchUp según normativa .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo 2: Modelado 3D de probetas en software SolidWorks según normativa .....</b>	<b>46</b>
<b>Anexo 3: Ingreso al software de la impresora 3D para la elaboración de las probetas .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo 4: Ingreso de medidas de las probetas al software según normativa para la elaboración de las probetas .....</b>	<b>48</b>
<b>Anexo 5: Probetas ya impresas mediante impresión 3D primera impresión .....</b>	<b>49</b>
<b>Anexo 6: Probetas ya impresas mediante impresión 3D segunda impresión .....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo 7: Probetas numeradas para el respectivo ensayo de Tracción según normativa .....</b>	<b>51</b>
<b>Anexo 8: Calibración del equipo para el ensayo respectivo .....</b>	<b>52</b>
<b>Anexo 9: Calibración del equipo para el ensayo respectivo .....</b>	<b>53</b>
<b>Anexo 10: Ensayo probeta 22-7264 (7mm) .....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo 11: culminación de ensayo en probeta 22-7264 (7mm) .....</b>	<b>55</b>
<b>Anexo 12: Resultados de ensayo probeta 22-7264 (7mm) .....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo 13: Ensayo probeta 22-7265 (8mm) .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo 14: culminación de ensayo probeta 22-7265 (8mm) .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo 15: Resultados de ensayo probeta 22-7265 (8mm) .....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo 16: resultados de ensayo probeta 22-7266 (9mm) .....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo 17: Culminación de ensayo probeta 22-7267 (10mm) .....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo 18: Resultados de ensayo probeta 22-7267 (10mm) .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 19: Resultados de todas las probetas .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 20: Evidencia 1 de Ensayos a probetas .....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 21: Evidencia 2 de resultados de Ensayos a probetas .....</b>	<b>65</b>

<b>Anexo 22: Informe de resultados de Ensayos a probetas 2 .....</b>	<b>66</b>
--	-----------

## **INTRODUCCIÓN**

El acero estructural juega un papel importante cuando hablamos de edificaciones en construcciones; gracias a sus propiedades físicas, mecánicas y en combinación con el hormigón simple lo hacen un hormigón armado material óptimo para las edificaciones.

Para el acero de refuerzo tenemos la corrosión, una de las desventajas más importante, sucede por el simple hecho de que el acero estructural esté en contacto con el oxígeno; haciendo que este sufra un desgaste o una alteración física (oxidación); siendo también este inconveniente el más peligroso conforme al efecto del paso del tiempo de las edificaciones, principalmente en lugares como costas, en ambientes donde existe humedad, en ambientes salinos; donde el proceso de corrosión aumenta significativamente.

Por lo que, este proyecto tratara del estudio de los plásticos o polímeros como material para uso en la estructura de las edificaciones, pretendiendo definir una estructura plástica que pueda fabricarse mediante impresiones en 3D; que reemplace la armadura de hierro usada comúnmente en las construcciones.

# CAPÍTULO I

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### **1.1 Tema:**

Estudio de materiales de polímeros combinados impresos en 3D, para reemplazo de la armadura del hormigón armado

### **1.2 Planteamiento del Problema:**

Cuando hablamos de elementos estructurales usados para la construcción de diferentes proyectos, podemos decir que nos referimos a dos primordiales; uno es el hormigón armado u hormigón estructural formado por hormigón (cemento portland, arena, grava y agua) y de acero de refuerzo (armadura de hierro figurado o conjunto de elementos metálicos en este caso varillas de hierro que forman una estructura) y por otro lado tenemos el acero estructural.

Estos elementos se caracterizan por dos significativas desventajas al momento de su uso en la construcción: la primera y más importante es la corrosión; se origina por exponer el hierro a la intemperie, que en contacto con el oxígeno provoca una reacción química la cual se denomina oxidación ocasionando desgaste o alteraciones físicas a los elementos de hierro.

En segundo lugar, tenemos el peso propio del material, acero de refuerzo se fabrican de diferentes longitudes y diámetros cuando nos referimos a varillas; cada una de estas con diferentes pesos propios, al igual que los perfiles metálicos cuando nos referimos al acero estructural fabricados en diferentes longitudes, espesores y formas; siendo este peso propio del material sumado al peso total de nuestra construcción. Dando origen a posibles fallas o en el peor de los casos el colapso de la estructura a causa de su propio peso; ocasionando pérdidas materiales y hasta humanas en circunstancias extremas.

Debido a estas dos vitales desventajas se plantea el reemplazo del acero de refuerzo en el hormigón armado u hormigón estructural por una estructura plástica y que conjuntamente de esto, no es corrosiva y su peso significativamente más ligero.

### 1.3 Formulación del Problema:

¿Cómo se comportan los materiales de polímeros combinados impresos en 3D, para reemplazo de la armadura del hormigón armado?

### 1.4 Objetivo General

Estudiar materiales de polímeros combinados impresos en 3D, para reemplazo de la armadura del hormigón armado.

### 1.5 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D.
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con lo establecido en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado.
- Comparar el área mínima necesaria de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con el área mínima necesaria de acero de refuerzo con un elemento estructural tipo.

### 1.6 Hipótesis

La estructura plástica o polimérica fabricada mediante impresión en 3D cumplirá con los parámetros establecidos en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado, estableciéndose un factor entre ambos materiales.

### 1.7 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

**Cuadro 1:** Polimerización del estireno para dar poliestireno

<b>Campo de Conocimiento</b>	<b>Línea de Investigación</b>	<b>Sub Línea de Investigación</b>
Ingeniería, Industria y Construcción	Materiales de Construcción	Material de origen innovador para la Construcción

**Fuente:** (ULVR, 2019)

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Hoy en día, conocemos que la mayor parte de los elementos estructurales que forman parte de una edificación dependen principalmente en su totalidad del concreto y el hierro o acero de refuerzo. Este último toma el esfuerzo de tracción que se desarrolla en la estructura; por lo cual mediante investigaciones anteriores podemos decir que:

En lo que corresponde a la variable de hormigón en combinación con polímeros; exponen Lima & Pozo, el trabajo de titulación “*Elaboración de hormigones de resistencias de 210 y 350 kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de tereftalato de polietileno (PET)*”, previo a la obtención del título ingeniero civil vías, de la Universidad de Guayaquil. (Lima Moncayo & Landucci Pozo, 2021)

En este estudio se pretende analizar el comportamiento de un hormigón con fibra reciclada PET con longitudes de 3 cm y 5 cm, por medio de la fabricación de cilindros y vigas, con resistencias de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y  $350 \text{ Kg/cm}^2$ , los cuales serán ensayados a edades de 7, 14 y 28 días respectivamente y a su vez serán comparados con un diseño tipo para cada una de las resistencias de diseño establecidas.

Para esto se concluye que luego de analizar los resultados se demostró que el diseño con incorporación de fibra reciclada PET de 3 cm logró obtener un mayor resultado en la resistencia a flexión dando un valor de  $MR = 4,47 \text{ MPa}$  en el diseño de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y  $MR = 4,99 \text{ MPa}$  en el diseño de  $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente.

En el trabajo de titulación “*Incidencia de las fibras de polipropileno y fibras metálicas en un hormigón para pavimento rígido  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$* ”, previo a la obtención del título ingeniero civil vías, de la Universidad de Guayaquil. (Lindao Cedeño & Romero Ortega, 2018)

Este trabajo tiene como fin mostrar una alternativa para mejorar el comportamiento del hormigón convencional con la adición de fibras de polipropileno y fibras metálicas para el diseño de un pavimento rígido  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ . Los progresos con los que aportan las fibras son la disminución de fisuras, el aumento considerable de la resistencia a Tracción, así como el incremento de otras propiedades.

Con la búsqueda de beneficios adicionales en lo que se refiere a incremento de la durabilidad y reducción del refuerzo tradicional, las fibras son colocadas en aplicaciones estructurales.

Debido a las nuevas preferencias constructivas el uso de hormigón reforzado con fibra avanza a gran velocidad, en el campo de los hormigones especiales se establece como una de las innovaciones más relevantes.

Cada vez más se emplea el uso de hormigón fibro-reforzado, se utiliza en diferentes obras civiles, desde pavimentos rígidos hasta en el reforzamiento de estabilidad de obras subterráneas, estabilización de taludes y ejecución de piscinas.

La visión de la investigación es comparar los resultados obtenidos en el diseño de hormigón simple y el hormigón reforzado con fibras, tomando en cuenta la metodología de diseño, procedimiento constructivo y precios unitarios.

Haciendo referencia en el uso del hormigón armado como elemento estructural tenemos que en el libro “*Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado.*”, publicado en la ciudad de Sangolqui en el mes de octubre del año 2019. (Caiza Sánchez & Viera Arroba, 2019)

En su investigación académica detalla que: Los pórticos de hormigón armado son una solución muy común para formar el esqueleto resistente de viviendas y edificios, sobre todo si el número de pisos es menor o igual a 4. En este tipo de estructura resistente, las columnas son un elemento esencial.

Desde el punto de vista del análisis basado en fuerzas, las columnas se caracterizan por la presencia simultánea de momentos flectores y cargas axiales. La presencia de cargas axiales cambia la distribución de esfuerzos en las secciones de las columnas y por tanto las deformaciones. Las deformaciones por flexo-compresión, con respecto a las de corte, son mucho más importantes.

Finalmente, es importante recalcar que en las estructuras aporticadas, puesto que se acepta daño, se debe revisar que el mecanismo de colapso estructural completo se caracterice por afectaciones primero en vigas y luego en columnas, pues es más probable que si el daño ocurre primero en columnas, este sea catastrófico. Lo anterior conduce al principio columna fuerte -viga débil.

Para lo que corresponde a la variable de impresión en 3D, los autores exponen en su proyecto de titulación “*Comportamiento de morteros con materiales locales en el proceso de impresión de elementos constructivos en 3d*” previo a la obtención del título ingeniero civil vías, de la Universidad de Nacional de Chimborazo. (Huilcapi, 2020)

Se da a conocer que la impresión 3D es parte de la automatización de los procesos en la construcción. Busca ayudar al ser humano a mejorar los tiempos y los esfuerzos requeridos por procesos tradicionales. En la construcción, al ser una tecnología en 3D nueva en investigación, no se conoce un modelo normalizado en cuanto a impresión y material a utilizar. A nivel mundial varias empresas y grupos de investigación han realizado la impresión en 3D, han presentado sus beneficios, de manera breve sobre funcionamiento y características de los materiales a utilizar, información que no es suficiente para poderlos replicar.

Utilizando diseños hipotéticos de morteros elaborados con materiales locales para el uso de impresión 3D, se continúa en la investigación, que trata de lograr una estandarización para obtener un mortero con material local del Ecuador apto para su uso en la impresión en 3D.

Mediante la construcción de prueba-error se ha conseguido el primer prototipo de impresora 3D para morteros en la localidad, con la que se ha podido demostrar que dichos morteros son imprimibles. El uso que se ha dado a CH1 y TN1 es formar elementos pequeños de 3 capas para analizar su comportamiento a nivel de sus propiedades cuando se genera la impresión 3D. La capacidad de extrusión se ha considerado mediante la extrudabilidad y la calidad de impresión. El tiempo abierto ha sido analizado en términos de: tiempo en el que la muestra evita el escurrimiento, tiempo trabajable en el que el material permite generar una impresión satisfactoria y tiempo en el que la muestra inicia y termina su fraguado. La edificabilidad de las muestras fue evaluada según la deformación en términos de espesor.

En el artículo “*3D printing for construction: a procedural and material-based approach*” que al traducirlo sería “*Impresión 3D para la construcción: un enfoque basado en el procedimiento y los materiales*” y publicado en el año 2017 en la ciudad de Madrid – España. Sus autores exponen la agilidad y rapidez al hacer uso de la tecnología como lo es la impresión en 3D. (Nadal, Pavón, & Liébana, 2017)

Proponen que los procesos de impresión 3D actuales (1) (2) se centran principalmente en la creación rápida de prototipos (RP). Las técnicas SLA (estereolitografía), SLS (sinterización selectiva por láser) y FDM (modelado por deposición fundida) se basan en un enfoque capa por capa de la impresión 3D, que presenta una serie de limitaciones que incluyen: (i) la necesidad de continuidad del material, (ii) la presencia de material de soporte en ciertas partes, y (iii) las necesidades de refinamiento manual.

Los enfoques de gran tamaño para la impresión 3D pretenden escalar máquinas orientadas a escritorio. Hay dos métodos principales que se centran en la impresión 3D a gran escala: la impresora Z basada en andamios, los enfoques de grúa puente [p. proyecto WASP e impresora D-Shape (3)], o técnicas similares a Contour Crafting (4) (5). El primero requiere grandes cantidades de material para trabajar y da como resultado una gran cantidad de desperdicio de material, un problema que la impresión 3D debe abordar. Además, estos métodos no se pueden implementar en el sitio, o no es asequible hacerlo. Además de eso, estas técnicas son toscas, inexactas y propensas a imprecisiones geométricas, que arrojan resultados crudos que están lejos de ser aceptables para ser considerados como definitivos.

Muchos ejemplos hacen uso de estas tecnologías (6). El Proyecto Radiolaria, por ejemplo, consiste en una traducción ampliada de impresoras SLA que funcionan con una boquilla que vierte un aglutinante adhesivo sobre una capa de material estructural en bruto. Por otro lado, WinSun Singapur Home o la casa del canal impresa en 3D por DUS Architects –ver Figura 1– utilizan la metodología Con-tour Crafting, donde una boquilla vierte concreto o un material fusionado similar directamente en el lugar, creando la forma final o objeto físicamente (7) (8).

Aunque estos son experimentos interesantes que superan los límites de la construcción, fallan en varios puntos: el problema más destacado del Proyecto Radiolaria es la cantidad de material que se requiere para la fabricación, junto con el tamaño de la infraestructura, lo que la hace inadecuada para trasladar su producción a fábricas deslocalizadas. Los módulos 3D de Winsun, por otro lado, necesitan brindar soluciones más complejas que incorporen sistemas de construcción, elementos estructurales y materiales de acabado en los productos finales. Además, no aborda el tema del transporte de los módulos al sitio final, un aspecto clave de la construcción modular y prefabricada.

La impresión 3D de metal es otra técnica relacionada con la construcción que se puede explorar para crear piezas de tamaño completo. La estampación en metal de piezas pequeñas ya se ha desarrollado mediante técnicas SLS, aunque su adaptación a objetos de gran volumen pasa en la actualidad por la aplicación de técnicas de soldadura estándar. Estos abren nuevas oportunidades para explorar los campos de formas geométricas complejas, refuerzos intrincados y construcciones temporales.

El proyecto MX3D, por ejemplo, tiene como objetivo construir un puente de metal a gran escala en Ámsterdam utilizando la impresión 3D con técnicas de soldadura relativamente estándar. Estos difieren ligeramente del FDM estándar o métodos de impresión relacionados en que no requiere entradas en forma de curvas horizontales, sino una serie de puntos donde se fusiona el material. Como se puede ver, existen enfoques, estrategias, y procedimientos que se relacionan directamente con la construcción integrada por computadora (9), y más particularmente cuando se trata de tecnologías de impresión 3D de gran tamaño.

En lo que corresponde a la variable de los polímeros; expone Daniela Vanessa Poalacin Barragán, el trabajo de titulación “*Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de polipropileno (pp) reciclado mediante la adición de polietileno tereftalato reciclado (pet) por proceso de extrusión*”, previo a la obtención del grado académico de ingeniera química, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (Barragán, 2019)

La autora detallo que el presente estudio tiene por objeto el mejoramiento de las propiedades del polipropileno reciclado mediante la adición de polietileno tereftalato reciclado (PET) en varios porcentajes e incluyendo un agente acoplante como el anhídrido ftálico. Para ello se procedió a obtener escamas de los dos materiales previamente lavados y secados; la mezcla de polipropileno y polietileno tereftalato se alimentó en la tolva directamente, trabajando con tres perfiles de temperatura y diferentes porcentajes de PET propuestos (5%, 10%, 20% y 30%).

A las probetas obtenidas bajo cada uno de estos parámetros se las sometió a ensayos mecánicos para su caracterización donde en base a los resultados obtenidos se definió el perfil de temperatura que mejor se ajustaba a las necesidades previstas, así las temperaturas de la tolva de alimentación a la boquilla fueron 155/190/190/190 °C respectivamente, y una velocidad del tornillo de 350 rpm; el porcentaje óptimo de PET determinado corresponde a la mezcla PP/PET-30%.

Con estos parámetros se realizó una compatibilización de los materiales mediante la adición de anhídrido ftálico en porcentajes de 1%, 2% y 3% para determinar el comportamiento de la mezcla, ésta evidencia una mejora del 8% de resistencia al esfuerzo de tracción y del 56,81% en el parámetro de compresión.

Por lo antes expuesto y siendo un gran aporte investigativo se tomará como referencia la investigación, ya que el polímero usado en este proyecto de titulación será el polipropileno como material de estudio para el reemplazo del acero de refuerzo en el hormigón armado.

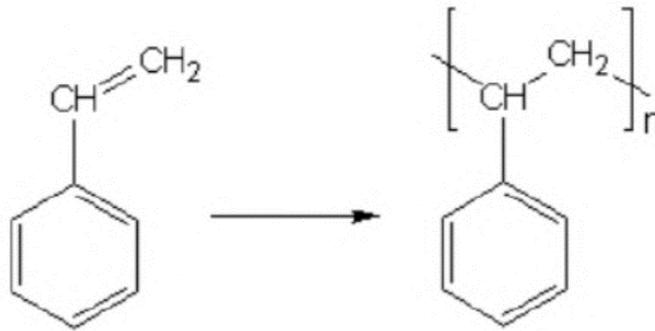
## **2.2 Marco Teórico**

### **2.3 Polímeros**

Se podría decir que los polímeros con compuestos orgánicos que por lo general se originan de manera natural y/o sintético, su composición son mediante unidades estructurales repetitivas las cuales se conocen como: monómeros. Los polímeros también poseen un alto peso molecular.

Citando al artículo “¿qué son los polímeros y cómo se clasifican?” (Zschimmer & Schwarz, 2019) podemos decir que los polímeros son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (conocidas como monómeros) que se repiten a lo largo de toda la cadena. Imagínate, por ejemplo, un collar de perlas: cada una de las perlas sería un monómero mientras que el collar entero es lo que se conoce como polímero.

Aunque no los veamos a primera vista, los polímeros nos rodean en nuestro día a día. Por ejemplo, el poliuretano es uno de los polímeros más versátiles y se utiliza desde en material deportivo, zapatos o bañadores hasta para construir grandes estructuras de ingeniería. La ropa que llevas puesta seguramente incluye poliésteres y poliamidas; y en las latas de conserva son más que habituales los policarbonatos de carbono y varios de ellos pueden poseer grupos laterales o radicales conformado con uno o más átomos.



**Figura 1:** Polimerización del estireno para dar poliestireno

**Fuente:** (Chalaco & Muñoz, 2021)

## 2.4 Clasificación de los Polímeros

Se clasifican en dos tipos:

1. **Los Polímeros Naturales.** – son aquellos que se encuentran de manera natural; como lo son el caucho y el algodón. No obstante, los polímeros naturales dan algunos problemas, ya que son demasiado quebradizos y se deforman con facilidad. Estas propiedades, derivadas de sus características estructurales, se han solventado con un proceso químico, conocido como vulcanización o recauchutado, con el que se entrecruzan las cadenas de poli isopreno.
2. **Los Polímeros artificiales.** – son aquellos que se originan en un laboratorio; son los que se usan mayormente ya que fueron diseñados para un objetivo específico.
- 3.

## 2.5 Tipos de Polímeros

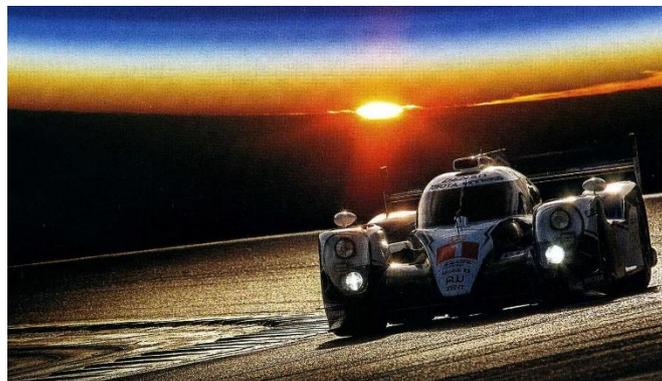
Existen una gran variedad de Polímeros combinados, cada uno de ellos cumpliendo y siendo integrado para el objetivo específico que fueron creados, como lo son: Polietileno de baja densidad (LPDE), Policloruro de vinilo (PVC), Polipropileno (PP), Polietileno de alta densidad (HDPE), Poliestireno (PS), Politereftalato de etilenglicol (PET), etc. En este proyecto se hará énfasis a uno de ellos denominado POLIPROPILENO (PP).

### 2.5.1 Polipropileno (PP)

Según lo que expresa (Pascual Bolufer, 2016) el PP pertenece al grupo de poliolefinas. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Parcialmente cristalino. Es un polímero de reacción en cadena, según la nomenclatura de Carothers. Es un polímero vinílico, con cadena principal formada solo por átomos de carbono. De la cadena cuelgan grupos metilo (CH<sub>3</sub>-) a uno u otro lado de la cadena.

Al añadir entre 5 y 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero de gran resistencia al impacto. Cuando el porcentaje de etileno supera cierto valor, el material pasa a comportarse como un elastómero, con propiedades muy diferentes del PP convencional: es el caucho etileno-propileno.

El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto que todos los termoplásticos. Presenta una buena resistencia a la fatiga, por lo que se emplea en la fabricación de bisagras. A baja temperatura el PP se vuelve frágil, nunca inferior a los -40 °C. El problema de la baja temperatura se resolvió incorporando en la formulación del PP un pequeño porcentaje de etileno.



**Figura 2:** El parachoques del automóvil es de polipropileno para disminuir el peso sin que afecte a la seguridad. En los coches modernos el parachoques no está separado de la estructura y es casi invisible.

**Fuente:** (Pascual Bolufer, 2016)

Las aplicaciones no se reducen a la industria del automóvil —parachoques— se extienden a las tuberías de agua, en vez de las tuberías de acero y cemento, y a las industrias de metalmecánica. La industria del automóvil ya usaba plásticos reforzados con fibras de vidrio cortas y poliftalamida pero el polipropileno es mejor en varios

aspectos. En 1988 el consumo mundial del PP fue de 10 millones de toneladas. En 2005 en la Unión Europea la producción de PP fue de 8,5 millones de toneladas. La empresa Elenac es el primer productor de PP en el mundo, con una cuota de mercado del 34%. Y principalmente centrado en Europa.

El monómero es el propileno, que se obtiene mediante la destilación a partir del GLP (Gas licuado de petróleo).

### 2.5.2 Propiedades del Polipropileno (PP)

En lo que se refiere a Propiedades del Polipropileno (PP) tenemos la siguiente ilustración, donde se detalla: densidad, temperatura de fusión (muy importante al momento de imprimir en 3D, ya que la boquilla se programa para llegar a la temperatura requerida. También) y temperatura de degradación.

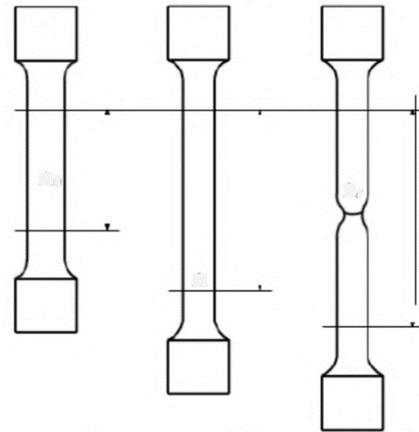
<b>Polipropileno</b>	
$\left( \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)_n$	
nomenclatura IUPAC	poli(1-metiletileno)
Sinónimos	Polipropileno; Polipropeno;
Fórmula química	$-(\text{C}_3\text{H}_6)_n-$
Monómero	Propileno (Propeno)
número CAS	9003-07-0 (atactico) 25085-53-4 (isotáctico) 26063-22-9 (sindiotáctico)
Densidad	Amorfo: 0,85 g/cm <sup>3</sup> Semicristalino: 0,95 g/cm <sup>3</sup>
temperatura de fusión	173 °C
Temperatura de degradación	286 °C

**Figura 3:** La fórmula y propiedades del polipropileno

**Fuente:** (Pascual Bolufer, 2016)

## 2.6 Esfuerzo de tensión

Se denomina esfuerzo de tensión cuando las fuerzas o cargas son contrarias entre sí, en una estructura, provocando que esta sufra una deformación por alargamiento.



**Figura 4:** ejemplo de esfuerzo de tensión.

**Fuente:** Plerre, Ferdinand; Russell Johnston, E. Jr.; T. Dewolf, John. Mecánica de Materiales. Staed.Mcgrawhill.

## 2.7 Descripción secuencial del ensayo de tracción técnico

Según lo expresado (Chalaco & Muñoz, 2021), en el ensayo de tracción técnico se aplica una tensión de tracción uniaxial creciente a velocidad moderada a la vez que se registra el alargamiento que experimenta el material hasta el momento en el que se produce la fractura. Debido a la moderada velocidad de aplicación de la fuerza se considera que el ensayo de tracción técnico es cuasi estático.



**Figura 5:** Morfología de probeta para el ensayo de tracción: a) dimensiones originales; b) dimensiones durante el ensayo (etapa de deformación uniforme); e) dimensiones finales (morfología para aleaciones metálicas).

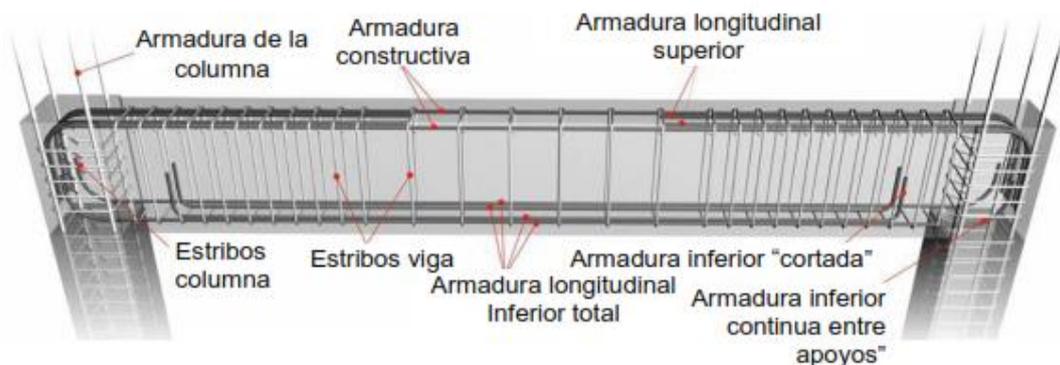
**Fuente:** (Chalaco & Muñoz, 2021)

En el caso de algunos polímeros, puede producirse un incremento significativo de la temperatura de estos materiales debido a la aplicación de un trabajo mecánico severo en un tiempo relativamente corto y, como consecuencia, la variación de las propiedades que se pretenden determinar con el ensayo de tracción técnico. Por ello, las normativas de distintos países establecen que el ensayo de tracción técnico se lleve a cabo con control de deformación, es decir, a velocidad de deformación constante.

## 2.8 Hormigón Armado

Es la combinación del hormigón simple con el acero de refuerzo, siendo estas en barras o mallas de acero las cuales se les denomina armadura.

Es el elemento más usado en la construcción de todo tipo de edificios, puentes, túneles, presas, caminos, etc.



**Figura 6:** Viga de hormigón armado

**Fuente:** (Abeiga Alcivar, 2016)

## 2.9 Hormigón o concreto

Entonces podemos decir que el hormigón o concreto convencional es una mezcla cemento, agua, arena y piedra; estos dos últimos materiales pueden variar en su granulometría según sea para que tipo de construcción se usa el hormigón o concreto.

El hormigón o concreto también cumple la función de resistir los esfuerzos de compresión provocados por fuerzas mecánicas externas que tienden a alterar su capacidad de equilibrio.



**Figura 7:** Vaciado de Hormigón o concreto en losa

**Fuente:** (Ingenieros Asesores, 2018)

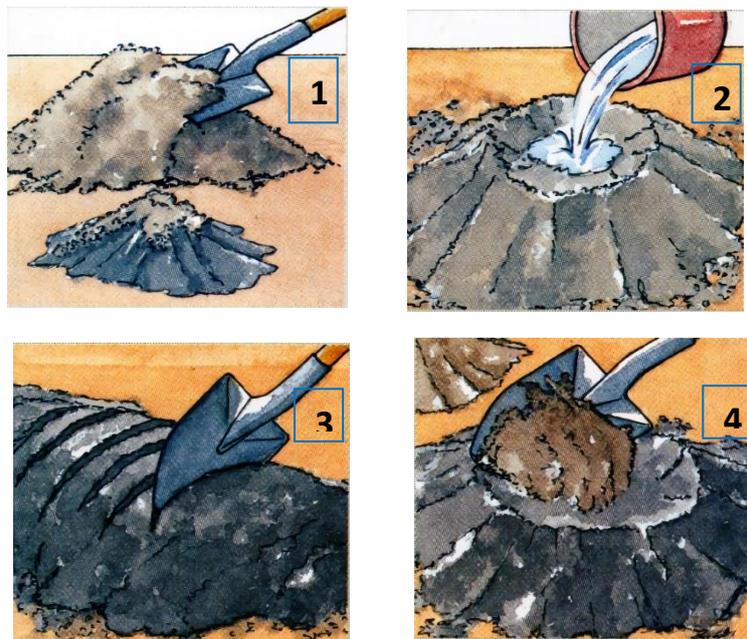
## 2.10 Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. (Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2017)

El cemento es un material que al interactuar con el agua provoca una reacción química provocando que se solidifique a esto se conoce como fraguado. Lo que da origen a sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas del hormigón. A pesar de que el cemento sea el reactor químico de la mezcla, este solo compone un 10 y 20% del peso del hormigón o concreto.

- **Dosificación y mezcla**

Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve su trabajabilidad y capacidad de darle forma durante un tiempo suficiente, alcanzar unos niveles de resistencias preestablecido y presentar una estabilidad de volumen a largo plazo.



**Figura 8:** Proceso de mezcla del cemento

**Fuente:** (Esmihobby, 2017)

**Tabla 1:** Proceso de mezcla del cemento

Imagen	Descripción
1	mezcla del cemento y la arena en seco
2	añada agua sobre el hueco en pequeñas cantidades
3	compruebe la consistencia para saber si debe rectificar
4	Si fuera necesario, corrija la mezcla

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

- **Endurecimiento hidráulico**

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de silicatos de calcio, aunque también puede participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos, como, por ejemplo, los aluminatos. La suma de las proporciones de óxido de calcio reactivo (CaO) y de dióxido de silicio reactivo (SiO<sub>2</sub>)

debe ser al menos del 50% en masa cuando las proporciones se determinan conforme a la Norma Europea EN 196-2

### **2.11 Agregados Finos**

Los agregados finos son partículas con un tamaño menor a 5mm que por lo general corresponden a arenas naturales o piedras trituradas, las cuales deben ser partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimiento de arcilla o de otros materiales que afecten la adherencia e hidratación de la pasta cementicia.

La norma ASTM C 33 establece ciertos requisitos que la arena debe cumplir con respecto a su calidad, no debe contener cantidades dañinas de limo, arcilla, álcalis, materiales orgánicos y otras sustancias nocivas.

### **2.12 Agregados Grueso**

El agregado grueso es uno de los componentes principales del concreto, cuya calidad es de suma importancia, garantizando resultados satisfactorios en la preparación de estructuras de hormigón. Consisten en una grava o agregado triturado, con partículas mayores que 5 mm y principalmente entre 9,5 y 38mm. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles al resquebrajamiento son indeseables.

### **2.13 Agua**

Se puede utilizar para producir concreto; se puede decir que el agua es el material que, al relacionarse de manera adecuada con el cemento, puede determinar la resistencia y durabilidad del mismo.

## 2.14 Hierro o Acero de refuerzo

El acero de refuerzo por lo general son varillas con superficies lisas o corrugadas, como su nombre lo indica se utiliza de refuerzo para las estructuras trabajado a flexión en conjunto con la mezcla de hormigón.

Este material comúnmente se define por poseer una elevada resistencia, rigidez y ductilidad (esto es capacidad de soportar deformaciones plásticas sin disminuir su capacidad resistente), siendo el material idóneo para cualquier tipo de construcciones.

El acero de refuerzo o de uso estructural es un material de elaboración industrializada, lo que asegura un adecuado control de calidad, se presenta por lo general en perfilería o laminas.

A continuación, se presenta una tabla de la clasificación de los aceros según la ASTM (American Society of Testing Materials).

**Tabla 2:** Tabla de la clasificación de los aceros según la ASTM (American Society of Testing Materials)

DESIGNACION DE LA ASTM	TIPO DE ACERO	FORMAS	USOS RECOMENDADOS	ESFUERZO MININO DE FLUENCIA, FY, EN KSI	RESISTENCIA MINIMA ESPECIFICADA LA TENSION, FU, EN KSI
A-36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Edificios puentes y otras estructuras atornilladas o soldadas	36, pero 32 si el espesor es mayor de 8pulg.	58-80
A-529	Al carbono	Perfiles y placas hasta de 1/2 pulg.	Similar al A-36	42-50	60-100

<b>A-572</b>	Columbio- vanado de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg.	Construcciones soldadas o atornilladas. No para puentes soldados con Fy grado 55 o mayor	42-65	60-80
<b>A-242</b>	De alta resistencia, baja aleación y resistencia de corrosión	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg.	Construcciones soldadas o atornilladas. Técnica de soldado muy importante	42-50	63-70
<b>A-588</b>	De alta resistencia, baja aleación y resistencia a la corrosión atmosférica	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción atornillada	42-50	63-70

**Fuente:** (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017)

### **2.15 Marco Legal:**

Los fundamentos legales para el análisis de este proyecto se encuentran encaminadas en lo que establece la CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008, Decreto Legislativo O Registro Oficial 449 de 20- oct.-2008. El cual, en su sección quinta sobre Educación, An. 26 al 29, manifiesta el derecho de las personas a la educación, así como las responsabilidades que tienen frente a ella.

Además, la LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERJOR, Ley O Registro Oficial Suplemento 298 de 12-oct.-2010, en su Art. 87. Referente a los Requisitos previos a la obtención del grado académico, menciona que los estudiantes deben aportar con servicios a la comunidad, por medio de proyectos de vinculación, pasantías o prácticas preprofesionales.

También cabe destacar, que el presente trabajo de investigación está sujeto al REGLAMENTO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, en su apartado VI, DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN, en sus Art. 383 al Art. 425 menciona los reglamentos que rigen los trabajos de titulación. En su Art. 404, menciona las características que debe poseer el trabajo de titulación de grado, como incluir una propuesta innovadora, con una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta. Recalcando la importancia de ser un trabajo que guarde relación con los aprendizajes adquiridos en la carrera.

### **2.15.1 Constitución de la República Del Ecuador**

La Constitución de la República Del Ecuador, con Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.

En la Sección segunda, Ambiente sano Se destacan los Art. 14.; Arl. 15.- Donde se mencionan las garantías y derechos que el estado debe otorgar a las y los ecuatorianos, del *sumak kawsay*, decir vivir en un ambiente sano, así mismo se establece que se debe hacer uso tecnologías limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto que no generen afectaciones al medio ambiente.

En la Sección quinta en el ámbito de Educación se destacan los Art. 26.-, Art. 27. • donde se garantiza el acceso a la educación, el cual el estado debe proveer, siendo una política pública muy relevante, así mismo debe estar desarrollada en conjunto con una concientización hacia el medio ambiente sustentable y los demás, y debe garantizar las capacidades necesarias para crear y trabajar, estableciéndose como un eje estratégico para el desarrollo nacional.

En la Sección sexta de Hábitat y vivienda se mencionan los Art. 30.- y Art. 31. • destacando que los ecuatorianos y ecuatorianas tenemos derechos a vivir de una manera digna en viviendas adecuadas y en un ambiente sano.

En el Capítulo noveno de Responsabilidades se menciona el Art.83.-donde se destaca que las y los ecuatorianos tenemos la responsabilidad de conservar nuestros, así mismo como utilizar los recursos naturales de modo racional garantizando su disposición para las actuales y futuras generaciones.

Se destaca la Sección sexta, Ahorro e inversión el Art, 339.- donde se establece que el estado promoverá la inversión teniendo como prioridad a la inversión nacional. Haciendo un enfoque en, innovación tecnológica.

En la Sección octava de Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales se destaca el Art. 385.- se menciona en el literal 1 que las y los ecuatoriano debemos Generar, y transmitir conocimientos científicos y tecnológicos. y en el literal 3 que; debemos desarrollar tecnologías e innovaciones para mejorar si la producción y crecimiento nacional.

#### 2.15.1.1 **Convenios y Tratados Internacionales**

##### 2.15.1.1.1 **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**

La Asamblea General (Organización de las Naciones Unidas, ONU 2015) adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde los estados miembros de la Naciones Unidas a la cual Ecuador está suscrita, aprobaron la resolución para cumplir con los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

#### **Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación**

La industrialización inclusiva y sostenible, en conjunto con la innovación y la infraestructura, son fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos. Las cuales presentan un rol fundamental a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos. Se busca en países estratégicos aumentar la inversión en investigación e innovación científicas.

#### **Metas del objetivo 9. De la agenda 2030 se contemplan.**

**9.4** De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles.

**9.5** Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países.

**Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles**

El mundo cada vez está más urbanizado. Desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumente hasta el 60 % para 2030. (ONU, 2015)

**11.1** De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales

**11.3** De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países

**11.4** Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo

**Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles**

El consumo y la producción mundiales dependen del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera que continúa teniendo efectos destructivos sobre el planeta. El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro (y ciertamente, nuestra supervivencia). (Organización de las Naciones Unidas, ONU;, 2015)

**12.1** Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados.

**12.2** De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

Este proyecto se sustenta en la Norma Técnica Ecuatoriana TNEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) NTE INEN 1 855-2:2002 la cual establece las especificaciones para la producción de varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón.

### **2.16 Normas técnicas**

**NTE INEN 2167 (ecuatoriana):** Varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón.

**ASTM A706 (Americana)** Low-alloy steel deformed bars for concrete reinforcement.

### **2.17 Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC**

El 19 de agosto de 2014, el Sr. Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, el Econ. Diego Esteban Aulestia Valencia, suscribió el Acuerdo Ministerial 0028 por el cual se oficializan los primeros capítulos contemplados para la NEC, relacionados con la seguridad estructural de las Edificaciones.

### **2.18 Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-CC de las NECs**

Las normas referentes de la NEC-SE-CG son:

- **ASCE7- I O:** Minimum Design Loads for Buildings and other Structures (Standard ASCE/SE17- I O). Estas normas describen el análisis y diseño sísmico que deberán poseer las estructuras de un edificio, para que sea capaz de brindar resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía ante los movimientos del suelo, para ello debe incluir sistemas que proporcionen resistencia a la fuerza lateral y vertical.
- **NSR-10:** Título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Estas normas describen el diseño que debe seguir una edificación

para ser capaz de resistir las fuerzas que le imponen su uso, temblores de poca a mediana intensidad sin daño en su estructura, y temblores fuertes con daños en la estructura sin colapso.

## **2.19 Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)**

### **2.19.1 Seguridad estructural de las edificaciones**

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente parte 1,2,3,4
- NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras
- NEC-SE-GC: Geotécnia y Cimentaciones
- NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado
- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
- NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m  
1,2,3,4

#### **NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas: Diseño Sismo Resistente**

Contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismo resistente de las edificaciones, estableciéndose como un conjunto de especificaciones básicas y mínimas, adecuadas para el cálculo y el dimensionamiento de las estructuras que se encuentran sujetas a los efectos de sismos en algún momento de su vida útil.

#### **NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones**

Contempla criterios básicos a utilizarse en los estudios geotécnicos para edificaciones, basándose en la investigación del subsuelo, la geomorfología del sitio y las características estructurales de la edificación, proveyendo de recomendaciones geotécnicas de diseño para cimentaciones futuras, rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes.

## NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado

Contempla el análisis y el dimensionamiento de los elementos estructurales de hormigón armado para edificaciones, en cumplimiento con las especificaciones técnicas de normativa nacional e internacional.

### 2.20 Métodos de ensayo

Para lo referente y según la (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017) correspondiente a **Varillas de acero con resaltes, laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotrataadas, para hormigón armado**, los ensayos a los cuales están sometidas incluyen los ensayos de Resistencia a la tracción y Resistencia a la flexión (doblado).

Ensayo	Propiedad	Unidad	Grado de acero	
			42	55
Tracción	Límite de fluencia, mínimo	MPa	420	550
	Límite de fluencia, máximo		540	675
	Resistencia a la tracción, mínima		550	690
	Alargamiento, mínimo en $L_0 = 200$ mm	$d \leq 20$	%	14
$22 \leq d \leq 36$		12		12
$d > 36$		10		10
Doblado a $180^\circ$ <sup>a</sup>	$d < 18$	mm	$D = 3 d$	$D = 3,5 d$
	$18 \leq d \leq 25$		$D = 4 d$	$D = 5 d$
	$25 < d \leq 36$		$D = 6 d$	$D = 7 d$
	$d > 36$		$D = 8 d$	$D = 9 d$
<sup>a</sup> $d$ = diámetro de la varilla en mm $D$ = diámetro del mandril en mm $L_0$ = longitud inicial NOTA. 1 MPa equivale a 10,197 kgf/cm <sup>2</sup> .				

**Figura 9:** Tabla de Especificaciones mecánicas de las varillas lisas y corrugadas para hormigón armado

**Fuente:** (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017)

Para establecer el punto de fluencia y resistencia se obtendrá por cualquiera de los métodos convencionales establecidos en la **NTE INEN 109 Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente**, que detalla lo siguiente:

## 2.21 Límite de fluencia y esfuerzo de prueba

- **Límite de fluencia superior ( $R_{eh}$ )** - Dentro del campo elástico y hasta el límite de fluencia superior, la relación de separación de los cabezales de la máquina debe mantenerse constante hasta lo posible, dentro de los límites correspondientes a la relación de esfuerzos indicados

Modulo de elasticidad del material ( $E$ ) MPa	Relación de aplicación de esfuerzos MPa/s	
	mín	máx
< 150000	2	20
$\geq$ 150000	6	60

**Figura 10:** Tabla de Relación de aplicación de esfuerzos

**Fuente:** (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 109,, 2009)

- **Límite de fluencia inferior ( $R_{el}$ )** – Si se va a determinar solamente el límite de fluencia inferior, la relación de aplicación del esfuerzo durante la fluencia de la longitud paralela de la probeta de ensayo debe estar entre 0,00025/s y 0,0025/s. debe mantenerse constante la relación de esfuerzos, hasta donde sea posible.

En ningún caso, la relación de aplicación de esfuerzos en el campo elástico debe exceder las relaciones de esfuerzos dadas en la **Figura 10:** Tabla de Relación de aplicación de esfuerzos.

## 2.22 Ensayo de doblado (Flexión)

Las varillas deben ser sometidas al ensayo de doblado a 180 °C de acuerdo con ISO 7438. Las probetas, luego del ensayo, no deben presentar agrietamiento en el lado exterior del doblado. El diámetro de los mandriles para el ensayo de doblado se encuentra establecido en la **Figura 9:** Tabla de Especificaciones mecánicas de las varillas lisas y corrugadas para hormigón armado

Las probetas para el ensayo de doblado deben ser de la sección completa de la varilla laminada

## 2.23 La Norma Técnica Ecuatoriana JNEN-ISO 527-1 PLÁSTICOS. Determinación De Las Propiedades En Tracción

### 2.23.1 Ensayos de Tracción

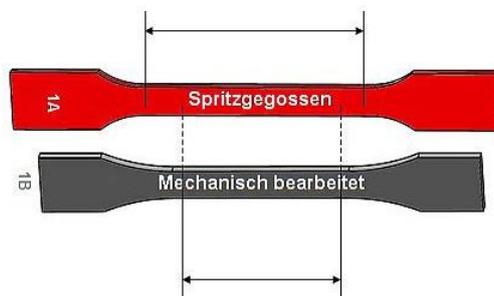
Nos narra que para determinar las principales propiedades mecánicas del material de moldeo. Necesitamos los siguientes valores característicos:

- Tensión a tracción
- Deformación
- Módulo de tracción
- Punto de fluencia
- Punto de rotura
- Coeficiente de Poisson

Los métodos para el ensayo de tracción se especifican tanto en la **norma ISO 527-1/-2** como la **ASTM D 638**. Ambas normas proporcionan resultados equivalentes, pero por procesos de medición y modelo de probetas las cuales son diferentes para cada uno no se pueden comparar entre sí.

### 2.24 Definición de la geometría y dimensiones de las probetas a ensayar según la norma ISO

- Las probetas se fabrican habitualmente por inyección. Para ello, se utiliza la probeta definida en la norma **ISO 527-2** del tipo 1A, que está limitada en la **ISO 3167** como probeta del tipo A adicionalmente a un grosor establecido de 4mm. Esta probeta, además, aparece en la **ISO 20753** como tipo A1.
- La longitud de medida de la probeta del tipo 1B se ha establecido en 50 mm, por su radio mayor y a su rango paralelo más corto.



**Figura 11:** Geometrías de probeta para el ensayo de materiales de moldeo

**Fuente:** (Norma ISO 527, 2012)

## 2.25 Requisitos de acondicionamiento y condiciones ambientales definidos

- En la ISO 527-1, ISO 527-2, ASTM D638 – ZwickRoell, determina que la observación para las condiciones ambientales y de preparación de las probetas es de gran importancia en cuanto nos referimos a temperatura y humedad puesto que obtendremos mejores resultados.
- Las muestras a utilizar en las pruebas deben permanecer al menos 16 horas en una atmósfera estándar
- En ISO 291 o ASTM D1349 se define a una atmósfera estándar como:  
**Atmósfera templada:**  $23 \pm 2$  ° C,  $50 \pm 10\%$  rF  
**Atmósfera subtropical:**  $27 \pm 2$  ° C,  $65 \pm 10\%$  rF  
Las tolerancias corresponden a la clase 2. Las tolerancias se reducen a la mitad para la clase 1.

# **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Enfoque de la investigación**

(Dr Roberto Hernandez, Dr Carlos Fernandez, & Dra Maria Pilar Baptista, 2014) en su libro “Metodología de la Investigación” menciona que la investigación con enfoque cuantitativo se basa en un conjunto de procesos secuenciales y rigurosos. En estas investigaciones los instrumentos recolectan datos numéricos.

Por lo antes expuesto podemos decir que este proyecto de titulación corresponde al enfoque cuantitativo debido a que se parte desde una idea siguiendo una secuencia rigurosa, donde se delimitó, derivó objetivos, se realizaran pruebas hasta poder llegar a una conclusión. Como en esta investigación los instrumentos recolectan datos como resistencia a la tracción de plásticos - polipropileno (PP), área mínima de plásticos para un elemento estructural, densidad del polipropileno, entre otros; por estos ser datos numéricos refuerzan el enfoque cuantitativo de este proyecto.

### **3.2 Alcance de la investigación**

Dado que, se establecerá y comparará el comportamiento del Polipropileno como refuerzo para el hormigón ante el acero de refuerzo que se utiliza en la actualidad el presente proyecto de titulación se considera con alcance correlacional puesto que, en su libro “Metodología de la Investigación” (Dr Roberto Hernandez, Dr Carlos Fernandez, & Dra Maria Pilar Baptista, 2014) describe que los estudios correlacionales tienen por finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. Por tal razón esta investigación determina el comportamiento mecánico del plástico polipropileno impreso en 3D

### **3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos**

En su libro “Metodología de la Investigación” (Dr Roberto Hernandez, Dr Carlos Fernandez, & Dra Maria Pilar Baptista, 2014), se describe que las técnicas de recolección de los datos pueden ser múltiples. Así tenemos, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones fisiológicas, aparatos de precisión, etc. En cambio en los estudios cualitativos, podemos utilizar entrevistas

exhaustivas, pruebas proyectivas, cuestionarios abiertos, sesiones de grupos, biografías, revisión de archivos, observación, entre otros.

Las técnicas que se utilizaron en este proyecto de titulación con un enfoque cuantitativo fueron ensayos de tracción, módulos de tracción, ensayos de deformación y ensayos de punto de rotura.

**Tabla 3:** Tabla de técnicas e instrumentos

<b>Técnica</b>	<b>Instrumentos</b>
Modelación en 3 dimensiones	Laptop – Programa de modelación en 3D
Impresión en 3D	Impresora de objetos en 3D
Medición de probetas	Calibre
Ensayos de laboratorio	Laboratorio de pruebas mecánicas

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

En cuanto a población o universo se trata tenemos que, (Dr Roberto Hernandez, Dr Carlos Fernandez, & Dra Maria Pilar Baptista, 2014) en su libro “Metodología de la Investigación” indica que es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

Por lo que, para este proyecto de titulación el universo se basa en 8 probetas con la geometría y dimensiones según las Normas ISO 527-1/-2.

**Tabla 4:** Tabla de Población

<b>Probetas</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>
<b>22-7264</b>	Polipropileno (PP)	7
<b>22-7265</b>	Polipropileno (PP)	8
<b>22-7266</b>	Polipropileno (PP)	9
<b>22-7267</b>	Polipropileno (PP)	10
<b>22-7268</b>	Polipropileno (PP)	11
<b>22-7269</b>	Polipropileno (PP)	12
<b>22-7270</b>	Polipropileno (PP)	13

<b>22-7271</b>	Polipropileno (PP)	14
<b>Total de Población 8 probetas</b>		

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

### 3.4.2 Muestra

En cuanto a muestra podemos decir que se trata de un subgrupo de la población, al tratarse de un proyecto con enfoque cuantitativo todas las muestras son representativas y llevan un orden en cuanto se refiere a las pruebas realizadas.

**Tabla 5:** Tabla de Muestras

<b>Probetas</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>
<b>22-7264</b>	Polipropileno (PP)	7
<b>22-7265</b>	Polipropileno (PP)	8
<b>22-7266</b>	Polipropileno (PP)	9
<b>22-7267</b>	Polipropileno (PP)	10
<b>Total de Muestras 4 probetas</b>		

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

Los textos indican que la validez estadística de la muestra se obtiene cuando se analizan 32 individuos o más, sin embargo, por razones económicas dado el costo de los ensayos solo se estudiaron 4 probetas.

## 3.5 Presentación y análisis de resultados

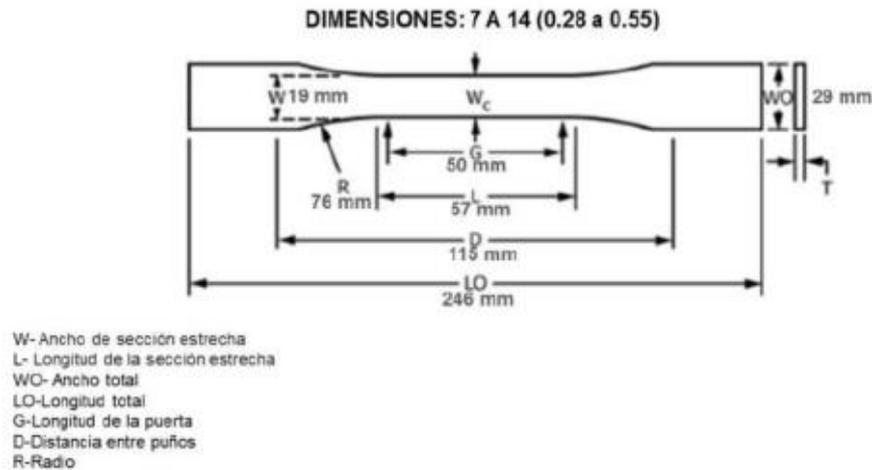
A partir de las mediciones y datos recopilados, en este punto como lo es la presentación y análisis de resultados de esta investigación; se procederá con la contestación de cada uno de los objetivos específicos e hipótesis planteados

### 3.5.1 Obtención del material plástico – Polipropileno para este estudio

Se procede a llevar a cabo una logística de compra del material de polipropileno (PP) con las especificaciones requeridas para este estudio.

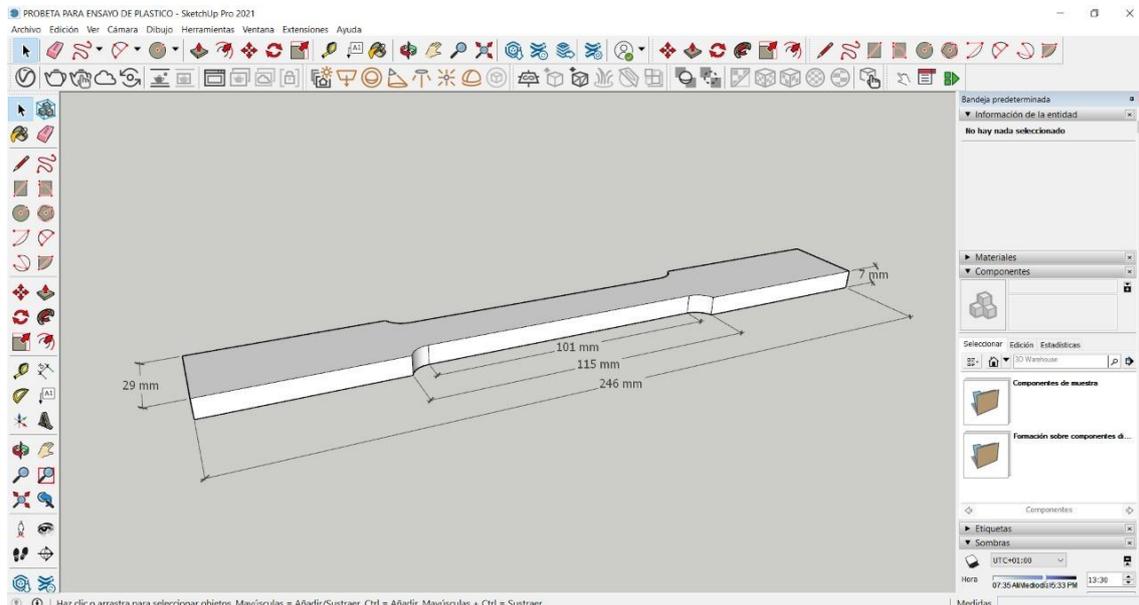
### 3.5.2 Elaboración del diseño digital 3D para impresión de probetas

Se diseñan las piezas mediante un software de diseño y modelado, para este estudio se utilizó el programa de modelado Arquitectónico SketchUp versión 2021. Todo esto de acuerdo con las medidas detalladas en la Norma ISO 527 -1/-2 para materiales plásticos.



**Figura 12:** Dimensiones de probetas para ensayo

Fuente: (Chalaco & Muñoz, 2021)



**Figura 13:** Dimensiones de probetas para ensayo modelado en 3D

Elaborado por: Zambrano (2022)

### 3.5.3 Impresión de probetas mediante tecnología de impresión en 3D

Luego de tener el diseño y modelado en el software, es momento de proceder con la impresión de las mismas, mediante impresoras con tecnología 3D.

Al ingresar el modelado 3D de la probeta al software que posee la impresora, se mide nuevamente la probeta con el software, luego se configura la impresora con los distintos espesores a imprimir y sobre todo lo más importante se verifica que boquilla de impresión sería la óptimo para el material a utilizar en la impresión de la probeta. Una vez revisado de manera minuciosa, se procede a iniciar la impresión

**Tabla 6:** Tiempo en horas para impresión en 3D de las probetas

<b>Tiempo de impresión (h)</b>	<b>Probetas</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>
<b>2:24</b>	22-7264	Polipropileno (PP)	7
<b>2:54</b>	22-7265	Polipropileno (PP)	8
<b>3:11</b>	22-7266	Polipropileno (PP)	9
<b>3:26</b>	22-7267	Polipropileno (PP)	10
<b>Total de Muestras 4 probetas</b>			

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

#### **3.5.4 Ensayos de laboratorio (Ensayo de Tracción en Plásticos) según Norma ISO 527 -1 /-2**

- Se coloca la probeta en la maquina Universal de ensayo Shimadsu 10KN
- Se ingresa el dato de velocidad del ensayo de tracción en la maquina; para este punto se usó la velocidad detallada en el informe final del proyecto de titulación (Norma ISO 527, 2012)
- Se obtienen los resultados
- Análisis de resultados

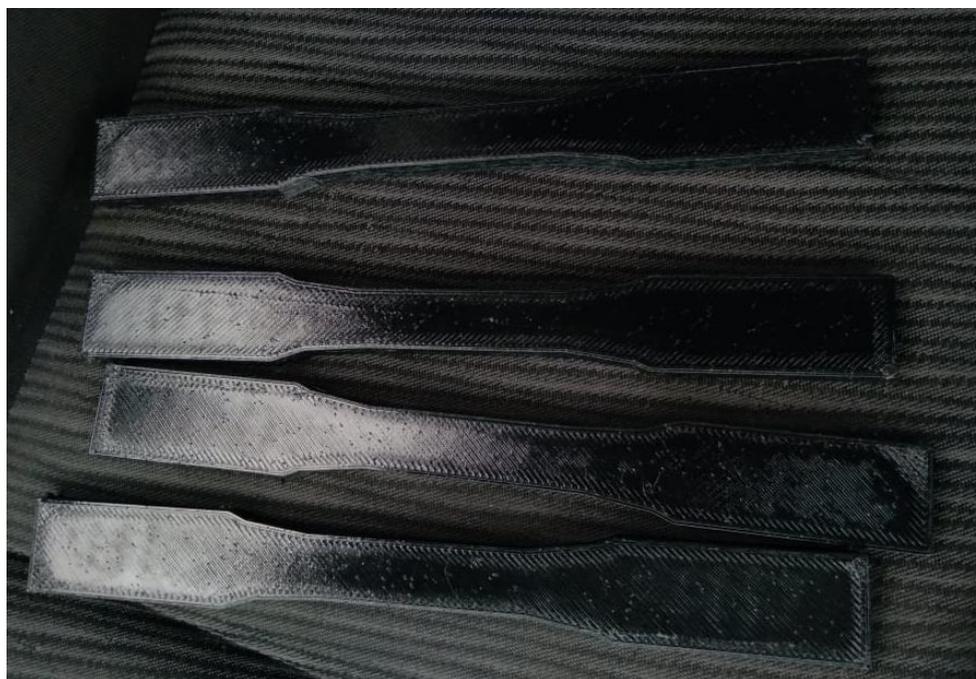
#### **3.5.5 Para el objetivo específico: determinar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D**

Una vez obtenido los resultados podemos determinar que:

**Tabla 7. Propiedades Físicas del Polipropileno (PP)**

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Olor</b>	Sin olor	
<b>Color</b>	En caso de impresión en 3D – Varios	
<b>Forma</b>	En caso de impresión en 3D viene en filamentos cilíndricos – para el estudio se usaron probetas según la ISO527 -1/-2	
<b>Densidad</b>	0,90	gr/cm <sup>3</sup>
<b>Rigidez</b>	Soporta carga de 25,5kg/cm <sup>2</sup> por 24 horas, con deformaciones mínimas recuperando sus dimensiones originales	gr
<b>Punto de Fusión</b>	Para impresión en 3D la boquilla debe calentarse a 173° C	C

**Elaborado por:** Zambrano (2022)



**Figura 14:** Probetas impresas en 3D según (Norma ISO 527, 2012)

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

## ENSAYOS MECANICOS DE TRACCION DEL POLIMERO (PP)

### INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Norma de ensayo: ISO 527-2

Equipo: EM-008

Separación inicial entre mordazas: 100mm

Velocidad del ensayo: 5mm/min

Temperatura Max. / Min.: 23.5°C / 23.1°C

Humedad relativa Max. / Min.: 58.6% / 56.7%

Tabla 8. Resultados de ensayos de Tracción (PP)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Deformación a la rotura %
22-7264	7.29	18.94	5.53	40.0	5.42
22-7265	8.12	18.92	6.30	41.0	6.69
22-7266	9.26	18.91	7.33	41.9	6.43
22-7267	10.10	18.90	7.91	41.4	6.42

Elaborado por: Zambrano (2022)

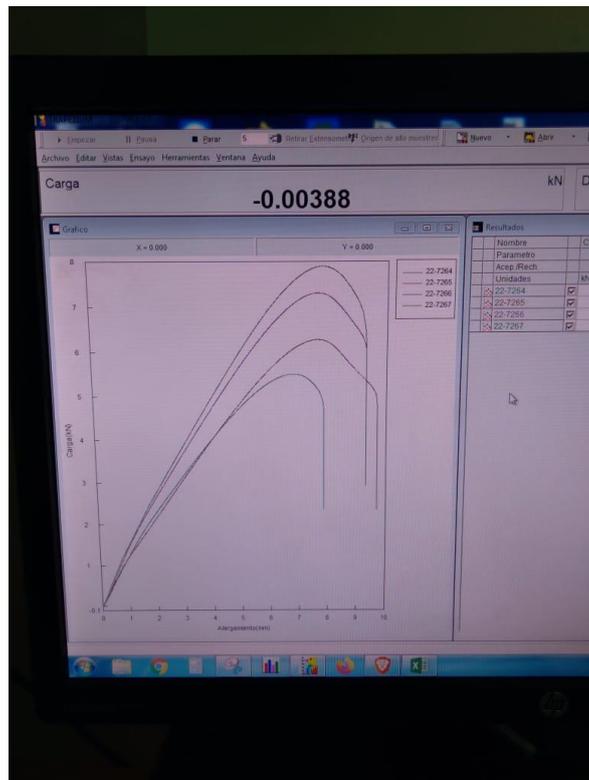


Figura 15: Resultados de Ensayos de Tracción

Elaborado por: Zambrano (2022)

**3.5.6 Para el objetivo específico: Comparar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con lo establecido en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado.**

Con respecto a este objetivo, según la (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017) en su punto 5.4 requisitos mecánicos detalla que las propiedades de tracción controladas para el acero de refuerzo en el hormigón armado se suministran mediante el empleo de los límites de las propiedades mecánicas del material siendo estas las especificadas en la tabla 8.

En cuanto a los resultados obtenidos en esta investigación detallados en la tabla 7, se realizó ensayos de tracción a 4 probetas de polipropileno (PP) moldeadas e impresas en 3D

**Tabla 9. Análisis teórico del comportamiento del (PP) – Esfuerzo Máximo**

<b>Probeta</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>
<b>22-7264</b>	7.29	18.94	40.0
<b>22-7265</b>	8.12	18.92	41.0
<b>22-7266</b>	<b>9.26</b>	<b>18.91</b>	<b>41.9</b>
<b>22-7267</b>	10.10	18.90	41.4

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

Se puede evidenciar que al ser un material termoplástico su esfuerzo máximo es de 41.9 MPa tomando el más favorable, esto un 99.90% por debajo del límite mínimo requerido  $f_y = 420$  MPa para el acero de refuerzo según (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017).

**Tabla 10. Especificaciones mecánicas de las varillas lisas y corrugadas para hormigón armado**

Ensayo	Propiedad	Unidad	Grado de acero	
			42	55
Tracción	Límite de fluencia, mínimo	MPa	420	550
	Límite de fluencia, máximo		540	675
	Resistencia a la tracción, mínima		550	690
	Alargamiento, mínimo en $L_0 = 200$ mm	$d \leq 20$	%	14
$22 \leq d \leq 36$		12		12
$d > 36$		10		10
Doblado a $180^\circ$ <sup>a</sup>	$d < 18$	mm	$D = 3 d$	$D = 3,5 d$
	$18 \leq d \leq 25$		$D = 4 d$	$D = 5 d$
	$25 < d \leq 36$		$D = 6 d$	$D = 7 d$
	$d > 36$		$D = 8 d$	$D = 9 d$
<sup>a</sup> $d$ = diámetro de la varilla en mm $D$ = diámetro del mandril en mm $L_0$ = longitud inicial NOTA. 1 MPa equivale a 10,197 kgf/cm <sup>2</sup> .				

**Fuente:** (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017)

**3.5.7 Comparar el área mínima necesaria de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con el área mínima necesaria de acero de refuerzo con un elemento estructural tipo.**

Con respecto al presente objetivo específico obtendremos el diseño del área de acero mínimo para una viga tipo, en este caso nos haremos base a la (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017) varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado. Y a la (Norma ISO 527, 2012) de ensayos de tracción para los plásticos – propileno (PP).

En este punto tendremos el diseño de una viga tipo, cuya sección transversal es de 30cm y de base 50cm, con un recubrimiento de 6cm, se encuentra sometida a un momento flector de 23Tn con una altura de bloque de compresión de  $a = 12$ cm trabajando con un  $f'_c = 210$ kg/cm<sup>2</sup>

Donde tenemos los siguientes datos:

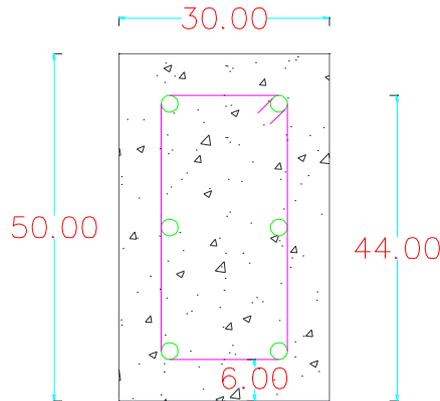
**Datos:**

**Mu= 23 Tn**

**a= 12 cm**

**f'c= 210 kg/cm<sup>2</sup>**

**f'y de acero según (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017) = 4200 kg/cm<sup>2</sup>**



**Figura 16:** Viga tipo para diseño de Área de acero

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

**Primer paso. - Calculo de momento nominal (Mn)**

$$Mu = \phi \times Mn$$

*Factor de reduccion  $\phi = 0.9$*

$$Mn = \frac{23 \text{ Tn}}{0.9} = 25.5 \text{ Tn ml} \approx 2550000 \text{ kg cm}$$

**Segundo paso. - Calculo de Fuerza de tracción (T)**

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$T = \frac{Mn}{d - \frac{a}{2}}$$

$$T = \frac{2550000 \text{ kg cm}}{44 \text{ cm} - \frac{12 \text{ cm}}{2}} = 67251.46 \text{ kg}$$

**Tercer paso. - Calculo de Área de Acero de refuerzo**

$$A_s = \frac{T}{f_y}$$

$$A_s = \frac{67251.46 \text{ kg}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 16.01 \text{ cm}^2$$

Como resultado obtenemos que el área de acero de refuerzo con un  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  para esta viga tipo, es de  $16.01 \text{ cm}^2$

**A continuación, procedemos al cálculo del área de plástico – polipropileno (PP) necesaria para la viga tipo mencionada.**

Donde tenemos los siguientes datos:

**Figura 16: Viga tipo para diseño de Área de acero**

**Datos:**

**Mu = 23 Tn**

**a = 12 cm**

**f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>**

**f'y favorable según tabla 7 = 41.9 Mpa = 427.26kg/cm<sup>2</sup>**

**Primer paso. - Calculo de momento nominal (Mn)**

$$M_u = \phi \times M_n$$

$$\text{Factor de reduccion } \phi = 0.9$$

$$M_n = \frac{23 \text{ Tn}}{0.9} = 25.5 \text{ Tn ml} \approx 2550000 \text{ kg cm}$$

**Segundo paso. - Calculo de Fuerza de tracción (T)**

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$T = \frac{M_n}{d - \frac{a}{2}}$$

$$T = \frac{2550000 \text{ kg cm}}{44 \text{ cm} - \frac{12 \text{ cm}}{2}} = 67251.46 \text{ kg}$$

**Tercer paso. - Calculo de Área de Plástico de refuerzo**

$$As = \frac{T}{fy}$$

$$As = \frac{67251.46 \text{ kg}}{427.26 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 157.40 \text{ cm}^2$$

Como resultado obtenemos que el área de plástico – polipropileno (PP) con un fy escogiendo el más favorable según **tabla 7** es igual a 41.9 MPa = 427.26kg/cm2 dando como resultado para esta viga tipo, un valor de **157.40 cm<sup>2</sup>**

**Tabla 11. Comparativa entre Áreas de refuerzo necesarias para el acero y para el plástico (PP)**

Área de refuerzo (As)	ACERO (cm2)	PLASTICO (cm2)
	16.01	157.40

**Elaborado por:** Zambrano (2022)

Por lo antes expuesto se obtuvo que el área del plástico es 9.83 veces mayor que el área de acero, por lo cual denota una relación inversamente proporcional; siendo así que a mayor esfuerzo de tracción en el polipropileno mayor será su área de refuerzo; por otro lado, al disminuir el esfuerzo de tracción así mismo disminuirá el área de refuerzo.

## CONCLUSIONES

- Con respecto al primer objetivo específico **Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D**; se logró establecer las propiedades físicas del polipropileno (PP) como se muestra en la tabla 5, así como también las propiedades mecánicas basándonos en tabla 6 y en los resultados de los ensayos realizados a las muestras en laboratorio.
- Con respecto al segundo objetivo específico **Comparar las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con lo establecido en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado**; se concluye que el material de polipropileno (PP) sea este en cualquier forma geoméricamente hablando, se sitúa por debajo del límite requerido según la norma NTE INEN 21.67 del acero de refuerzo en el hormigón. Ver tabla 7 y 8.
- Con respecto al tercer objetivo específico **Comparar el área mínima necesaria de la estructura de plástico fabricada mediante impresión en 3D con el área mínima necesaria de acero de refuerzo con un elemento estructural armado tipo**; se pudo observar que el área de refuerzo con el polipropileno aumenta de manera considerable esto es 9.83 veces mayor en el elemento estructural tipo, llegando incluso ser mayor que área del elemento estructural a reforzar. Por ende, no se considera viable el uso de este polímero como refuerzo para el hormigón.
- Con respecto a la hipótesis planteada en este proyecto de titulación **La estructura plástica o polimérica fabricada mediante impresión en 3D cumplirá con los parámetros establecidos en las normas para el acero de refuerzo en el hormigón armado, estableciéndose un factor entre ambos materiales**; se llega a la conclusión que el refuerzo de polipropileno para el hormigón no cumple con lo establecido en la (Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167, 2017), se obtiene un factor de mayoro al cual es muy grande, tanto así que sobrepasa el área total del elemento estructural por razón lo hace inviable.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a los nuevos investigadores de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte examinar diferentes tipos de polímeros o combinaciones del mismo que iguale o supere las propiedades físicas y mecánicas del acero de refuerzo.
- Se recomienda a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte fortalecer los laboratorios para el estudio de los plásticos según las normativas.
- Se recomienda a los nuevos investigadores de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte estudios de plásticos en elementos no estructurales como pueden ser en encofrados, cubiertas, recubrimientos, entre otros.
- Se recomienda a los nuevos investigadores de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte investigaciones con plásticos enfocadas en perfiles estructurales de soportes de cubiertas livianas tales como correas y viguetas.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

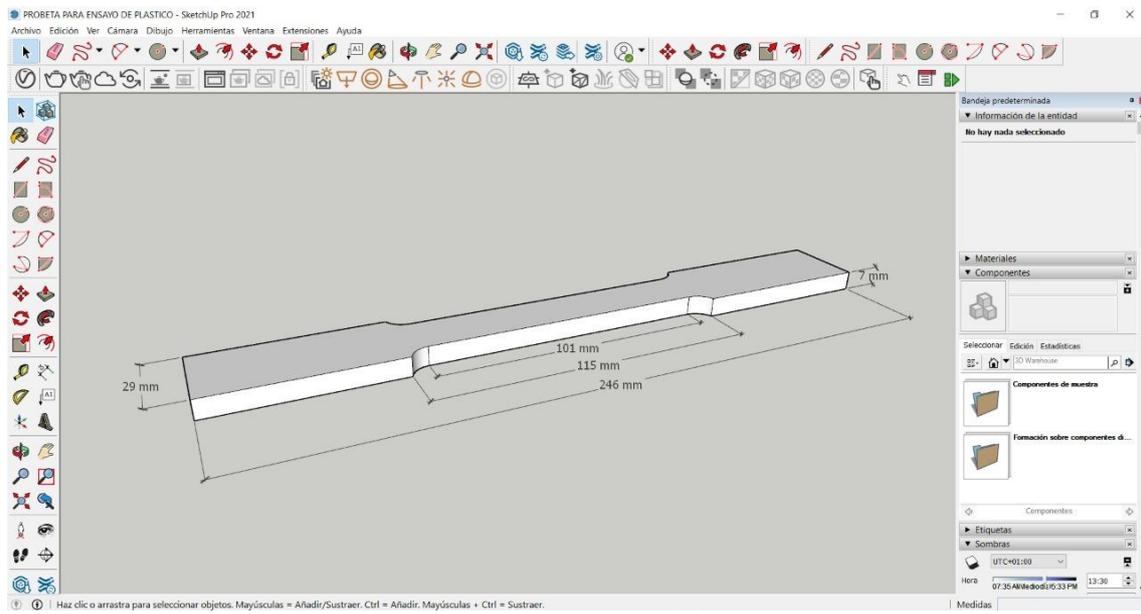
## Bibliografía

- Abeiga Alcivar, N. S. (2016). *Repositorio Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/16687>
- Barragán, D. P. (12 de noviembre de 2019). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13266>
- BECOSAN. (enero de 2020). <https://www.becosan.com/es/conozca-la-compania/>. Obtenido de <https://www.becosan.com/es/>: <https://www.becosan.com/es/que-es-el-cemento-en-la-construccion/>
- Caiza Sánchez, P., & Viera Arroba, P. (2019). *Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado*. Sangolquí, Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Cedeño Moreira, R. D., & Coello Sanchez, C. G. (04 de 2019). *Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/43483>
- Chalaco, M., & Muñoz, A. (2021). *Repositorio ULVR*. Obtenido de Repositorio ULVR.
- Dr Roberto Hernandez, Dr Carlos Fernandez, & Dra Maria Pilar Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación*. Santa Fe: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
- Esmihobby. (20 de Noviembre de 2017). *Es mi Hobby*. Obtenido de Es mi Hobby: <https://www.esmijovi.com/4-pasos-preparar-la-mezcla-cemento/>
- Filian Pinos, M. A., & Macias Zamora, J. R. (2018). *Repositorio Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32564>
- Huilcapi, S. (17 de enero de 2020). *Universidad Nacional de Chimborazo,2020*. Obtenido de Universidad Nacional de Chimborazo,2020: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6345>
- Ingenieros Asesores. (11 de septiembre de 2018). *Ingenieros Asesores*. Obtenido de Ingenieros Asesores: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/durabilidad-del-hormigon-y-la-necesidad-de-un-programa-de-inspecciones-tecnicas/>
- Instituto Español del cemento y sus aplicaciones. (2017). *IECA*. Obtenido de IECA: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>
- Lima Moncayo, H. D., & Landucci Pozo, F. A. (marzo de 2021). *Repositorio Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53241>
- Lindao Cedeño, K. P., & Romero Ortega, A. C. (2018). *Repositorio Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38279>

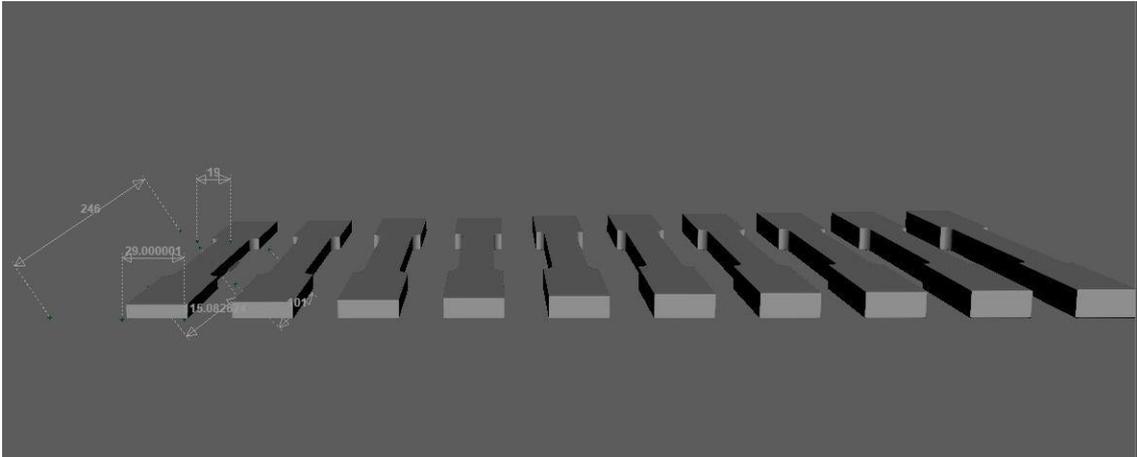
- Nadal, Pavón, & Liébana. (25 de 05 de 2017). *3D printing for construction: a procedural and material-based approach*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.066>
- Norma ISO 527. (2012). *Ensayo de traccion segun ISO527*. Germany.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 109,. (2009). *Ensayos de Traccion para materiales metalicos a temperatura ambiente* . Quito.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167. (2017). *VARILLAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE, SOLDABLES, MICROALEADAS O TERMOTRATADAS, PARA HORMIGÓN ARMADO. REQUISITOS*. QUITO.
- Pascual Bolufer, A. (26 de 08 de 2016). *Plastico*. Obtenido de Un plástico tan fuerte como el acero, el polipropileno: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/143279-Un-plastico-tan-fuerte-como-el-acero-el-polipropileno.html>
- Zschimmer, & Schwarz. (25 de Septiembre de 2019). *Zschimmer; Schwarz*. Obtenido de Zschimmer; Schwarz: <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-polimeros-y-como-se-clasifican/>

# ANEXOS

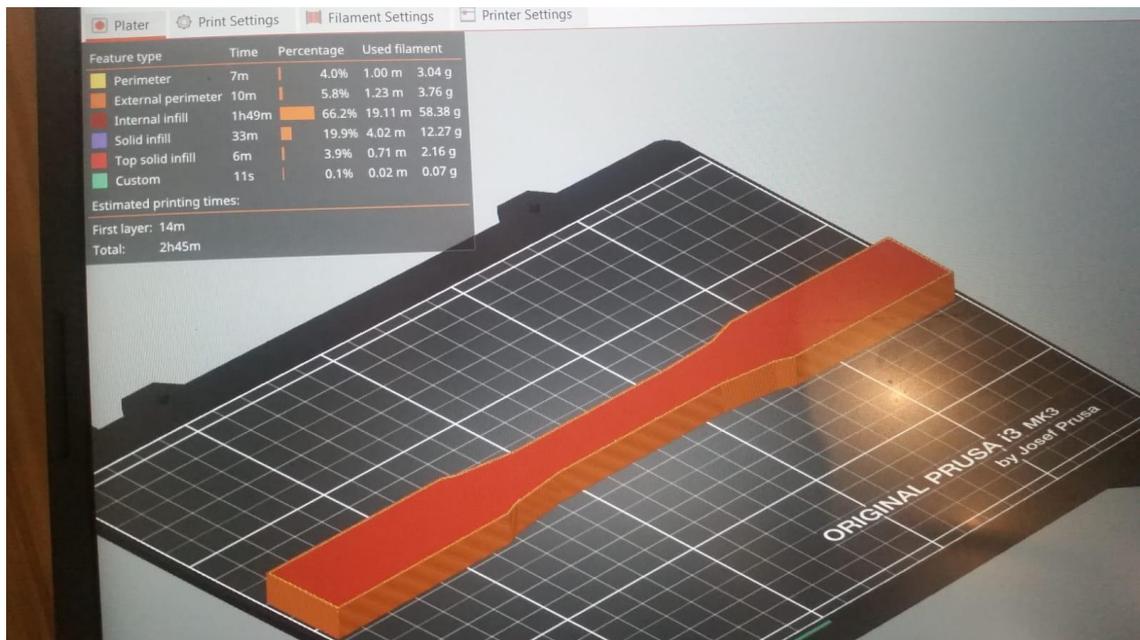
## Anexo 1: Modelado 3D de probetas en software SketchUp según normativa



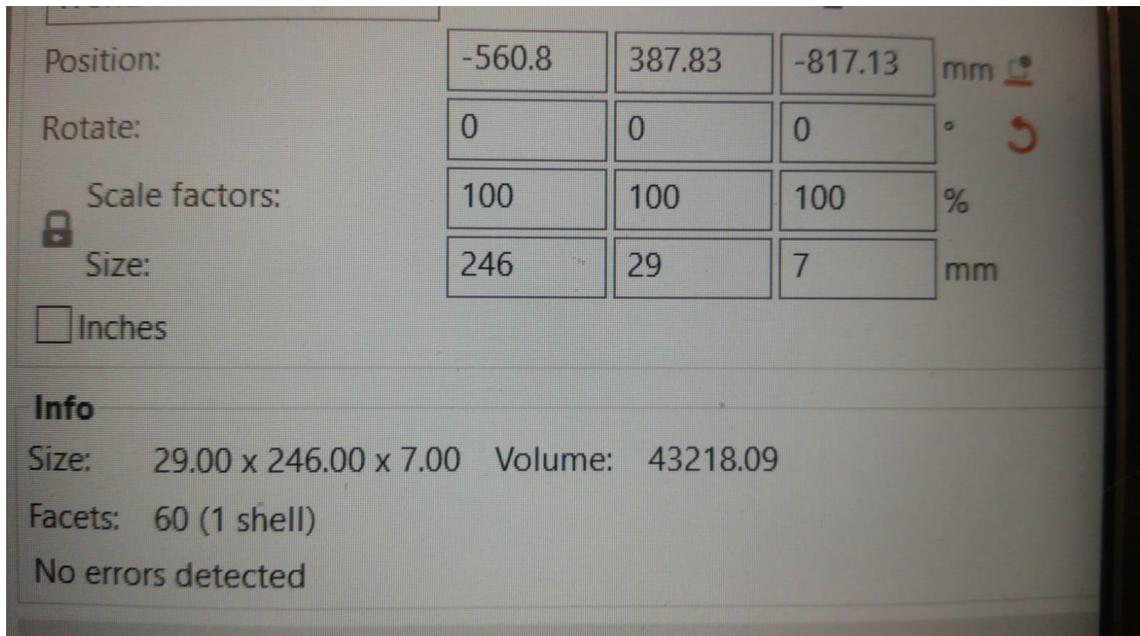
**Anexo 2:** Modelado 3D de probetas en software SolidWorks según normativa



### Anexo 3: Ingreso al software de la impresora 3D para la elaboración de las probetas



**Anexo 4:** Ingreso de medidas de las probetas al software según normativa para la elaboración de las probetas



**Anexo 5:** Probetas ya impresas mediante impresión 3D primera impresión

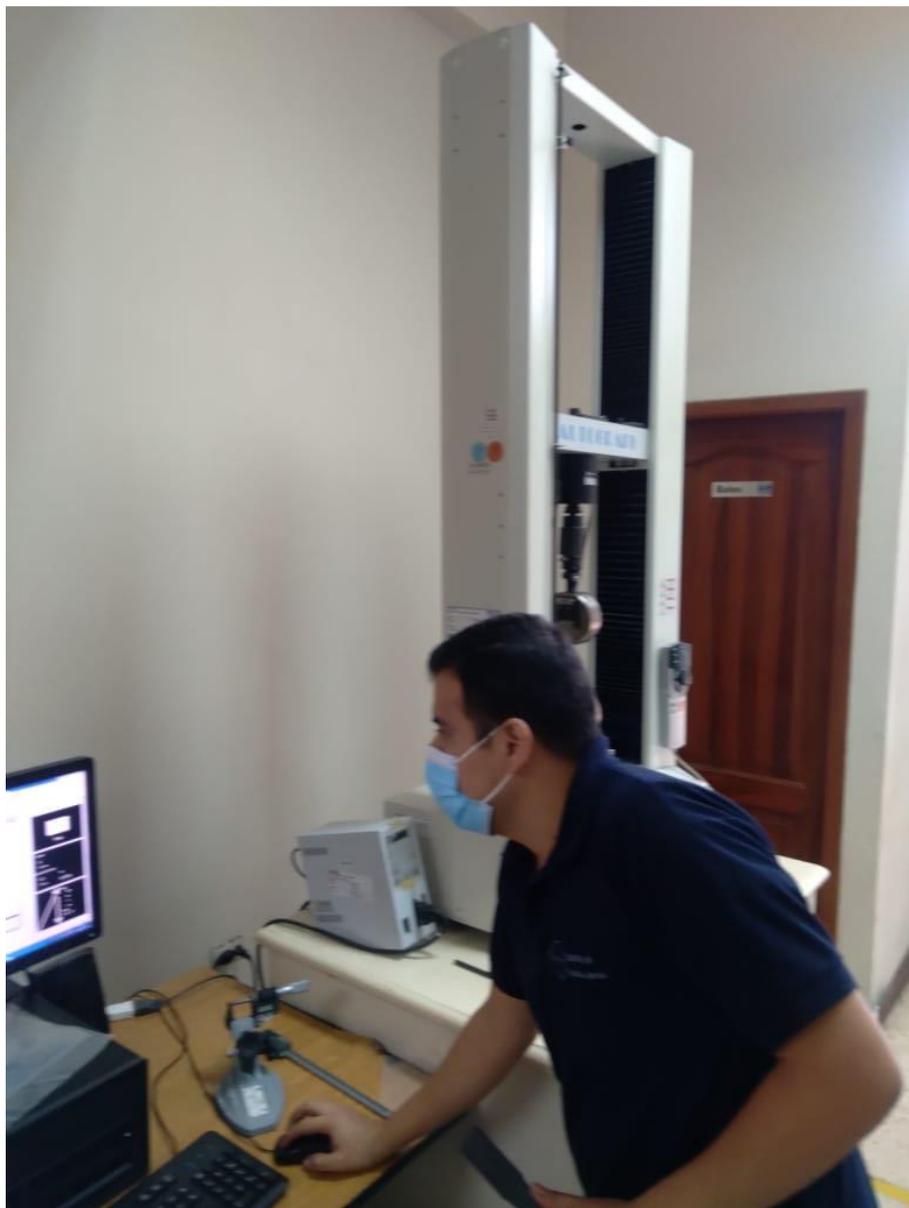




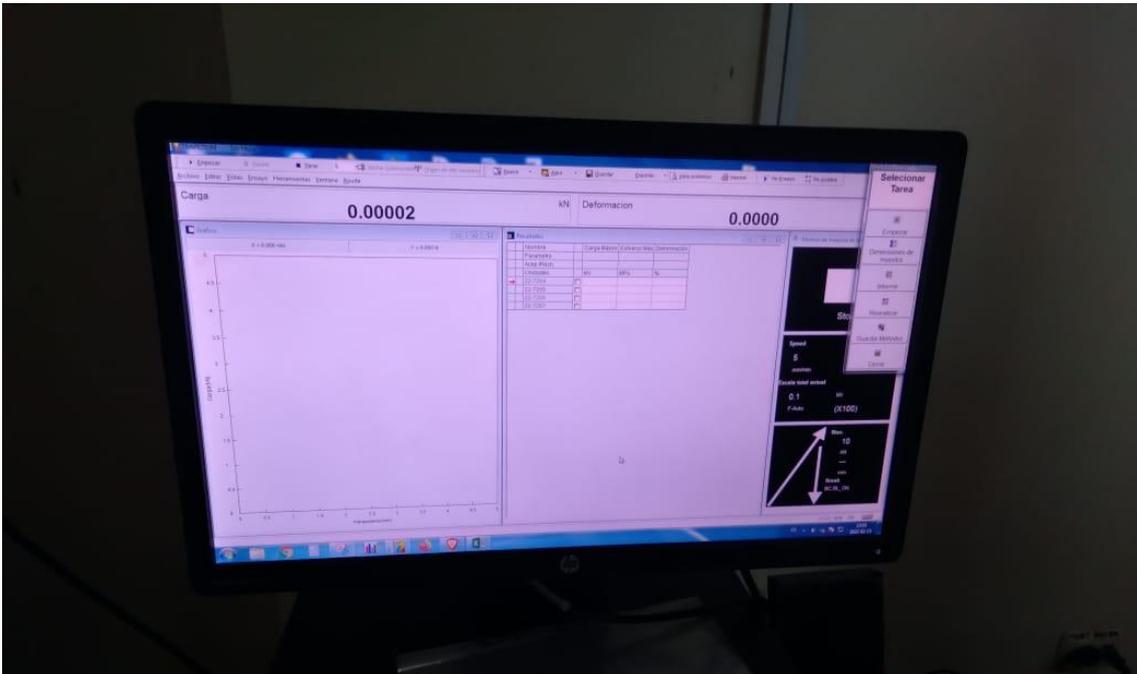
**Anexo 7:** Probetas numeradas para el respectivo ensayo de Tracción según normativa



**Anexo 8:** Calibración del equipo para el ensayo respectivo



## Anexo 9: Calibración del equipo para el ensayo respectivo



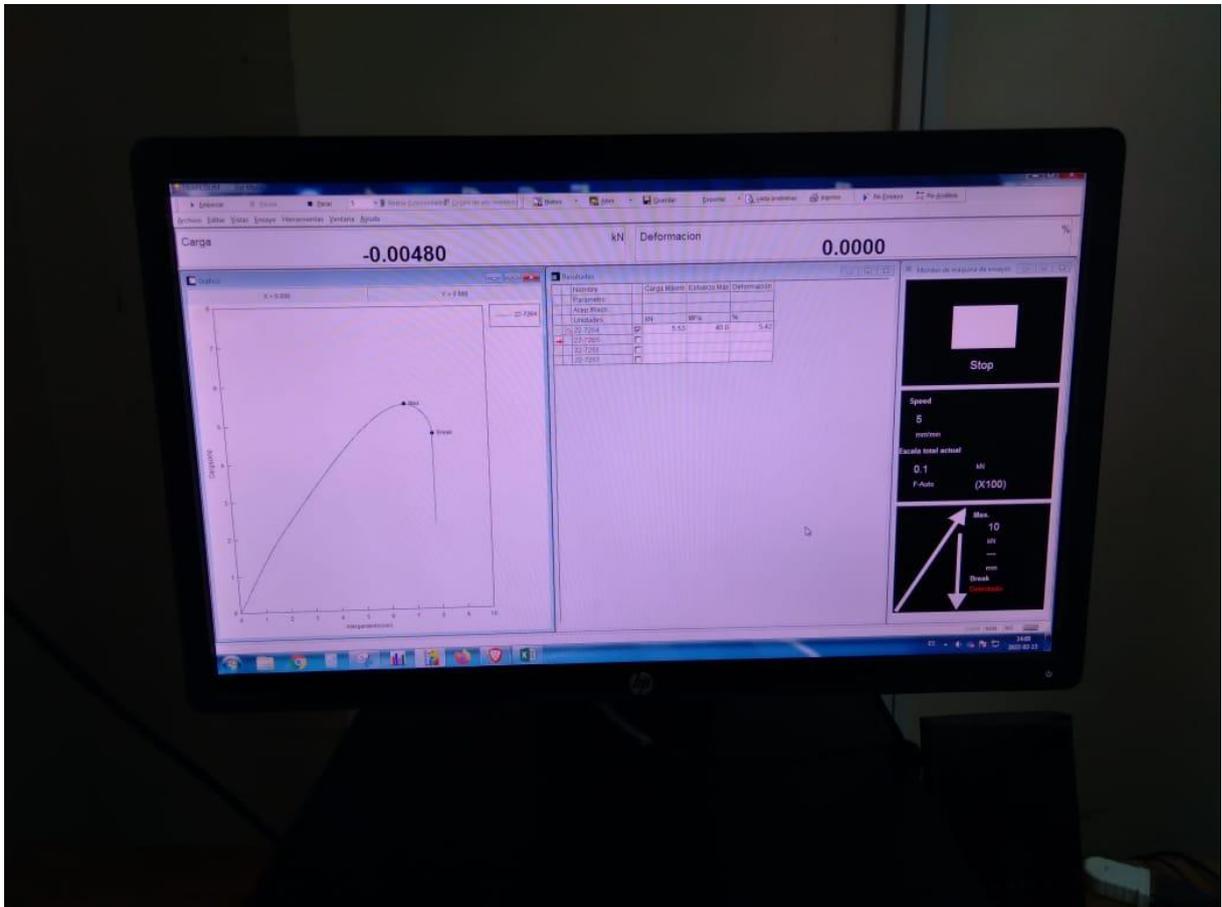
**Anexo 10:** Ensayo probeta 22-7264 (7mm)



**Anexo 11:** culminación de ensayo en probeta 22-7264 (7mm)



## Anexo 12: Resultados de ensayo probeta 22-7264 (7mm)



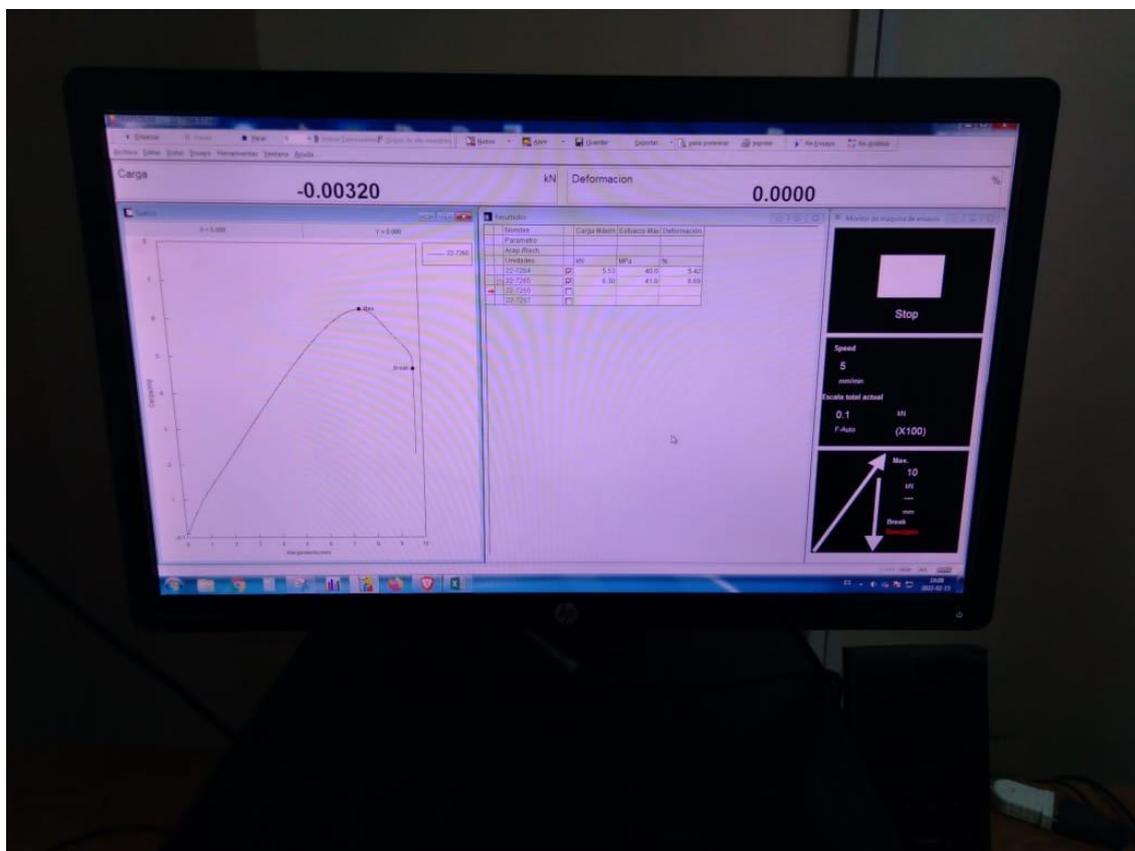
**Anexo 13: Ensayo probeta 22-7265 (8mm)**



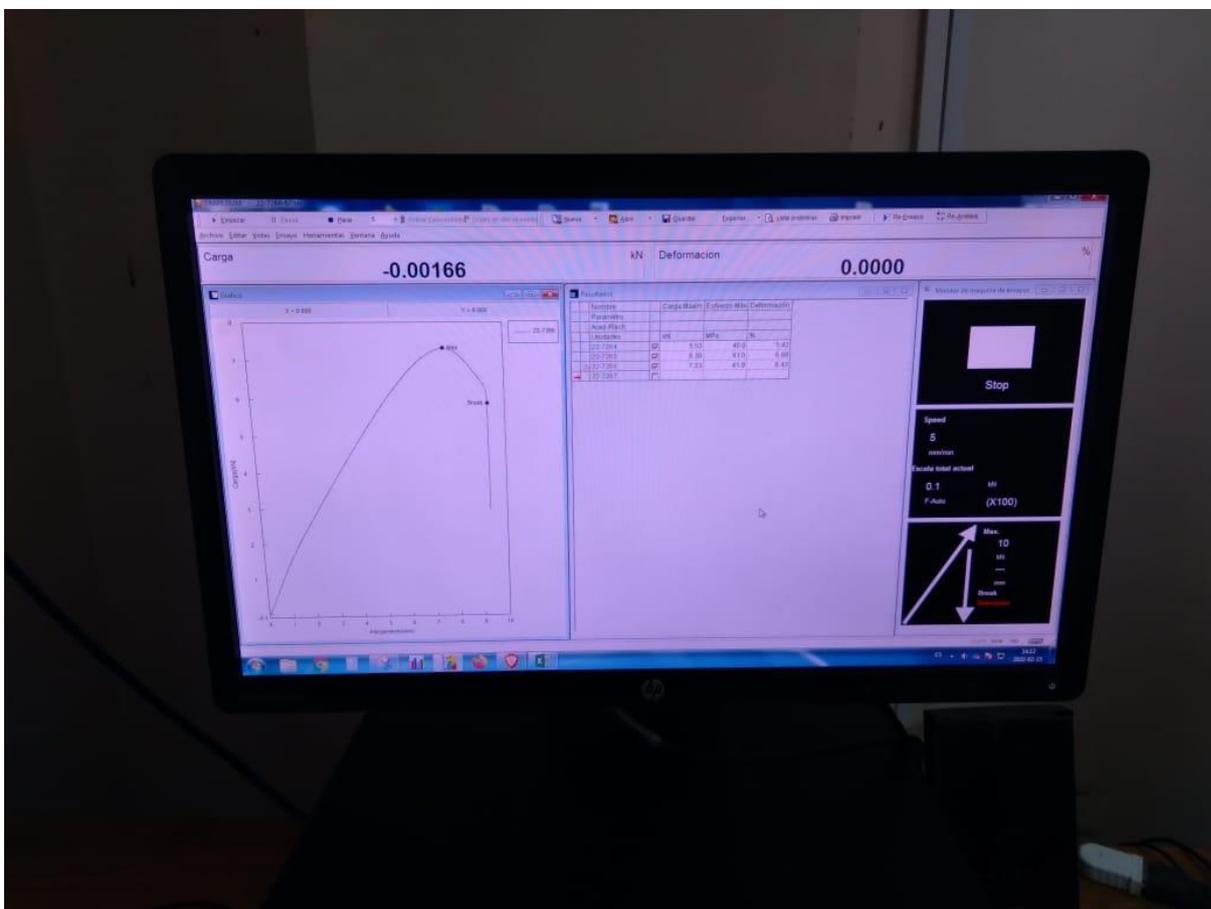
**Anexo 14:** culminación de ensayo probeta 22-7265 (8mm)



### Anexo 15: Resultados de ensayo probeta 22-7265 (8mm)



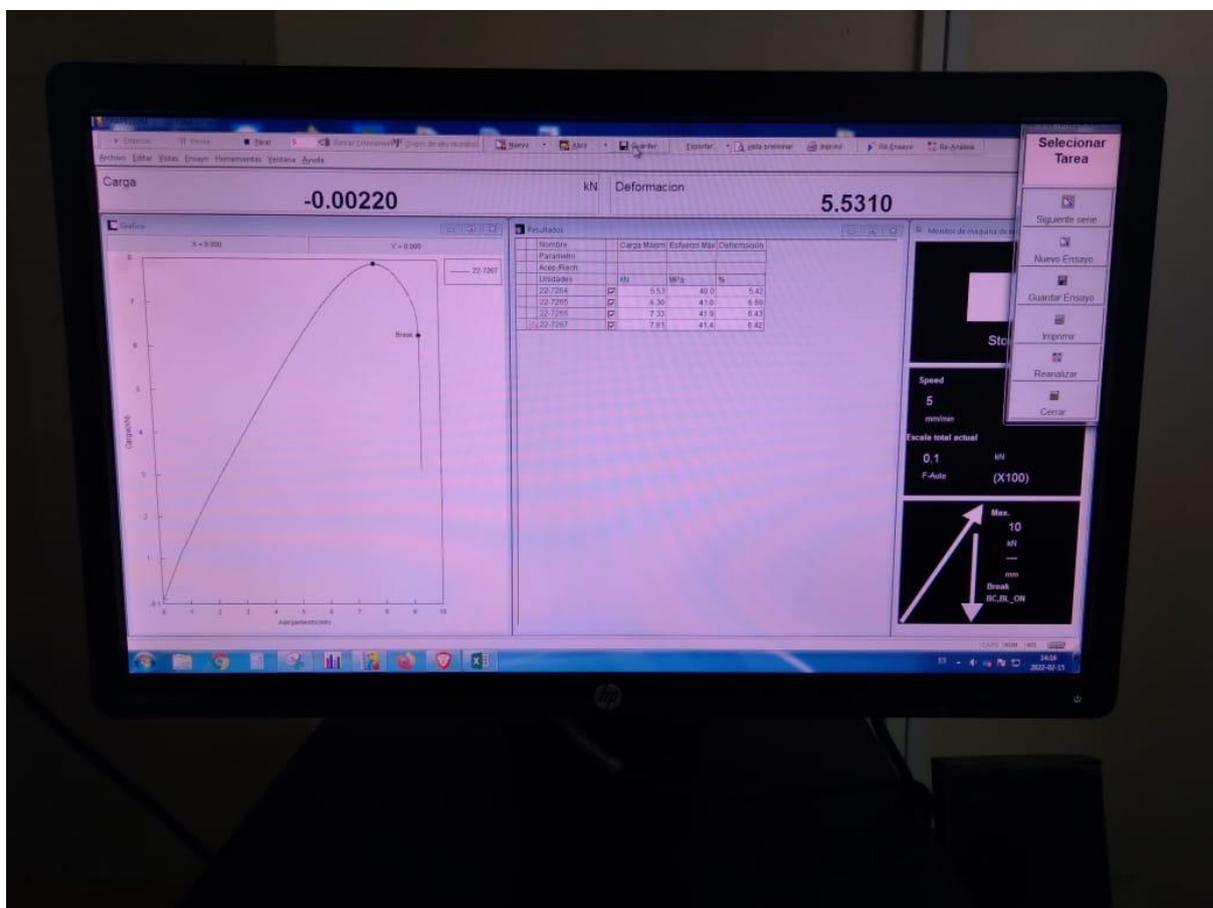
**Anexo 16:** resultados de ensayo probeta 22-7266 (9mm)



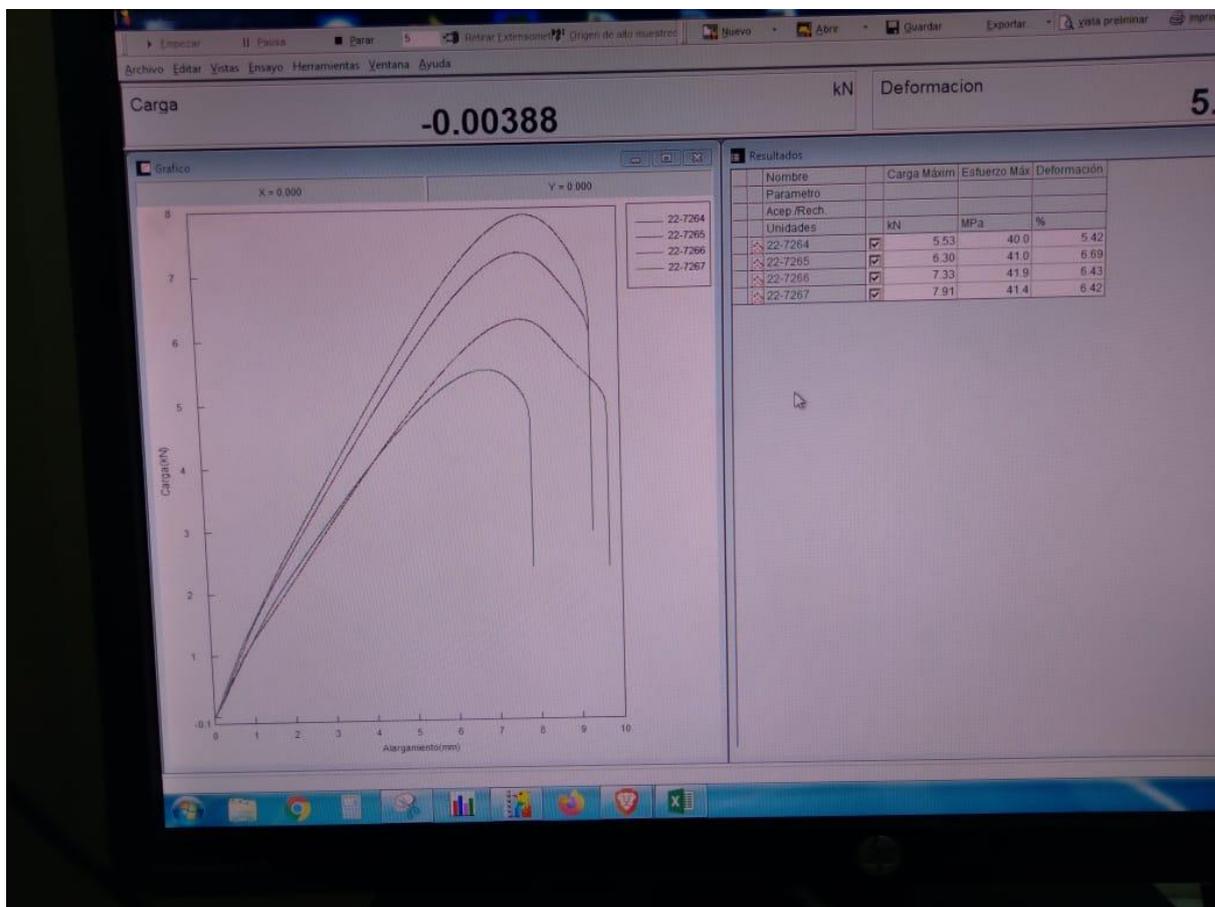
**Anexo 17:** Culminación de ensayo probeta 22-7267 (10mm)



**Anexo 18:** resultados de ensayo probeta 22-7267 (10mm)



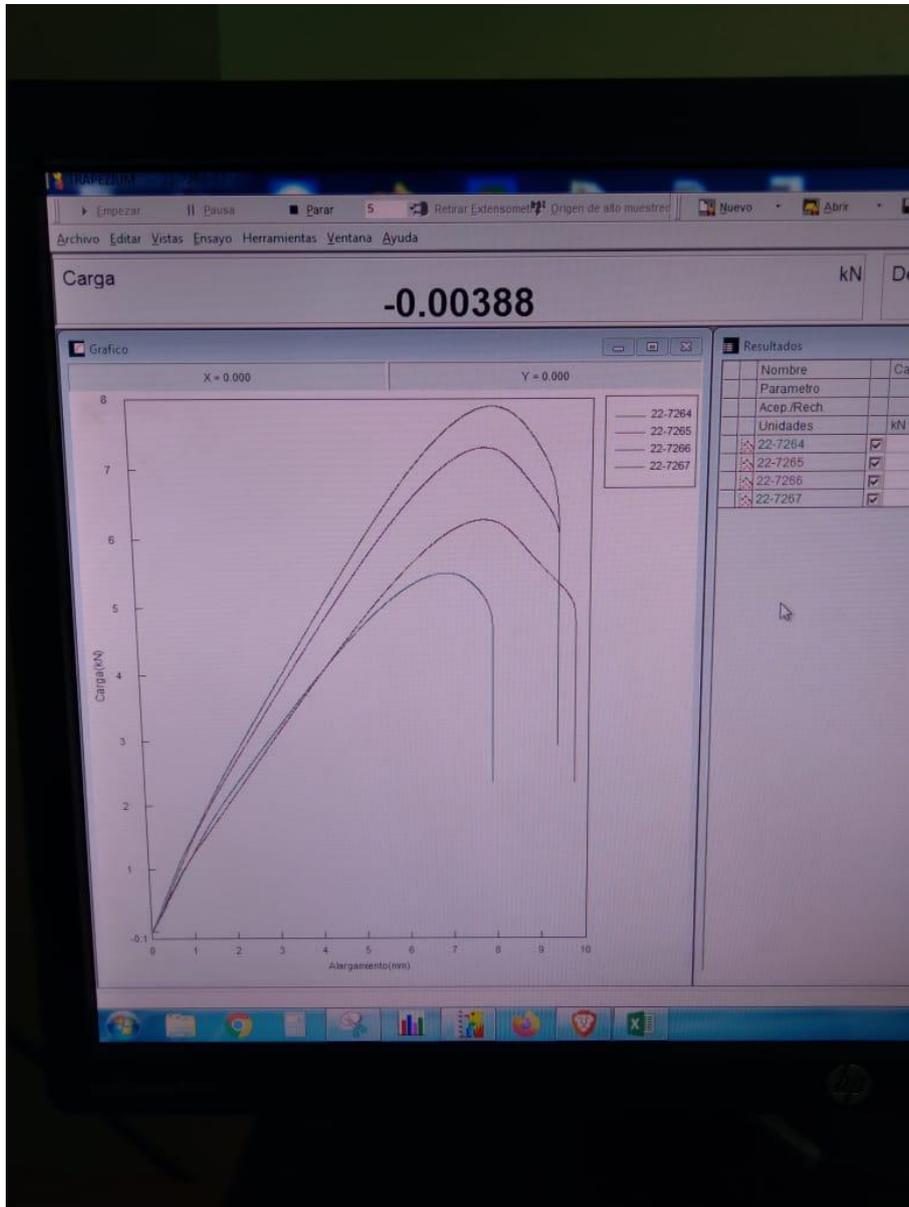
## Anexo 19: Resultados de todas las probetas



Anexo 20: Evidencia 1 de Ensayos a probetas



Anexo 21: Evidencia 2 de resultados de Ensayos a probetas



## Anexo 22: Informe de resultados de Ensayos a probetas 2

