	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
	Dependencia	Aprobado		Pág.
	<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(188)</b>

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>ANDERSON BACCA GUERRERO LEDHER CAMILO CASTRO SANCHEZ</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>DE INGENIERIAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>LEANDRO OVALLOS MANOSALVA</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>ESTUDIO Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ENSAMBLADOS REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD “PEAD” GENERADO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONFINAMIENTO.</b>		
<b>RESUMEN</b>			
<p>LA PRESENTE INVESTIGACION SE ENFOCA EN LA REUTILIZACION DEL PLASTICO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD, COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS, COMO UNA SOLUCION PARA DISMINUIR LA CONTAMINACION AMBIENTAL, DANDOLE UN USO ADECUADO EN LA CONSTRUCCION DE MUROS DE CONFINAMIENTO QUE TENGAN UN COSTO ACCESIBLE. DE ESTA MANERA SE BUSCA CONTRIBUIR CON UN NUEVO METODO DE FABRICACION EFECTIVO Y EFICIENTE, GENERANDO UN PROTOTIPO DE LADRILLO PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION, QUE NO REQUIERE MORTERO DE PEGA PARA LA CONFIGURACION DE MUROS.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 188</b>	<b>PLANOS: 0</b>	<b>ILUSTRACIONES: 113</b>	<b>CD-ROM:1</b>



**ESTUDIO Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ENSAMBLADOS  
REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD “PEAD”  
GENERADO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE  
EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONFINAMIENTO**

**LEDHER CAMILO CASTRO SÁNCHEZ  
ANDERSON BACCA GUERRERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil**

**Director**

**I.C. Esp. Leandro Ovallos Manosalva**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA CIVIL**

**Ocaña, Colombia**

**Septiembre de 2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a Dios, a mi madre por haberme dado la vida, por su gran amor, por sus consejos y sacrificio para poder darme una buena educación, a mis hermanas por apoyarme en todo lo que necesitaba, a mi hijo por ser el principal motivo para salir adelante, a mis sobrinas, a mi novia por estar siempre presente apoyándome en este trayecto, a mi tío Eder Castro por ayudarme y estar siempre pendiente de mis estudios y a mi padre y mi sobrina Silvia de Dios que sé, que estarían muy felices por este gran logro.

**LEDHER CAMILO CASTRO SÁNCHEZ**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que di, cuidándome y dándome la fuerza necesaria en los momentos en los que pensé que no podía continuar. A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo apoyo incondicional en todo momento, depositando su entera confianza en mí y en cada reto que se me presenta, sin dudar ni un solo momento en mi capacidad. De igual manera a mi hermano por todo su apoyo incondicional en todo este proceso. Y por último a mi abuela que desde el cielo siempre me ha cuidado y regalado toda la fuerza.

**ANDERSON BACCA GUERRERO**



## **AGRADECIMIENTOS**

Siempre estaré muy agradecido con Dios por guiarme por el camino correcto, con mi madre Carmen Sánchez por su esfuerzo, por su apoyo y ser el pilar fundamental en mi vida, con mis Hermanas Yulieth Castro Sánchez, Yeinny Marcela Castro Sánchez y Melania Liceth Castro Sánchez, por su afecto y apoyo incondicional en todos los aspectos, con mi Hijo Thomas José Castro Gutiérrez y mi novia Cindia Dayana Gutiérrez Herrera por su amor y estar en los momentos más difíciles de mi carrera brindándome su apoyo y dándome fuerzas para seguir adelante, con mi tío Eder Castro por su gran apoyo y consejos, con mi padre Tomas Antonio Castro Manosalva y mi sobrina Silvia de Dios que desde el cielo me apoyan, con mi compañero Anderson Bacca Guerrero por realizar juntos este proyecto y con el Ingeniero Leandro Ovallos Manosalva por guiarme en este proceso.

**LEDHER CAMILO CASTRO SÁNCHEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de los que formamos parte de este grupo de trabajo. Por esto agradezco a mi compañero de trabajo Ledher Camilo Castro Sánchez a nuestro Director, el ingeniero especialista Leandro Ovallos Manosalva, a todas esas personas que directa o indirectamente nos apoyaron en el desarrollo de esta investigación la cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

**ANDERSON BACCA GUERRERO**

## Índice

<b>Capítulo 1: Estudio y diseño de muros de mampostería ensamblados reutilizando el plástico polietileno de alta densidad “PEAD” generado en el municipio de Ocaña como alternativa sostenible en la construcción de muros de confinamiento. ....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema .....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos. ....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Delimitaciones.....	6
1.5.1 Delimitación Operativa: .....	6
1.5.2 Delimitación Conceptual. ....	6
1.5.3 Delimitación Geográfica. ....	6
<b>Capítulo 2: Marco Referencial .....</b>	<b>7</b>
2.1 Marco Histórico .....	7
2.2 Marco conceptual .....	9
2.2.1 Plástico .....	9
2.2.2 Polietileno.....	9
2.2.3 Porosidad .....	9
2.2.4 Propiedades mecánicas.....	9
2.2.5 Resistencia a la compresión.....	10
2.2.6 Modulo de corte.....	10
2.2.7 Modulo de elasticidad.....	10
2.2.8 Peso específico .....	11
2.2.9 Conductividad térmica.....	11
2.2.10 Comportamiento mecánico de los materiales.....	11
2.2.11 Tracción diagonal .....	11
2.2.12 Desarrollo sostenible .....	13
2.2.13 Reciclaje. ....	13
2.2.14 Plástico Reciclado como sustituto de agregados pétreos. ....	17
2.2.15 Plástico Reciclado: Uso en elementos estructurales.....	19
2.2.16 PEAD como material de construcción. ....	24

2.2.17 Ventajas y desventajas del ladrillo realizado a base de PEAD. ....	24
2.3 Marco teórico. ....	26
2.4 Marco legal.....	29
2.4.1 Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 - Reglamento NSR-10 (Titulo D Mampostería estructural).....	29
2.4.2 Ley 99 de 1993. ....	29
2.4.3 Decreto 2269 de 1993.....	30
2.4.4 Ley 1259 del 19 de diciembre de 2008. ....	30
<b>Capítulo 3: Diseño metodológico .....</b>	<b>31</b>
3.1 Tipo de investigación .....	32
3.2. Población y muestra .....	33
3.3. Recolección de la información.....	33
3.3.1 Determinación del modelo estadístico.....	34
3.3.2 Determinación del tamaño de la muestra. ....	35
3.4 Análisis y procedimientos de datos .....	37
<b>Capítulo 4: Desarrollo del proyecto .....</b>	<b>39</b>
4.1 Realizar el modelo de ensamblaje del ladrillo de PEAD mediante el software SolidWorks para definir sus dimensiones. ....	39
4.1.1 Proceso De Fabricación De Ladrillos A Base De Material Reciclado PEAD .....	49
4.2 Hallar la resistencia a la compresión y flexión de unidades de mampostería de ladrillo de PEAD, con el fin de comparar las propiedades con los materiales comúnmente utilizados. (Bloques de arcilla, bloques de cemento) .....	56
4.2.1 Resistencia a la compresión en las unidades de PEAD.....	56
4.2.2 Evaluación de la absorción y densidad de las unidades de mampostería. ....	77
4.2.3 Hallar la resistencia a la flexión de unidades de mampostería de plástico PEAD para clasificarlos de acuerdo a la norma técnica colombiana 4017 .....	93
4.3 Evaluar la resistencia a la compresión de prismas en mampostería ensamblada con ladrillos de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD” .....	104
4.3.1 Equipo y materiales. ....	104
4.4 Contrastar las propiedades del prototipo de Ladrillo de PEAD, por medio de una simulación en el software Ansys. ....	121
4.5 Comparar la resistencia al corte de los muros ensamblados con ladrillos de PEAD por medio de ensayos de tracción diagonal basados en la normativa ASTM E 519 – 078. ....	132
4.5.1. Equipo y materiales .....	132
4.5.2 Procedimiento.....	133

4.5.3 Cálculos: .....	139
4.6 Hallar el módulo de elasticidad al corte en muros de mampostería ensamblados con ladrillos de PEAD.....	144
4.7 Estimar en términos económicos la elaboración de muros ensamblados con ladrillos de PEAD, comparándolos con los existentes en el mercado como bloque de arcilla, bloque de cemento y ladrillos de arcilla macizos. ....	146
4.7.1 Análisis de precios unitarios de la fabricación del prototipo de ladrillo de PEAD..	148
4.7.2 Análisis de costos de un muro de mampostería de PEAD. ....	150
4.7.3 Comparación de ladrillos de PEAD con los existentes en el mercado.....	151
<b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>	<b>158</b>
<b>Capítulo 6. Recomendaciones .....</b>	<b>162</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>163</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>171</b>
<b>Apéndice A.....</b>	<b>172</b>
<b>Apéndice B.....</b>	<b>173</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. <i>Propiedades físicas del PEAD</i> .....	15
Tabla 2. <i>Propiedades mecánicas del PEAD</i> .....	15
Tabla 3. <i>Cálculo del tamaño muestral según la potencia requerida</i> .....	37
Tabla 4. <i>Evaluación de la resistencia a la compresión en ladrillos de PEAD</i> .....	65
Tabla 5. <i>Resistencia a la compresión mampostería concreto estructural NTC 4026</i> .....	67
Tabla 6. <i>Resistencia a la compresión de mampostería de concreto no estructural NTC 4076</i> .....	67
Tabla 7. <i>Resistencia a la compresión de mampostería de arcilla estructural NTC 4205</i> .....	67
Tabla 8. <i>Resistencia a la compresión de mampostería de arcilla no estructural NTC 4205</i> .....	68
Tabla 9. <i>Grado de representatividad de acuerdo al coeficiente de variación</i> .....	71
Tabla 10. <i>Prueba de valores atípicos: Esfuerzo (MPa)</i> .....	76
Tabla 11. <i>Prueba de Grubbs para el esfuerzo</i> .....	76
Tabla 12. <i>Evaluación de la absorción en ladrillos de PEAD</i> .....	81
Tabla 13. <i>Requisitos de absorción de la mampostería de concreto estructural NTC 4026</i> .....	83
Tabla 14. <i>Absorción de la mampostería de concreto no estructural NTC 4076</i> .....	83
Tabla 15. <i>Requisitos de Absorción de la mampostería de arcilla estructural NTC 4205</i> .....	83
Tabla 16. <i>Absorción de la mampostería de arcilla no estructural NTC 4205</i> .....	84
Tabla 17. <i>Prueba de valores atípicos: Absorción (%)</i> .....	87
Tabla 18. <i>Prueba de Grubbs para la absorción</i> .....	87
Tabla 19. <i>Clasificación de bloques de mampostería según su densidad</i> .....	89
Tabla 20. <i>Densidad de los prototipos de ladrillo de PEAD</i> .....	89
Tabla 21. <i>Prueba de valores atípicos: Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</i> .....	92
Tabla 22. <i>Prueba de Grubbs para la densidad</i> .....	92
Tabla 23. <i>Ensayos de flexión en prototipos de PEAD</i> .....	98
Tabla 24. <i>Módulo de rotura de ladrillos de PEAD (MPa)</i> .....	98
Tabla 25. <i>Prueba de valores atípicos: Módulo de rotura (MPa)</i> .....	102
Tabla 26. <i>Prueba de Grubbs para el módulo de rotura</i> .....	103
Tabla 27. <i>Resistencia a la compresión experimental de prismas de PEAD (F'm)</i> .....	111
Tabla 28. <i>Relación de resistencias de prismas de PEAD</i> .....	113
Tabla 29. <i>Prueba de valores atípicos: Módulo de rotura (MPa)</i> .....	116
Tabla 30. <i>Prueba de Grubbs para el módulo de rotura</i> .....	116
Tabla 31. <i>Principales propiedades utilizadas en la simulación en Ansys</i> .....	123
Tabla 32. <i>Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muros de PEAD</i> .....	140
Tabla 33. <i>Módulo de elasticidad para muretes elaborados con ladrillos de PEAD</i> .....	144
Tabla 34. <i>Volumen del ladrillo de PEAD</i> .....	148
Tabla 35. <i>Análisis unitario de la fabricación de las unidades de mampostería de PEAD</i> .....	149
Tabla 36. <i>Análisis de precios en fabricación de muros de mampostería de PEAD</i> .....	150
Tabla 37. <i>Precio de los mampuestos existentes en el mercado</i> .....	151
Tabla 38. <i>Análisis de precios en fabricación de muros de mampostería de ladrillo macizo</i> .....	152
Tabla 39. <i>Análisis de precios en fabricación de muros de mampostería de bloques H-10</i> .....	153
Tabla 40. <i>Análisis de precios en fabricación de muros de mampostería de bloques de cemento</i> .....	154
Tabla 41. <i>Comparación de precios de bloques por unidad y por metro cuadrado</i> .....	155
Tabla 42. <i>Análisis de precios unitarios para la fabricación de pañete por metro cuadrado</i> .....	156
Tabla 43. <i>Comparación de precios de muros por metro cuadrado sin pañete y con pañete</i> .....	157

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal.....	13
<i>Figura 2.</i> Símbolo de reciclaje de plástico PEAD. Fuente: Tomia, (2016). .....	16
<i>Figura 3.</i> Modelo Unifactorial. Fuente: (Autores, 2019).....	34
<i>Figura 4.</i> Ensamble tipo cola de milano. ....	40
<i>Figura 5.</i> Ensamble tipo horquilla. ....	41
<i>Figura 6.</i> Dibujo en planta y lateral de prototipo de bloque. ....	41
<i>Figura 7.</i> Dibujo en diferentes perspectivas del prototipo de bloque. ....	42
<i>Figura 8.</i> Esquema de medidas generales del prototipo. ....	43
<i>Figura 9.</i> Sólido básico del prototipo. ....	43
<i>Figura 10.</i> Esquema del ensamble tipo cola de milano del prototipo.....	44
<i>Figura 11.</i> Corte del ensamble de tipo cola de milano en el prototipo. ....	44
<i>Figura 12.</i> Esquema del ensamble tipo horquilla (caja) del prototipo.....	45
<i>Figura 13.</i> Esquema del ensamble tipo horquilla (espiga) del prototipo. ....	46
<i>Figura 14.</i> Esquema del prototipo de bloque propuesto. ....	46
<i>Figura 15.</i> Corte de láminas de acero para prototipo.....	47
<i>Figura 16.</i> Piezas de acero que conforman el prototipo. ....	48
<i>Figura 17.</i> Molde de acero del prototipo (vista superior). ....	48
<i>Figura 18.</i> Molde de acero del prototipo (vista lateral). ....	49
<i>Figura 19.</i> Obtención del material.....	50
<i>Figura 20.</i> Maquina Aglutinadora .....	51
<i>Figura 21.</i> Filtradora.....	51
<i>Figura 22.</i> Segundo aglutinamiento.....	52
<i>Figura 23.</i> Filtrado final del material.....	53
<i>Figura 24.</i> Fundición del material en molde.....	53
<i>Figura 25.</i> Acoplamiento final del material.....	54
<i>Figura 26.</i> Prototipo de bloque en la formaleta .....	54
<i>Figura 27.</i> Prototipo fundido y desencofrado terminado.....	55
<i>Figura 28.</i> Rotulación de ladrillos de PEAD.....	57
<i>Figura 29.</i> Primer pesaje de ladrillos.....	58
<i>Figura 30.</i> Medición de unidades (altura, largo, ancho).....	58
<i>Figura 31.</i> Secado de unidades de mampostería de PEAD .....	59
<i>Figura 32.</i> Temperatura del horno mufla.....	59
<i>Figura 33.</i> Pesaje del ladrillo luego del secado. ....	60
<i>Figura 34.</i> Enfriamiento de especímenes .....	60
<i>Figura 35.</i> Instalación y nivelación de reglas y soportes.....	61
<i>Figura 36.</i> Cara de ladrillo completamente refrentada. ....	62
<i>Figura 37.</i> Montaje del espécimen a ensayar. ....	63
<i>Figura 38.</i> Sistema del equipo utilizado en el ensayo .....	63
<i>Figura 39.</i> Ensayo de compresión en prototipo del ladrillo.....	64
<i>Figura 40.</i> Resultados de laboratorio de ensayo a la compresión en el prototipo. ....	65
<i>Figura 41.</i> Registro, rotulado y pesaje de prototipos.....	78
<i>Figura 42.</i> Secado de prototipos a temperatura controlada. ....	79
<i>Figura 43.</i> Inmersión de los prototipos en prueba de absorción.....	80
<i>Figura 44.</i> Control de temperatura en cuarto de secado .....	80
<i>Figura 45.</i> Placa y barras de acero adaptado en la máquina universal .....	95
<i>Figura 46.</i> Aplicación de la carga al prototipo .....	95
<i>Figura 47.</i> Falla del Prototipo luego de aplicación de carga. ....	96

<i>Figura 48.</i> Reporte de ensayos de laboratorio de flexión en ladrillos de PEAD.....	97
<i>Figura 49.</i> Nivelación e instalación de perfiles para refrentado.....	105
<i>Figura 50.</i> Refrentado de caras de área de contacto de carga del prisma.....	106
<i>Figura 51.</i> Muestras de prismas de PEAD.....	106
<i>Figura 52.</i> Instalación de soportes de dispositivos de ensayo.....	107
<i>Figura 53.</i> Instalación de deformímetro análogo.....	107
<i>Figura 54.</i> Equipo de ensayo de los prismas de PEAD.....	108
<i>Figura 55.</i> Aplicación de carga y cronometraje en ensayo de prismas de ladrillos de PEAD.....	109
<i>Figura 56.</i> Falla por aplastamiento en Prisma de PEAD.....	109
<i>Figura 57.</i> Resultado de ensayos de compresión en prismas de ladrillos de PEAD.....	110
<i>Figura 58.</i> $a_m/e_m$ = Relación entre la altura y la dimensión transversal menor.....	111
<i>Figura 59.</i> Almacenado en extensión STEP.....	121
<i>Figura 60.</i> Configuración de análisis estático estructural.....	122
<i>Figura 61.</i> Propiedades del polietileno de alta densidad PEAD (HDPE).....	123
<i>Figura 62.</i> Ingreso de las propiedades del material al software Ansys.....	124
<i>Figura 63.</i> Importación de geometría desde el software SolidWorks al software Ansys.....	125
<i>Figura 64.</i> Modelo definido en Ansys.....	126
<i>Figura 65.</i> Asignación del material al Modelo definido en Ansys.....	126
<i>Figura 66.</i> Procedimiento de mallado del Modelo definido en Ansys.....	127
<i>Figura 67.</i> Modelo con la malla definida en Ansys.....	128
<i>Figura 68.</i> Fijación de superficie de contacto.....	128
<i>Figura 69.</i> Definición de magnitud y dirección de la fuerza de aplicación.....	129
<i>Figura 70.</i> Definición de análisis a realizar.....	130
<i>Figura 71.</i> Resultados de la modelación del prototipo de PEAD en Ansys.....	131
<i>Figura 72.</i> Corte de ladrillos de PEAD con la sierra.....	133
<i>Figura 73.</i> Colocación y nivelación de la primea hilada.....	134
<i>Figura 74.</i> Muro terminado y nivelado.....	134
<i>Figura 75.</i> Trazado y medición de diagonales en el muro.....	135
<i>Figura 76.</i> Instalación del equipo para el ensayo de tracción diagonal.....	136
<i>Figura 77.</i> Medición de las dimensiones del murete.....	136
<i>Figura 78.</i> Colocación de los LVDT en los muretes.....	137
<i>Figura 79.</i> Aplicación de la carga al murete.....	138
<i>Figura 80.</i> Deslizamiento del muro por tracción diagonal.....	138
<i>Figura 81.</i> Ensamble de cola de milano y horquilla del ladrillo en vista de planta y lateral.....	147
<i>Figura 82.</i> Cubo rectangular al colocar los ensambles en los orificios correspondientes.....	147



## Lista de gráficos

<i>Gráfico 1.</i> Evaluación de la resistencia a la compresión de muestras de PEAD. ....	66
<i>Gráfico 2.</i> Esfuerzo a compresión Vs Tiempo.....	70
<i>Gráfico 3.</i> Probabilidad para el Esfuerzo.....	73
<i>Gráfico 4.</i> Dispersión de Esfuerzo (MPa) vs Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ).....	74
<i>Gráfico 5.</i> Dispersión de matriz de Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) vs Esfuerzo (MPa).....	75
<i>Gráfico 6.</i> Valores atípicos de esfuerzo (MPa).....	77
<i>Gráfico 7.</i> Relación de los resultados de absorción de los especímenes de PEAD .....	82
<i>Gráfico 8.</i> Probabilidad de absorción .....	85
<i>Gráfico 9.</i> Análisis de dispersión de Absorción (%) Vs Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ).....	86
<i>Gráfico 10.</i> Matriz de densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) y Absorción (%).....	87
<i>Gráfico 11.</i> Valores atípicos de absorción. ....	88
<i>Gráfico 12.</i> Relación de los resultados de densidad de los especímenes de PEAD.....	90
<i>Gráfico 13.</i> Probabilidad de densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) .....	91
<i>Gráfico 14.</i> Valores atípicos de densidad. ....	93
<i>Gráfico 15.</i> Valores del módulo de rotura en prototipos de PEAD .....	99
<i>Gráfico 16.</i> Probabilidad del módulo de rotura (MPa) .....	100
<i>Gráfico 17.</i> Dispersión del módulo de rotura (MPa) Vs. Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) .....	101
<i>Gráfico 18.</i> Matriz de densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) módulo de rotura (Mpa).....	102
<i>Gráfico 19.</i> Valores atípicos del módulo de rotura (MPa).....	103
<i>Gráfico 20.</i> Resistencia a la compresión de prismas de PEAD ( $F'm$ ).....	112
<i>Gráfico 21.</i> Relación de Resistencias en prismas de PEAD. ....	114
<i>Gráfico 22.</i> Esfuerzo a compresión Vs Tiempo.....	115
<i>Gráfico 23.</i> Valores atípicos en el esfuerzo a la compresión en prismas (MPa) .....	117
<i>Gráfico 24.</i> Probabilidad del esfuerzo en prismas (MPa).....	118
<i>Gráfico 25.</i> Dispersión del esfuerzo en prismas (MPa) Vs. Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) .....	119
<i>Gráfico 26.</i> Matriz de densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ). Esfuerzo en prismas de PEAD (MPa) .....	120
<i>Gráfico 27.</i> Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 1. ....	142
<i>Gráfico 28.</i> Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 2. ....	142
<i>Gráfico 29.</i> Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 3. ....	143
<i>Gráfico 30.</i> Comparación de precios por unidad y por metro cuadrado de mampuestos .....	155
<i>Gráfico 31.</i> Comparación de precios de muros sin pañete y con pañete .....	157

# **Capítulo 1: Estudio y diseño de muros de mampostería ensamblados reutilizando el plástico polietileno de alta densidad “PEAD” generado en el municipio de Ocaña como alternativa sostenible en la construcción de muros de confinamiento.**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Según la revista Dinero, (2015). La humanidad cada vez genera más residuos según lo explica el informe del Banco Mundial (BM), la tasa de crecimiento de los desperdicios es más rápida que la tasa de urbanización en el mundo. Esto significa que las ciudades producen más desperdicios inútiles de lo que ellas mismas pueden manejar.

La gestión inadecuada de los residuos se ha convertido en uno de los mayores problemas no solo medioambientales, sino también de salud y económicos en todo el mundo. Impulsado por el aumento de la población, la urbanización y el consumo.

Según un informe en el que han trabajado los expertos del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la International Solid Waste Association (ISWA) cada año se producen entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos en el mundo incluyendo los urbanos, industriales y de construcción y demolición, aparte de esto se estima que 3.000 millones de personas carecen de acceso a la eliminación controlada de residuos. (Residuos Profesional, 2015)

En Colombia se generan 28.800 toneladas diarias de residuos y de esas se reciclan sólo 3.800 toneladas (13%) son recuperadas y reincorporadas en el ciclo productivo. De ese 13%, aproximadamente 2.100 toneladas diarias (7%) son recuperados y comercializados por los denominados recicladores o recuperadores informales y unas 1.600 (6%) son reincorporadas al ciclo productivo a través de convenios directos entre el comercio y la industria. De los materiales que se recuperan actualmente en Colombia, los residuos inorgánicos, que cuentan con un mercado establecido y con posibilidades de expansión, son principalmente, papel y cartón, vidrio, plástico, metales ferrosos y no ferrosos y caucho. (Mejía, 2010)

En el departamento de Norte de Santander se generaron 92.181 toneladas de residuos sólidos hasta octubre de 2016 y en su totalidad los municipios que lo comprenden disponen estos residuos en los rellenos sanitarios. Especialmente en el Municipio de Ocaña se generaron 17.429 toneladas, siendo este uno de los que más generan residuos, según el informe anual de recursos naturales de la contraloría. (La Opinión, 2017)

Uno de los mayores contaminantes que existe en todo el mundo según AmapolaBio es el plástico ya que se estima que se producen al año  $100 \times 10^6$  Ton de plásticos y gran parte de ellos acaban en los océanos formando el 80% de la basura marina. El problema no sólo es que contaminan el medio ambiente, sino que, además pueden tener un efecto nocivo sobre nuestra salud. (AmapolaBio, 2018)

En nuestro país solo el 26 % de las botellas plásticas se recicla, el gran problema es que, si no se le da un uso adecuado a este material, puede llegar a tardar hasta 100 años en su

biodegradación. (Zarta, 2016) Y las cifras de reciclaje de estos envases en Colombia no son alentadoras.

Teniendo claro estos antecedentes, en la ciudad de Ocaña se identificó que se genera un alto índice de contaminación a base del plástico, el dónde su gran mayoría no está siendo reciclado y como consecuencia este termina en el relleno sanitario o en otros casos termina depositado en nuestras fuentes hídricas.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Los muros compuestos de ladrillos de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD” tendrán las propiedades mecánicas necesarias y funcionarán como alternativa sostenible y económica en la construcción de muros de confinamiento?

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo General.** Diseñar muros de mampostería ensamblados reutilizando el plástico polietileno de alta densidad “PEAD”

**1.3.2 Objetivos Específicos.** Realizar el modelo de ensamblaje del ladrillo de PEAD mediante el software SolidWorks para definir sus dimensiones.

Hallar la resistencia a la compresión y flexión de unidades de mampostería de ladrillo de PEAD, con el fin de comparar las propiedades con los materiales comúnmente utilizados.

(Bloques de arcilla, bloques de cemento)

Evaluar la resistencia a la compresión de prismas en mampostería ensamblada con ladrillos de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD”

Contrastar las propiedades del prototipo de Ladrillo de PEAD, por medio de una simulación en el software Ansys

Comparar la resistencia al corte de los muros ensamblados con ladrillos de PEAD por medio de ensayos de tracción diagonal basados en la normativa ASTM E 519 – 078.

Hallar el módulo de elasticidad al corte en muros de mampostería ensamblados con ladrillos de PEAD

Estimar en términos económicos la elaboración de muros ensamblados con ladrillos de PEAD, comparándolos con los existentes en el mercado como bloque de arcilla, bloque de cemento y ladrillos de arcilla macizos

#### **1.4 Justificación**

El reciclaje es muy importante en muchas partes del mundo ya que existen lugares donde

se produce mucha basura. La mayoría de lo que consumimos deja algún desecho que contamina el medio ambiente y lo mejor es reciclarlo. De esta manera puede volver a ser utilizado y estaremos apoyando la conservación del medio ambiente. Uno de los materiales que utilizamos más a menudo en nuestros productos es el plástico polietileno de alta densidad o PEAD.

Todo tenemos la posibilidad de reciclar, es algo que deberíamos convertir en un hábito para ayudar al medio ambiente. Las botellas de plástico son después de las de vidrio las que más tiempo tardan en poder degradarse. El plástico llega a tardar de entre 100 y 1000 años para poder descomponerse y depende también de su tamaño y tipo. Este es un material que juega un papel importante en nuestras vidas, ya que muchos productos están hechos de plástico. Sin embargo, el plástico debe ser considerado como un recurso y no como un desecho. (Publímetro, 2015)

A través del mundo se deben promover investigaciones que ayuden a mitigar el impacto ambiental y a mejorar las condiciones de vida de las personas, por esta razón la presente investigación se enfoca en la reutilización de PEAD como materia prima para la fabricación de ladrillos. Se pretende plantear una solución para disminuir la contaminación y los impactos ambientales que generan el deterioro del medio ambiente, dándole un uso adecuado en la construcción de muros de confinamiento que brinden una mejor calidad y tengan un costo más accesible. De esta manera se busca contribuir con un nuevo método de fabricación fácil y rápida, brindando un ladrillo con excelentes propiedades físico- mecánicas (resistencia a la compresión, densidad, entre otros) y se busca reemplazar el ladrillo cerámico convencional, pues en su fabricación este produce un gran impacto ambiental y se puede dar manejo al plástico de manera adecuada que cada vez afecta a la sociedad.

## **1.5 Delimitaciones**

**1.5.1 Delimitación Operativa:** En esta investigación debemos realizar estudios de mercado, estudios de reciclaje, encuestas, diagramas por medio del software SolidWorks, ensayos de laboratorio, estudios de factibilidad, procesamiento y análisis de resultados para los estudios realizados con los muros de confinamiento ensamblados con ladrillos de PEAD.

**1.5.2 Delimitación Conceptual.** Emplearemos conceptos tales como: textura, porosidad, resistencia a la compresión, resistencia a la compresión de la mampostería ( $f'm$ ), módulo a corte de la mampostería ( $Gm$ ) y módulo de elasticidad de la mampostería ( $Em$ ) desarrollo sostenible, aislante térmico, durabilidad, fallas.

**1.5.3 Delimitación Geográfica.** La ejecución del proyecto será realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, que se encuentra ubicada en el sector nororiental del país, específicamente a 2,8 Km del casco urbano de la ciudad de Ocaña y actualmente cuenta con más de 6500 estudiantes matriculados, con coordenadas geográficas de  $8^{\circ}14'5,53''$  N  $73^{\circ}19'16,76''$ o

**1.5.4 Delimitación Temporal.** Para el desarrollo del proyecto se llevará a cabo un periodo mínimo de 5 meses, en el cual llevaremos a cabo estudios, ensayos y actividades necesarias.

## Capítulo 2: Marco Referencial

### 2.1 Marco Histórico

La historia del Polietileno se remonta al año 1898 cuando Von Pechmann obtiene un polímero de estructura equivalente al Polietileno llamada Polimetileno. Esta síntesis se produjo accidentalmente a partir de diazometano, obteniendo un polímero de bajo peso molecular.

En 1900, Bamberger y Tschirner analizaron un producto similar, encontrando que tenía la fórmula  $(CH_2)_n$ . El Polietileno de baja densidad fue obtenido accidentalmente por los estudios de alta presión del etileno que Michaels realizó en Ámsterdam. Este descubrimiento lo aprovechó Gibson para producir Polietileno, a partir de una mezcla de etileno y benzaldehído. En 1935, en Inglaterra, los químicos e ingenieros W. Faucett, G. Paton, W. Perrin y G. Williams, polimerizaron etileno utilizando altas presiones y temperaturas. Roca, (2005)

La reacción con un complejo catalítico de alquil aluminio y tetracloruro de titanio daba lugar a la fabricación de un Polietileno de mayor densidad y temperatura de fusión, como consecuencia de su mayor regularidad. A este Polietileno se le denominó de alta densidad (PEAD o sus siglas en inglés (HDPE)), haciendo mención a sus propiedades, o de baja presión, debido a su método de obtención.

Sin embargo, actualmente el uso de elementos plásticos que se convierten en desechos sólidos, es el principal foco de contaminación a nivel mundial, partiendo desde su elaboración a



base de Petróleo o papel y el tiempo que se necesita para que estos se degraden de forma natural. (Morales y Pérez, 2018)

Por otro lado la solución habitacional se ha convertido en un problema a escala mundial, debido a que no sólo afecta a la sociedad en su conjunto sino también y lo más importante del proceso constructivo, al planeta Tierra. La administración de los recursos que se emplean para la construcción de edificaciones en general, ha sobre pasado los límites de lo tolerable para el planeta, la extracción indiscriminada de minerales y materiales de construcción, está desembocando en graves consecuencias para los diferentes ecosistemas. (Angumba, 2016)

A nivel mundial existe una tendencia ambientalista enfocada en la reducción, la reutilización de los desechos plásticos y el reciclaje de los mismos. Esta tendencia poco a poco ha tomado impulso en Latinoamérica orientada a la confección de mampostería con los residuos de PEAD, debido a la abundancia del mismo, es evidente el bajo impacto ambiental que los ladrillos de cemento y PEAD tienen, evitando el uso de suelo cultivable, reutilizando desechos sólidos (PEAD) y sin emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Sin embargo, en los países latinoamericanos existe poco conocimiento y conciencia sobre el reciclaje y sus beneficios. (Morales & Pérez, 2018)

## 2.2 Marco conceptual

Para desarrollar el presente trabajo de grado es indispensable conocer cada uno de los siguientes conceptos:

**2.2.1 Plástico.** Término para designar materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura. (Echeverría, 2017)

**2.2.2 Polietileno:** es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente 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.

**2.2.3 Porosidad:** La porosidad es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee un material y se define como la fracción del volumen total del material que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos. (Comunidad petrolera, 2012)

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen de espacios para almacenar fluidos}}{\text{Volumen total}}$$

**2.2.4 Propiedades mecánicas.** Las propiedades mecánicas fundamentales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética. (Echeverría, 2017)

**2.2.5 Resistencia a la compresión. (NTC 3495).** La resistencia a la compresión ( $f'_m$ ) es la propiedad más importante. En términos generales, define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro. Los principales componentes de la resistencia a la compresión son: la resistencia a la compresión del ladrillo ( $f'_b$ ), y la perfección geométrica del ladrillo. (Gonzales, 2016)

**2.2.6 Modulo de corte.** El módulo de elasticidad transversal, también llamado módulo de cizalladura, es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico (lineal e isótropo) cuando se aplican esfuerzos cortantes. Este módulo recibe una gran variedad de nombres, entre los que cabe destacar los siguientes: módulo de rigidez transversal, módulo de corte, módulo de cortadura, módulo elástico tangencial, módulo de elasticidad transversal. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad transversal tiene el mismo valor para todas las direcciones del espacio. En materiales anisótropos se pueden definir varios módulos de elasticidad transversal, y en los materiales elásticos no lineales dicho módulo no es una constante sino que es una función dependiente del grado de deformación. (Carvajalino y Hernández, 2014)

**2.2.7 Modulo de elasticidad.** Relación entre la fatiga unitaria y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material. También llamado módulo de elasticidad, módulo de Young, módulo elástico. Un módulo elástico es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

Los materiales elásticos isotrópicos quedan caracterizados por un módulo elástico y un coeficiente elástico (o razón entre dos deformaciones). Es decir, conocido el valor de uno de los módulos elásticos y del coeficiente de Poisson se pueden determinar los otros módulos elásticos. Los materiales ortótropos o anisótropos requieren un número de constantes elásticas mayor. (Carvajalino y Hernández, 2014)

**2.2.8 Peso específico:** Los ladrillos, bloques y placas elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima, el cual es la unidad de peso sobre la unidad de volumen del mismo (Gaggino, 2008)

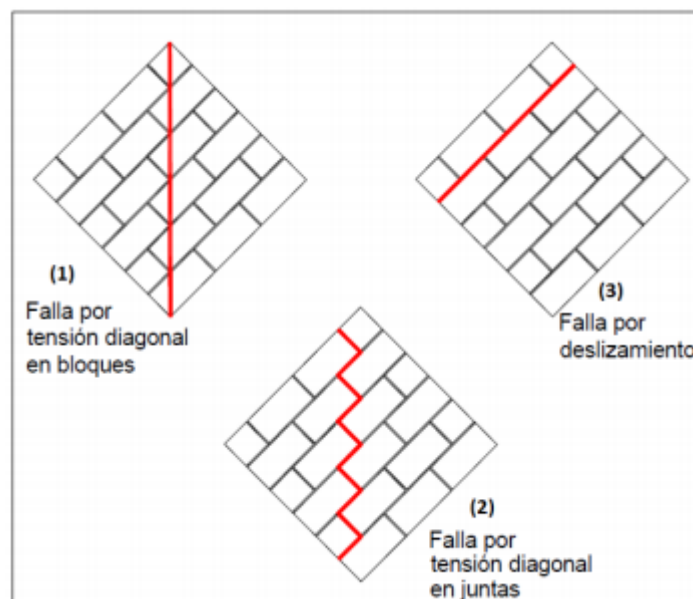
**2.2.9 Conductividad térmica:** Los elementos constructivos obtenidos son malos conductores del calor, por lo que suministran una excelente aislación térmica, superior a la de otros cerramientos tradicionales. (Gaggino, 2008)

**2.2.10 Comportamiento mecánico de los materiales.** El comportamiento mecánico de los materiales se describe a través de sus propiedades mecánicas, que son el resultado de ensayos simples e idealizados. Estos ensayos están diseñados para representar distintos tipos de condiciones de carga. (Tracción, Compresión, Flexión y Torsión)

**2.2.11 Tracción diagonal.** El objetivo de este laboratorio consiste en aplicar fuerza diagonal a muros ensamblados con ladrillos de PEAD para determinar su resistencia al corte puro, dividiendo la carga diagonal de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada.

También se busca con este hallar el módulo de corte ( $G_m$ ). La mayoría de los edificios fijos en la base satisfacen la necesidad de reducir las fuerzas cortantes sísmicas, generalmente apoyándose en la disipación de energía mediante el comportamiento histérico de su estructura; para ello ha sido necesario basarse en la ductilidad de sus miembros y en la formación de articulaciones plásticas en ellos. Sin embargo, cuando se presentan dichas condiciones, en muchos casos la estructura sufre daños apreciables.

Las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal pueden ser de tres tipos ver *Figura 1*. Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal(1) Falla por tensión diagonal en bloques; se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta.; (2) falla por tensión diagonal en juntas; se produce por la falla por adherencia bloque-mortero, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete; (3) falla por deslizamiento; se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal. (Fernandez, L., Marin, F., Varela, J. Y Vargas, G., 2001)



*Figura 1.* Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal. (Fernandez, L., Marin, F., Varela, J. Y Vargas, G., 2001)

**2.2.12 Desarrollo sostenible:** El concepto de desarrollo sostenible, según el informe Brundtland, expresa la importante idea de que hemos de satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (Brundtland, 1989).

**2.2.13 Reciclaje.** Consiste en obtener una nueva materia prima o producto, mediante unos procesos físicos químicos o mecánicos, a partir de productos y materiales ya en desuso o utilizados. De esta forma, conseguimos alargar el ciclo de vida de un producto, ahorrando materiales y beneficiando al medio ambiente al generar menos residuos. (Echeverría, 2017).

Según el Centro del Profesorado y de Recursos de Avilés, (2010). “Los plásticos son materiales sintéticos, derivados del petróleo, del carbón y de la celulosa de las plantas, que tienen la propiedad de deformarse, están formados por cadenas de moléculas muy largas que se llaman

polímeros”. Los polímeros por su parte son macromoléculas constituidas por uniones repetitivas de muchos monómeros, mediante enlaces covalentes y formadas por reacción de polimerización.

Rodríguez, (2010) define las principales propiedades de los plásticos como:

- La plasticidad o capacidad a deformarse
- Facilidad para recibir color
- Baja densidad
- Aislante térmico y eléctrico
- Resistencia a golpes
- Resistencia a corrosión y oxidación

El polietileno de alta densidad PEAD, es un tipo de plástico muy usado en la vida diaria, por ejemplo en la elaboración de envases plásticos desechables para almacenar alimentos, detergentes, en artículos para el hogar, en juguetes, en cascos, en tubería para distribución de agua potable, entre otros. Este material fue usado en esta investigación como materia prima de los elementos estructurales estudiados, por lo tanto algunas de las propiedades físicas y mecánicas del PEAD se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1

*Propiedades físicas del PEAD.*

<b>Propiedades Físicas del PEAD</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Densidad	kN/m <sup>3</sup>	9,41 – 9,65
Absorción de agua	mg a 96 h	<0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión	N/mm <sup>2</sup>	18 – 35
Elongación punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto ranurado l		
A 20 C	kJ/m	No rompe –6
A –20 C	kJ/m	>5
Temperatura de defeción		
1.86 N/mm <sup>2</sup>	C°	50
0.45 N/mm <sup>2</sup>	C°	75
Resistencia dieléctrica	kV/cm	>600

Fuente: Roca, (2005)

Tabla 2

*Propiedades mecánicas del PEAD.*

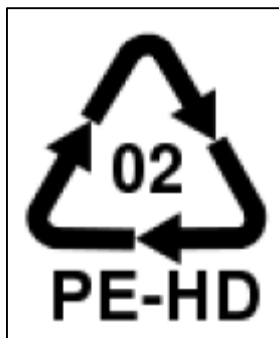
<b>Propiedades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Coefficiente de Fricción		0,29
Dureza – Rockwell		D60-73 – Shore
Módulo de Tracción	GPa	0,5-1,2
Relación de Poisson		0,46
Resistencia a la Tracción	MPa	15-40
Resistencia al Impacto Izod	J m-1	20-210

Fuente: Roca, (2005)

El plástico PEAD, se considera de reciclaje secundario y se identifica con el número 2 rodeado de tres flechas continuas formando un triángulo, como se observa en la Figura 2.

Símbolo de reciclaje de plástico PEAD. . Existen dos tipos, el grado textil y el grado botella.





*Figura 2.* Símbolo de reciclaje de plástico PEAD. Fuente: Tomia, (2016).

El PEAD reciclado es comúnmente utilizado por la industria del plástico para reducir costos en la fabricación de productos agregando porcentajes de este residuo combinado con PEAD virgen o trabajando a 100% con este material reciclado. El abanico de posibilidades de uso del PEAD reciclado es grande, pueden ser utilizados para crear desde envases hasta tuberías para agua potable, entre muchos otros.

La industria del plástico a lo largo de la historia ha desarrollado innovaciones que mejoran la calidad de vida del ser humano. Sin embargo, “el 99% de la totalidad de plásticos se produce a partir de combustibles fósiles, lo que provoca una excesiva presión sobre las limitadas fuentes de energía no renovables” Hernández, (2013).

Los plásticos suponen una contaminación estética y un problema de obstrucción de tuberías, canalizaciones y procesos industriales y de tratamiento de aguas. Asimismo, pueden causar alteraciones en el suelo al no degradarse con facilidad si se depositan sobre él o si son enterrados. Los polímeros abandonados, si no se mueven durante un tiempo, provocan además un efecto invernadero sobre la parte de suelo cubierta, calentándolo y reteniendo el calor. Es

evidente que el acopio y el reciclado de estos productos parece ser acorde en todo punto con una política general de desarrollo sostenible Calvo (2000).

La ONU (1987) define “el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, por lo cual el desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo” (21). Basados en estas preocupaciones mundiales, en 1992 se celebró en Rio de Janeiro la conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el medio ambiente y el desarrollo donde surgieron los principios fundamentales y el programa de acción para lograr el desarrollo sostenible.

Según la Asociación Nacional de Industrias del Plástico, la industria de la construcción es la que más recursos naturales consume, al tiempo que contribuye a la contaminación y generación de desechos, afectando ecosistemas y contribuyendo al cambio climático. Por lo tanto es necesario buscar e implementar soluciones encaminadas al desarrollo sostenible, para reducir el uso de recursos no renovables en las industrias de la construcción y de plásticos.

**2.2.14 Plástico Reciclado como sustituto de agregados pétreos.** La utilización de los agregados pétreos en el sector de la construcción se ha desarrollado desde el uso de razón del ser humano, mediante el uso de rocas para construir refugios. En la actualidad, su uso intensificado hace que sea cada vez más escaso, aumente su precio y por lo tanto el producto final para el cual se utiliza. Comunidades, organizaciones, entes gubernamentales y estatales de todo el mundo han puesto su mira en buscar soluciones para una posible sustitución de estos por otros materiales de

bajo costo, pensando de igual forma en el desarrollo sostenible que según Teran, (1996) consiste en la adaptación del entorno de los seres humanos a un factor limitante: la capacidad del entorno de asumir la presión humana de manera que sus recursos naturales no se degraden irreversiblemente.

En Argentina se han llevado a cabo investigaciones que buscan la sustitución de agregados pétreos por plásticos reciclados como la llevada a cabo por Gaggigo (2007), quien desarrolló una técnica constructiva en la ciudad de Córdoba, Republica de Argentina con la cual plantea el uso de material plástico reciclado de polietileno tereftalato PET y film para envoltorio de alimentos como sustituto total de agregados en la construcción de bloques, ladrillos y losetas, para la elaboración de muros de cerramiento NO portantes dentro de viviendas económicas tradicionales. “Para la fabricación de los elementos constructivos se utiliza un procedimiento similar al de elaboración de un concreto común, pero reemplazando áridos por plásticos reciclados”. Teran, (1996)

El uso del plástico como reemplazo de agregados pétreos en mezclas de concreto común es eficiente, económico, fácil de desarrollar y sostenible ya que se retira del ambiente residuos plásticos, también genera accesibilidad a viviendas a personas de bajos recursos, además es un gran paso para el cambio a sistemas constructivos sostenibles, a pesar del uso de concreto para cimentación, vigas y muros portantes con materiales tradicionales.

**2.2.15 Plástico Reciclado: Uso en elementos estructurales.** El uso del plástico reciclado en la construcción de viviendas fue investigado por Edgar Salazar en 2014 como una solución de accesibilidad a vivienda para sectores vulnerables y de bajos recursos, viviendas aproximadamente 21% más barata que una vivienda de interés social en Colombia, mediante la creación de una vivienda de impacto ambiental positivo ya que sus elementos que la conforman son fabricados 100% con PEAD. Salazar y Arroyave, (2014)

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se pudieron crear elementos con resistencias promedio máximas de 38MPa en ensayos a compresión y de hasta 15,5MPa en ensayos a la tracción, obteniendo un mejor desempeño que en concretos convencionales mínimos de 21MPa. Sin embargo las propiedades se vieron afectadas por un abanico de resultados con gran dispersión, debido a la presencia de vacíos o burbujas internas generadas en la extrusión y refrigeración de los elementos según la ASTM C177-10 obteniéndose resultados  $K = 0,24$  W/mK, valor que se encuentra por debajo de los materiales tradicionales como ladrillo de arcilla, cemento endurecido y concreto. Salazar y Arroyave, (2014)

Adicionalmente se estudiaron las propiedades de aislamiento acústico de manera empírica mediante un sonómetro, fuera de la norma ASTM 423 90a, pero presentando valores aceptables, por lo que es un punto de partida para creer que el material podría ser considerado para un estudio con la norma mencionada y determinar la posibilidad para usos en aislamientos acústicos. Salazar y Arroyave, (2014)

También se realizaron pruebas para conocer porcentajes de absorción de los materiales fabricados mediante la norma NTC 4017 que rige para ladrillos de mampostería, entonces se ensayaron 3 muestras de plástico reciclado con dimensiones de 288x183x50mm y peso de 250 g dando como resultados promedios porcentaje de absorción de 3,80 %, cumpliendo la norma ya que ésta establece como máximo 13 % el porcentaje de absorción; lo cual quiere decir que el modulo habitacional o vivienda construida proporciona una buena protección contra la intemperie. Salazar y Arroyave, (2014)

El material plástico reciclado puede ser considerado como un sustituto parcial o total del concreto reforzado o de elementos metálicos o de madera en diferentes estructuras, el uso de estos materiales plásticos reciclados tienen algunas mayores ventajas que los materiales convencionales, entre ellas la resistencia a agentes químicos o corrosión, aunque una de sus desventajas es el coeficiente de expansión que es 5 veces mayor, éste coeficiente se verificó mediante ensayos en laboratorio estableciendo una expansión térmica del material compuesto termoplástico en valores de  $5,076 \times 10^{-5}$  pulg./pulg.\*°C-1;

Mientras que para propiedades como la conductividad térmica y calor específico de los elementos fabricados con material plástico reciclado son muy similares a las propiedades de la madera. Chandra & Brinckerhoff, (2012)

Según Ferreira (2011) las diferentes propiedades del concreto fresco y endurecido dependen en gran medida de las condiciones de curado, la relación agua cemento y las características de los agregados, por lo que estudió la influencia de las condiciones de curado en

las propiedades mecánicas de concretos con contenido de agregados de plástico reciclado en tasas de sustitución de 0%, 7,50% y 15%.

**2.2.15.1 Tipos de reciclaje.** Las posibles vías de reutilización de los plásticos son de diferente naturaleza, abarcando desde su reciclado directo, incineración con o sin recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles y de mayor valor agregado mediante el reciclaje químico. La selección del procedimiento para el reciclado depende de su composición, legislación medioambiental, precio de las materias vírgenes y estrategias de reciclaje. (Ramírez D. 2011) dentro los diferentes tipos de reciclaje se destacan los siguientes.

**2.2.15.1.1 Reciclado Químico.** Se define como la ruptura de los residuos plásticos en fracciones utilizables para su posterior transformación en monómeros u otros productos químicos.

**2.2.15.1.2 Reciclado Mecánico.** Este proceso es menos costoso que el reciclado químico, está dirigido a la recolección y separación de envases, trituración, lavado y extrusión del material polimérico. Con este proceso se obtienen hojuelas que mediante la acción del calor se utiliza para obtener nuevas piezas. Así mismo, estas hojuelas se emplean como agregado fino en concretos para disminuir costos en obra.

**2.2.15.1.3 Recuperación Energética.** Aquellos productos y materiales que no pueden ser reciclados de una forma económica y medio ambientalmente viable son generalmente incinerados bajo condiciones controladas para la obtención de energía. (Ramírez D. 2011)

**2.2.15.2 Proceso de reciclado mecánico de plástico PEAD.** Echevarría, 2017 citando a Argueta (2006), nos dice que el proceso de reciclaje mecánico es fundamentalmente el mismo para los distintos plásticos y definió el proceso en los siguientes pasos:

**2.2.15.2.1 Acopio.** Las botellas de PEAD para reciclado proviene de programas de recolección y de acopiadores ambulantes, éstos contribuyen, a limpiar las calles y a reducir las cantidades de residuos que llegan al relleno sanitario. Idealmente, la separación de desechos se debe hacer por los consumidores, antes del recojo de desechos y una vez separados llevarlos a centros de acopio, a falta de una recolección diferenciada, el papel de los recolectores es fundamental.

**2.2.15.2.2 Compactado.** El material se compacta para reducir su volumen y así facilitar su transporte y almacenamiento. Generalmente las dimensiones de estos bloques o pacas de PEAD es de 153 x 130 x 85 cm., donde cada una podría alcanzar un peso de 200 a 600 kg, según el grado de compactación o la eficiencia del prensado. Cuando se realiza el compactado, las pacas deben ser posteriormente abiertas y picadas tal como llegan a la planta, es decir con tapas y etiquetas. Sin embargo, cuando a la planta llegan botellas sueltas, el volumen es mayor, pero la posibilidad de realizar el desetiquetado y destapado permiten obtener un producto más fácil de tratar.

**2.2.15.2.3 Molido.** Se realiza el molido (o picado) para facilitar la separación de los diferentes tipos de polímeros del material (si es que éste ha sido compactado) y la limpieza del material picado. En la reducción de tamaño del PEAD puede llegarse a obtener hojuelas de

media, un cuarto de pulgada o finalmente polvo, según el diseño y el tipo de molino del que se disponga.

*2.2.15.2.4 Separación.* La separación libera al PEAD de diferentes tipos de materiales, como otros tipos de polímeros, metales, vidrio o papel. Si existiesen familias de polímeros inmiscibles juntas, las unas crearán fases dentro de las otras y durante el procesado puede existir degradación o quemado, éstos perjudicarían el proceso de reciclaje; y si existiesen partículas metálicas afectarían la calidad del producto. La macro separación se hace destapando y desetiquetando la materia prima completa (botellas desechadas) manualmente. La micro separación se hace por una propiedad física específica como el tamaño, peso o densidad. La separación molecular, involucra procesar el plástico por disolución y luego separar los plásticos basados en temperatura. Otra alternativa es tener sistemas de flotación o burbujeo, en las tinas de flotación vibratorias con bandas transportadoras el PEAD con una densidad mayor cae al fondo y es recogido por un tornillo sinfín que lo transporta a la siguiente etapa.

*2.2.15.2.5 Limpieza.* Las hojuelas o flakes de PEAD están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento. De ahí que tienen que ser limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes. El uso de hidrociclones cuando el desecho plástico está muy contaminado es una alternativa, el plástico contaminado es removido al ser ligero ya que flota en la superficie donde es expulsado. Los contaminantes caen al fondo y se descargan. Después del proceso de limpieza, se obtiene hojuelas limpias.



*2.2.15.2.6 Secado.* Este proceso elimina el remanente de humedad del material. Pueden usarse secadores centrifugados o secadores de aire, ya sea caliente o frío, que circula entre el material molido, eliminando la humedad. El granulado limpio y seco puede ser usado en diferentes industrias.

**2.2.16 PEAD como material de construcción.** Los elementos de construcción para mampuestos ya vienen dado por la tecnología tradicional; por lo general se emplean en construcción de paredes, paredes divisorias no portantes, paredes portantes; existiendo ladrillos que se los han clasificado de acuerdo a su uso según la Norma técnica colombiana

El presente estudio pretende incluir para su elaboración, un nuevo tipo de ladrillo usando al 100% plástico de reciclaje (Polietileno de alta densidad) fundido en horno, siendo usado este como materia prima única, para la elaboración del ladrillo de ensamblaje para muros confinados.

Es de aclarar que no existe normativa nacional para la elaboración de ladrillos utilizando materiales especiales destinados a obtener una densidad reducida y sustituir a los materiales tradicionales. Pero actualmente ante la necesidad de un desarrollo sostenible se están realizando diversos estudios para obtener nuevas tecnologías y desarrollar elementos de mampostería con materia prima reciclada y así reducir el impacto ambiental.

### **2.2.17 Ventajas y desventajas del ladrillo realizado a base de PEAD.**

#### **2.2.17.1 Ventajas:**

- La geometría de éste permite un mayor ensamble para conseguir una albañilería de comportamiento monolítico.
- El uso del material PEAD reciclado en una construcción, evita que su disposición final sea rellenos sanitarios, ésta es una contribución con el cuidado del medio ambiente.
- Su proceso de fabricación no consume tierra fértil, que si usa el ladrillo de arcilla en su elaboración; no demanda un horno de quemado, ni emite humo, que si produce la quema de ladrillo de arcilla, es decir su impacto ambiental negativo es mínimo.
- Su elaboración usa una mesa vibradora y un molde fácilmente portables a zonas rurales.

#### ***2.2.17.2 Desventajas:***

- Por su gran resistencia no se puede cortar con facilidad.
- Se dificulta la adquisición de hojuelas de PEAD, pues no se cuenta con una planta local de reciclado-limpieza de residuos.
- Se debe tener especial cuidado el comportamiento del PEAD ante un incendio (Echevarría, 2017)

### 2.3 Marco teórico.

Con el fin de definir las teorías acerca del presente trabajo, se encontraron diferentes investigaciones relacionadas que se detallan a continuación:

En la investigación titulada “ Influencia de las unidades de albañilería tipo PEAD en las características técnicas y económicas para la construcción de viviendas sustentables en la zona de expansión de Chimbote – 2018” con objetivo general “Evaluar la influencia de las unidades de albañilería tipo PEAD en las características técnicas y económicas para la construcción de viviendas sustentables en la zona de expansión de Chimbote” y cuyos objetivos específicos fueron : determinar la densidad de las unidades de albañilería tipo PEAD, discriminar el RCD óptimo en tamaño máximo nominal, determinar la resistencia a la tracción indirecta de las unidades de albañilería tipo PEAD, determinar el comportamiento de prismas de albañilería tipo PEAD, mediante ensayos de resistencia a la compresión y por ultimo realizar la comparación de costos de la construcción de muros con las unidades de albañilería tradicional con el costo de la construcción con unidades de albañilería tipo PEAD. Los resultados obtenidos indican que la resistencia a la tracción directa de las unidades de albañilería tipo PEAD con relleno RCD es de  $229,13 \text{ kg/cm}^2$ , las unidades evaluadas como prismas indicaron que con el 10% de adhesivo (cola sintética) se obtiene una resistencia de  $49 \text{ kg/cm}^2$ , y que evaluando el costo por metro cuadrado de albañilería tipo PEAD resulta en un ahorro del 19,56% con respecto a un metro cuadrado de albañilería tradicional. (Rodríguez, V., 2018)

Del mismo modo en otra investigación titulada “Análisis de la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado como material de construcción” tiene como objetivo general “analizar la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado tipo lego o sistema brickarp en la construcción de viviendas unifamiliares en Colombia, basándose en consultas bibliográficas confiables y comparaciones con sistemas constructivos convencionales” y con los objetivos específicos “identificar el tipo de plástico que puede ser reutilizado, reconociendo los códigos de resinas internacionales marcado en la mayoría de los productos plásticos que ayudan en la recuperación de dicho material, y con ello, se logra la revisión teórica entorno a las características del polímero como son propiedades físicas, mecánicas y químicas por medio de consultas con fuentes confiables y documentos científicos que respalden y lo confirmen”. “estudiar los aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos que se relacionan con la construcción de viviendas unifamiliares a partir de la utilización de plástico reciclado para la fabricación de ladrillos estilo brickarp o tipo lego. Se presenta la información obtenida directamente de la empresa Conceptos Plásticos; así como el resumen de varios estudios realizados en los últimos años, que tienen relación con el presente”. “analizar los aspectos con los estudios técnicos ambientales y socioeconómicos, para definir los beneficios que trae la implementación del método del ladrillo brickarp o tipo lego”. “identificar los beneficios del uso del plástico reciclado para la fabricación de ladrillo brickarp o tipo lego como material constructivo en Colombia”. “desarrollar un análisis crítico y argumentativo de la información compilada para establecer la importancia de la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado tipo lego o sistema brickarp en la construcción de viviendas unifamiliares en Colombia, en comparaciones con sistemas constructivos convencionales”. Los resultados indican que los plásticos que pueden ser utilizados para la fabricación de materiales de

construcción, pertenecen al grupo de los termoplásticos, donde resalta el Tereftalato de Polietileno, el cual forma parte de un conjunto de materiales confeccionados y evaluados bajo parámetros técnicos, resistentes a la humedad, corrosión, putrefacción, excelente aislante térmico, acústico y eléctrico e ignífugo, de bajo peso y que no requiere mano de obra especializada para su ensamble, factibles de sustituir gran parte de los agregados pétreos en las construcciones. Visto de esta manera, el Sistema Brickarp coadyuva en la solución del déficit habitacional en Colombia, debido a sus características intrínsecas y su excelente relación costo-beneficio, contribuye a disminuir la contaminación y deterioro de los recursos naturales, debido a la extracción y desecho de materiales en la construcción tradicional, y al reciclado de un elemento contaminante, con una creciente acumulación y prolongada fase de degradación, como lo es el plástico. (Castillo, D., 2018)

Por otro lado, en las investigaciones en la ciudad de Ocaña se encontró el trabajo investigativo titulado “Fabricación de un prototipo de bloque de concreto permeable remplazando entre el 10% 15% y 20% el agregado fino, por Pet triturado, utilizando agregados de las canteras autorizadas en el municipio de Ocaña”. Con objetivo general “Desarrollar un prototipo de bloque de concreto permeable, remplazando parcialmente el agregado fino en variaciones entre 10%, 15% y 20% por PET triturado, siguiendo los criterios de la NTC 4076” y objetivos específicos “Caracterizar las propiedades físicas de los agregados convencionales y los agregados procedentes del tereftalato de polietileno como granulometría, gravedad específica y densidad”. “Elaborar un diseño de mezclas óptimo para la producción de bloque prefabricado de concreto permeable con un remplazo del agregado fino por PET, basados en la especificación para un bloque de mampostería no estructural, según la NTC 4076”.” Determinar las propiedades

mecánicas de los bloques con reemplazo parcial de PET (resistencia a la compresión, humedad, densidad y absorción), comparados con un bloque convencional, de acuerdo a los lineamientos contemplados en la NTC 4076”.” Analizar los costos de la producción de los bloques con y sin reemplazo parcial de PET triturado”. En el cual con los resultados obtenidos se logró comprobar que dentro de las variaciones de porcentajes, el prototipo que cumplió con los requisitos mínimos de resistencia y absorción fue el que contenía 10% de reemplazo del agregado fino por Pet. en la investigación se logró comprobar que se puede disminuir el impacto ecológico del uso del plástico, al ser usado como materia prima en el sector de la construcción. (Sánchez G. & Quintero N., 2020)

## **2.4 Marco legal.**

Las siguientes normativas hacen parte del marco de leyes que rigen toda lo normativa en cuanto a las propiedades físico mecánicas de muros de mampostería, además de la normatividad que implica el impacto y la sostenibilidad ambiental.

### **2.4.1 Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 - Reglamento NSR-10 (Titulo D Mampostería estructural)**

### **2.4.2 Ley 99 de 1993. Ley del medio ambiente**

**2.4.3 Decreto 2269 de 1993. Por el cual se establece el instituto colombiano de normas técnicas y certificación, ICONTEC. De las cuales se solicitaran las siguientes normas:**

**NTC 673:** ensayo de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39).

**NTC 3495:** Resistencia a la compresión de prismas de mampostería. (ASTM E447)

**NTC 4017:** Método de ensayo para unidades de mampostería. (ASTM C67)

**NTC 4076:** Unidades de concreto bloques y ladrillos para mampostería no estructural.  
(ASTM C129)

**ASTM E 519 – 078:** standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. (Resistencia al corte, tracción diagonal)

**2.4.4 Ley 1259 del 19 de diciembre de 2008.** Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones

### Capítulo 3: Diseño metodológico

Para cumplir cada uno de los objetivos del presente trabajo de grado, será necesario utilizar una metodología basada en la siguiente estructura:

En primer lugar será indispensable establecer la zona para la extracción de la materia prima en el municipio de Ocaña, teniendo en cuenta el alto porcentaje de residuos generados de PEAD en la ciudad.

Una vez conocido el material disponible para la construcción de ladrillos, se continuará con el diseño del modelo de ensamblaje por medio del software SolidWorks, con el cual la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, cuenta con 30 licencias, el software se usara con el ánimo de definir el modelo y sus dimensiones en aras de lograr un buen acople en ensamblaje del muro con ladrillo de PEAD.

Cuando se establezca el prototipo de diseño y ensamblaje del ladrillo de plástico “PEAD”, se realizará el molde con las dimensiones y geometría específicas definidas previamente en el software SolidWorks, definido el molde se podrá estimar la cantidad necesaria de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD” para la fabricación por unidad de ladrillo, así como el método o proceso para la fabricación del mismo.

Luego de establecer el molde para ensamblaje y haber realizado varios prototipos se procederá a determinar las propiedades físico-mecánicas del ladrillo de plástico “PEAD” así como los ensayos en muros de tracción diagonal, resistencia al corte y resistencia a la



compresión por medio de ensayos, en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, en base a las normas técnicas colombianas para comparar sus propiedades con los materiales comúnmente utilizados.

Después de obtener las propiedades por medio de los laboratorios y con ayuda del modelo ya creado en SolidWorks, se realizará una simulación por medio del Software Ansys, para contrastar los valores de las propiedades obtenidas en laboratorio, contra los valores generados por elementos finitos.

Para culminar el proyecto se pretende estimar la viabilidad de la fabricación y producción del ladrillo de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD”, en términos económicos en comparación con los ladrillos existentes en el mercado de la región, para esto se evaluará el costo por metro cuadrado de muro de PEAD, de muros de bloque de cemento y de arcilla y de ladrillo macizo.

### **3.1 Tipo de investigación**

El presente proyecto se realizará por medio de una investigación de tipo Cuantitativa Experimental, debido a que se realizará una calificación de los materiales disponibles en la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, para la fabricación de ladrillos en el cual se analizará las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de plástico de tereftalato de polietileno “PEAD” a través de ensayos realizados en el laboratorio de resistencia de materiales

para la construcción de muros de confinamiento como alternativa sostenible para la disposición de residuos sólidos de la Universidad.

### **3.2. Población y muestra**

La población de estudio será todo aquel plástico de polietileno de alta densidad “PEAD”. Por otro lado la muestra será el PEAD usado para crear los bloques de ensamblaje, de acuerdo a los estimativos preliminares, se verificó que para un bloque de las dimensiones propuestas se define una cantidad de entre 3.5 a 4.0 kilogramos, por unidad.

### **3.3. Recolección de la información.**

Se usará técnicas de recolección de información mediante uso de fuentes primarias, en donde por medio de visitas técnicas se estimará la cantidad de plástico de tereftalato de polietileno “PEAD” que es recolectado en algunas zonas de Ocaña, Norte de Santander,

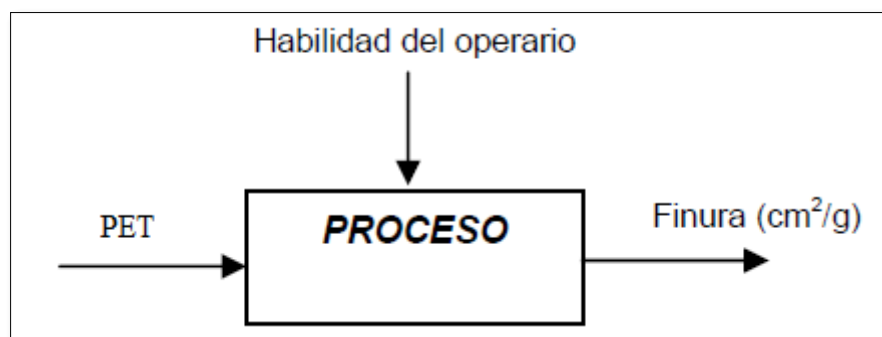
Para desarrollar el estado del arte de la implementación de “PEAD” en la fabricación de ladrillos de plástico y ensamblaje de muros de confinamiento, se fundamentará principalmente en búsquedas virtuales a través de internet.

Para definir la cantidad de ensayos a realizar, se hará una estimación de acuerdo a los estudios realizados en el artículo “Diseño e implementación de una metodología estadística para ensayos de producto terminado en cementos el Cairo S.A.” en donde se indica que se puede

estimar para cualquier tipo de material la cantidad de ensayos a realizar; utilizando la siguiente metodología:

**3.3.1 Determinación del modelo estadístico.** Con el fin de identificar el modelo que se ajusta mejor a las necesidades experimentales, en este caso la variación en las mediciones debida a la repetitividad y reproducibilidad de la medida.

El modelo unifactorial de efectos aleatorios desarrollado para las pruebas de producto terminado en el laboratorio considera el factor controlable habilidad del operario y la variable respuesta finura de cemento. Ver la *Figura 3*.



*Figura 3.* Modelo Unifactorial. Fuente: (Autores, 2019)

Este modelo también puede ser representado mediante la siguiente expresión:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}, \text{ con } i=1,2,\dots,a \text{ y } j=1,2,\dots,n$$

Donde:

$Y_{ij}$  : Representa la j-ésima réplica correspondiente al i-ésimo nivel de la variable controlable habilidad del operario.

$\mu$  : Es la finura media general de la población.

$\tau_i$  : Es el efecto del i-ésimo nivel del factor controlable habilidad del operario sobre la variable respuesta finura de cemento.

$\varepsilon_{ij}$  : Es el error experimental en los datos.

### **3.3.2 Determinación del tamaño de la muestra.**

La selección del tamaño de la muestra es una decisión importante en el diseño experimental, y consiste en la determinación del número de réplicas que deben hacerse en el estudio. Con la ayuda de las siguientes actividades se determina el tamaño muestral:

**Actividad 1: Determinar la probabilidad de error tipo I y tipo II.** El investigador definió una confiabilidad del 95% para el estudio, es decir,  $\alpha = 0.05$  y una potencia del 90%, es decir,  $\beta = 0.1$ .

**Actividad 2: Determinar la componente de varianza ( $\sigma_i^2$ )** La variabilidad que es importante detectar entre tratamientos se considera igual a la variabilidad dentro de cada tratamiento para efectos de este estudio, por tanto, la desviación estándar que se especifica en la actividad 3 permite estimar la componente de varianza  $\sigma_i^2$ .

**Actividad 3: Determinar desviación estándar de los tratamientos ( $\sigma$ )** Este dato se obtiene a partir del error admitido para la prueba, según la experiencia de los operarios.

**Actividad 4: Suponer un tamaño muestral inicial ( $n$ )** El investigador considera que un tamaño muestral inicial puede ser  $n = 6$ .

**Actividad 5: Determinar los grados de libertad del numerador ( $a - 1$ ) y denominador ( $a(n - 1)$ )** Los grados de libertad del numerador son:  $a - 1 = 6 - 1 = 5$

Los grados de libertad del denominador son:  $a(n - 1) = 6(6 - 1) = 30$

**Actividad 6: Determinar el parámetro  $\lambda$ .** La expresión utilizada para hallar el parámetro  $\lambda$  es la siguiente:

$$\lambda = \sqrt{1 + \frac{n\sigma^2\tau}{\sigma^2}} = \sqrt{1 + \frac{(6)(625)}{625}} = 2.65$$

**Actividad 7: Utilizar la curva característica de operación** Después de buscar la curva característica [Montgomery, 1991] e identificar  $\beta$  con los datos recopilados, se obtiene que el  $\beta$  de la tabla es 0.20, esto quiere decir que para obtener una potencia del 90%, 6 réplicas son insuficientes por cada operario, y es necesario aumentar el tamaño muestral inicialmente propuesto para alcanzar la potencia deseada. Ver Tabla 3.

Tabla 3

*Cálculo del tamaño muestral según la potencia requerida*

<b>no</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>a(n - 1)</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>(1 - \beta)</math></b>
6	2.65	30	0.20	0.80
7	2.83	36	0.16	0.84
8	3	42	0.08	0.92

Fuente: Autores, (2020)

Se definió una confiabilidad del 95% para el estudio, es decir,  $\alpha = 0.05$  y una potencia del 90%, es decir,  $\beta = 0$ , el número mínimo de réplicas requerido para garantizar las condiciones del estudio es 8, por lo tanto se espera generar datos de alta confiabilidad para poder establecer el buen uso, diseño y construcción de los ladrillos de PEAD (Correa & Burgos, 2006), estos ensayos con ánimo de estimar las propiedades de los ladrillos diseñados.

Por otro lado también se realizará recolección de datos para estimar la factibilidad de la fabricación de los ladrillos de tereftalato de polietileno “PEAD”.

### **3.4 Análisis y procedimientos de datos**

Para el correcto desarrollo del presente proyecto en primera medida se realizará análisis y procesamientos de datos al estimar la cantidad de polietileno de alta densidad “PEAD” recolectada y clasificada por las diferentes zonas de acopio de residuos sólidos de la ciudad de ocaña, una vez determinada la disponibilidad del material a usar para la fabricación del ladrillo, será necesario cuantificar la cantidad de material a usar para la fabricación por unidad de ladrillo de plástico, una vez definido el prototipo se realizará la recolección de datos de los diferentes

ensayos aplicados a los ladrillos de “PEAD” y a los muros ensamblados con estos ladrillos, para analizar las diferentes propiedades físicas y mecánicas.

Por último se recolectará toda la información en términos económicos, necesaria en la producción y fabricación de ladrillos de arcilla comúnmente utilizados en la región y los costos de producción y fabricación de los ladrillos de plástico con ánimo de analizar la factibilidad económica de la producción de ladrillos de polietileno de alta “PEAD” como alternativa sostenible para la creación de muros de confinamiento.

## Capítulo 4: Desarrollo del proyecto

Para desarrollar el estudio y diseño de muros de mampostería ensamblados reutilizando el plástico polietileno de alta densidad “PEAD” como alternativa sostenible en la construcción de muros de confinamiento, se procedió de acuerdo a los siguientes objetivos.

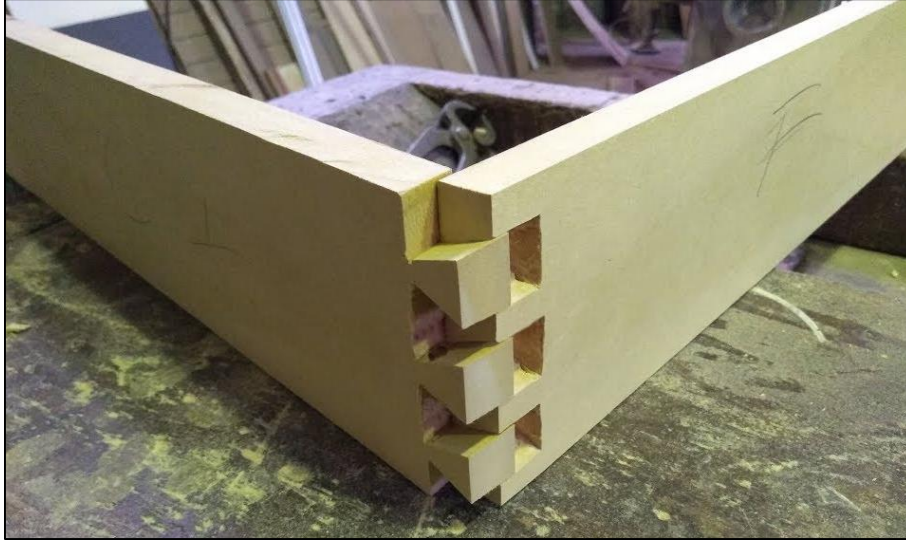
### **4.1 Realizar el modelo de ensamblaje del ladrillo de PEAD mediante el software SolidWorks para definir sus dimensiones.**

Para establecer, el tipo de unidad de mampostería con sus respectivas medidas, se procedió a realizar un estado del arte de diferentes elementos mampuestos, sin embargo, fue necesario considerar que se proyectaba una unidad que no necesitaría mortero de pega, por lo tanto en la exploración se hizo hincapié en ranuras y espigas para un adecuado ensamblaje de las unidades y así conformar muros de mampostería, que sean capaces de distribuir uniformemente los esfuerzos y tengan buen desempeño.

En ese orden de ideas, al investigar sobre los diferentes tipos de ensambles, se consideró la junta de cola de milano. (Ver *Figura 4*) debido a su resistencia a la tracción, la junta de cola de milano se utiliza comúnmente para unir piezas a los lados, es decir en extremos laterales.

Los pasadores y las colas tienen una forma trapezoidal. Una vez pegado, una unión de cola de milano no requiere sujetadores mecánicos.





*Figura 4.* Ensamble tipo cola de milano. Hagamos viruta. (2020) Cola de Milano Lección N° 21 (Fácil y rápido) [Video] obtenido de <https://co.pinterest.com/pin/740982944922285270/>

Por otro lado, en virtud de que la pieza que se quería proponer, se pensaba patentar, se definió que en la parte superior e inferior, se seleccionaría el encaje de tipo horquilla (Ver *Figura 5*) y a los lados, el encaje de tipo cola de Milano, esto debido a que la cola de milano es difícil de separar, además el encaje de horquilla se seleccionó porque se deseaba que uno de los encajes tuviera fácil extracción, para que no quedaran del todo asegurados. De acuerdo a las diferentes búsquedas, no se encontró ladrillos o piezas de mampostería con ese tipo de encajes y a partir de los dos tipos de encaje, se procedió a establecer las medidas para desarrollar mediante el software SolidWorks la pieza con la cual se pensaba construir el molde y luego realizar la modelación por medio de elementos finitos para establecer sus propiedades y confrontarlas con los ensayos desarrollados en laboratorio.



Figura 5. Ensamble tipo horquilla. López, R. (2020). Ensamble de horquilla. [Video] obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=nA3BEdWybdA>

Dentro de los análisis de las posibles piezas a fabricar se definió realizar la creación de un molde, con las siguientes características:

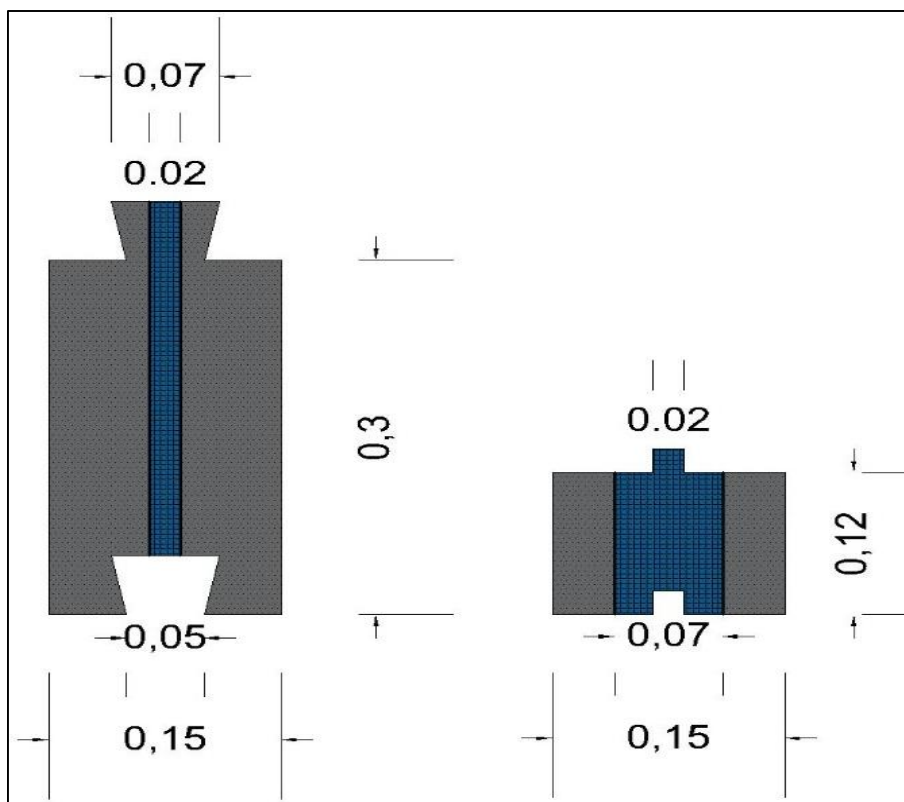


Figura 6. Dibujo en planta y lateral de prototipo de bloque. Autores, (2020)

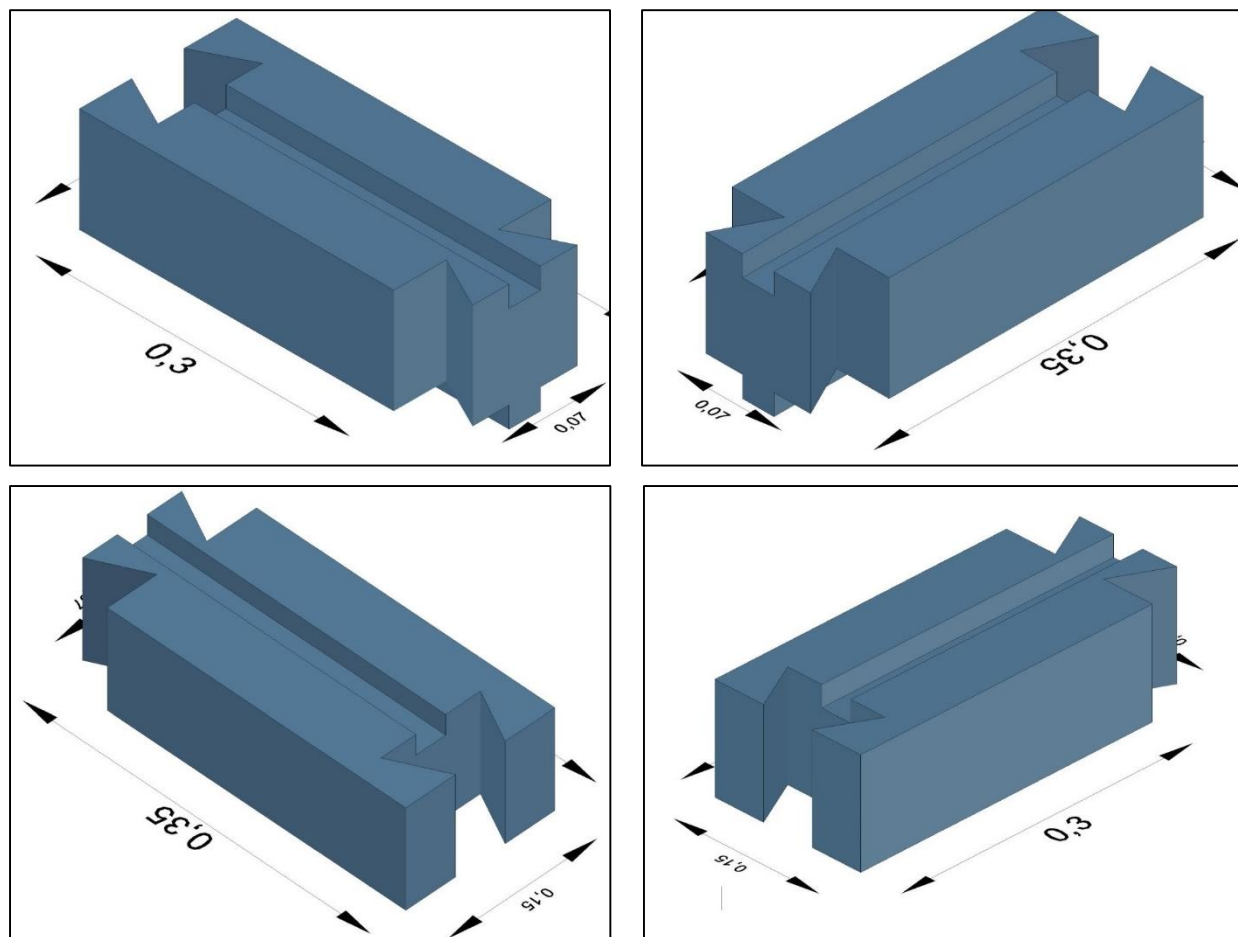
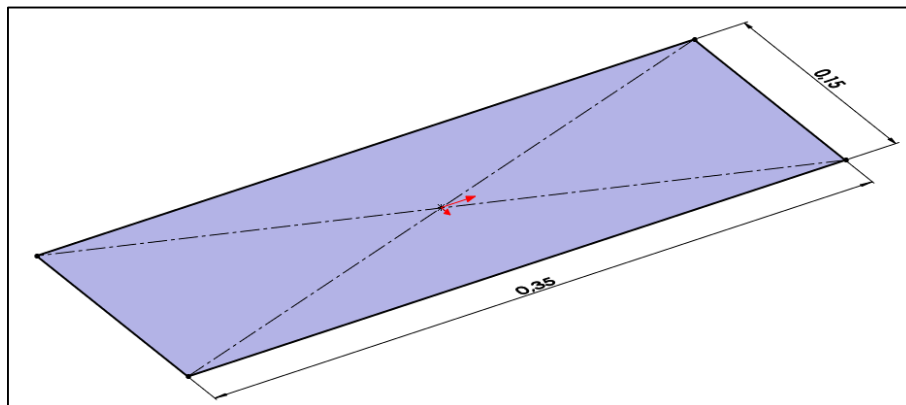


Figura 7. Dibujo en diferentes perspectivas del prototipo de bloque. Autores, (2020)

Se realizó el modelo en SolidWorks, para posteriormente exportar el archivo hacia el software Ansys, en donde se evaluó las propiedades y se compararon con las obtenidas en el laboratorio.

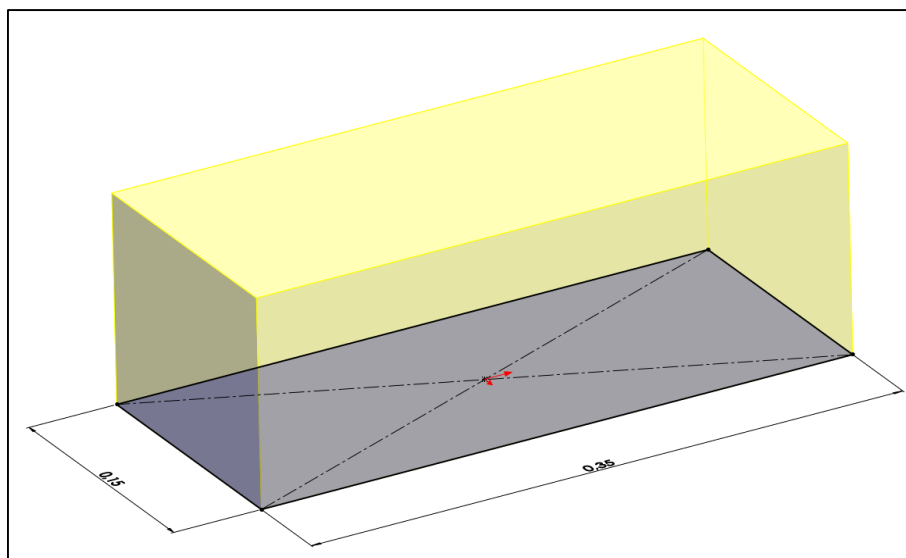
Para el desarrollo del prototipo en el software SolidWorks, se modeló de la siguiente manera:

En primera medida se creó una plantilla, con las medidas generales de largo y ancho del sólido en su totalidad, como se puede apreciar en la *Figura 8*.



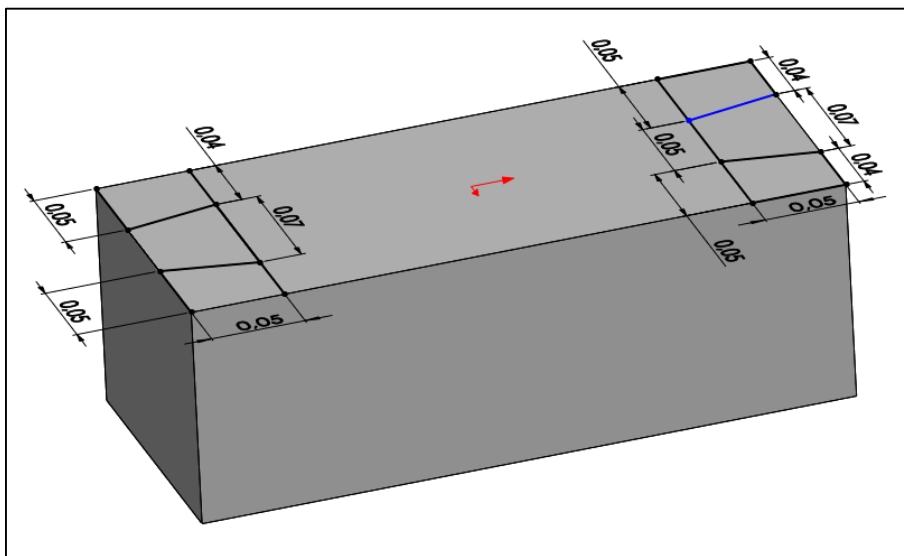
*Figura 8.* Esquema de medidas generales del prototipo. Autores, (2020).

Luego, por medio del comando extrudir saliente, se creó un sólido con las medidas correspondientes a la altura, como se muestra en la *Figura 9*.



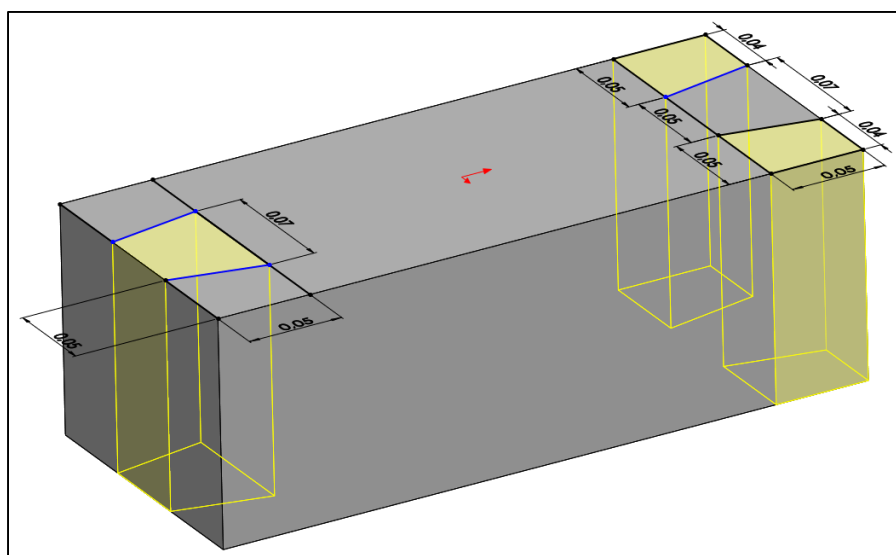
*Figura 9.* Sólido básico del prototipo. Autores, (2020).

Después, se procedió a realizar un croquis en la parte superior del sólido con las medidas respectivas, que corresponden al ensamble de tipo cola de milano, como se ve en la *Figura 10*.



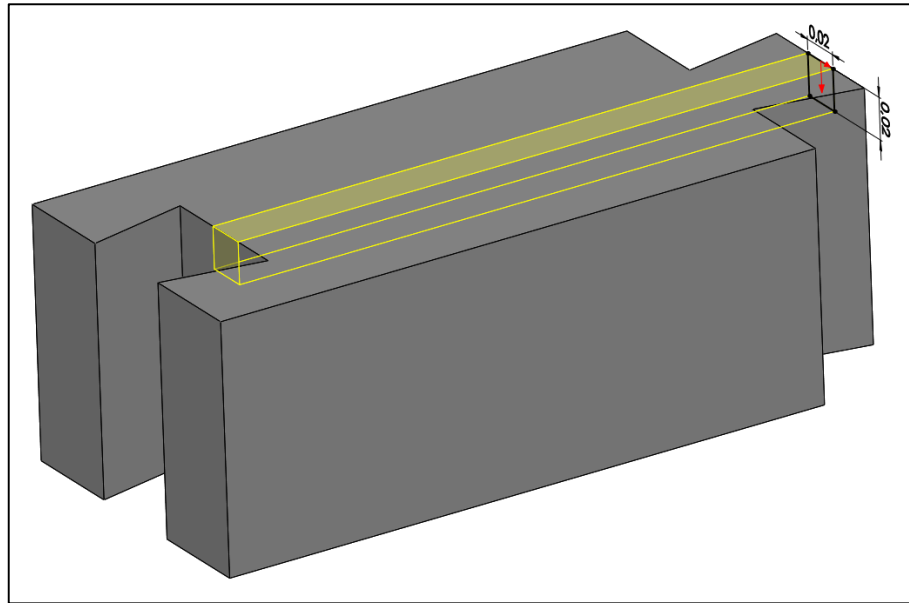
*Figura 10.* Esquema del ensamble tipo cola de milano del prototipo. Autores, (2020).

Luego con la operación extruir corte, se eliminó material del sólido, representado en las (zonas amarillas) para dar forma al prototipo, como se presenta en la *Figura 11*.



*Figura 11.* Corte del ensamble de tipo cola de milano en el prototipo. Autores, (2020).

Después se creó el croquis en la superficie lateral derecha y se le realizó su acotado, luego se procedió a realizar con la función corte hasta la superficie lateral izquierda, para conformar el ensamble de tipo horquilla (caja), en la parte superior del modelo, como se muestra en la *Figura 12*.



*Figura 12.* Esquema del ensamble tipo horquilla (caja) del prototipo. Autores, (2020).

Por último se agrega material al sólido con la operación extruir, el ensamble tipo horquilla (espiga), como se muestra en la *Figura 13*, para culminar el desarrollo del prototipo en el software SolidWorks y que luego será exportado al software Ansys, para evaluar sus propiedades por medio de la simulación y contrarrestarlas con los ensayos realizados en laboratorio.

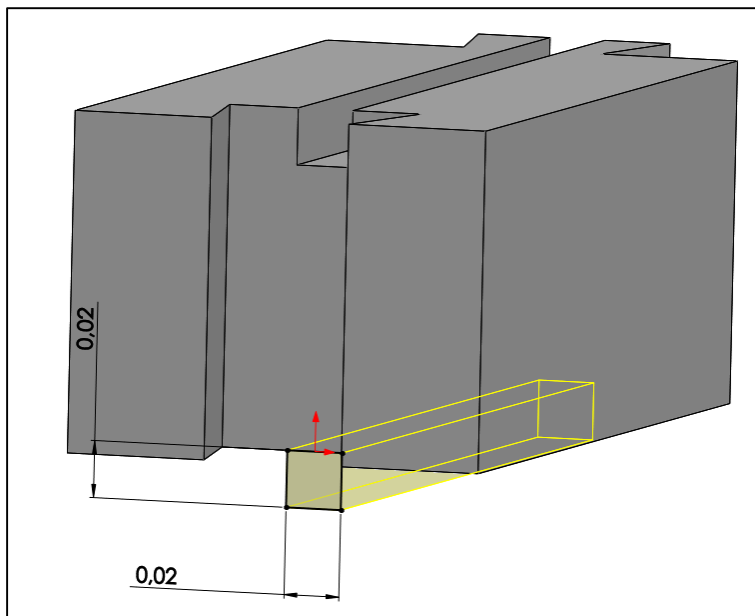


Figura 13. Esquema del ensamble tipo horquilla (espiga) del prototipo. Autores, (2020).

Al final del desarrollo del diseño del prototipo por medio del software, se procedió a desarrollar el molde para empezar la producción de los bloques, para construir los muros en los que se evaluó la resistencia a tracción. El prototipo final desarrollado, se puede ver gráficamente en la *Figura 14*.

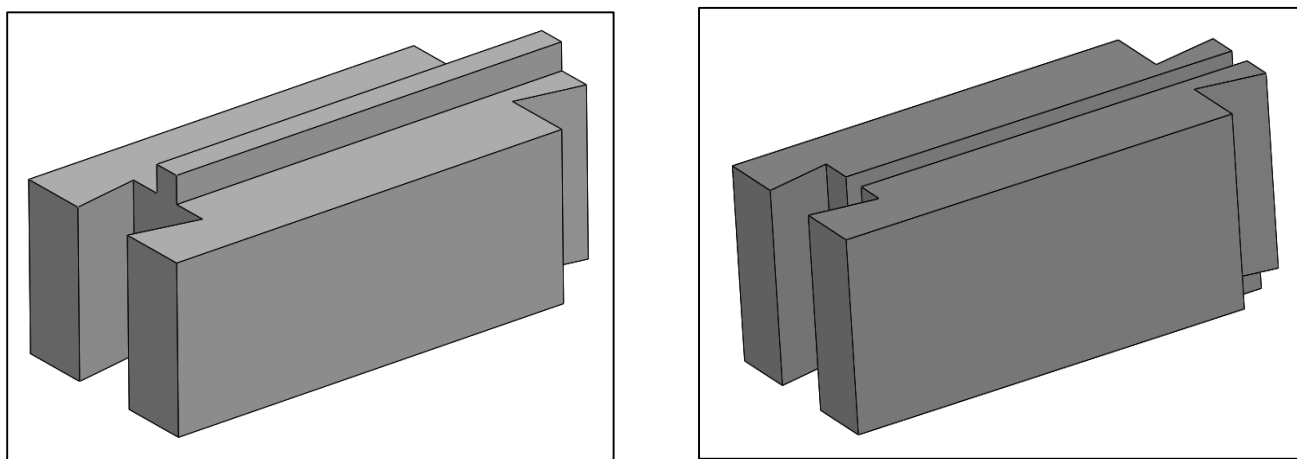


Figura 14. Esquema del prototipo de bloque propuesto. Autores, (2020).

Luego de desarrollado el diseño de prototipo, se procedió a la fabricación del molde del bloque, para iniciar su fabricación en cantidad.

En primera medida, para el desarrollo del molde se buscó a un experto en metalúrgica, con ayuda del experto e investigando, se determinó que se construiría el modelo con lámina de acero de  $\frac{1}{4}$ " , por otro lado, con ayuda de los planos realizados, se procedió a cortar la lámina con las medidas exactas, como se muestra en la *Figura 15*.



*Figura 15.* Corte de láminas de acero para prototipo. Autores, (2020).

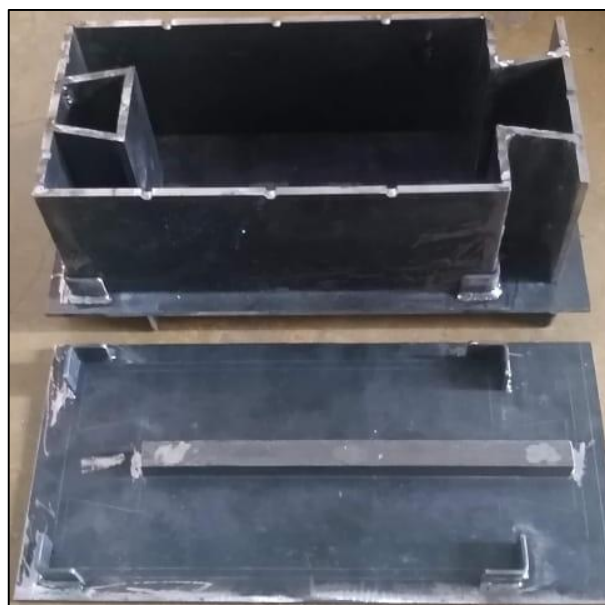
Al tener todas las partes necesarias, se comenzó el proceso de armado de dicho molde por medio de puntos de soldadura solo para las caras frontales, para la parte inferior se hace una ranura en una de las láminas y se agrega una especie de canal en ella, se une esta lamina con la parte armada anteriormente, como se muestra en la *Figura 16*.





*Figura 16.* Piezas de acero que conforman el prototipo. Autores, (2020).

Luego, se continuó con el desarrollo de la tapa, que se realizó colocando una barra cuadrada de 1", a esta tapa se le agregan guías para que calce perfectamente. El modelo se soldó por dentro y por fuera para que fuera hermético y evitar las fugas, por último, se le agrego cuatro tornillos de 3/8", soldados a los lados con los que se pudo ajustar mejor. Como se presenta en la *Figura 17* y la *Figura 18*.



*Figura 17.* Molde de acero del prototipo (vista superior). Autores, (2020).



*Figura 18.* Molde de acero del prototipo (vista lateral). Autores, (2020).

Una vez desarrollado el molde en acero del prototipo de bloque diseñado, se procedió a su fabricación, con ánimo de desarrollar la cantidad suficiente para realizar los ensayos y el muro de dimensiones específicas para realizar las pruebas de tracción.

#### **4.1.1 Proceso De Fabricación De Ladrillos A Base De Material Reciclado PEAD. A**

continuación, se describe el proceso que se usó, para la fabricación de ladrillos de PEAD, se detalla la secuencia de dicho proceso desde el reciclado del material hasta la obtención del producto terminado:

**4.1.1.1 Reciclado.** En este primer paso se obtuvo el material reciclado de la Universidad Francisco de Paula Santander y de establecimientos del municipio de Ocaña. Esta etapa de recolección del PEAD como materia prima se muestra en la Figura 19, se presenta la obtención del material.



*Figura 19.* Obtención del material. Autores, (2020).

**4.1.1.2 Limpieza.** Una vez obtenido todo el plástico “PEAD” se procede a la selección y limpieza de este, ya que se necesita que esté libre de impurezas. Para esto se utilizó agua limpia sin ningún tipo de detergente o químicos para evitar adiciones de sustancias que impidan su adherencia. Después se deja secar a temperatura ambiente por 24 horas.

**4.1.1.3 Aglutinamiento.** Para este proceso se necesitó una maquina aglutinadora la cual tiene unas cuchillas fijas y móviles que rotan y ejercen una fricción que calienta el plástico y lo vuelve viscoso aumentando de esta manera la temperatura de todo el sistema. Para evitar que el plástico se pegue en las paredes de la máquina y reducir la temperatura se adiciona agua; al finalizar este proceso el plástico se convierte en pequeñas partículas. (Ver *Figura 20*)



Figura 20. Maquina Aglutinadora. Autores, (2020).

**4.1.1.4 Filtrado.** Esta etapa consiste en purificar la materia prima a través de una filtradora (Ver Figura 21) la cual transporta el material por medio de un tornillo sin fin calentado a  $180^{\circ}\text{C}$ , en este mismo proceso se agrega colorante para obtener un color homogéneo, al terminar se deja secar el material por media hora.



Figura 21. Filtradora de polietileno. Autores, (2020).



**4.1.1.5 Segundo aglutinamiento.** Al dejar secar el material se repite el proceso de aglutinamiento mencionado anteriormente para obtener pequeñas partículas libres de impurezas y con el color que se desea el ladrillo.



*Figura 22.* Segundo aglutinamiento del PEAD. Autores, (2020).

**4.1.1.6 Filtrado final.** Pasamos nuevamente las partículas ya aglutinadas por el proceso de filtrado mencionado en el ítem 4.1.1.4 y se vierte el material en el molde compactándolo con un pisón para asegurarnos de expulsar el aire contenido.



*Figura 23.* Filtrado final del material. Autores, (2020).

**4.1.1.7 Desencofrado.** Luego de dejar secar el material por un periodo de 1 hora procedemos a desencofrar y verterlo en agua para enfriarlo, obteniendo de esta manera nuestros ladrillos.



*Figura 24.* Fundición del material en molde. Autores, (2020).



*Figura 25.* Acoplamiento final del material. Autores, (2020).



*Figura 26.* Prototipo de bloque en la formaleta. Autores, (2020).



*Figura 27.* Prototipo de ladrillo de PEAD fundido y desencofrado terminado. Autores, (2020).



**4.2 Hallar la resistencia a la compresión y flexión de unidades de mampostería de ladrillo de PEAD, con el fin de comparar las propiedades con los materiales comúnmente utilizados. (Bloques de arcilla, bloques de cemento)**

**4.2.1 Resistencia a la compresión en las unidades de PEAD.** De acuerdo a lo establecido en la NTC 4017 y a la NTC 4024, para realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de mampostería, se empleó cinco (5) especímenes para determinar las propiedades de unidades de mampostería de PEAD. Los laboratorios fueron realizados en las instalaciones del laboratorio privado certificado “Suelos y concretos S.A.S” debido a que no pudieron ser ejecutados en el laboratorio de resistencia de materiales de la U.F.P.S.O. Los equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de laboratorio se mencionan a continuación:

**4.2.1.1 Equipo.**

Prensa doble rango pc-160. Pinzuar Ltda.

Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Láminas de acero de 320 x 160 x 25.4 mm

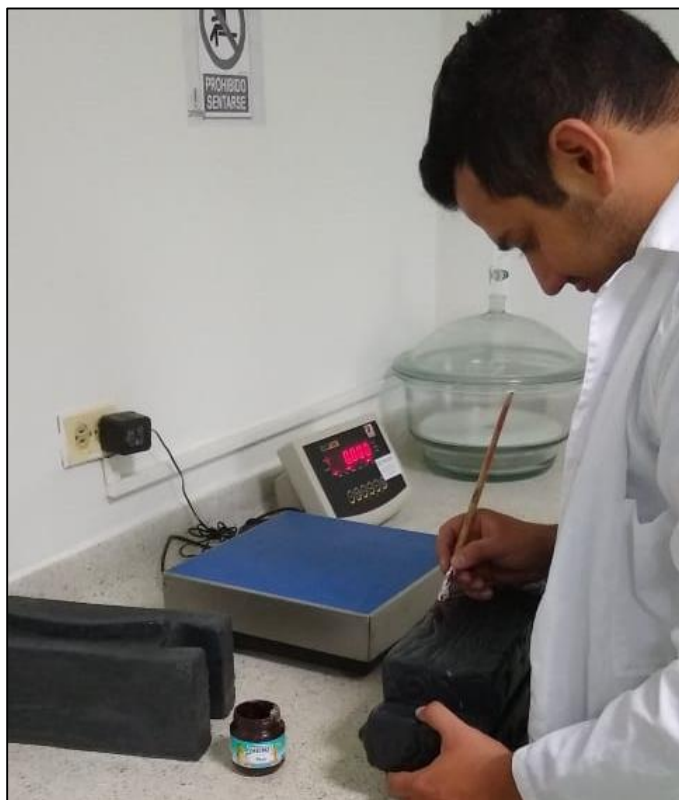
Deformímetro análogo Jeweled de sensibilidad 0.001 pulgadas

Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda.

Equipo para refrentado.

Para la realización del ensayo de resistencia a la compresión se utilizaron 5 ladrillos de plástico PEAD refrentados con yeso en las caras de contacto (superior e inferior)

**4.2.1.2 Procedimiento.** Se realizó el rotulado de cada uno de los ladrillos como se presenta en la *Figura 28*. Luego se procedió a tomar los pesos de las unidades como se aprecia en la *Figura 29*. Después se midió cada una de las muestras como mínimo tres veces, en cada uno de sus lados (altura, largo y ancho) en cada una de las unidades para establecer un promedio, como se muestra en la *Figura 30*.



*Figura 28.* Rotulación de ladrillos de PEAD. Autores del proyecto, 2020.



*Figura 29.* Primer pesaje de ladrillos. Autores del proyecto, 2020.



*Figura 30.* Medición de unidades (altura, largo, ancho)

En seguida de realizar las mediciones del ladrillo, se procedió al secado de los mismos utilizando un horno Mufla. (Ver *Figura 31*). El cual se programó para que alcanzara una temperatura entre  $110^{\circ}\text{C}$  y  $115^{\circ}\text{C}$  como se puede observar en la *Figura 32*. En donde el tiempo de secado fue de 24 horas.



*Figura 31.* Secado de unidades de mampostería de PEAD. Autores del proyecto, 2020.



*Figura 32.* Temperatura del horno mufla. Autores del proyecto, 2020.

Después del proceso de secado en el horno mufla se realizaron dos pesajes en intervalos de 2 horas cada uno, verificando que no se manifestará una pérdida de masa superior al 0.2% del ultimo peso determinado previamente, como se muestra en la *Figura 33*.



*Figura 33.* Pesaje del ladrillo luego del secado. Autores del proyecto, 2020.

Después de sacarlos del horno y pesarlos, se colocó los especímenes en un cuarto con temperatura controlada de  $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa entre 30% y 70%, sin apilarlos durante un periodo de 4 horas. (Ver *Figura 34*)



*Figura 34.* Enfriamiento de especímenes. Autores del proyecto, 2020.

Al terminar el enfriado de los especímenes, se inició el proceso de refrentado con yeso en las dos caras opuestas de carga de cada uno de ellos, para esto se instaló unas reglas guía que fueron soportadas por unos ganchos de acero las cuales fueron posteriormente niveladas. (Ver *Figura 35*)



*Figura 35.* Instalación y nivelación de reglas y soportes. Autores del proyecto, 2020.

Luego se preparó la mezcla compuesta por yeso y agua para el refrentado de cada unidad, después se vertió la mezcla encima del ladrillo y se esparció por la superficie del mismo de manera homogénea con la ayuda de una llana metálica, seguidamente se retiraron las reglas cuidadosamente, terminando de esta manera el proceso de refrentado y repitiendo el mismo proceso por la cara opuesta del ladrillo; se revisó que el espesor fueran aproximadamente similares (Ver *figura 36*).





*Figura 36.* Cara de ladrillo completamente refrentada. Autores, (2020).

Los refrentados se dejaron secar durante un periodo de 24 horas antes de ensayar los especímenes. A la hora en que se realizaron los ensayos se tomó en cuenta que los ladrillos estuvieran en la posición en que van a estar puestos en servicio para poder aplicarle la carga.

Los especímenes se centraron entre unas láminas de acero que se adecuan en la prensa doble rango PC-160 Pinzuar Ltda.



Figura 37. Montaje del espécimen a ensayar. Autores del proyecto, 2020.



Figura 38. Sistema del equipo utilizado en el ensayo. Autores del proyecto, 2020.



La aplicación de la carga de la prensa doble rango PC-160 Pinzuar Ltda. Debe tener una precisión de  $\pm 1,0\%$  de la carga total que se aplicó. También se verificó en el ensayo que dicha carga se ejerciera entre 60 seg y 120 seg, hasta que el espécimen falló. Se usó un Deformímetro análogo Jeweled de sensibilidad 0.001 pulgadas (Ver *Figura 39*)



*Figura 39.* Ensayo de compresión en prototipo del ladrillo. Autores del proyecto, 2020.

Luego de realizar los ensayos de los cinco prototipos, los resultados se relacionaron en la *Figura 40* y en la *Tabla 4*.


COMPRESIÓN DE LADRILLOS DE PEAD																	
NTC 4017																	
PROYECTO	ESTUDIO Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERIA ENSAMBLADOS REUTILIZANDO EL PLASTICO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD "PEAD" COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCION DE MUROS DE CONFINAMIENTO																
LOCALIZACION	Ocaña, Norte de Santander																
MEZCLA	-																
SOLICITANTE:	-																
FECHA:	21- JULIO DE 2021																
LOCALIZACION	CILINDRO	MEZCLA	FECHAS		ASENT.	EDAD	ALTO	ANCH	AREA	PESO	CARG	RESISTENCIA REAL			RESISTENCIA	TIPO	OBSERVACIONES
	(Número)	(f.)	Toma	Rotura	(cm)	(días)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(gr)	(kN)	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	Psi	FALLA	
OCAÑA	M1	-	-	21- JULIO DE 2020	----	-	283	138.00	39054.000	4234	400.50	10.255	104.6	1487	2452	-	
	M2	-	-	21- JULIO DE 2021	----	-	283	140.00	39620.000	4440	356.60	9.001	91.8	1305	2209	-	
	M3	-	-	21- JULIO DE 2022	----	-	290	145.00	42050.000	3974	350.30	8.331	84.9	1208	2077	-	
	M4	-	-	21- JULIO DE 2023	----	-	284	145.00	4180.000	4418	419.90	10.197	104.0	1479	2440	-	
	M5	-	-	21- JULIO DE 2024	----	-	285	140.00	39900.000	4782	458.90	11.501	117.3	1668	2689	-	
Observaciones:																	
Calle 27 # 7-50 Barrio Promesa de Dios, Ocaña N.S. Teléfono (7) 562 59 88 Celular 310 320 2009.																	
suelosyconcretos2019@gmail.com																	

Figura 40. Resultados de laboratorio de ensayo a la compresión en el prototipo.

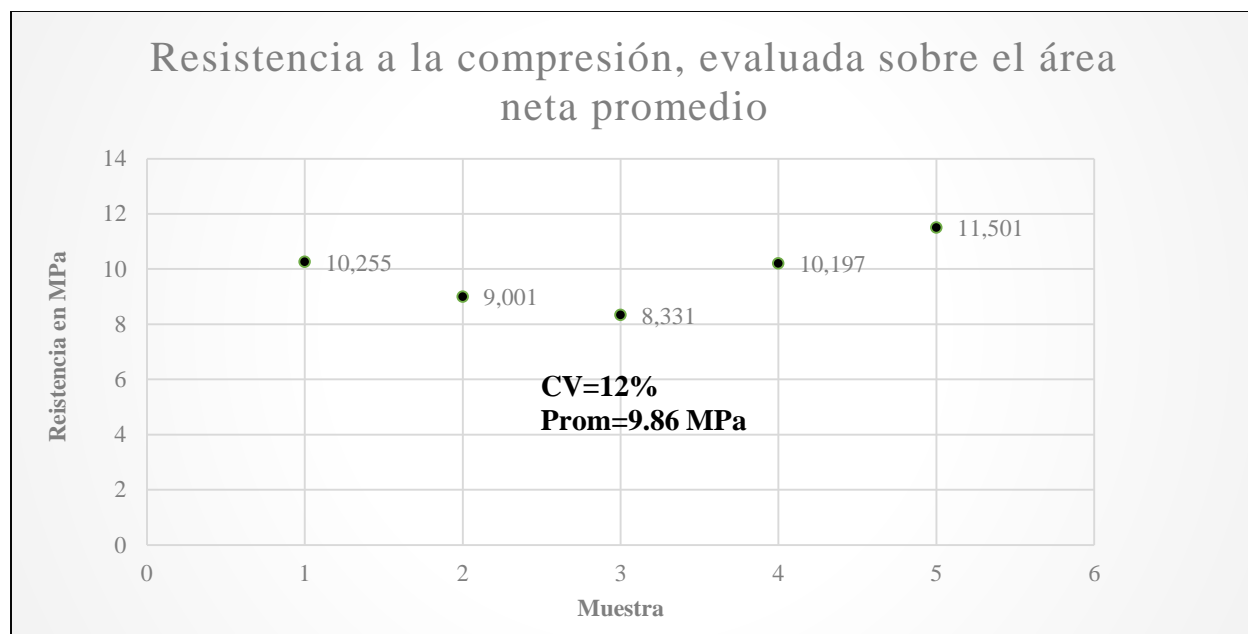
Tabla 4

*Evaluación de la resistencia a la compresión en ladrillos de PEAD*

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc28)A, evaluada sobre el área neta promedio							
% PEAD	BLOQUE N°	AREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	CARGA MAX (KN)	REST. COMPRESION f'cu ((MPa)	f'cu PROM. (MPa)	DESV. ESTANDAR (σ)	COEF. DE VARIACION (CV)
100%	M1	390.54	400.50	10.255			
100%	M2	396.2	356.60	9.001			
100%	M3	420.5	350.30	8.331	9.86	1.2	12%
100%	M4	411.8	419.90	10.197			
100%	M5	399	458.90	11.501			

Fuente: Autores, (2020)

Los resultados de la tabla 4, se pueden ver en el *Gráfico 1*.



*Gráfico 1.* Evaluación de la resistencia a la compresión de muestras de PEAD.

Según los datos obtenidos de los ensayos realizados, se pudo deducir que la resistencia a la compresión promedio de los bloques de PEAD fue de 9.86 MPa con un coeficiente de variación del 12%, es decir, los resultados de la resistencia muestran una baja dispersión, por lo tanto tienen alto grado de representatividad, es necesario aclarar que ningún prototipo presentó ruptura, la falla encontrada en todos los prototipos fue por aplastamiento, es decir durante los 120 segundos de duración de la prueba de carga se deformó, sin embargo una vez retirada la carga, el elemento intentó regresar a su tamaño original.

De acuerdo a la normatividad vigente colombiana NTC 4026, NTC 4076 y NTC 4205, en donde se brindan los requisitos mínimos de resistencia a la compresión de unidades de mampostería de concreto y arcilla para uso estructural y no estructural, se procedió a comparar los resultados de la normatividad que se presentan en la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, y la Tabla 8,

contra los valores de la Tabla 4, que presenta los resultados obtenidos en los prototipos de PEAD fabricados.

Tabla 5

*Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto estructural NTC 4026*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 d (<math>R_{c28}</math>)<sup>A</sup>, evaluada sobre el área neta promedio Mínimo, MPa</b>		
<b>Clase</b>	<b>Promedio de 3 unidades</b>	<b>Individual</b>
Alta	13	11
Baja	8	7

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4026. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (Bloques y ladrillos de concreto estructural)

Tabla 6

*Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto no estructural NTC 4076*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 d (<math>R_{c28}</math>)<sup>A</sup>, evaluada sobre el área neta promedio Mínimo, MPa</b>	
<b>Promedio de 3 unidades</b>	<b>Individual</b>
6.0	5.0

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4076. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapa de concreto

Tabla 7

*Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla estructural NTC 4205*

<b>Resistencia mínima<sup>(1)</sup> a la compresión, Mpa (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Promedio de 5 unidades</b>	<b>Unidad</b>
PH	5,0 (50)	3,5 (35)
PV	18,0 (180)	15,0 (150)
M	20,0 (200)	15,0 (150)

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4205. Unidades (bloques y ladrillos) de mampostería de arcilla estructural y no estructural.

Tabla 8

*Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla no estructural NTC 4205*

<b>Resistencia mínima<sup>(1)</sup> a la compresión, Mpa (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Promedio de 5 unidades</b>	<b>Unidad</b>
PH	3,0 (30)	2,0 (20)
PV	14,0 (140)	10,0 (100)
M	14,0 (140)	10,0 (100)

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4205. Unidades (bloques y ladrillos) de mampostería de arcilla estructural y no estructural.

<sup>(1)</sup> Para el caso de ladrillos de perforación vertical los valores establecidos corresponden a resistencia neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.

PH = Unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)

PV = Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)

M = Unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Notas:

1. Se debe considerar defecto principal, el no cumplimiento de la resistencia y como defecto secundario el no cumplimiento de la absorción. El no cumplimiento de la resistencia motiva además el rechazo de los especímenes, mientras que el incumplimiento de la absorción queda condicionado a los demás requisitos de calidad que establece la norma NTC 4205 y a lo acordado entre el cliente y el proveedor.

Para unidades de perforación vertical de 20 cm de altura o más, el requisito de resistencia a la compresión se debe reducir en un 25% sobre los mínimos exigidos en la Tabla 7 y la Tabla 8.

Al evaluar los requisitos mínimos de resistencia de las diferentes normatividades para mampostería, se pudo establecer que los ladrillos prototipos de PEAD, cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto estructural NTC 4026, para la categoría “Baja”.

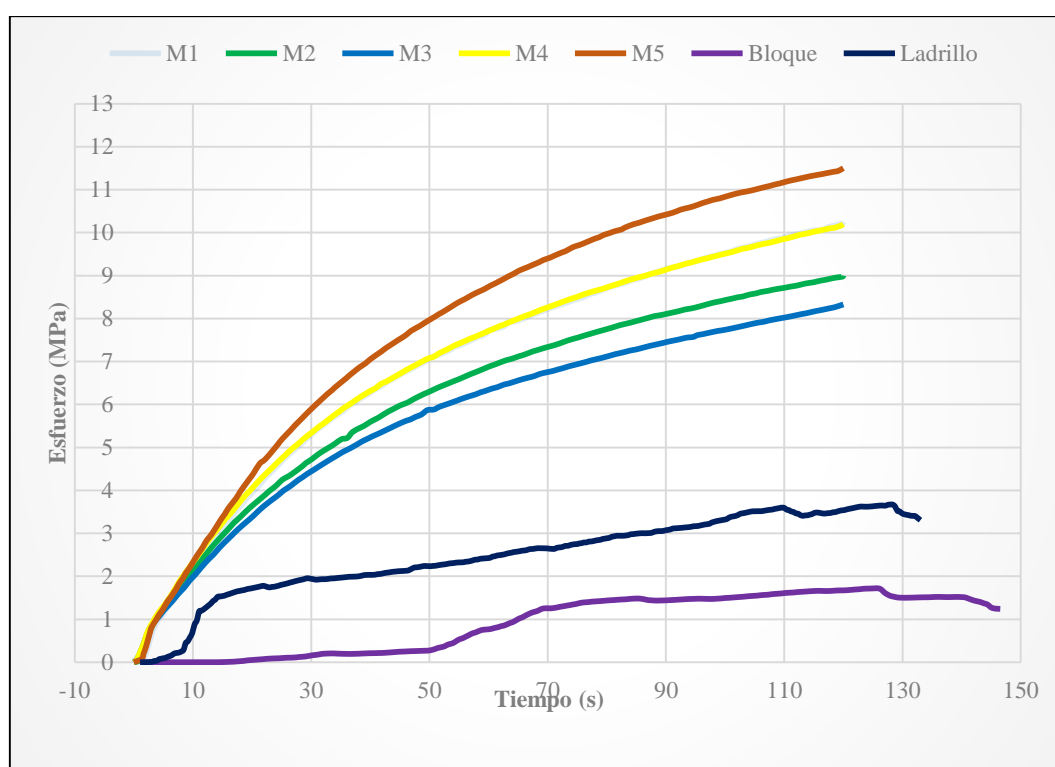
Cumple con todos los Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto no estructural NTC 4076.

Cumple con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla estructural NTC 4205 de tipo PH.

Y cumple con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla no estructural NTC 4205 de tipo PH.

Con base a estos resultados, podemos decir que el prototipo propuesto tiene un buen comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión, considerándolo de tipo estructural, por su resistencia y con una gran propiedad elástica, que permite que se deforme, pero que no se quiebre.

Por otro lado, como se indica en el *Gráfico 2* se representó los valores de (Esfuerzo a compresión Vs Tiempo) para los diferentes prototipos ensayados desde M1 hasta M5, así mismo, en esta misma gráfica se han incorporado los valores promedios de ensayos de resistencia a la compresión de un bloque de perforación horizontal de arcilla y de un ladrillo macizo de arcilla, realizado en el laboratorio de resistencia de materiales de la U.F.P.S.O con mampuestos obtenidos en la región.



*Gráfico 2.* Esfuerzo a compresión Vs Tiempo. Autores, (2020)

Es evidente que el esfuerzo máximo de los bloques y ladrillos de arcilla no alcanza a superar el esfuerzo alcanzado por los prototipos plásticos, siendo el esfuerzo alcanzado por estos a los 120 segundos un 473% mayor que el máximo alcanzado por el bloque de arcilla y un 169% mayor que el alcanzado por el ladrillo macizo de arcilla.

Antes de abordar los análisis estadísticos de los diferentes ensayos realizados, durante el desarrollo del proyecto de grado, es indispensable hacer alusión sobre los dos parámetros más relevantes en la investigación, estos son; la desviación estándar que indica que tan cerca se encuentran agrupados los datos alrededor del valor promedio, y el coeficiente de variación (CV) que indica el grado de representatividad, para la aceptación de una muestra, tal como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9

*Grado de representatividad de acuerdo al coeficiente de variación*

<b>CV</b>	<b>Grado en que la media representa a la serie</b>
0-10%	Altamente representativa
10-20%	Bastante representativa 20-30%
20-30%	Tiene representatividad
30-40%	Representatividad dudosa
40%	Carente de representatividad

Fuente: Tabla 6, Bonilla G., “Estadística I”, UCA editores, 1998.

Como parte del análisis realizado a los resultados obtenidos, se optó por realizar un análisis estadístico sobre los datos, a fin de poder comprender mejor el comportamiento de los mismos, dicho esto se realizaron diferentes análisis mediante el uso del software libre MINITAB Versión 19, el cual permite analizar los efectos de variables de entrada o factores, con respecto a una variable de salida o respuesta.

En la mayoría de los procedimientos estadísticos inicialmente se requiere la evaluación de la suposición de normalidad, en estos casos gráficos como los histogramas permiten tener una

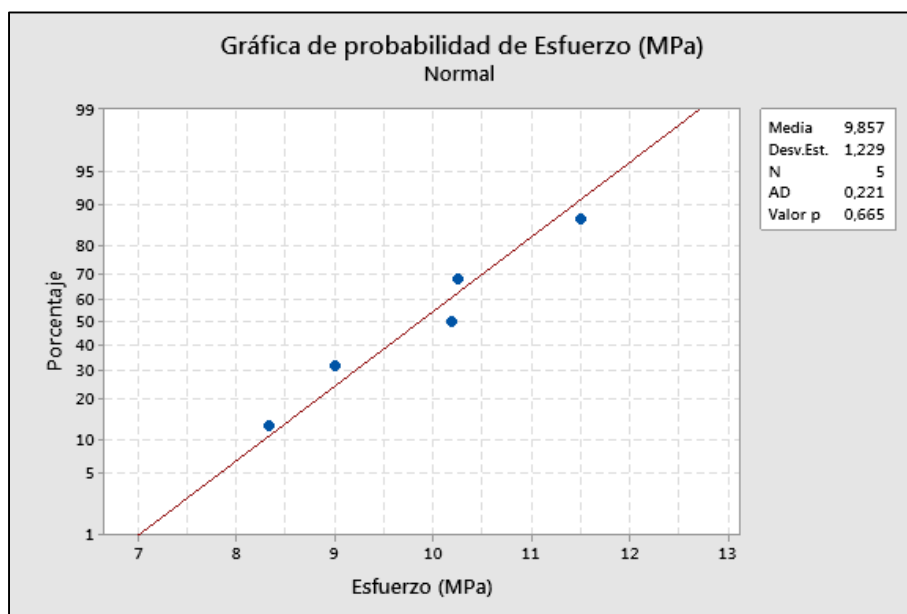


idea de la normalidad, no obstante, aunque los métodos gráficos sirvan de instrumento para tener una aproximación de la normalidad de una muestra con “n” observaciones independientes, no son suficientes para proporcionar un resultado concluyente de que se mantiene la prueba de normalidad. Por ende, para apoyar los métodos gráficos, se opta por métodos numéricos, los cuales permiten un análisis más formal de la normalidad. En este sentido para las diferentes variables analizadas, de Esfuerzo, Absorción, Densidad y Modulo de rotura, se realizó una prueba de normalidad basados en el método de Anderson-Darling. Además de otros análisis como la dispersión de los datos respecto a la densidad, y la prueba de valores atípicos con el método Grubbs.

Para los valores de esfuerzo a la compresión, Absorción, Densidad y módulo de rotura se hicieron una prueba de normalidad con el fin de determinar si los datos obtenidos siguen una distribución normal. En la literatura existen cerca de 40 pruebas de normalidad, estas se diferencian en el nivel de comparación entre la distribución empírica con respecto a la distribución normal, y en la complejidad estadística de la prueba y la naturaleza de la distribución (Seier, 2002).

Dentro de las pruebas de Función de Distribución Empírica (EDF) por sus siglas en inglés, más comunes se encuentran las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Cramer Von Mises. Dentro del análisis realizado se ha optado por el método de Anderson-Darling (AD) el cual consiste en una prueba no paramétrica que mide la distancia entre una línea ajustada a una distribución normal y la línea de la distribución de los puntos; valores altos de AD pueden indicar que la serie de datos no sigue una distribución normal.

En el *Gráfico 3*, se muestra la gráfica de probabilidad para el Esfuerzo, se puede observar que los datos tienen una media de 9,857 MPa, con una desviación estándar de 1,229, y con un número de datos (N) de 5, con estos valores se obtiene un valor paramétrico de AD de 0,221 y un Valor P de 0,665. A partir de estos valores, y considerando que el valor de P es mayor que el valor de significancia de 0,05 la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir no se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal.



*Gráfico 3*. Probabilidad para el Esfuerzo. Autores. (2020)

Adicionalmente se realiza un análisis de la dispersión como se aprecia en el *Gráfico 4*, esto con el fin de determinar cuál es la relación de modelo que mejor se ajusta a los datos y evaluar la fuerza de la relación. Adicionalmente también mediante este análisis se puede observar si hay presencia de algunos valores atípicos. De los resultados del Esfuerzo respecto a una variable independiente como la densidad, se observa que no hay valores atípicos, y que estos describen una relación lineal positiva, es decir, cuanto mayor sea la densidad, mayor será el esfuerzo, lo cual tiene sentido si consideramos que una mayor densidad se logra mediante una mayor energía

de compactación en el proceso de fabricación, y por ende se logra prototipos sin vacíos y de mayor resistencia.

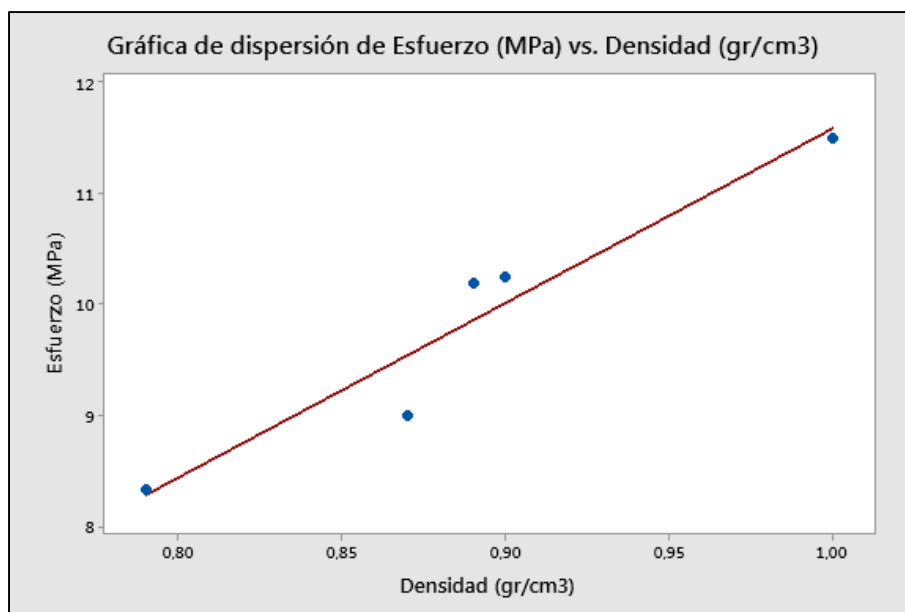


Gráfico 4. Dispersión de Esfuerzo (MPa) vs Densidad (gr/cm<sup>3</sup>) Autores. (2020)

Dado que los datos se ajustan en forma adecuada a la línea de correlación se optó por calcular este factor de correlación. Un coeficiente de correlación mide el grado en que dos variables tienden a cambiar al mismo tiempo, el coeficiente describe tanto la fuerza como la dirección de la relación. En este caso se hizo el cálculo de la correlación de Pearson la cual evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. “Una relación es lineal cuando un cambio en una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra variable”. Soporte de Minitab<sup>®</sup>, (2020). Como se aprecia en el Gráfico 5, el valor del coeficiente de correlación de Pearson es de 0,960 valor muy cercano a uno, con ello podemos evidenciar que cuando la densidad aumenta también aumenta el esfuerzo en una medida casi constante.

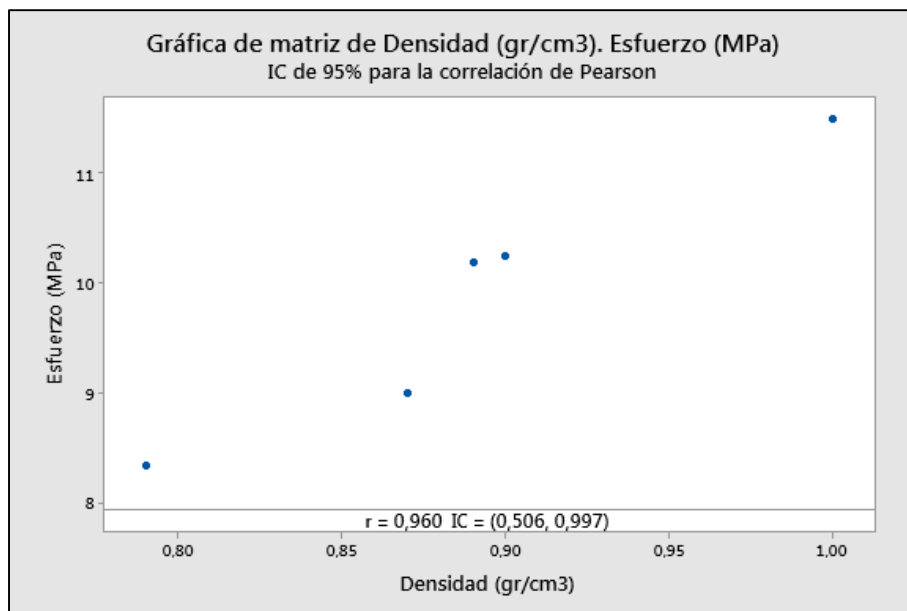


Gráfico 5. Dispersión de matriz de Densidad (gr/cm<sup>3</sup>) vs Esfuerzo (MPa). Autores, (2020)

Finalmente, como parte del análisis desarrollado, se realizó una prueba de Grubbs, para determinar si existe un valor atípico, para ello se compara el valor p con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como  $\alpha$  o alfa) de 0,05 funciona adecuadamente, un nivel de significancia de 0,05 indica un riesgo de 5% de concluir que existe un valor atípico cuando no hay un valor atípico real.

El método consiste en plantear las hipótesis que se describen en la Tabla 10, y posteriormente se realiza el cálculo de los factores que se muestran en la Tabla 11. Existen dos escenarios posibles, el primero es que el Valor  $p \leq \alpha$ , lo cual indicaría que existe un valor atípico (Rechaza  $H_0$ ). Si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que existe un valor atípico. El otro escenario es que Valor  $p > \alpha$ , en este caso no se puede concluir que existe un valor atípico (No puede rechazar  $H_0$ ) Si el valor p es mayor que el nivel de

significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, porque no cuenta con suficiente evidencia para concluir que existe un valor atípico.

Tabla 10

*Prueba de valores atípicos: Esfuerzo (MPa)*

<i>Hipótesis del Método</i>	
Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente: Autores, (2020)

Tabla 11

*Prueba de Grubbs para el esfuerzo*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>G</b>	<b>P</b>
Esfuerzo (MPa)	5	9,857	1,229	8,331	11,501	1,34	0,730

NOTA: No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%. Fuente: Autores, (2020)

En el *Gráfico 6*, se puede apreciar los datos en forma gráfica, con lo cual se puede asegurar que el valor de p es mayor que el nivel de significancia, y por ende no se pueden evidenciar la presencia de ningún valor atípico, entonces, de esta manera podemos asegurar que los datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión, siguen una tendencia determinada y no hay presencia de valores que pudieran generar dudas o incertidumbres en el análisis.

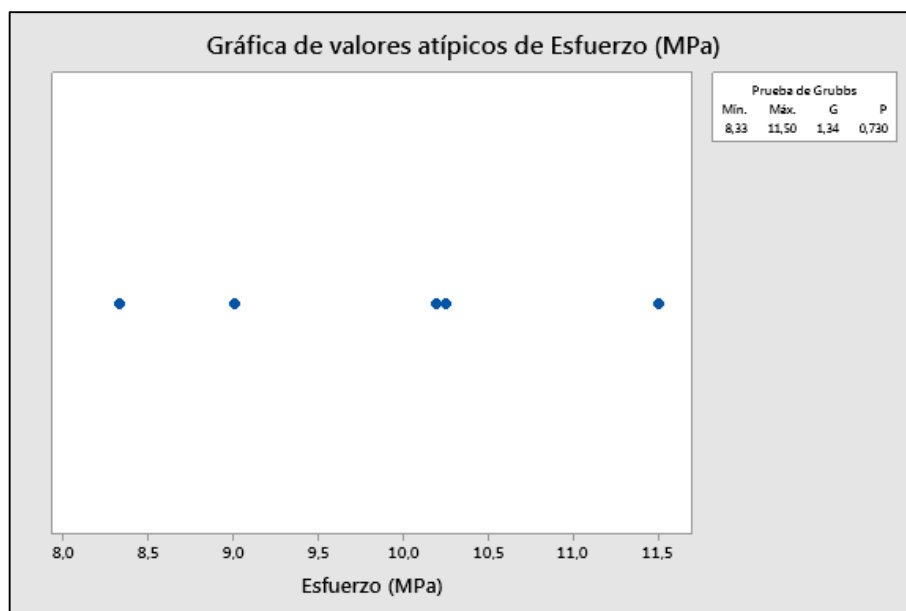
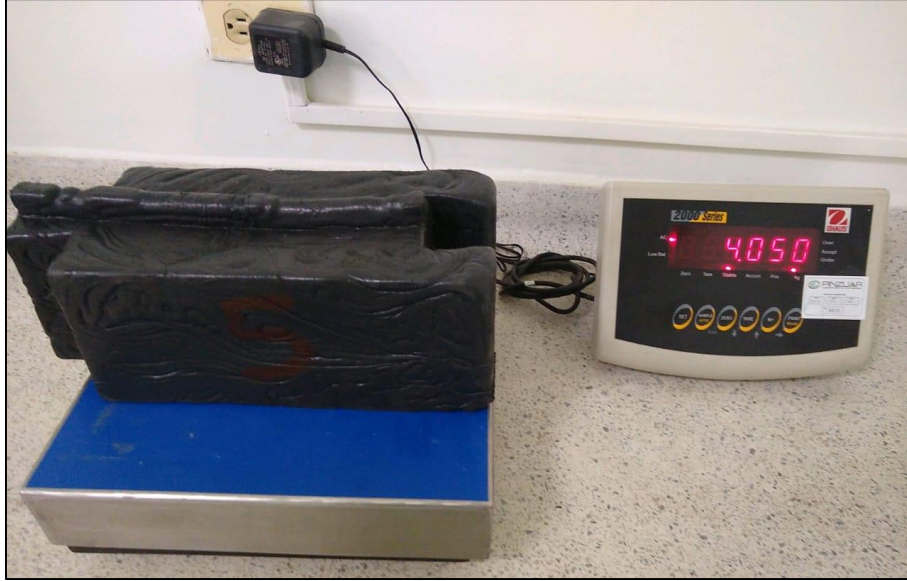


Gráfico 6. Valores atípicos de esfuerzo (MPa). Autores, (2020)

Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.

**4.2.2 Evaluación de la absorción y densidad de las unidades de mampostería.** La NTC 4017 y la NTC 4024, y especifica que se deben utilizar cinco unidades o tres unidades completas respectivamente que se hayan rotulado, pesado y registrado.

**4.2.2.1 Ensayo de absorción.** Se pesan los prototipos antes de la inmersión, para obtener la masa y se registra como se muestra en la *Figura 41*.



*Figura 41.* Registro, rotulado y pesaje de prototipos. Autores, (2020)

En primera medida se realizó los procedimientos de secado y enfriado de los especímenes de ensayo, al igual que en el ensayo de resistencia a la compresión, como se muestra en la *Figura 42.*



*Figura 42.* Secado de prototipos a temperatura controlada. Autores, (2020)

Luego Se deben sumergir los especímenes de ensayo en agua, a una temperatura entre 15 °C y 30 °C. Durante 24 h. como se muestra en *la Figura 44*. Debido a que la densidad del PEAD es inferior al del agua, los prototipos flotaban, por tal razón fue necesario utilizar elementos de concreto que permitieran la inmersión completa de los especímenes. (Ver *Figura 43*)





Figura 43. Inmersión de los prototipos en prueba de absorción. Autores, (2020)



Figura 44. Control de temperatura en cuarto de secado. Autores, (2020)

Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa. El pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 300 segundos de retirado del agua.

La absorción del espécimen se debe calcular de la siguiente manera:

$$\%Absorción = \left[ \frac{100 * (W_{ss} - W_s)}{W_s} \right]$$

Donde:

$W_s$ : Masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

$W_{ss}$ : Masa sumergida del espécimen saturado, en g.

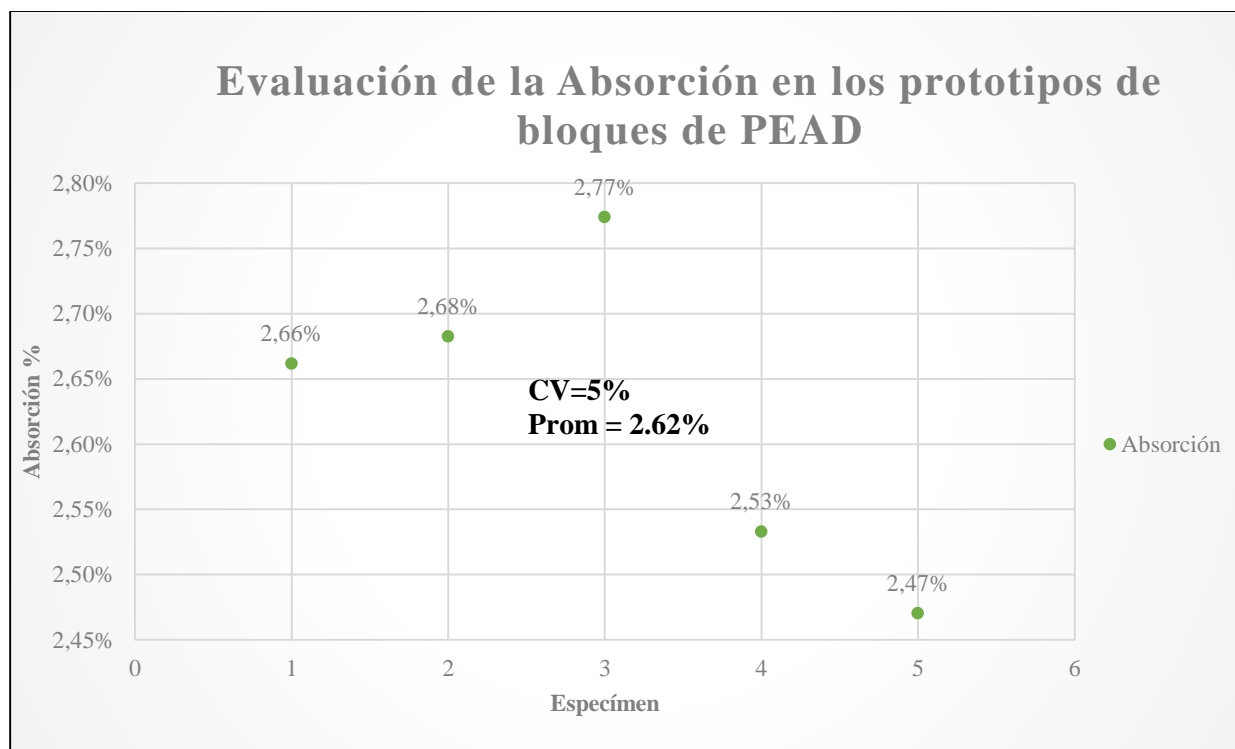
Los resultados de los ensayos de absorción obtenidos de los prototipos de PEAD se muestran en la Tabla 12, y se relacionan en el *Gráfico 7*.

Tabla 12

*Evaluación de la absorción en ladrillos de PEAD*

BLOQUE N°	$W_s$	$W_{ss}$	Absorción (%)	Prom. (%)	D. E. ( $\sigma$ )	CV)
1	3757	3758	2.66%			
2	3728	3729	2.68%			
3	3605	3606	2.77%	2.62%	0.12%	5%
4	3948	3949	2.53%			
5	4048	4049	2.47%			

Fuente: Autores, (2020)



*Gráfico 7.* Relación de los resultados de absorción de los especímenes de PEAD

Según los datos obtenidos en laboratorio de los 5 especímenes de PEAD en el ensayo de absorción, se obtuvo un promedio de 2,62% en donde su coeficiente de variación fue de 5%, es decir posee un alto grado de representatividad y se pudo observar que en general los bloques solo absorbieron 1 gramo de agua.

Al comparar con los porcentajes de absorción obtenidos en los ladrillos de PEAD con los permitidos en las unidades de mampostería de arcilla y de concreto, se pudo verificar que cumplen con todos los requisitos de absorción, estos requisitos se muestran en la Tabla 13, la Tabla 14, la Tabla 15 y la Tabla 16.

Tabla 13

*Requisitos de absorción de la mampostería de concreto estructural NTC 4026*

<b>Absorción de agua, % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Promedio de 3 unidades, maximo %</b>			
Clase	Peso liviano, menos de 1680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano de 1680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal de 2000 kg/m <sup>3</sup> o mas
Alta	15%	12%	9%
Baja	18%	15%	12%

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4026. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades (Bloques y ladrillos de concreto estructural)

Tabla 14

*Requisitos de Absorción de la mampostería de concreto no estructural NTC 4076*

<b>Absorción de agua, % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, para las chapas kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>Promedio de 3 unidades, maximo %</b>			
Tipo	Peso liviano, menos de 1680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano de 1680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal de 2000 kg/m <sup>3</sup> o mas
Unidades	18%	15%	12%
Chapas	15%	12%	9%

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4076. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapa de concreto

Tabla 15

*Requisitos de Absorción de la mampostería de arcilla estructural NTC 4205*

<b>Absorción de agua máxima en %</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Interior</b>		<b>Exterior</b>	
	<b>Prom 5 U</b>	<b>Unidad</b>	<b>Prom 5 U</b>	<b>Unidad</b>
PH	13	16	13.5	14
PV	13	16	13.5	14
M	13	16	13.5	14

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4205. Unidades (bloques y ladrillos) de mampostería de arcilla estructural y no estructural.

Tabla 16

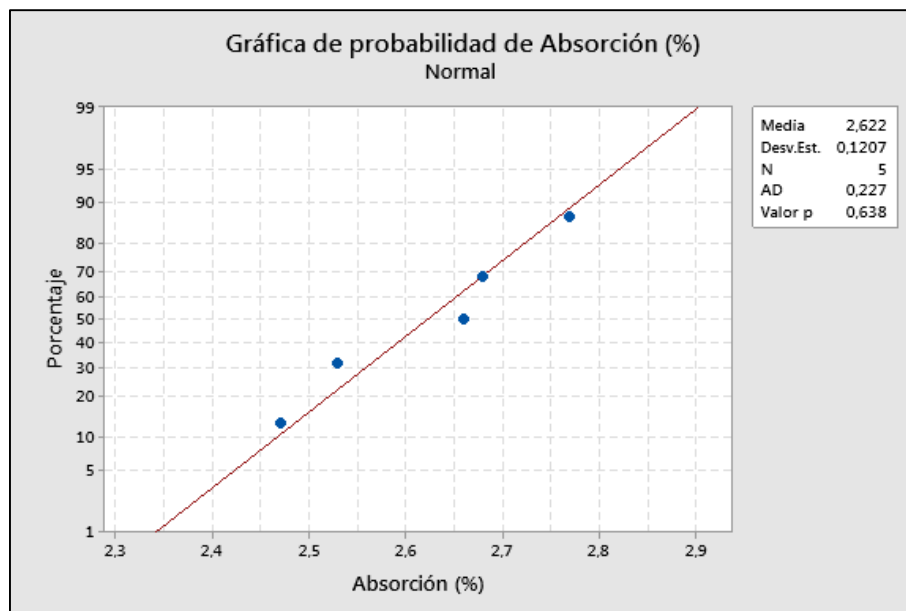
*Requisitos de Absorción de la mampostería de arcilla no estructural NTC 4205*

<b>Absorción de agua máxima en %</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Interior</b>		<b>Exterior</b>	
	<b>Prom 5 U</b>	<b>Unidad</b>	<b>Prom 5 U</b>	<b>Unidad</b>
PH	17	20	13.5	14
PV	17	20	13.5	14
M	17	20	13.5	14

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 4205. Unidades (bloques y ladrillos) de mampostería de arcilla estructural y no estructural.

De acuerdo a Tabla 13, la Tabla 14, la Tabla 15 y la Tabla 16. Se puede observar que los porcentajes máximos de absorción por la normatividad varían desde el 9% al 20%, por tanto, al obtener un promedio de menos del 3% el prototipo de ladrillo cumple con todos los requisitos de absorción de unidades de mampostería estructurales y no estructurales de arcilla y de concreto.

Como se mencionó anteriormente, se realizó un análisis estadístico de los resultados de los ensayos, para el caso de la absorción. En el *Gráfico 8* se puede apreciar la representación gráfica de probabilidad para la absorción, estos datos tienen un valor de la media de 2,622 con una desviación estándar de 0,1207, y con un número de datos (N) de 5, con estos valores se obtiene un valor paramétrico de AD de 0,227 y un Valor P de 0,638. A partir de estos valores, y considerando que el valor de P es mayor que el valor de significancia de 0,05 la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir los datos siguen una distribución normal.



*Gráfico 8.* Probabilidad de absorción. Autores, (2020)

El análisis de dispersión se puede apreciar en el *Gráfico 9*, los resultados de la absorción respecto a la variable independiente de la densidad, indican una relación lineal negativa, es decir, cuanto mayor sea la densidad, menor será la absorción, esto tiene si se considera que entre mayor sea la densidad más compacto será el prototipo y menor será la cantidad de vacíos u oquedades presentes, donde se pueda almacenar el agua.

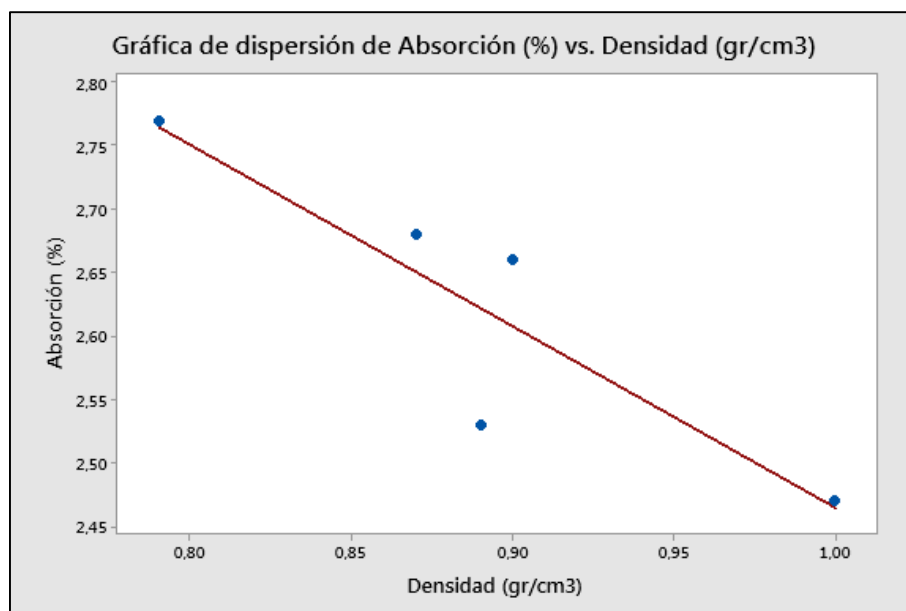


Gráfico 9. Análisis de dispersión de Absorción (%) Vs Densidad (gr/cm<sup>3</sup>). Autores, (2020)

Los valores hallados anteriormente, tienen ciertos datos que se distancian de la línea de tendencia, por lo cual se calculó el factor de correlación. Como se aprecia en el *Gráfico 10*, el valor del coeficiente de correlación de Pearson es de 0,890 un valor cercano a la unidad, y entonces se puede decir que cuando la densidad aumenta disminuye el porcentaje de absorción.

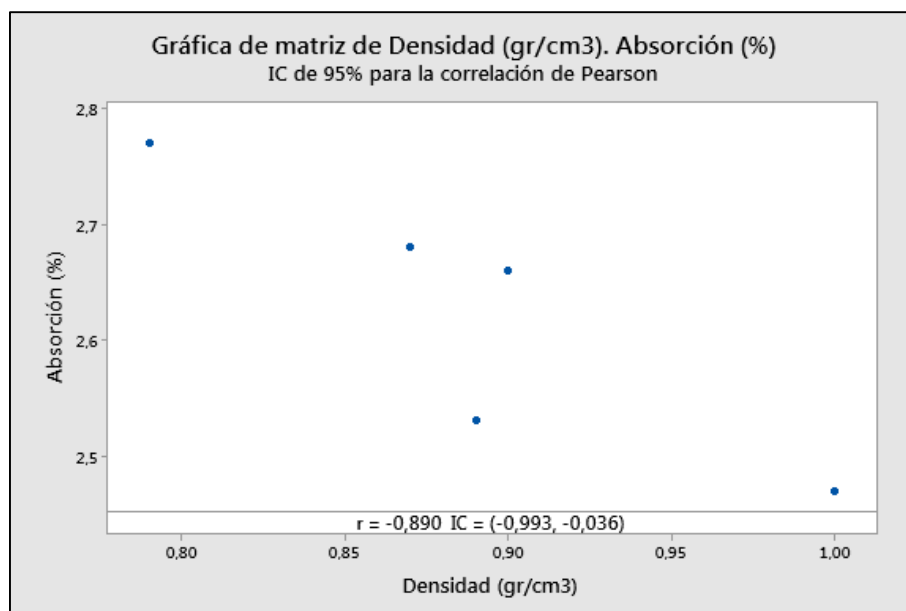


Gráfico 10. Matriz de densidad (gr/cm<sup>3</sup>) y Absorción (%). Autores, (2020)

Para el análisis de valores atípicos, se plantearon las diferentes hipótesis como se indican en la Tabla 17, con un nivel de significancia del 5%, los resultados obtenidos de la prueba de Grubbs se muestran en la Tabla 18.

Tabla 17

*Prueba de valores atípicos: Absorción (%)*

<i>Hipótesis del Método</i>	
Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente: Autores, (2020)

Tabla 18

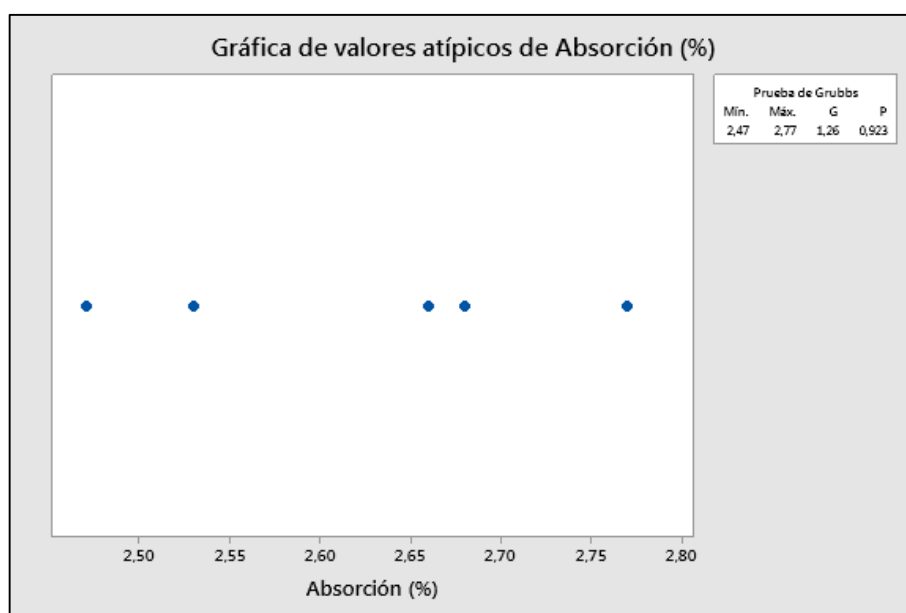
*Prueba de Grubbs para la absorción*

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Absorción (%)	5	2,6220	0,1207	2,4700	2,7700	1,26	0,923

Fuente: Autores, (2020)



En el *Gráfico 11*, se puede apreciar los datos en forma gráfica, con lo cual se puede asegurar que el valor de  $p$  es mayor que el nivel de significancia, y por ende no se pueden evidenciar la presencia de ningún valor atípico, entonces, de esta manera podemos asegurar que los datos obtenidos en el ensayo de absorción, siguen una tendencia determinada y no hay presencia de valores que pudieran generar dudas o incertidumbres en el análisis.



*Gráfico 11.* Valores atípicos de absorción. Autores, (2020)

**4.2.2.2 Determinación de la densidad.** Se calculó la densidad de acuerdo a la *relación* entre el peso y su volumen, la densidad del PEAD se encuentra en el rango de 0.940 - 0.970 g/cm<sup>3</sup>, sin embargo, Este material se clasifica como ultraliviano, incluso se pudo verificar que los ladrillos en los ensayos de absorción flotaban, por lo tanto, es indicio de que tienen una densidad menor a 1 gr/cm<sup>3</sup>. En la Tabla 19, se muestra la clasificación de los bloques de mampostería según su densidad.

Tabla 19

*Clasificación de bloques de mampostería según su densidad*

<b>Clasificación de bloques según su densidad</b>			
Tipo	Peso liviano, menos de 1680 kg/m <sup>3</sup>	Peso mediano de 1680 kg/m <sup>3</sup> hasta menos de 2000 kg/m <sup>3</sup>	Peso normal de 2000 kg/m <sup>3</sup> o mas

Fuente: Autores, (2020)

Los resultados de los ensayos de densidad en los prototipos de PEAD de se relacionan a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20

*Densidad de los prototipos de ladrillo de PEAD*

Muestra	Ancho	Largo	Altura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
M1	28.3	13.8	12	4686.48	4234	0.90			
M2	28.3	14	12	4754.4	4140	0.87			
M3	29	14.5	12	5046	3974	0.79	<b>0.89</b>	<b>0.07564</b>	<b>8%</b>
M4	28.4	14.5	12	4941.6	4418	0.89			
M5	28.5	14	12	4788	4782	1.00			

Fuente: Autores, (2020)

Los resultados se pueden observar en el *Gráfico 12*.

Por otro lado, es importante considerar, que a pesar de que los ladrillos fueron realizados con PEAD, la densidad de los prototipos no alcanzó el valor observado en diferentes páginas de internet especializadas en materiales como <http://www.matweb.com/>, esto debido a diversos factores, como la fabricación manual del ladrillo de PEAD y poros de aire dentro de los prototipos.

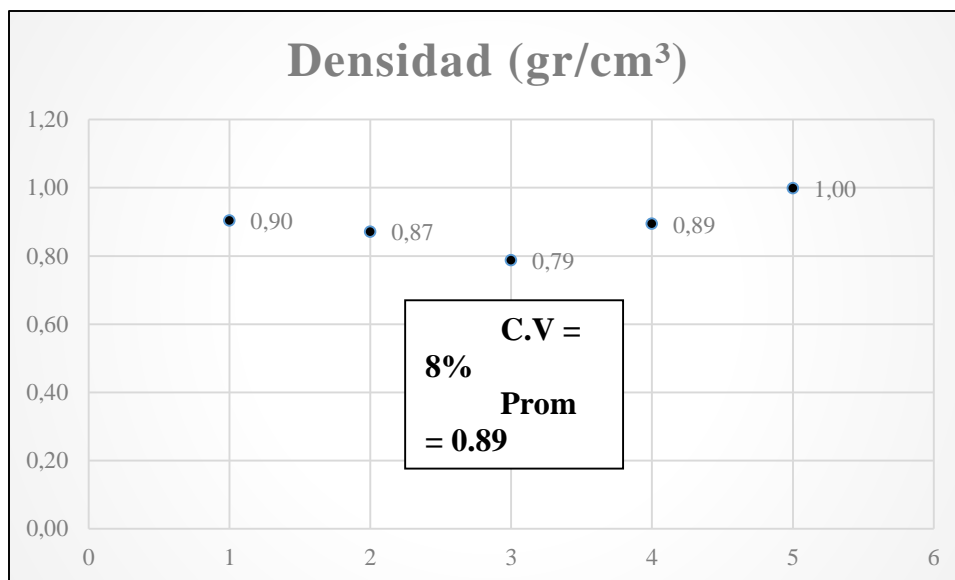
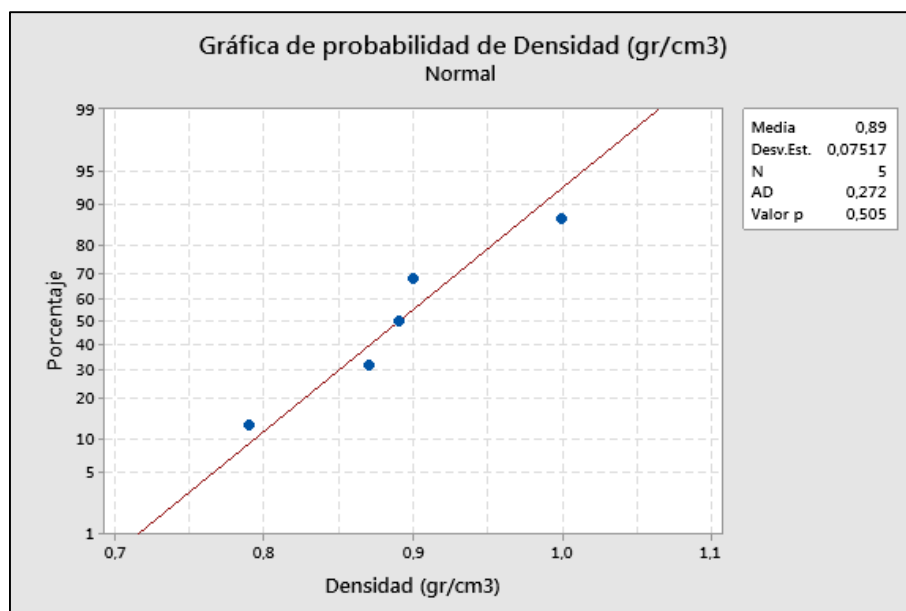


Gráfico 12. Relación de los resultados de densidad de los especímenes de PEAD. Autores, (2020)

Luego de determinar la densidad, se pudo establecer que los prototipos se clasifican como de densidad liviana según la Tabla 20, debido a que poseen una densidad menor a  $1600 \text{ kg/m}^3$ . Además, debido a que el coeficiente de variación es menor al 10% se considera como una muestra altamente representativa.

Al igual que con las otras propiedades mecánicas del prototipo de PEAD, se realizó un análisis estadístico de los resultados de los ensayos. En el Gráfico 13, se puede observar la probabilidad para la densidad, estos datos tienen un valor de la media de  $0,89 \text{ gr/cm}^3$  con una desviación estándar de  $0,075$  y con un número de datos (N) de 5, con estos valores se obtiene un valor paramétrico de AD de  $0,272$  y un Valor P de  $0,505$ . A partir de estos valores, y considerando que el valor de P es mayor que el valor de significancia de  $0,05$  la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir los datos siguen una distribución normal.



*Gráfico 13.* Probabilidad de densidad (gr/cm<sup>3</sup>) Autores, (2020)

Con la variable densidad no fue posible realizar ningún análisis de correlación, puesto que esta fue la variable que se tomó como independiente y como un parámetro de referencia para el análisis de las demás variables evaluadas

Con el análisis de valores atípicos se plantearon las mismas hipótesis que en los datos anteriores, como se indican en la Tabla 21, con un nivel del significancia del 5%, los resultados obtenidos de la prueba de Grubbs se muestran en la Tabla 22.

Tabla 21

*Prueba de valores atípicos: Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)*

<i>Hipótesis del Método</i>	
Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente: Autores, (2020)

Tabla 22

*Prueba de Grubbs para la densidad*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>G</b>	<b>P</b>
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	5	0,8900	0,0752	0,7900	1,0000	1,46	0,453

NOTA: No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%. Fuente: Autores, (2020)

A partir del *Gráfico 14*, se observa que valor de p es mayor que el nivel de significancia, por lo cual es evidente que no existe ningún valor atípico y por ende los datos del ensayo de densidad siguen una tendencia determinada y no hay presencia de valores que pudieran generar incertidumbres.

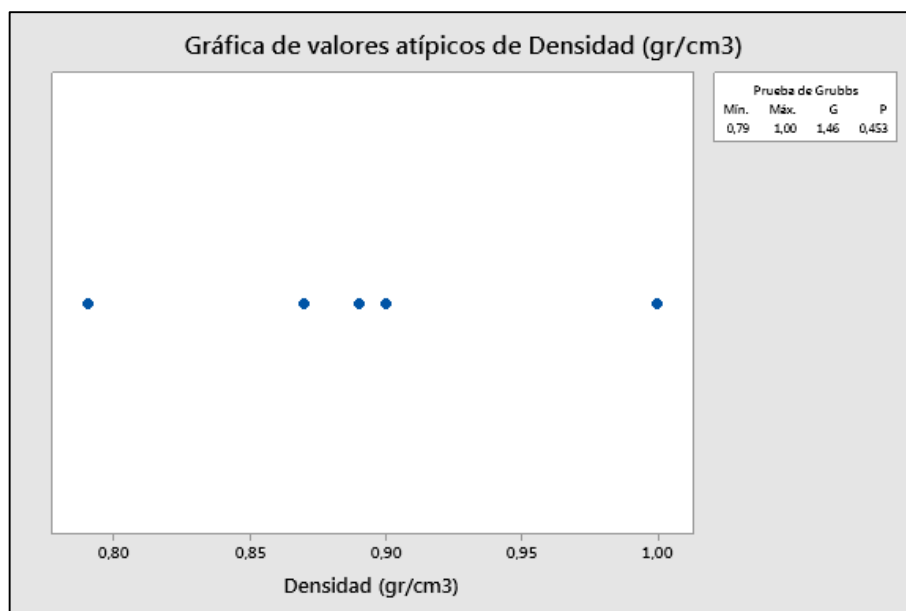


Gráfico 14. Valores atípicos de densidad. Autores, (2020)

Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.

#### **4.2.3 Hallar la resistencia a la flexión de unidades de mampostería de plástico PEAD para clasificarlos de acuerdo a la norma técnica colombiana 4017:**

De acuerdo a lo establecido en la NTC 4017, para realizar el ensayo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) de las unidades de mampostería se emplearon cinco (5) muestras, los equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos de laboratorio que se detallan a continuación:

Prensa doble rango PC-160/ Pinzuar Ltda.

Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005mm

Cronómetro digital

Nivel de mano

2 láminas de acero de 320 x 160 x 25.4 mm

Dos barras de acero de 1 pulgada de diámetro y 210 mm de longitud

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Cubo en acero de 25 x 25 x 12,5 mm

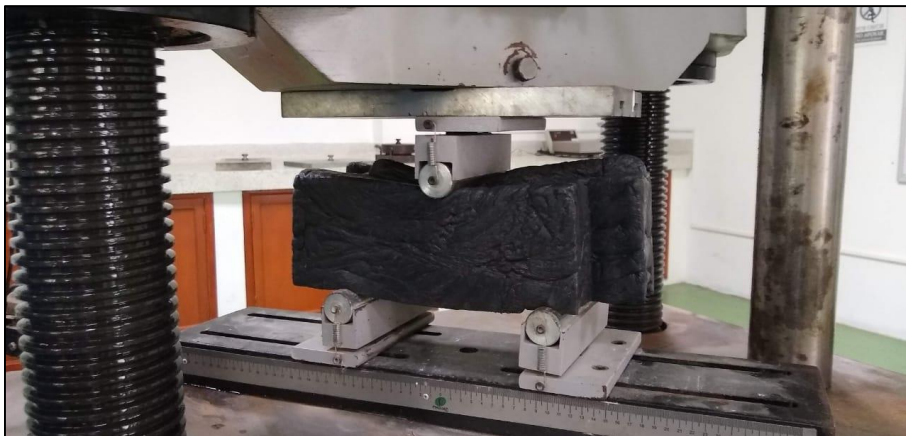
Para la determinación del módulo de rotura en los ladrillos de PEAD se usaron 5 prototipos de ladrillos de plástico PEAD

**4.2.3.1 Procedimiento.** El procedimiento realizado fue el mismo en el ensayo de compresión respecto a la medición, secado y enfriado de las unidades de mampostería, los demás pasos se detallan a continuación.

Una vez que fue culminado el proceso de secado y enfriado, los especímenes se llevaron a la maquina universal Pinzuar Ltda., en la cual fue puesta una placa de acero la cual tiene puesta las barras de acero, como se muestra en la *Figura 45*, estas barras fueron ubicadas en cada uno de los extremos cuyo centro fueron adaptadas a una distancia de 12.5 mm del cada borde del espécimen, como se observa en la *Figura 46*.



*Figura 45.* Placa y barras de acero adaptado en la máquina universal. Autores del proyecto, 2020.



*Figura 46.* Aplicación de la carga al prototipo. Autores, (2020)





Figura 47. Falla del Prototipo luego de aplicación de carga. Autores, (2020)

Después de realizado todo el procedimiento anterior se procedió a determinar el módulo de rotura generado por el ensayo a flexión de los ladrillos de PEAD, los cálculos se realizaron de la siguiente forma:

### Cálculos

$$MR = \frac{3W\left(\frac{L}{2} - X\right)}{bd^2}$$

Donde:

MR = Módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa

W = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.

L = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.

$b$  = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

$d$  = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.

$x$  = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

Lamentablemente uno de los equipos del laboratorio de resistencia de materiales de la UFPSO, presento averías, por lo que fue necesario ensayar los prototipos en un laboratorio privado del municipio de Ocaña, que cuenta con los certificados de calibración y calidad denominado laboratorio “Suelos y concretos”.

Los resultados de los ensayos de flexión se muestran en la Figura 48, la Tabla 23, la Tabla 24 y el Gráfico 15. Valores del módulo de rotura en prototipos de PEAD

ENSAYO A FLEXIÓN LADRILLOS DE F														
NTC 4017														
PROYECTO	PAVIMIENTOS VIAS URBANAS, MUNICIPIO DE ABREGO							FECHA LLEGADA:	21 DE JULIO DE 2020					
LOCALIZACION	OCAÑA, NORTE DE SANTANDER							SOLICITANTE:	-					
RESISTENCIA	-							EQUIPO	PRENSA DOBLE RANGO PC-160/ MARCA PINZUAR					
FECHA ENSAYO:	21 DE JULIO DE 2020													
LOCALIZACION DE LA MUESTRA	MUESTRA (Número)	FECHAS		PESO (kg)	DIMENSIONES			DIST. ENTRE APOYOS (mm)	VELOCIDAD DE CARGA (Mpa/min)	CARGA (kN)	MODULO DE ROTURA			OBSERVACIONES
		Toma	Rotura		Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )				MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	
OCAÑA	M1	-	21 DE JULIO DE 2020	3998	285.00	140.00	39900	240	1052	93.80	1980	20.2	287	
OCAÑA	M2	-	21 DE JULIO DE 2020	3316	285.00	142.00	40470	240	1052	59.40	1236	12.6	179	
OCAÑA	M3	-	21 DE JULIO DE 2020	3604	285.00	140.00	39900	240	1052	67.30	1420	14.5	206	
OCAÑA	M4	-	21 DE JULIO DE 2020	3738	287.00	140.00	40180	240	1052	83.70	1742	17.8	253	
OCAÑA	M5	-	21 DE JULIO DE 2020	3764	282.00	140.00	39480	240	1052	88.50	1908	19.5	277	
ELABORO:	Fernando Ojeda laboratorista							REVISO:	Ing. Eider Lopez Angarita T.P. 54202-269#1NTS					
Calle 27 # 7- 50 Barrio Promesa de Dios, Ocaña N.S. Telefono (7) 562 59 88 Celular 310 320 2009														
suelosyconcretos2019@gmail.com														

Figura 48. Reporte de ensayos de laboratorio de flexión en ladrillos de PEAD.

Tabla 23

*Ensayos de flexión en prototipos de PEAD*

Muestra	Rotura	Peso (Kg)	Dimensiones			Dist. Entre apoyos (mm)	Velocidad de carga (Mpa/min)	Carga (KN)	Módulo de rotura		
			Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )				MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi
(Número)											
M1	MPa	3998	285.00	140.00	39900	240	1.052	93.80	1.980	20.2	287
M2	MPa	3316	285.00	142.00	40470	240	1.052	59.40	1.236	12.6	179
M3	MPa	3604	285.00	140.00	39900	240	1.052	67.30	1.420	14.5	206
M4	MPa	3738	287.00	140.00	40180	240	1.052	83.70	1.742	17.8	253
M5	MPa	3764	282.00	140.000	39480	240	1.052	88.50	1.908	19.5	277

Fuente: Autores, (2020)

Tabla 24

*Módulo de rotura de ladrillos de PEAD (MPa)*

Muestra	Altura	Ancho	Área	Dist. Entre apoyos	Velocidad de carga	Carga	Módulo de rotura (Mpa)	Pro.	Des. estándar	C.V
M1	285	140	39900	240	1.052	93.80	1.980			
M2	285	142	40470	240	1.052	59.40	1.236			
M3	285	140	39900	240	1.052	67.30	1.420	<b>1.66</b>	<b>0.3192</b>	<b>19%</b>
M4	287	140	40180	240	1.052	83.70	1.742			
M5	282	140	39480	240	1.052	88.50	1.908			

Fuente: Autores, (2020)

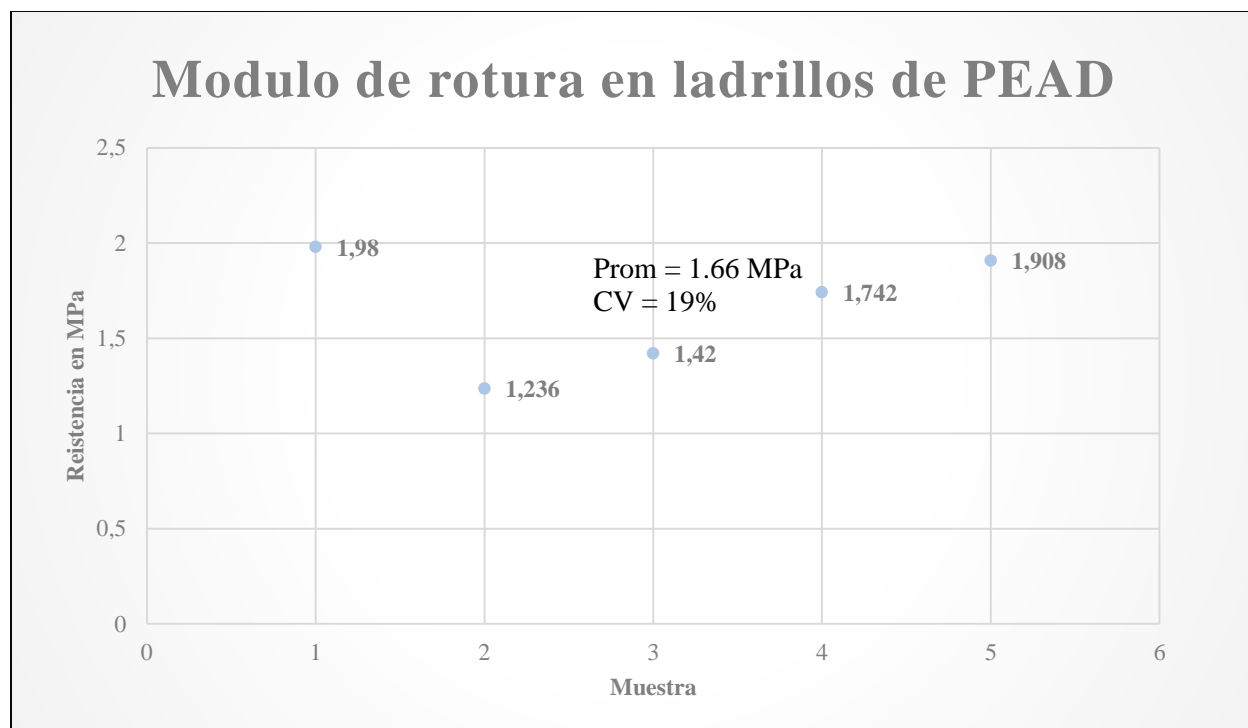


Gráfico 15. Valores del módulo de rotura en prototipos de PEAD. Autores, (2020)

De acuerdo a (Takeuchi, C. 2007) el módulo de rotura encontrado puede variar entre las 10% y 30% de la resistencia a la compresión obtenida para las unidades de mampostería, teniendo en cuenta que el valor promedio de la resistencia a la compresión fue de 9.86 Mpa, y el valor promedio del módulo de rotura fue de 1.657 Mpa, podemos concluir que el valor del módulo de rotura equivale al 17% de la resistencia a la compresión del prototipo, por lo tanto se encuentra dentro de los lineamientos propuestos, ya que su coeficiente de variación de es de 19% por lo tanto la muestra es de buena representatividad.

De acuerdo al análisis estadístico propuesto, La prueba de probabilidad para el módulo de rotura, como se aprecia en el Gráfico 16, indica que los datos tienen un valor de la media de 1,657 MPa, con una desviación estándar de 0,3194 y con un número de datos (N) de 5, con estos

valores se obtiene un valor paramétrico de AD de 0,267 y un Valor P de 0,512. Estos valores indican que los datos siguen una distribución normal.

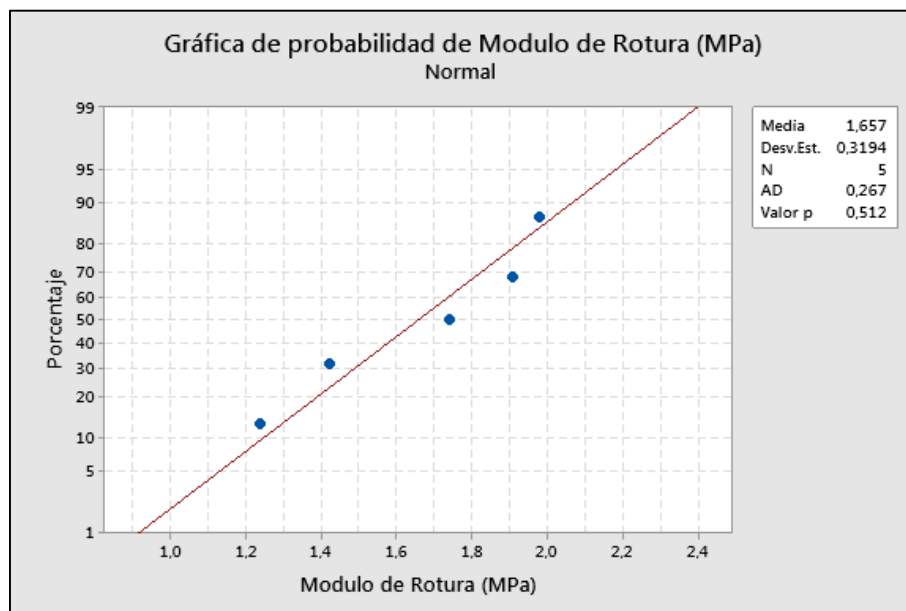


Gráfico 16. Probabilidad del módulo de rotura (MPa). Autores, (2020)

A partir de la gráfica de dispersión como se muestra en el *Gráfico 17*, se observa que el módulo de rotura respecto a la densidad, indican una relación lineal positiva, es decir, cuanto mayor sea la densidad, mayor será el módulo de rotura, lo cual concuerda con lo observado con los valores del esfuerzo, entonces entre más compacto sea el prototipo plástico, mayor será el módulo de rotura.

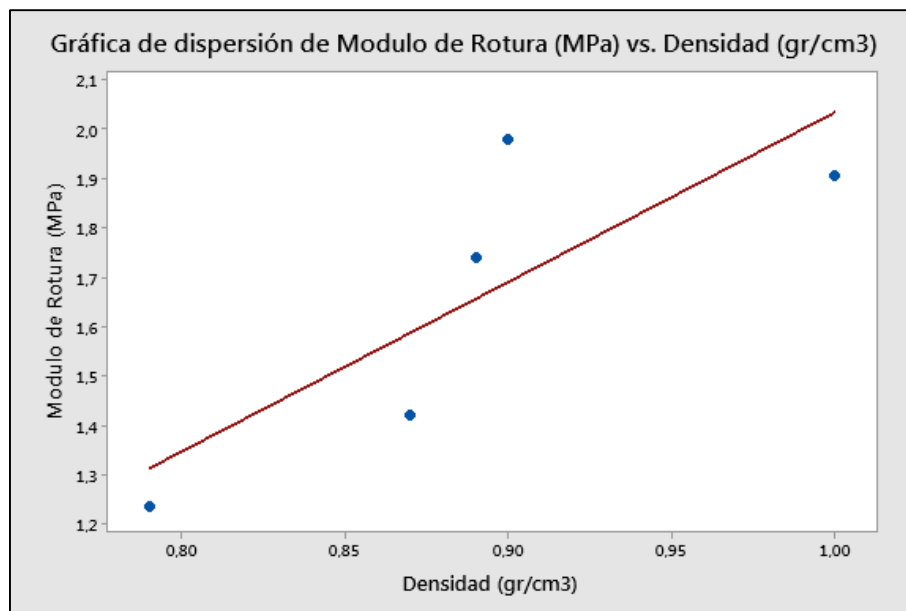


Gráfico 17. Dispersión del módulo de rotura (MPa) Vs. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>). Autores, (2020)

El cálculo del factor de correlación de Pearson se puede apreciar en el *Gráfico 18*, el valor del dicho factor es de 0,809 el más bajo de los coeficientes obtenidos en los diferentes ensayos, no obstante, este valor es aceptable y se puede decir que los valores tiene un comportamiento lineal positivo, aun no de manera constante. Y por ello a mayor densidad mayor será el módulo de rotura.

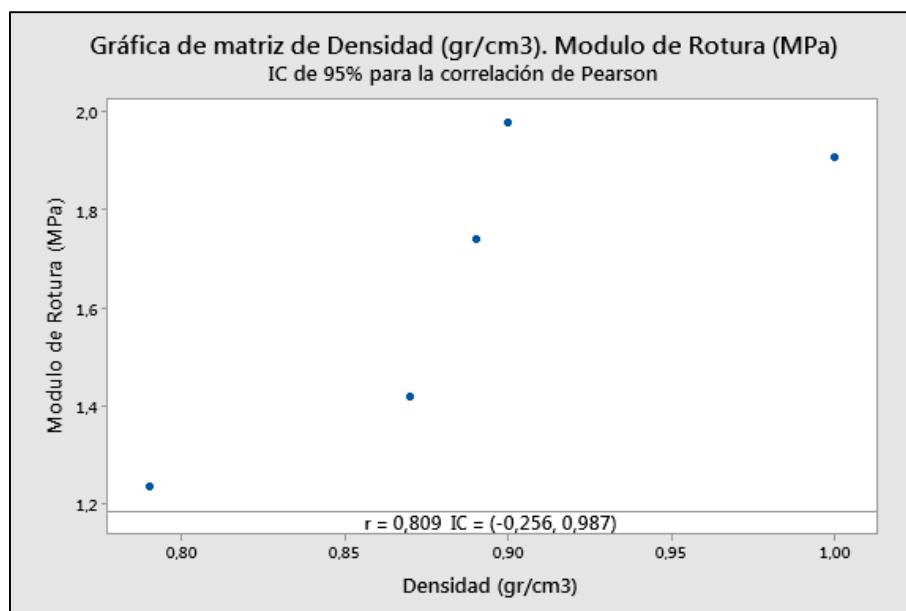


Gráfico 18. Matriz de densidad (gr/cm<sup>3</sup>) módulo de rotura (Mpa). Autores, (2020)

El análisis de valores atípicos se realizó en forma similar que con los demás ensayos, y se plantearon las diferentes hipótesis para el método como se indica en la Tabla 25, y obtuvieron los resultados de la prueba de Grubbs que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 25

*Prueba de valores atípicos: Módulo de rotura (MPa)*

<i>Hipótesis del Método</i>	
Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente: Autores, (2020)

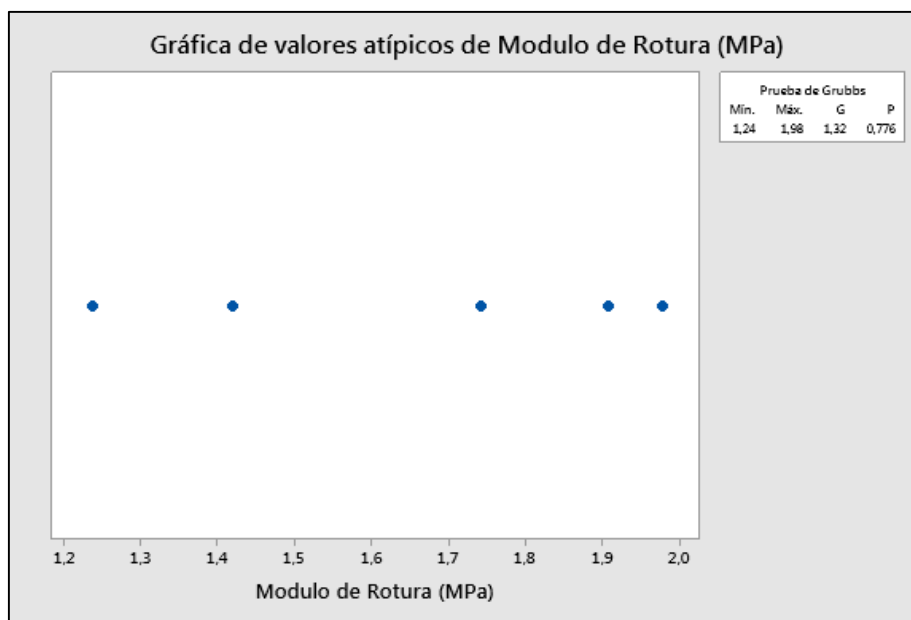
Tabla 26

*Prueba de Grubbs para el módulo de rotura*

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
Módulo de Rotura (MPa)	5	1,657	0,319	1,236	1,980	1,32	0,776

NOTA: No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%. Fuente: Autores, (2020)

En el *Gráfico 19*, se observa que valor de p es superior al valor de la significancia, razón por la cual se puede asumir que no existe ningún valor atípico, con lo cual también se puede asegurar que los datos del ensayo de flexión siguen una tendencia determinada.



*Gráfico 19.* Valores atípicos del módulo de rotura (MPa). Autores, (2020)

Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.



### **4.3 Evaluar la resistencia a la compresión de prismas en mampostería ensamblada con ladrillos de plástico de polietileno de alta densidad “PEAD”**

Siguiendo los lineamientos de la NTC, para el desarrollo del ensayo de resistencia a la compresión de prismas en el prototipo del ladrillo se utilizaron 5 muestras de los ladrillos de PEAD, en bloques de 2, para tal razón se utilizó el ensamblaje de caja y espiga, del diseño, para el desarrollo del ensayo se usó del siguiente equipo.

#### **4.3.1 Equipo y materiales.**

Prensa doble rango PC-160/ Pinzuar Ltda.

Soportes

Deformímetro análogo Jewled de sensibilidad 0.001 pulgadas

Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005”

Cronómetro

2 Láminas de acero de 320 x 160 x 25.4 mm

Nivel de mano

Flexómetro Lufkin 16”/ 5 m x 3/4”

Herramienta menor

Equipo para refrentado

10 Prototipos de ladrillos de PEAD

Yeso

Agua

En primera medida, para la construcción de los prismas se realizó sobre una superficie plana y a nivel. El prisma está compuesto por dos prototipos de PEAD, unidos mecánicamente por medio del sistema de ensamblaje de caja y espiga, del diseño del prototipo.

Luego de hacer el ensamble en los prismas, se debe medir la longitud y el ancho sobre cada una de las caras del prisma, superior, lateral derecha e izquierda e inferior. Las medidas se obtienen promediando cada una de las 4 medidas tomadas para cada dimensión longitud ancho y altura.

Después se realizó el refrentado en los puntos de carga de cada prisma con ladrillos de PEAD, para llevar a cabo este procedimiento fue necesario nivelar 2 perfiles, para agregarle la mezcla de yeso y agua. Como se muestra en la *Figura 49*.



*Figura 49.* Nivelación e instalación de perfiles para refrentado. Autores, (2020)

Posteriormente la mezcla de yeso y agua se esparce homogéneamente con ayuda de una llana metálica en las caras superior e inferior de las áreas de contacto con la máquina de compresión, como se muestra en la *Figura 50* y la *Figura 51*.

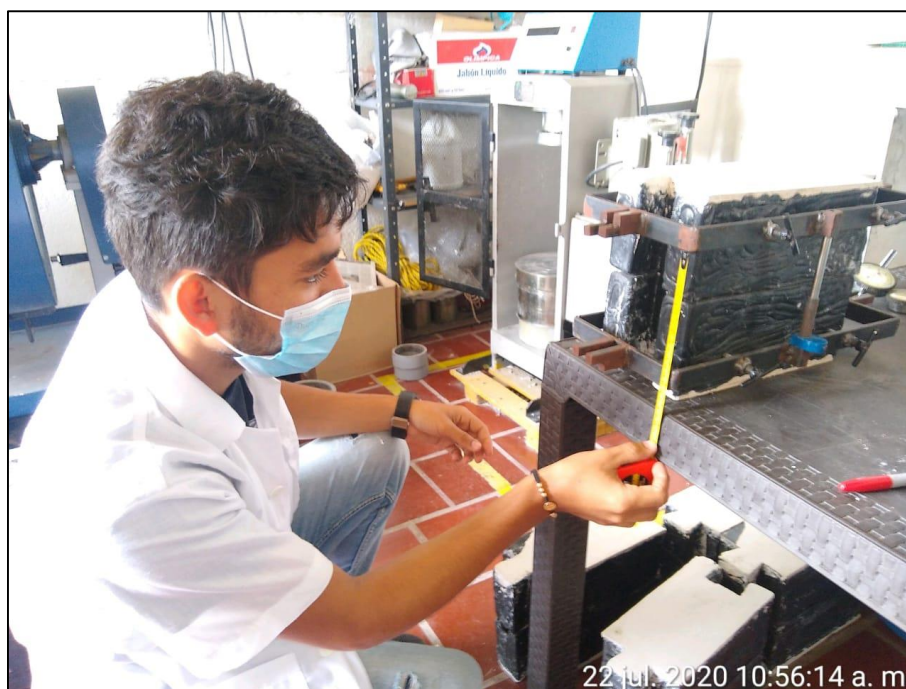


*Figura 50.* Refrentado de caras de área de contacto de carga del prisma. Autores, (2020)



*Figura 51.* Muestras de prismas de PEAD. Autores, (2020)

Los refrentados se deben hacer mínimo con dos horas de anticipación antes del ensayo, luego a la hora de realizar los ensayos en los prismas se le instala a cada espécimen un par de soportes que tienen como objeto sostener el deformímetro análogo Jewled, que se utilizó para realizar las diferentes mediciones y lecturas. Como se muestra en la *Figura 52* y la *Figura 53*.



*Figura 52.* Instalación de soportes de dispositivos de ensayo. Autores, (2020)



*Figura 53.* Instalación de deformímetro análogo. Autores, (2020)



Al momento de la ejecución de la carga, los prismas deben ubicarse en una posición de tal manera que la carga sea aplicada en la dirección como se usaran en servicio, los especímenes se centran bajo una lámina en acero de una pulgada de espesor, sobre la cual va ubicado la prensa doble rango PC-160/ Pinzuar. Y en el prisma con ayuda de los soportes el deformímetro análogo Jewled, como se muestra en la *Figura 54*.



*Figura 54.* Equipo de ensayo de los prismas de PEAD. Autores, (2020)

La velocidad de carga del ensayo a compresión en prismas debe tener una duración entre 60 segundos y 120 segundos, hasta que el prisma falle.




*Figura 55.* Aplicación de carga y cronometraje en ensayo de prismas de ladrillos de PEAD. Autores, (2020)



*Figura 56.* Falla por aplastamiento en Prisma de PEAD. Autores, (2020)

Luego de haber realizado, el ensayo de compresión de prismas a cada una de las 5 unidades de PEAD, el laboratorio “Suelos y concretos” que cuenta con equipos certificados y calibrados, hizo entrega de los resultados, como se muestra en la *Figura 57*.

COMPRESIÓN EN PRISMAS DE LADRILLOS DE PEAD																	
																	
NTC 3495																	
PROYECTO	ESTUDIO Y DISEÑO DE MUROS DE MAMPOSTERIA ENSAMBLADOS REUTILIZANDO EL PLASTICO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD "PEAD" COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCION DE MUROS DE CONFINAMIENTO																
LOCALIZACION	Ocaña, Norte de Santander																
MEZCLA	-																
SOLICITANTE:	-																
FECHA:	22- JULIO DE 2021																
LOCALIZACION	CILINDRO (Número)	MEZCLA (f.)	FECHAS		ASENT. (cm)	EDAD (días)	ALTO (mm)	ANCH O (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	PESO (gf)	CARG A (kN)	RESISTENCIA REAL			RESISTENCI A (Psi)	TIPO DE FALLA	OBSERVACIONES
OCAÑA	M1	-	-	JULIO 22-2021	----	-	285	142.00	40470.000	----	227.80	5.629	57.4	816	1531	-	
	M2	-	-	JULIO 22-2021	----	-	285	141.00	40185.000	----	312.50	7.777	79.3	128	1967	-	
	M3	-	-	JULIO 22-2022	----	-	285	142.00	40470.000	----	315.10	7.786	79.4	129	1969	-	
	M4	-	-	JULIO 22-2022	----	-	287	142.00	40754.000	----	292.60	7.180	73.2	1041	1848	-	
	M5	-	-	JULIO 22-2020	----	-	285	143.00	40755.000	----	303.30	7.442	75.9	1079	1901	-	
Observaciones:																	
Calle 27 # 7-50 Barrio Promesa de Dios, Ocaña N.S. Telefono (7) 562 59 88 Celular 310 320 2009.																	
suelosyconcretos2019@gmail.com																	

*Figura 57.* Resultado de ensayos de compresión en prismas de ladrillos de PEAD. Autores, (2020)

Luego de tener los valores de la resistencia a la compresión neta en prismas, se procedió, a realizar los ajustes por esbeltez y de acuerdo a los lineamientos de la NSR-10.

En primer lugar, se calcula la relación de altura/esbeltez del prisma realizado con ladrillos de PEAD, para determinar el factor de correlación de acuerdo a la *Figura 58*.

$a_m/e_m^A$	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

Figura 58.  $a_m/e_m$  = Relación entre la altura y la dimensión transversal menor (espesor) del murete. ICONTEC. Norma técnica colombiana 2003. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

Se verifica la relación  $a_m/e_m$  de los prismas compuestos por ladrillos de PEAD, si el valor  $a_m/e_m$  no se encuentran dentro de los rangos que se presentan en la Figura 58, se debe realizar el cálculo por medio de la interpolación lineal para determinar el factor de corrección correspondiente.

Por último, para determinar el valor de la resistencia a la compresión del prisma de PEAD se multiplica el valor neto por el factor de corrección para el prisma respectivo y de esa forma se halla el valor de la resistencia de prismas de PEAD ( $f'm$ ) experimentalmente, al promediar los valores de las diferentes muestras, como se presenta en la Tabla 27.

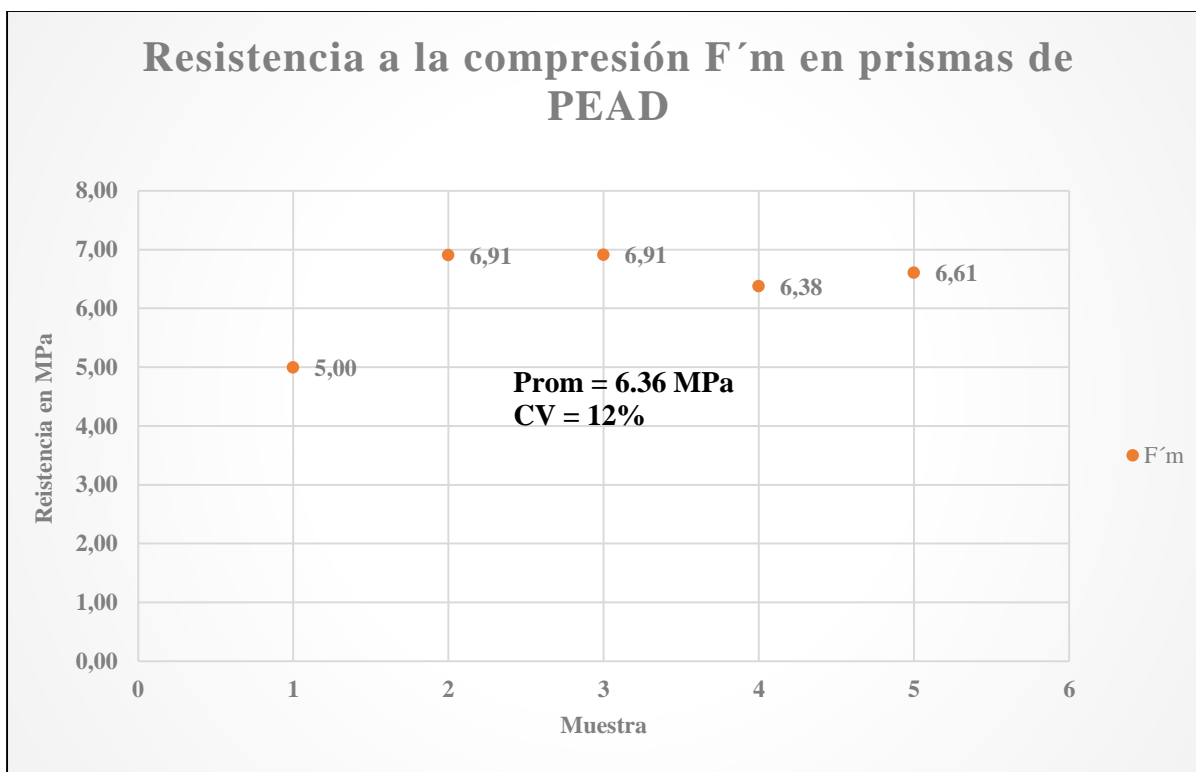
Tabla 27

*Resistencia a la compresión experimental de prismas de PEAD ( $F'm$ )*

Cilindro (Número)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Resistencia real MPa	Resistencia Corregida MPa	$F'm$ Prom. (Mpa)	Desv. Estandar ( $\Sigma$ )	Coef. De Variacion (Cv)
M1	40470	227.80	5.629	4.9984			
M2	40185	312.50	7.777	6.9055			
M3	40470	315.10	7.786	6.9139	6.36	0.8	12%
M4	40754	292.60	7.180	6.3755			
M5	40755	303.30	7.442	6.6085			

Fuente: Autores, (2020)





*Gráfico 20.* Resistencia a la compresión de prismas de PEAD ( $F'm$ ). Autores, (2020)

De acuerdo a la Tabla 27 y el *Gráfico 20*, la resistencia a la compresión promedio, para los prismas desarrollados con los prototipos de ladrillos de PEAD obtuvo un valor promedio  $f'm$  de 6.36 Mpa, con un coeficiente de variación de un 12%, los que nos indica que las muestras poseen un alto grado representatividad.

Debido a que los ensayos existentes para la compresión de prismas están diseñados para elementos frágiles “explosivos” y no dúctiles “elásticos” los prismas no llegaron a la falla, simplemente se deformaron, pero al estar la carga limitada por el parámetro del tiempo, la carga máxima está representada, por aquella registrada a los 120 segundos de iniciado el ensayo.

Por otro lado, es importante mencionar que al estar el prisma de PEAD, sin uso de mortero, no hubo la necesidad de realizar curado de los prismas y tampoco se halló la resistencia en función de la calidad de los materiales, en ese orden de ideas se determinó la resistencia de prismas teniendo en cuenta, el uso del criterio experimental de la NSR-10. Es decir, se halló según el criterio que estima que cuando el número de prismas ensayados sea inferior a 10 pero no menor a 3,  $f'_m$  se puede tomar como el 75 % del valor promedio de los ensayos.

Los valores de la resistencia neta, la resistencia ajustada por factores de corrección de esbeltez y la del criterio por cantidad de muestras de la NSR-10 se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28

*Relación de resistencias de prismas de PEAD*

Cilindro (Número)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Resistencia Real MPa	F'M MPa	Resistencia Nsr-10 MPa
M1	40470	227.80	5.629	5.00	3.75
M2	40185	312.50	7.777	6.91	5.18
M3	40470	315.10	7.786	6.91	5.19
M4	40754	292.60	7.180	6.38	4.78
M5	40755	303.30	7.442	6.61	4.96

Fuente: Autores, (2020)

La Tabla 28, presenta los valores para las diferentes resistencias, de donde se puede inferir que la resistencia neta fue en promedio de 7.16 MPa, la resistencia del prisma corregida, fue en promedio de 6.36 MPa y la resistencia según el criterio de la NSR-10 fue en promedio de 4.77 MPa, todos los valores con un coeficiente de variación del 12% por lo tanto es una muestra altamente representativa, gráficamente se puede observar en el *Gráfico 21*.

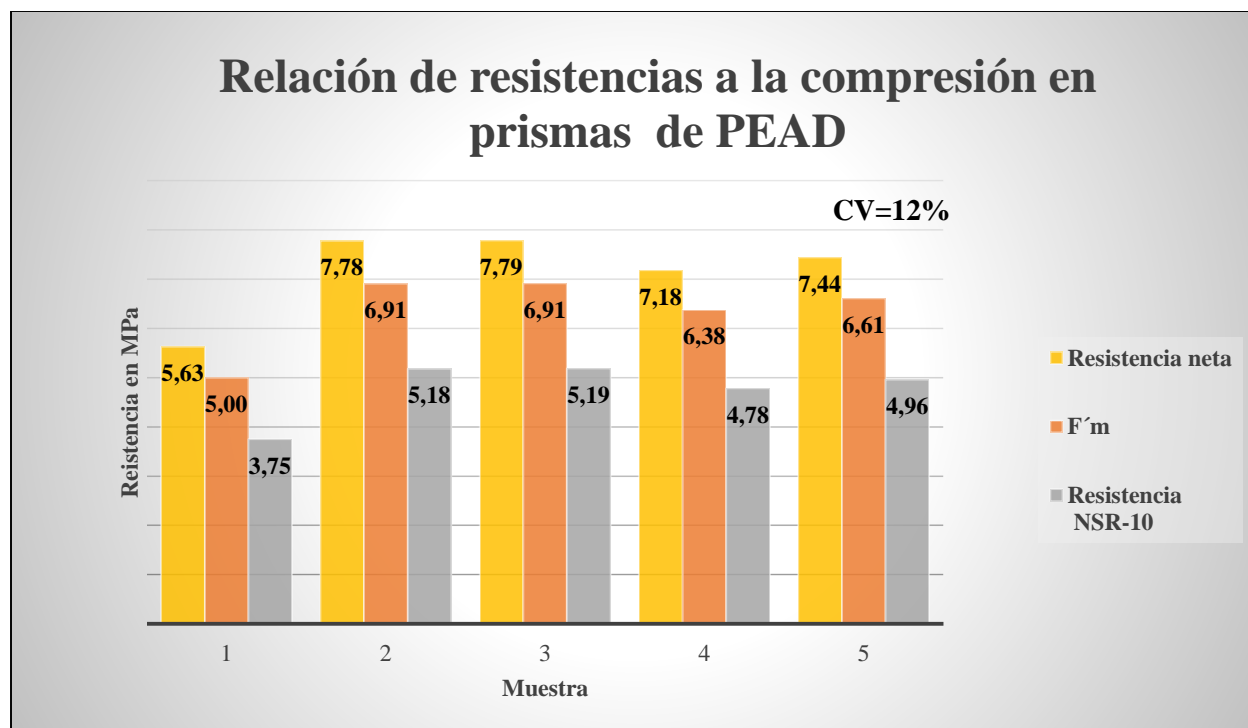


Gráfico 21. Relación de Resistencias en prismas de PEAD. Autores, (2020)

Por otro lado, como se indica en el Gráfico 22, se representó los valores de (Esfuerzo a compresión Vs Tiempo) para los diferentes prismas de PEAD, ensayados desde M1 hasta M5.

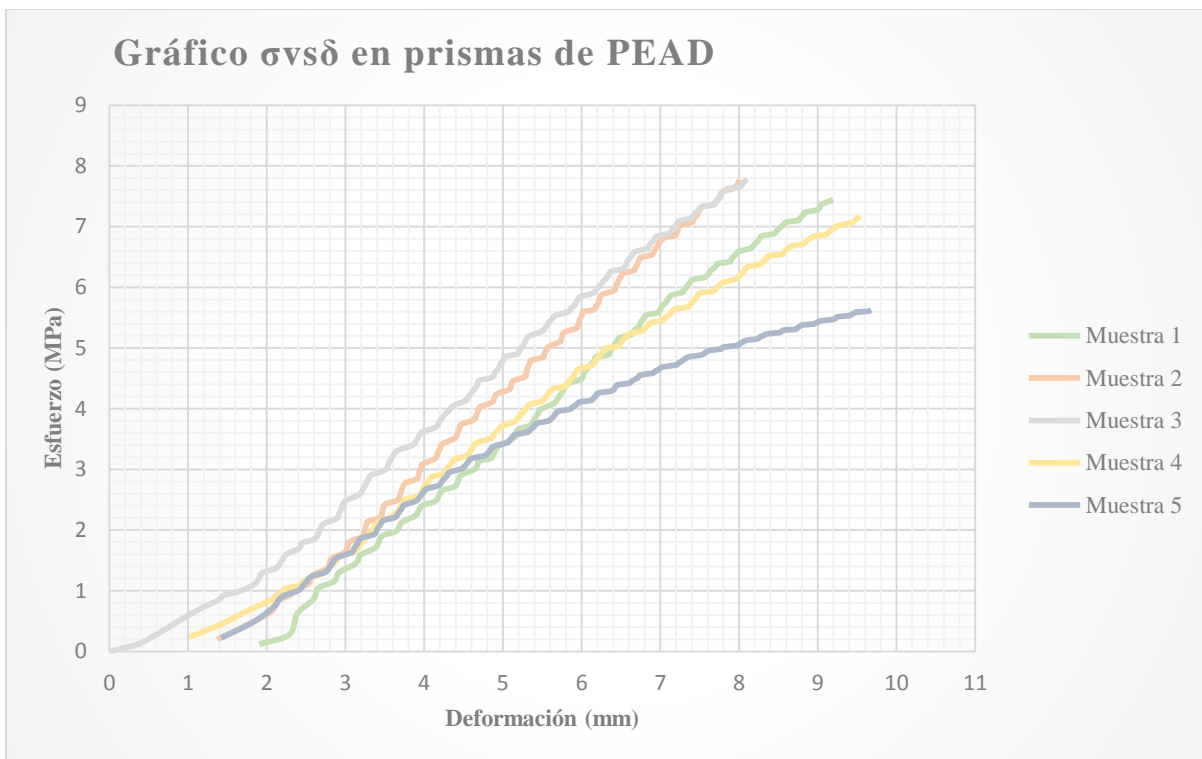


Gráfico 22. Esfuerzo a compresión Vs Deformación. Autores, (2020)

En el Gráfico 22 se puede observar claramente que la línea de esfuerzo-deformación continua de forma ascendente, por lo tanto, se puede aseverar que el elemento no fallo y se considera un elemento dúctil elástico.

El análisis estadístico se hizo con base de la resistencia neta, tomando en cuenta que las demás resistencias se calcularon con base a esta, por medio de factores de corrección, se realizó una prueba de Grubbs, para determinar si existe un valor atípico, para ello se compara el valor  $p$  con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como  $\alpha$  o alfa) de 0,05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0,05 indica un riesgo de 5% de concluir que existe un valor atípico cuando no hay un valor atípico real.

El método consiste en plantear las hipótesis que se describen en la Tabla 29, y posteriormente se realiza el cálculo de los factores que se muestran en la Tabla 30. Existen dos escenarios posibles, el primero es que el Valor  $p \leq \alpha$ , lo cual indicaría que existe un valor atípico (Rechaza  $H_0$ ). Si el valor  $p$  es menor que o igual al nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que existe un valor atípico. El otro escenario es que Valor  $p > \alpha$ , en este caso no se puede concluir que existe un valor atípico (No puede rechazar  $H_0$ ) Si el valor  $p$  es mayor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, porque no cuenta con suficiente evidencia para concluir que existe un valor atípico.

Tabla 29

*Prueba de valores atípicos: Módulo de rotura (MPa)*

<i>Hipótesis del Método</i>	
Hipótesis nula	Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal
Hipótesis alterna	El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Fuente: Autores, (2020)

Tabla 30

*Prueba de Grubbs para el módulo de rotura*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>G</b>	<b>P</b>
Esfuerzo en prisma (MPa)	5	7,162	0,894	5,628	7,786	1,72	0,049

NOTA: No hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%. Fuente: Autores, (2020)

En el *Gráfico 23* se puede apreciar los datos en forma gráfica, con lo cual se puede asegurar que el valor de  $p$  es menor que el nivel de significancia, y por ende se pueden evidenciar la presencia de un valor atípico, que puede generar dudas o incertidumbres en el análisis. Por esta

razón se debe eliminar el dato atípico para que el valor de p este por encima del nivel de significancia.

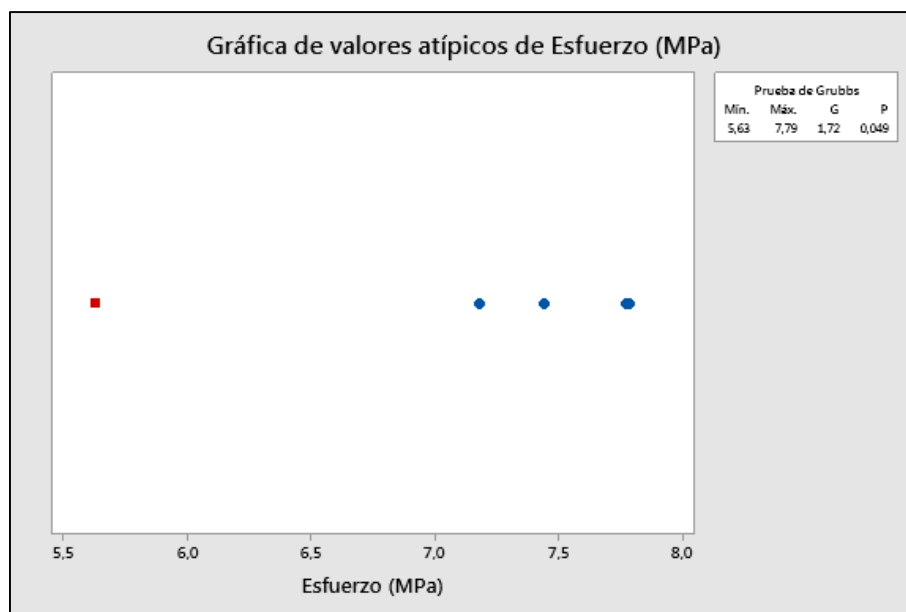


Gráfico 23. Valores atípicos en el esfuerzo a la compresión en prismas (MPa). Autores, (2020)

En el Gráfico 24 se muestra la gráfica de probabilidad para el Esfuerzo, se puede observar que los datos tienen una media de 7,162 MPa, con una desviación estándar de 0,8942, y con un número de datos (N) de 5, con estos valores se obtiene un valor paramétrico de AD de 0,575 y un Valor P de 0,063. A partir de estos valores, y considerando que el valor de P es mayor que el valor de significancia de 0,05 la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir no se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal.

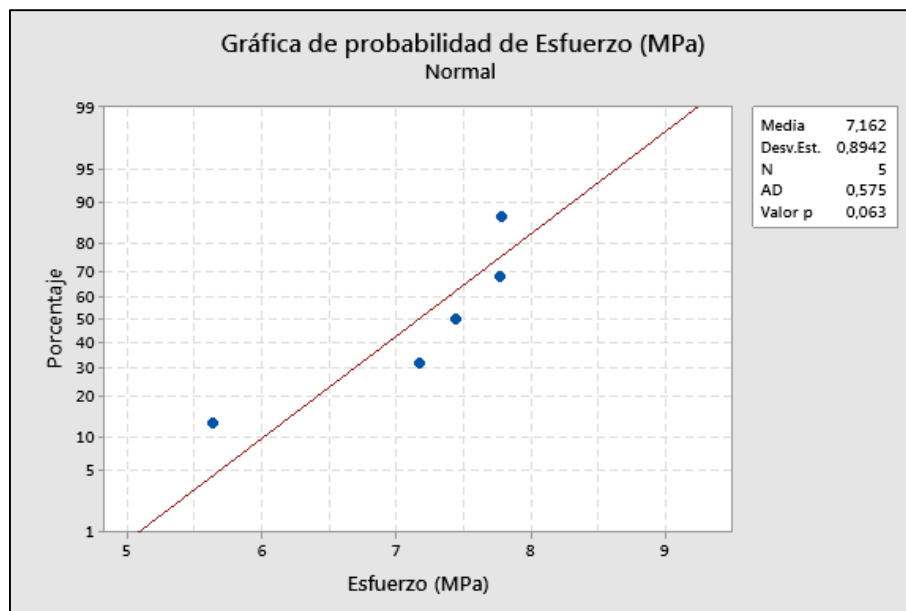


Gráfico 24. Probabilidad del esfuerzo en prismas (MPa). Autores, (2020)

Adicionalmente se realiza un análisis de la dispersión como se aprecia en el Gráfico 25 esto con el fin de determinar cuál es la relación de modelo que mejor se ajusta a los datos y evaluar la fuerza de la relación. Adicionalmente también mediante este análisis se puede observar la presencia de algunos valores atípicos. De los resultados del Esfuerzo respecto una variable independiente como la densidad, se observa que no hay valores atípicos, y que estos describen una relación lineal positiva, es decir, cuanto mayor sea la densidad, mayor será el esfuerzo, lo cual tiene sentido si consideramos que una mayor densidad se logra mediante una mayor energía de compactación en el proceso de fabricación, y por ende se logra prototipos más compactos, sin vacíos y de mayor resistencia.

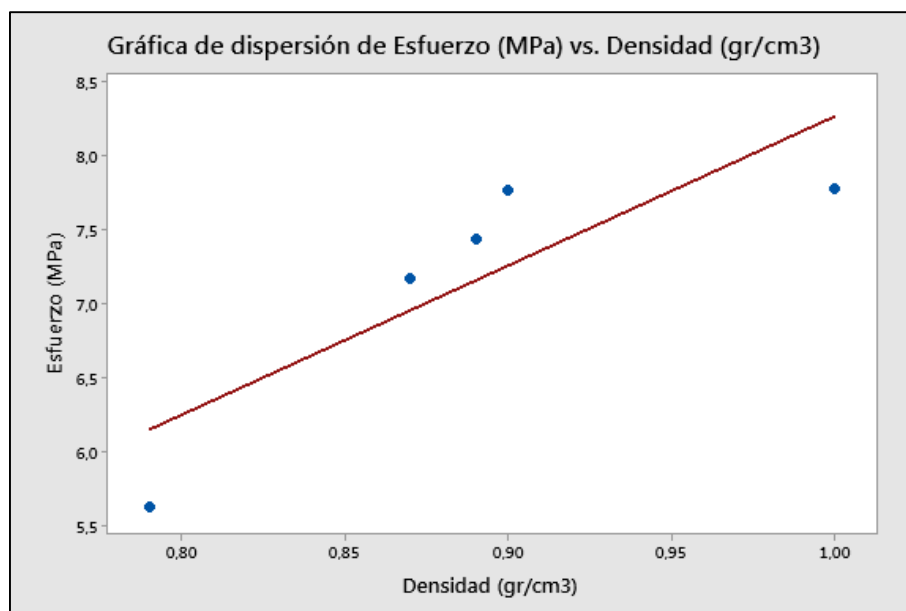


Gráfico 25. Dispersión del esfuerzo en prismas (MPa) Vs. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>). Autores, (2020)

Dado que los datos parecen ajustarse en forma adecuada a la línea de correlación se optó por calcular este factor de correlación. Un coeficiente de correlación mide el grado en que dos variables tienden a cambiar al mismo tiempo, el coeficiente describe tanto la fuerza como la dirección de la relación. En este caso se hizo el cálculo de la correlación de Pearson la cual evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. Una relación es lineal cuando un cambio en una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra variable. Como se aprecia en el Gráfico 26, el valor del coeficiente de correlación de Pearson es de 0,847 valor muy cercano a uno, e con ello podemos evidenciar que cuando la densidad aumenta también aumenta el esfuerzo en una medida casi constante.



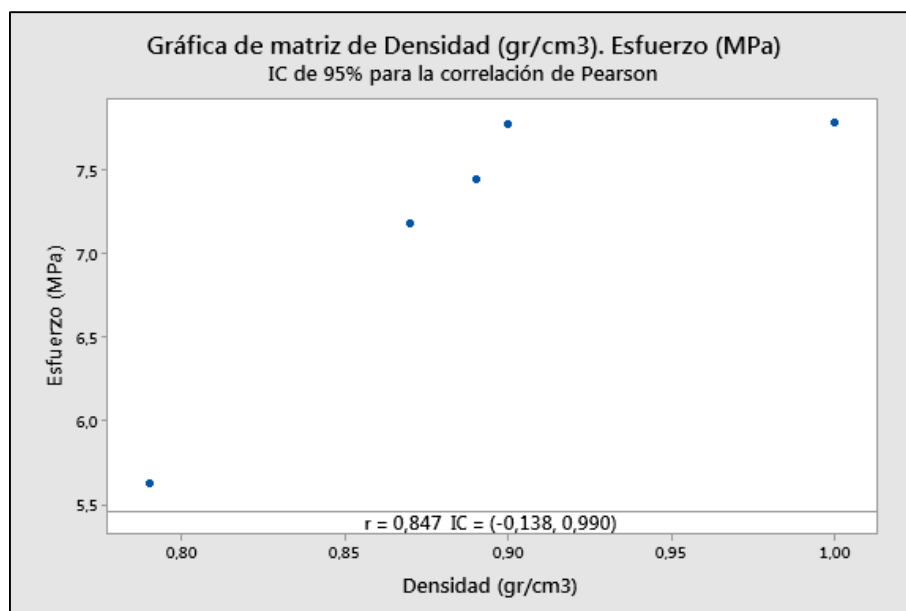


Gráfico 26. Matriz de densidad (gr/cm<sup>3</sup>). Esfuerzo en prismas de PEAD (MPa). Autores, (2020)

. Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.

#### 4.4 Contrastar las propiedades del prototipo de Ladrillo de PEAD, por medio de una simulación en el software Ansys.

Ya teniendo la modelación del prototipo de ladrillos en el software SolidWorks, se procedió a realizar la simulación por medio del software Ansys, con ánimo de establecer el comportamiento del prototipo de PEAD al aplicarle una carga paralela y uniforme, como si se le realizara un ensayo de compresión y observar deformación y puntos de estrés en el elemento. Después del modelado en SolidWorks, para realizar la simulación en el software ANSYS se procede a guardar la pieza como un archivo de extensión STEP, el cual es compatible con el software Ansys, como se muestra en la *Figura 59*.

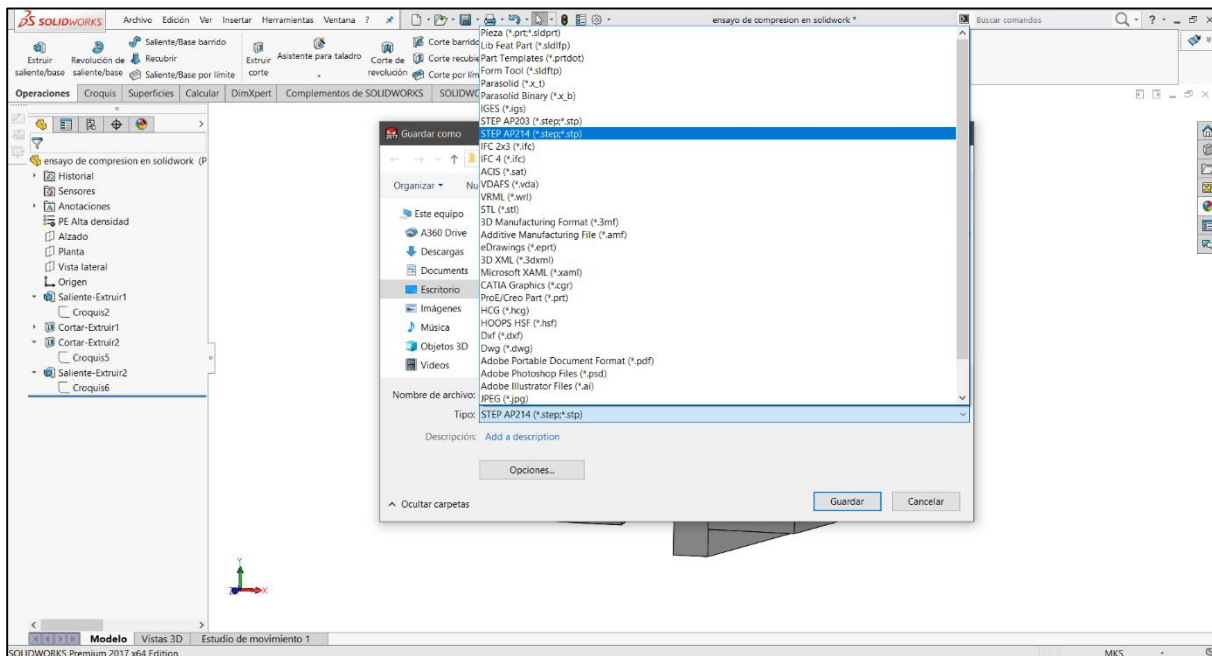
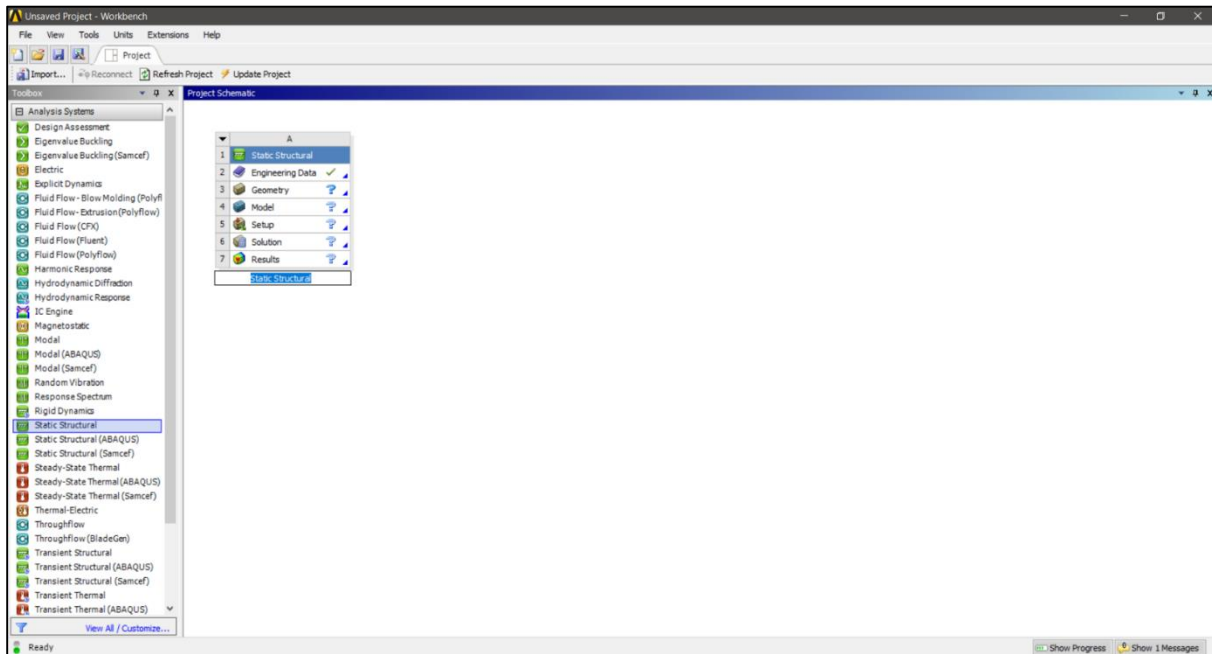


Figura 59. Almacenado en extensión STEP. Autores, (2020)

Luego en el software ANSYS se procede a seleccionar el tipo de análisis que se desea realizar, en este caso un análisis estático estructural. Como se muestra en la *Figura 60*.



*Figura 60.* Configuración de análisis estático estructural. Autores, (2020)

Después en la interfaz, en la casilla de engineering Data agregamos un material llamado polietileno de alta densidad y le damos sus respectivas propiedades como la densidad, Modulo de Young, entre otras, mostradas en los recuadros amarillos. Estas propiedades fueron sacadas de la página <http://www.matweb.com/> pues se decidió realizar la modelación con propiedades ya establecidas para obtener un resultado más cercano a un prototipo idealizado o industrial y se presenta en la *Figura 61*.


Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.941 g/cc	0.0340 lb/in <sup>3</sup>	ASTM D1505
Environmental Stress Crack Resistance	40 hour	40 hour	10% Igepal, F50; ASTM D1693A
	560 hour	560 hour	100% Igepal, F50; ASTM D1693A
Melt Flow	2.0 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 190 °C	2.0 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 374 °F	mod; ASTM D1238
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Yield	19.3 MPa	2800 psi	2.0 in/min; ASTM D638
Elongation at Yield	10 %	10 %	2.0 in/min; ASTM D638
Flexural Modulus, 1% Secant	896 MPa	130000 psi	ASTM D790B
Impact Test 	92.2 J @Thickness 3.17 mm, Temperature -40.0 °C	68.0 ft-lb @Thickness 0.125 in, Temperature -40.0 °F	ARM
	256 J @Thickness 6.35 mm, Temperature -40.0 °C	190 ft-lb @Thickness 0.250 in, Temperature -40.0 °F	ARM
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Melting Point	129 °C	264 °F	Peak; ASTM D3418
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	57.2 °C	135 °F	unannealed; ASTM D648
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	37.8 °C	100 °F	unannealed; ASTM D648

Figura 61. Propiedades del polietileno de alta densidad PEAD (HDPE). Disponible en:  
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1317af8ed8f0417fa426f4a88da2f48f&ckck=1>

Las propiedades más representativas del PEAD, introducidas en el software se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

*Principales propiedades utilizadas en la simulación en Ansys*

Propiedades Físicas del PEAD	Simulación	Hallada en laboratorio
Densidad	0.941 gr/cm <sup>3</sup>	0.89 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción de agua	<0.1%	< 3%
Contracción	1.5 – 3%	--
Resistencia a la tensión	19.3 MPa	--
Módulo de elasticidad	896 MPa	815 MPa

Fuente: Autores, (2020)

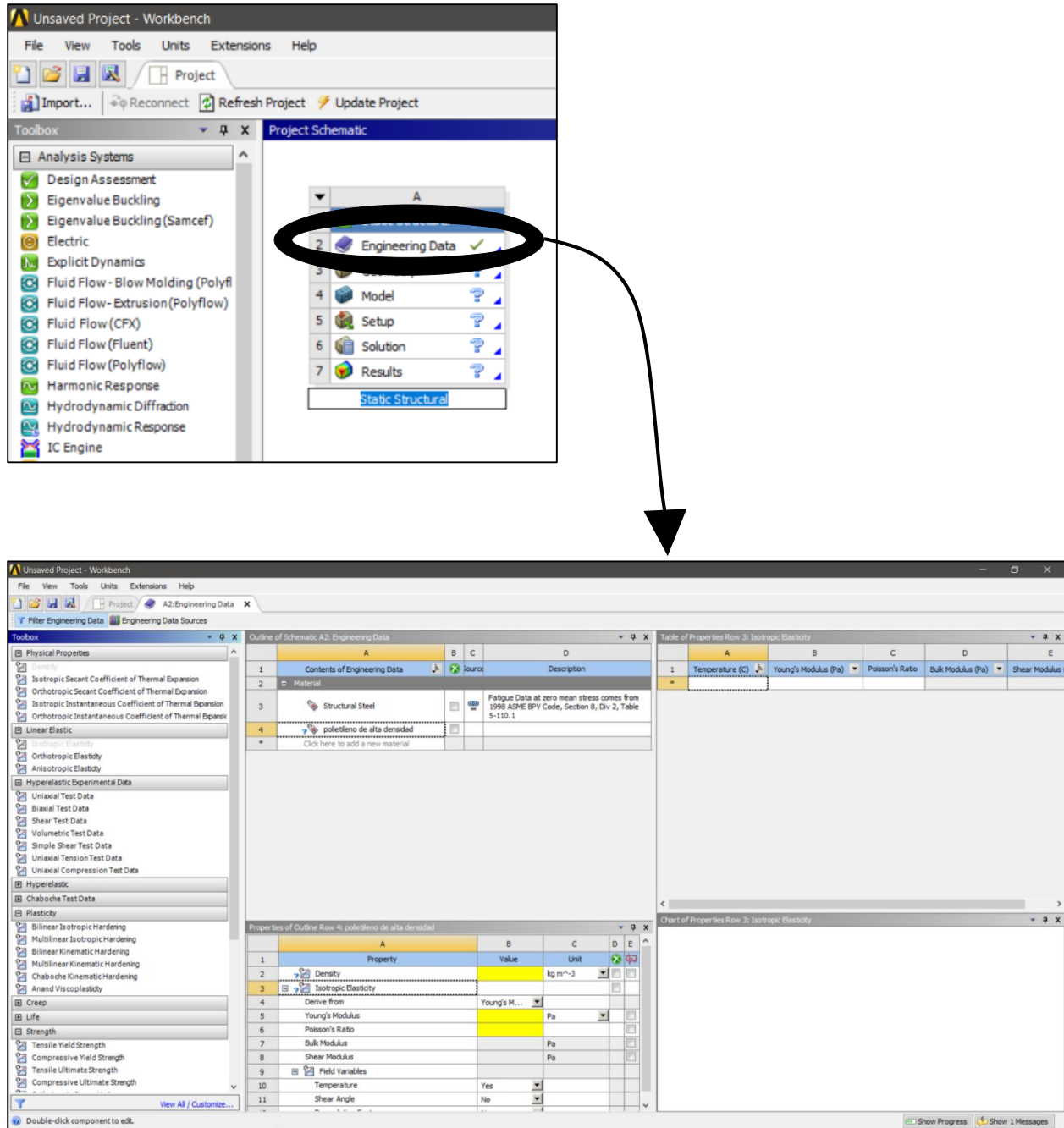


Figura 62. Ingreso de las propiedades del material al software Ansys. Autores, (2020)

Dadas las propiedades, se importó la geometría realizada en SolidWorks guardada como un archivo de extensión STEP, como se muestra en la Figura 63 y la Figura 64

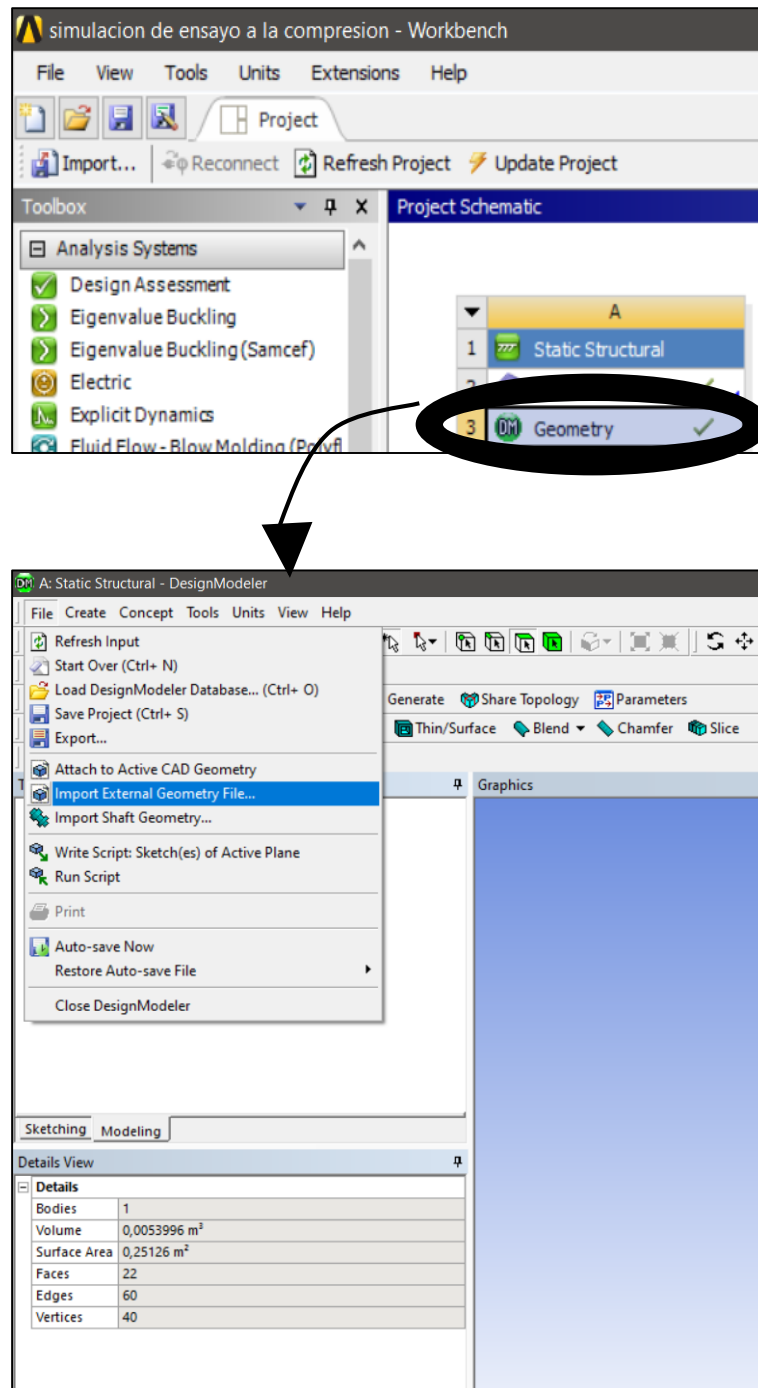


Figura 63. Importación de geometría desde el software SolidWorks al software Ansys. Autores, (2020)

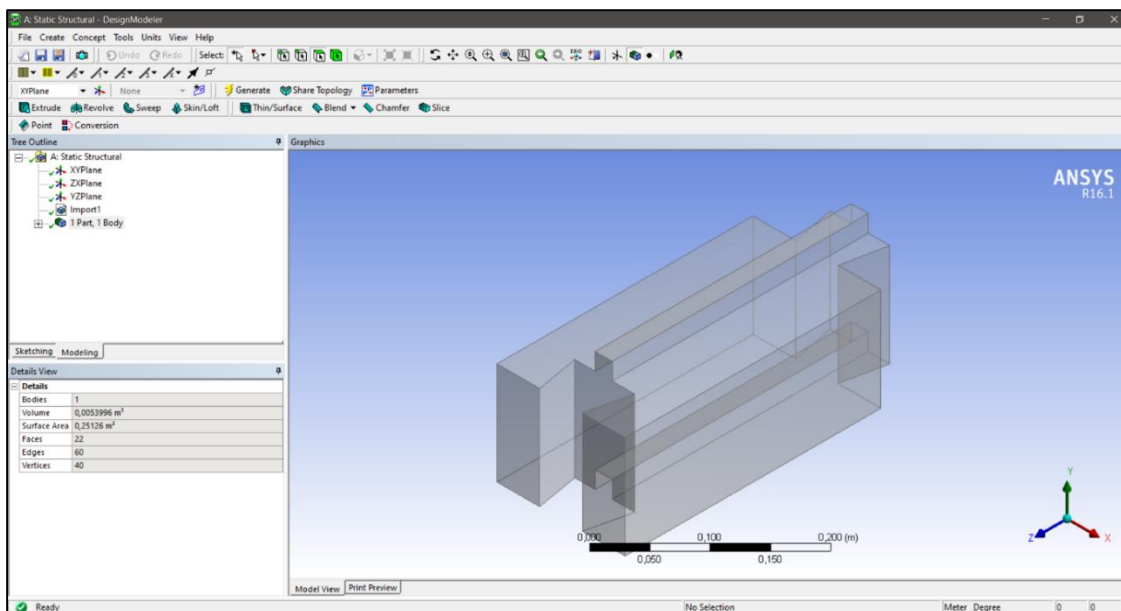


Figura 64. Modelo definido en Ansys. Autores, (2020)

Luego de tener la geometría definida, y antes de realizar el mallado de la pieza, se dirigió a la parte de la interfaz donde dice geometría, se selecciona el material que creamos anteriormente, como se muestra en la Figura 65

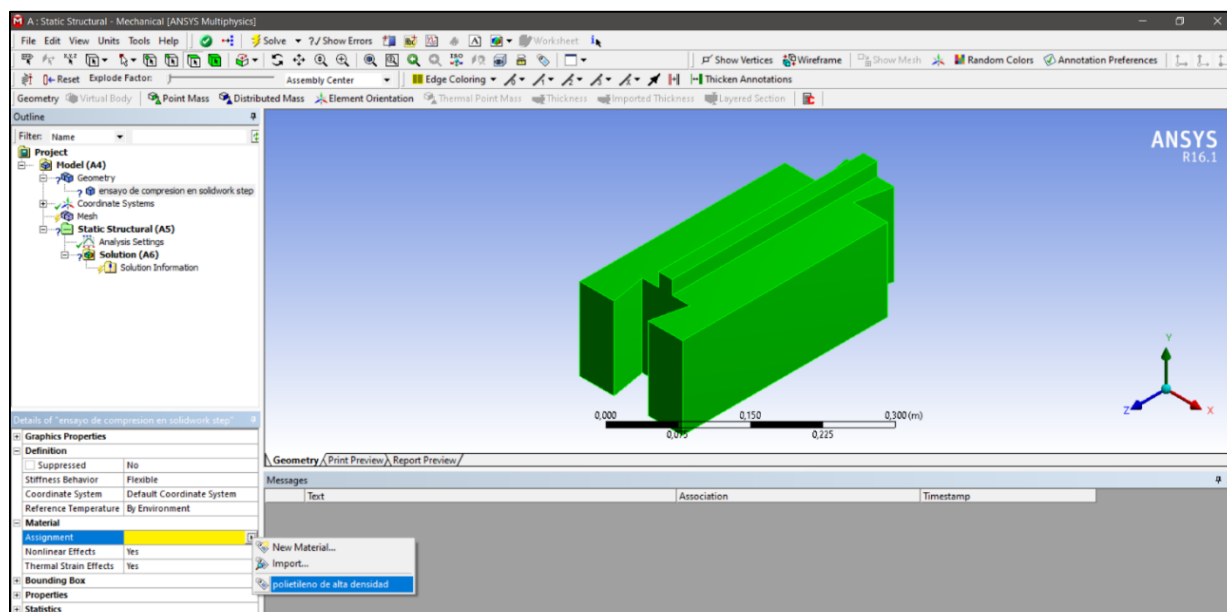


Figura 65. Asignación del material al Modelo definido en Ansys. Autores, (2020)

Luego se realizó el mallado de la pieza, el cual consiste en analizar que sucede en cada nodo de la malla.

En la interfaz se direcciona al comando Mesh, después se dio los parámetros como el tamaño de elemento de la malla que sea fino, que realice las transiciones lentas. Después de dados los parámetros se selecciona la casilla solve. Tal como se muestra en la Figura 66 y la Figura 67.

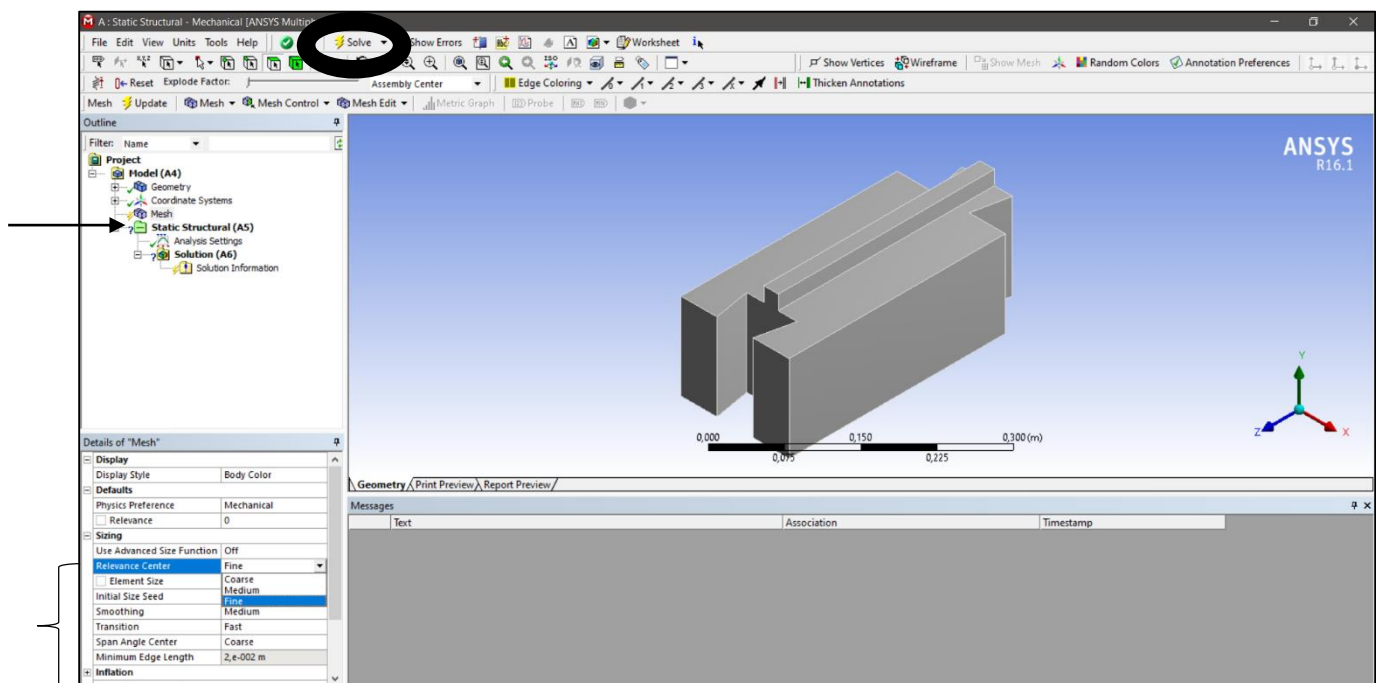


Figura 66. Procedimiento de mallado del Modelo definido en Ansys. Autores, (2020)



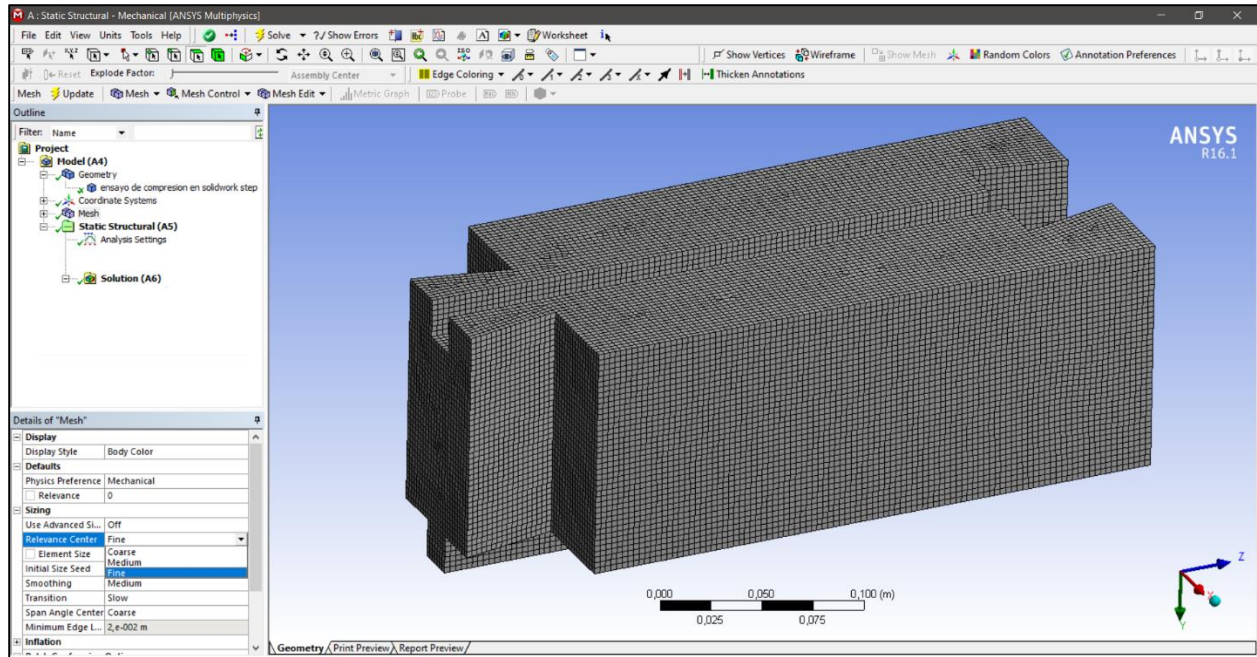


Figura 67. Modelo con la malla definida en Ansys. Autores, (2020)

Después de tener la pieza con su respectiva malla, procedemos a definir la superficie que no se va a mover en ningún sentido (soporte fijo), para ello damos click en Fixed Support y después seleccionamos la superficie que estará fija, como se ve en la Figura 68.

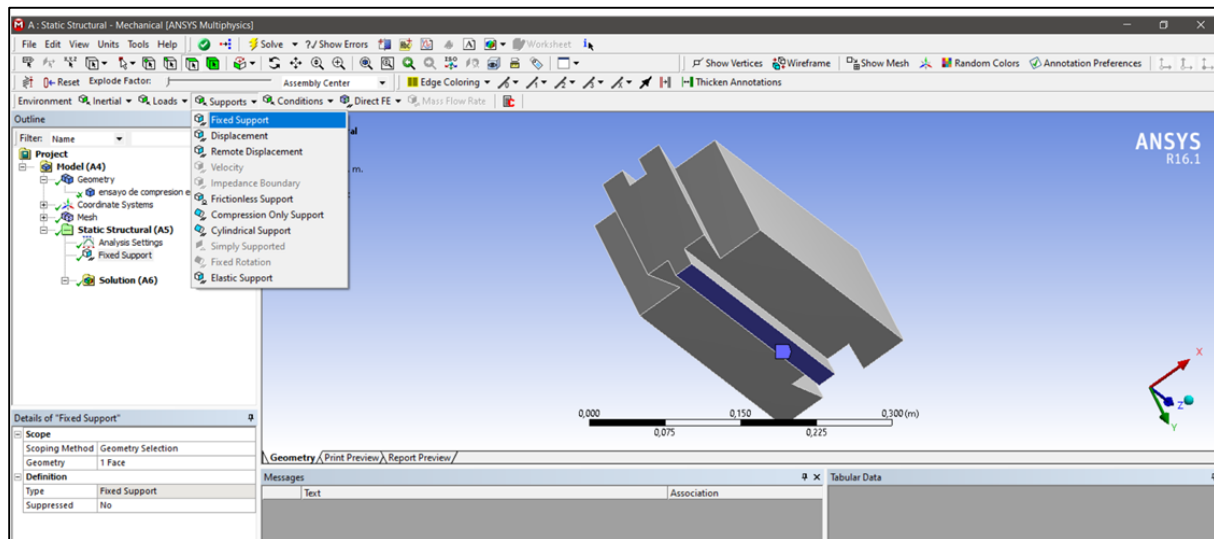
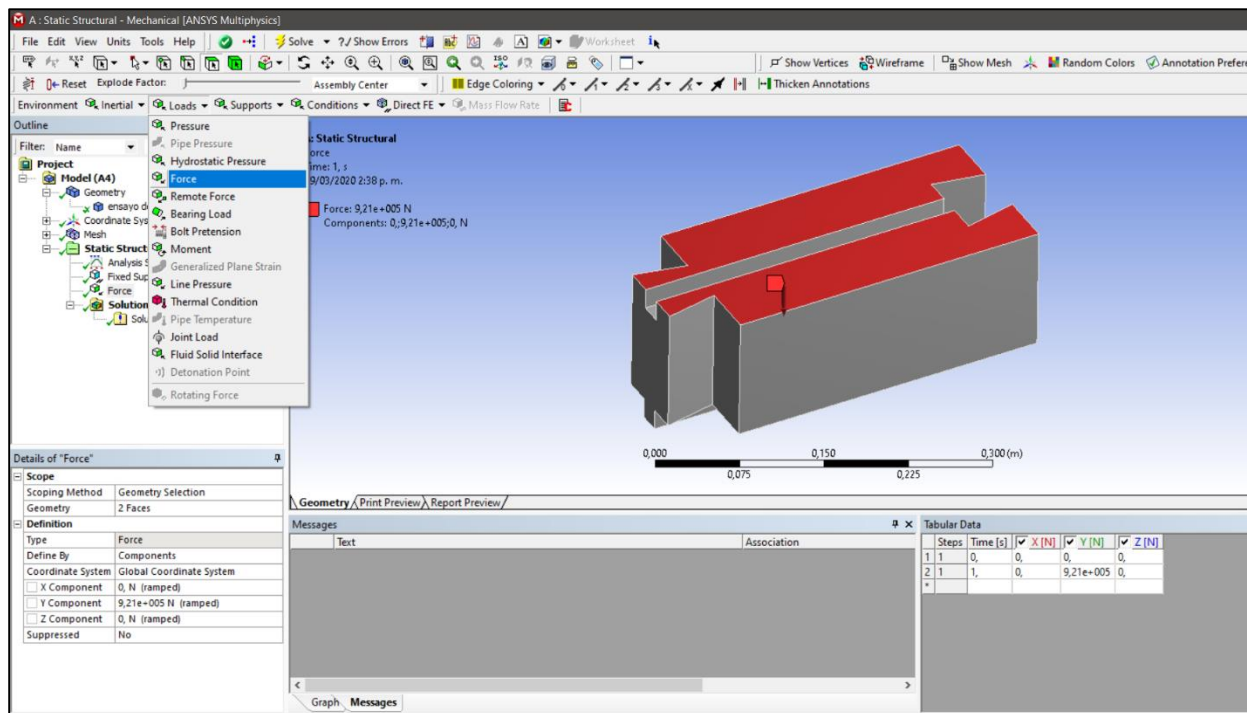


Figura 68. Fijación de superficie de contacto. Autores, (2020)

Después de definido el soporte de la pieza, se definió la magnitud y dirección de la fuerza que se le va a ejercer y en que superficie. Para ello en la interfaz se da click en la casilla Force, después se seleccionó la superficie y después se ingresaron los parámetros de magnitud y dirección, como se ve en la *Figura 69*. Para la simulación se aplicó una fuerza de 921 KN.



*Figura 69.* Definición de magnitud y dirección de la fuerza de aplicación. Autores, (2020)

Ya definido el soporte y la fuerza, se indicó al software, cuales resultados deseamos observar, para el caso particular se decidió escoger la deformación total, el esfuerzo equivalente, entre otros. Para ello se seleccionó los análisis que deseamos que realice el software. Como se ve en la *Figura 70*.

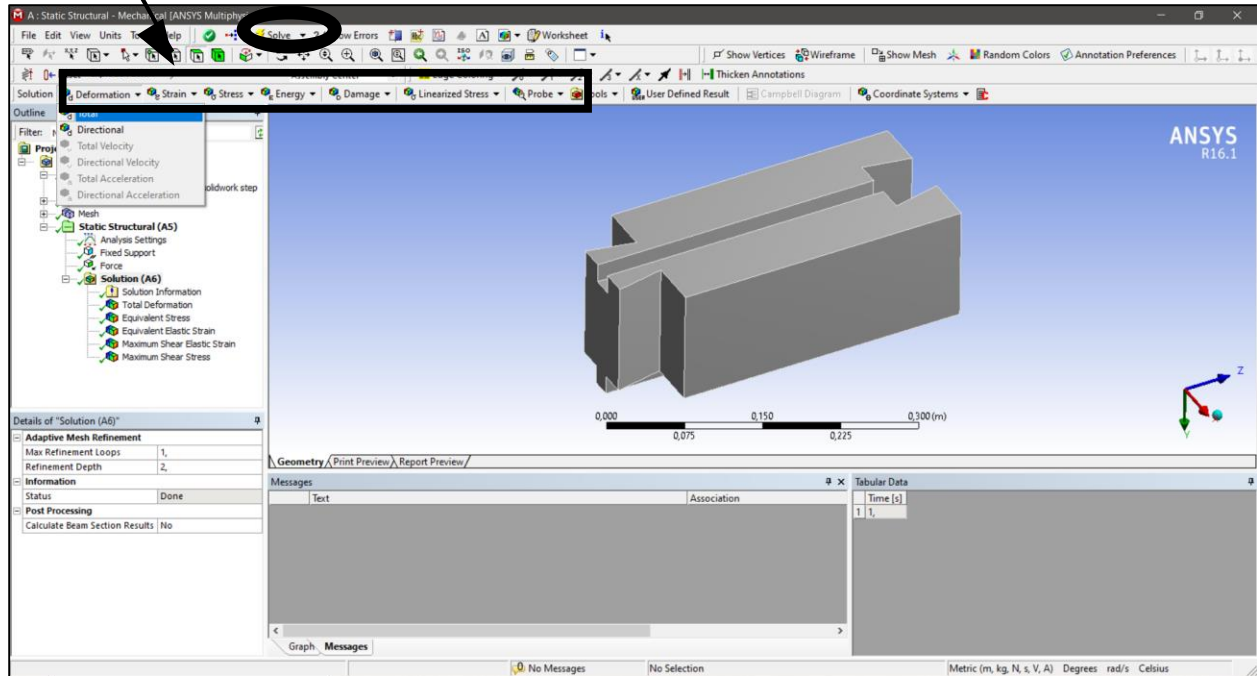


Figura 70. Definición de análisis a realizar. Autores, (2020)

Después de seleccionar los análisis requeridos, se da click en la casilla del interfaz “solve” y luego se espera mientras se procesan los resultados. Para ver los resultados de cada análisis, seleccionamos en la interfaz del software, cual propiedad deseamos observar.

Los resultados de la modelación se pueden ver gráficamente en la *Figura 71*.

El software luego del modelado, presenta un reporte que nos permite verificar cada uno de los resultados, con los valores obtenidos en el laboratorio.

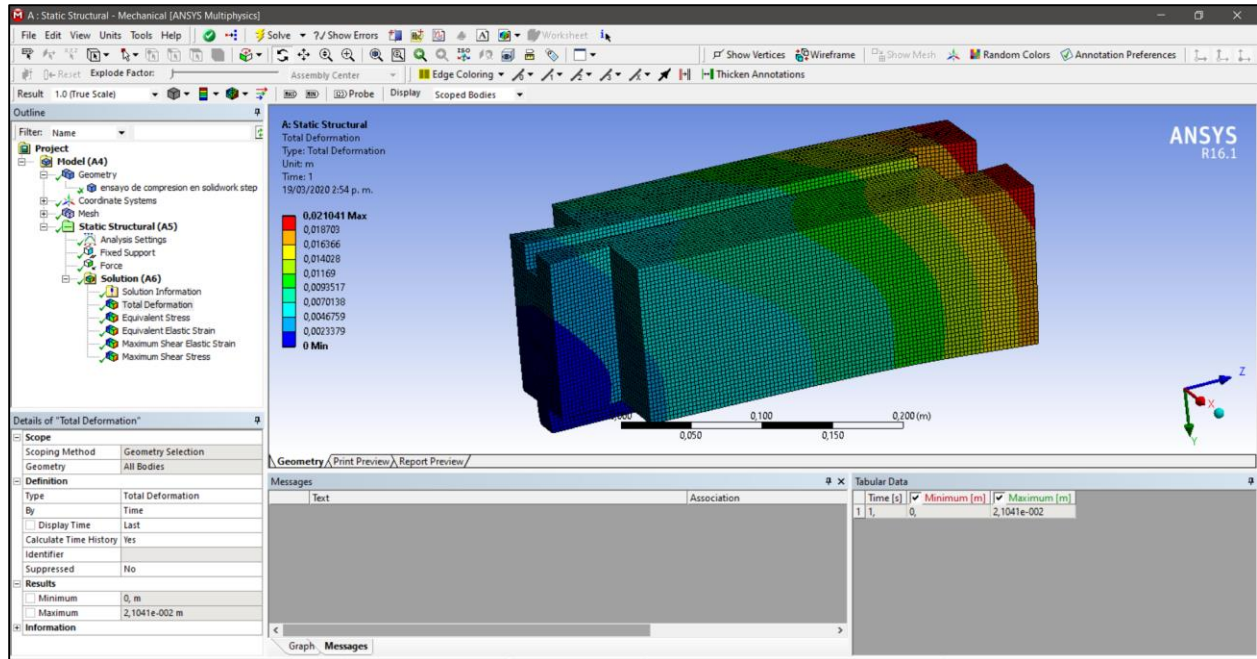


Figura 71. Resultados de la modelación del prototipo de PEAD en Ansys. Autores, (2020)

Los resultados de la simulación se pueden observar en el **apéndice B**. En el cual se muestra aspectos como unidades, modelo, análisis realizado y cada una de las características del elemento.

#### **4.5 Comparar la resistencia al corte de los muros ensamblados con ladrillos de PEAD por medio de ensayos de tracción diagonal basados en la normativa ASTM E 519 – 078.**

De acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM E 519 – 078 se utilizaron 3 muestras sin refuerzo con dimensiones no menores a 1.20 \* 120 metros; en los ensayos de tracción diagonal se hizo uso de los siguientes materiales y equipo.

##### **4.5.1. Equipo y materiales**

Multiplexor Pinzuar Ltda. Serie A 100

Computador portátil HP

Equipo de ensayo para tracción diagonal

Gato hidráulico de capacidad 20 toneladas

LVDT (100, 25, 50-16 y 50-17)

Flexómetro

Carreta

Nivel de mano

Plomo

Alicate

Porra

Porra de goma

Pulidora

Pistola de silicona

Escaleras de tijera

120 ladrillos de PEAD

Sierra manual

Disco de corte

Barras de silicona

#### 4.5.2 Procedimiento

Inicialmente para la construcción de los muretes se debe verificar la disponibilidad de todos los materiales y equipos necesarios para el ensayo, al iniciar la construcción de los muros fue necesario fragmentar algunos ladrillos por mitades como se muestra en la *Figura 72*. Luego se colocó la primera hilada de ladrillos de PEAD en el suelo y se verificó que se encontrara perfectamente nivelada y aplomada como se aprecia en la *Figura 73*.



*Figura 72.* Corte de ladrillos de PEAD con la sierra. Autores del proyecto, 2020.





*Figura 73.* Colocación y nivelación de la primea hilada. Autores del proyecto, 2020.

Después de realizado los cortes necesarios en los ladrillos de PEAD, se procedió a ensamblar cada murete, se niveló y se aplomó de manera continua, hasta cumplir con la altura establecida por la normatividad, de tal manera se finalizó cada uno de los muretes de ensayo, como se observa en la *Figura 74*.



*Figura 74.* Muro terminado y nivelado. Autores del proyecto, 2020.

Al culminar la elaboración de los muretes fue necesario trazar unas diagonales y se midió cada ubicación de los soportes donde se colocaron los LVDT, tal como se observa en la *Figura 75*.



*Figura 75.* Trazado y medición de diagonales en el muro. Autores del proyecto, 2020.

Después se colocó el equipo para realizar el ensayo de tracción diagonal que consiste en un par de mordazas unidas a unos tornillos, en la mordaza superior se ubicó un gato hidráulico de 200 KN previamente calibrado, en el cual se conectó un multiplexor unido a un computador el cual traduce la información en datos numéricos en archivo de Excel en formato (.xls), como se ilustra en la *Figura 76*.





*Figura 76.* Instalación del equipo para el ensayo de tracción diagonal. Autores del proyecto, 2020.

Posteriormente se verificó cada una de las medidas de los muros, altura, ancho, espesor y diagonales, como se contempla en la *Figura 77*.



*Figura 77.* Medición de las dimensiones del murete. Autores del proyecto, 2020.

Luego se instaló cada uno de los LVDT con sus soportes en las diagonales que ya estaban marcadas y se verifico que estuvieran debidamente centradas, tal como se observa en la *Figura 78*. Después de que se instaló las LVDT se midió el acortamiento de las diagonales verticales y el alargamiento de las diagonales horizontales.



*Figura 78.* Colocación de los LVDT en los muretes. Autores del proyecto, 2020.

Por último, se realizó la aplicación de la carga de manera constante hasta que el murete falló; en la norma ASTM E 519 – 078 dice que la carga se debe aplicar en un tiempo no menor a 60 seg. Y no mayor a 120 seg. Pero en nuestro caso se hizo hasta ver un gran deslizamiento para evitar un accidente o daño de los equipos como se observa en la *Figura 79*.

Se debe resaltar que los muros fallaron por deslizamiento, esto debido a que, al no tener elementos de confinamiento, ni pega con mortero, simplemente ensamblados mecánicamente con

caja y espiga, los muros no soportaron la carga diagonal y no fallaron, simplemente se deslizaron por los canales de ensamble. Como se ve en la *Figura 80*.



*Figura 79.* Aplicación de la carga al murete. Autores del proyecto, 2020.



*Figura 80.* Deslizamiento del muro por tracción diagonal. Autores del proyecto, 2020.

Luego de culminar los diferentes ensayos, se procedió a analizar los valores de carga y deformaciones longitudinales y transversales en cada uno de los muretes.

Con los valores productos del análisis, se calculó el esfuerzo cortante, las deformaciones de corte y el módulo de rigidez, tal como se muestra a continuación.

### 4.5.3 Cálculos:

#### 4.5.3.1 Esfuerzo Cortante

$$S_s = \frac{0,707 * P}{A_n}$$

Dónde,

$S_s$  = esfuerzo cortante, en MPa

$P$  = carga aplicada, en N

$A_n$  = área neta, en  $\text{mm}^2$

#### 4.5.3.2 Área neta

$$A_n = \frac{(w + h)}{2} * t * n$$

$w$  = ancho del espécimen, en mm.

$h$  = altura del espécimen, en mm.

$t$  = espesor del espécimen, en mm.

$n$  = porcentaje del área neta de la unidad sólida, expresada en decimal.

Es necesario mencionar que  $n$  se tomó como uno (1), ya que corresponde al valor del área neta sólida.

#### ***4.5.3.3 Deformación De Corte***

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

Donde,

$\gamma$  = deformación de corte, en mm/mm

$\Delta V$  = acortamiento vertical, en mm

$\Delta H$  = extensión horizontal, en mm

$g$  = longitud de referencia vertical, en mm

#### ***4.5.3.4 Módulo de rigidez***

El módulo de rigidez se determinó a partir de la pendiente entre el 5% y el 75% del esfuerzo cortante máximo de la gráfica esfuerzo cortante vs deformación. Los valores de esfuerzo de corte y módulo de rigidez se pueden apreciar en la Tabla 32.

Tabla 32

*Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muros de PEAD*

<b>Tracción diagonal en muros de PEAD</b>						
<b>Espécimen</b>	<b>Medidas (Mm)</b>	<b>Carga Máxima (Kn)</b>	<b>Esfuerzo Máximo Cortante (KPa)</b>	<b>Módulo De Rigidez (KPa)</b>	<b>Desv. Estándar (KPa)</b>	<b>Coef. De Variacion (Cv)</b>
1	1.200*1.200	12,15	51,131	3.085,491		
2	1.200*1.200	13,71	57,696	1.960,544	573,081	0,233
3	1.200*1.200	14,73	61,989	2.332,919		
<b>Promedio</b>			56,939	2.459,65	573,081	23.3%

Fuente: Autores, (2020)

En la Tabla 32 se observa el esfuerzo cortante promedio para los muretes de PEAD ensayados a tracción diagonal, con un valor de esfuerzo cortante y módulo de rigidez máximo de 61,989 KPa y 3085,491 KPa, respectivamente; y un valor mínimo de esfuerzo cortante y módulo de rigidez de 51,131 KPa y 1960,544 KPa, respectivamente.

A continuación, se contempla el comportamiento en las gráficas de la curva de esfuerzo cortante vs deformación de corte de los muros 1,2 y 3 en los gráficos 1,2 y 3 respectivamente.

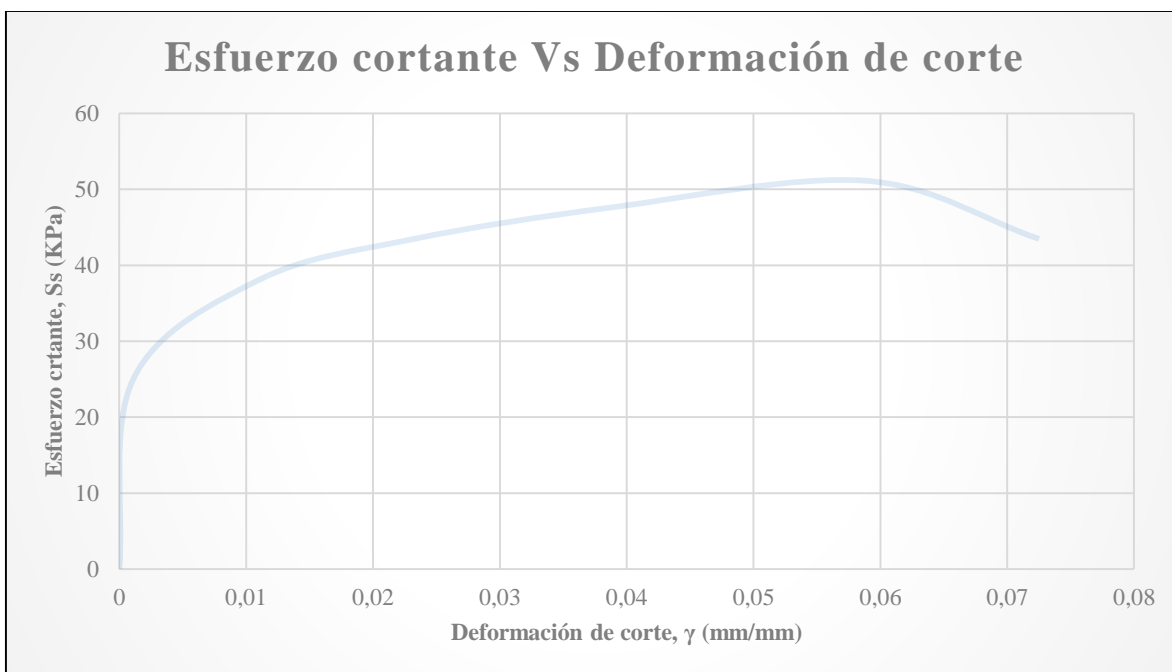


Gráfico 27. Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 1. Autores, (2020)

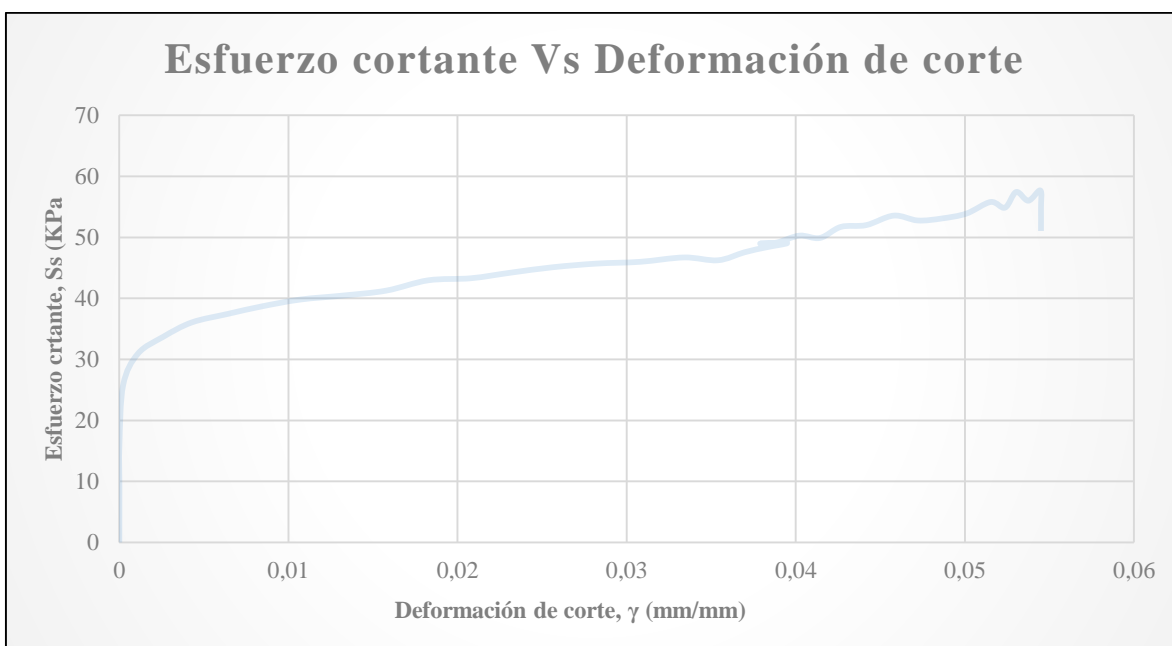


Gráfico 28. Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 2. Autores, (2020)

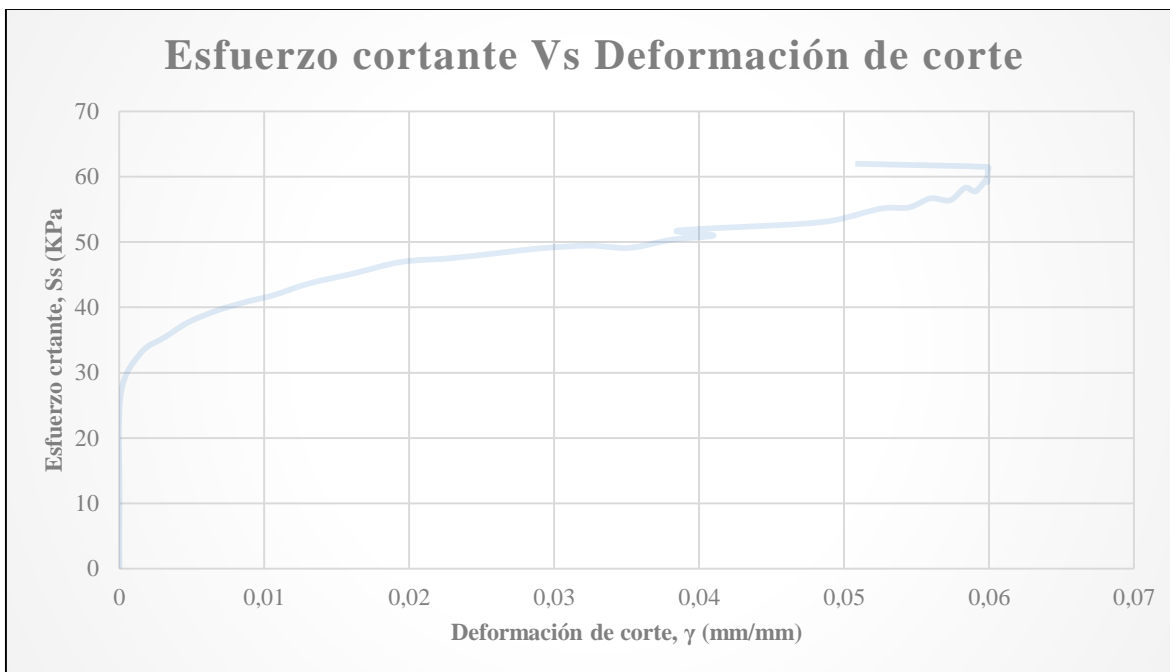


Gráfico 29. Curva de esfuerzo vs deformación para el muro 3. Autores, (2020)

De acuerdo al ensayo realizado y a los análisis deducidos, se pudo establecer que los muros de PEAD soportaron una fuerza mínima de carga de no más de 15 KN, esto debido a que los muros, no presentaban unión con mortero ni con ningún pegante, por lo tanto los ladrillos se deslizaron por los canales de ensamble de los prototipos, por ende es necesario realizar nuevos estudios sobre el comportamiento de estos muros ya sea confinándolos o utilizando algún elemento que impida el deslizamiento de los ladrillos a través de los canales de ensamble.

Por tal razón es complicado realizar una comparación con muros realizados de arcilla o cemento, con los datos obtenidos en los diferentes laboratorios.

Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.



#### 4.6 Hallar el módulo de elasticidad al corte en muros de mampostería ensamblados con ladrillos de PEAD.

El valor del módulo de elasticidad se calculó de acuerdo a los valores del módulo de rigidez tal y como se observa en la siguiente ecuación.

$$E = 2 * G * (\mu + 1)$$

Donde,

E = módulo de elasticidad, en KPa.

G = módulo de rigidez, en KPa.

$\mu$  = coeficiente de Poisson.

El coeficiente de Poisson se adoptó como 0,46 según las propiedades del material PEAD.

Los resultados del módulo de elasticidad en el ensayo de tracción diagonal, calculados con la ecuación mencionada anteriormente se pueden observar en la Tabla 33.

Tabla 33

*Módulo de elasticidad para muretes de mampostería elaborados con ladrillos de PEAD*

<b>Módulo de elasticidad en muros de PEAD</b>			
<b>ESPECIMEN</b>	<b>MODULO DE ELASTICIDAD E (KPa)</b>	<b>DESV. ESTÁNDAR (KPa)</b>	<b>COEF. DE VARIACIÓN (CV)</b>
1	9.009,635		
2	5.724,788	1673,398	0,233
3	6.812,125		
<b>Promedio</b>	7.182,183	1673,398	23.3%

Fuente: Autores, (2020)

Se puede observar que los muros de mampostería elaborados con ladrillos de PEAD presentan un valor en el módulo de elasticidad promedio de 7182,183 KPa, el cual es un valor muy bajo, de acuerdo a los datos consignados en la página de materiales especializada <http://www.matweb.com/>, que datan de un módulo de elasticidad de alrededor de 1 GPa, esto debido a que el valor del módulo de elasticidad, tiene relación directa con el módulo de rigidez, que como se mencionó anteriormente, no es representativo, ya que los bloques se deslizaron a través de los canales de ensamble de los muros compuestos por PEAD.

Todos los resultados y reportes de los laboratorios, se encuentran en el **Apéndice A**.

**4.7 Estimar en términos económicos la elaboración de muros ensamblados con ladrillos de PEAD, comparándolos con los existentes en el mercado como bloque de arcilla, bloque de cemento y ladrillos de arcilla macizos.**

Se realizó un análisis en los ladrillos, con base en sus dimensiones para determinar de manera precisa la cantidad de PEAD necesario para su fabricación, así como también se analizó su proceso constructivo en la fabricación de un muro de mampostería, para poder obtener el costo que este tendrá en el mercado y así estimar en términos económicos el costo del muro del PEAD, en comparación con muros realizados con los materiales existentes en el mercado (bloque de arcilla, bloque de cemento y ladrillo macizo de arcilla.)

Inicialmente se tomó cada una de las medidas del ladrillo para determinar el volumen necesario de PEAD para su fabricación.

Se debe recordar el ladrillo fue diseñado con unos ensambles tipo cola de milano y horquilla para evitar usar mortero de pega en la construcción de muros de mampostería, como se puede ver en la *Figura 81*. Para facilitar el cálculo del volumen del prototipo de PEAD, se tomó en cuenta que si cada uno de estos ensambles se coloca en los orificios correspondientes obtenemos un cubo rectangular, como se observa en la *Figura 82* *Figura 82*. Cubo rectangular al colocar los ensambles en los orificios correspondientes. Autores, (2020) y se establece en la Tabla 34, en donde se determina un volumen de  $0.054 \text{ m}^3$  para la fabricación de un prototipo de PEAD.

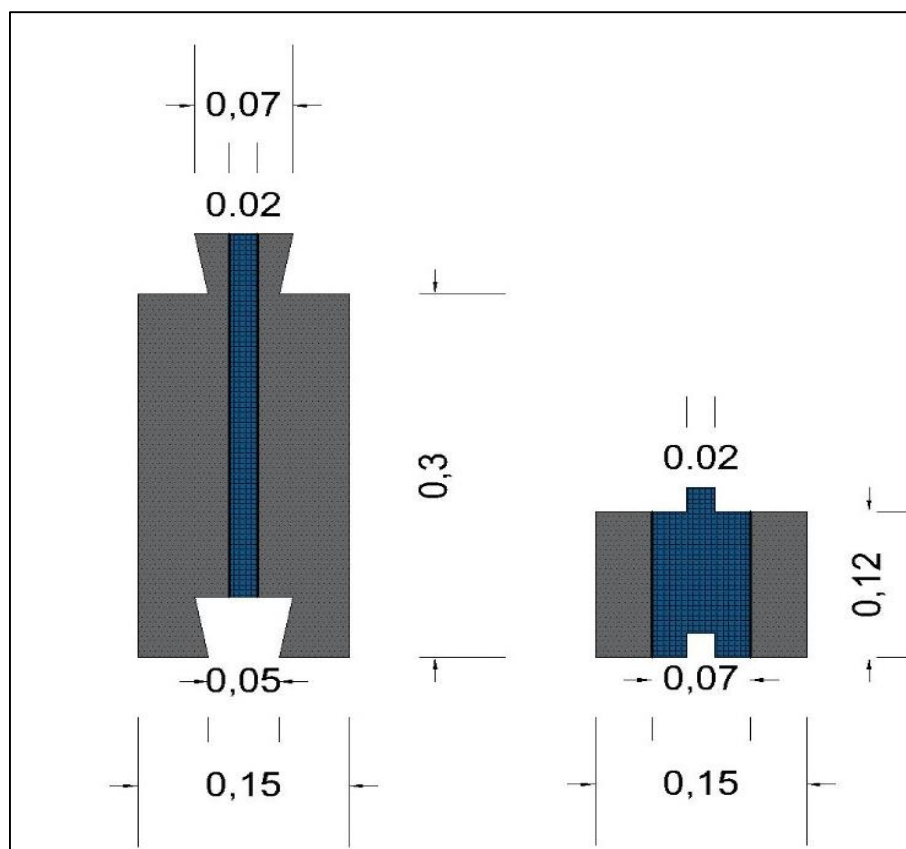


Figura 81. Ensamble de cola de milano y horquilla del ladrillo en vista de planta y lateral. Autores, (2020)

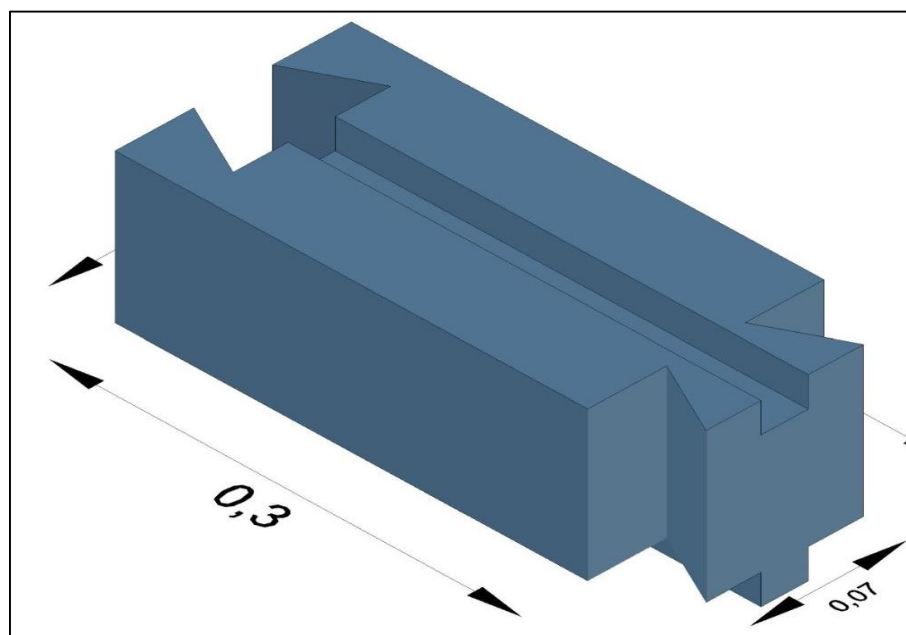


Figura 82. Cubo rectangular al colocar los ensambles en los orificios correspondientes. Autores, (2020)

Tabla 34

*Volumen del ladrillo de PEAD*

<b>Volumen del ladrillo</b>		
Base	0,15	ml
Longitud	0,30	ml
Altura	0,12	ml
<b>Volumen</b>	0,0054	M <sup>3</sup>

Fuente: Autores, (2020)

#### **4.7.1 Análisis de precios unitarios de la fabricación del prototipo de ladrillo de PEAD.**

Se realizó un análisis en el proceso de fabricación del ladrillo en el cual no se tuvo en cuenta el precio de la materia prima, debido a que fue reciclada de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y de otros lugares de la ciudad de Ocaña tales como restaurantes, supermercados y ferreterías.

En este análisis se incluyó cada uno de los rubros necesarios para su fabricación, tales como: maquinaria, herramienta y mano de obra. Como se muestra en la Tabla 35

Tabla 35

*Análisis unitario de la fabricación de las unidades de mampostería de PEAD*

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Nombre del ítem</b>		Unidad de Mampostería de PEAD			
<b>Medida</b>		Unidad			
<b>Descripción</b>		Ladrillo fabricado con 100 % PEAD			
<b>Materiales:</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>
PEAD		Kg	6,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Subtotal Materiales</b>					<b>\$ 0,00</b>
<b>Herramienta y/o Equipo:</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>
	Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 382,50	20	1,00	\$ 19,13
	Maquina aglutinadora	\$ 20.000,00	50	1,00	\$ 400,00
	Maquina filtradora	\$ 20.000,00	50	1,00	\$ 400,00
<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>					<b>\$ 819,13</b>
<b>Mano de Obra:</b>					
<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
Ayudante	2 \$ 4.500,00	85 %	\$ 16.650,00	25,00	\$ 666,00
<b>Subtotal Mano de Obra</b>					<b>\$ 666,00</b>
<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>					<b>\$ 1.485,13</b>

Fuente: Autores, (2020)

De acuerdo a la Tabla 35, el costo de fabricación del ladrillo de PEAD por unidad es de \$1.485,13 COP. Por lo tanto, se puede establecer que el costo por unidad, es más costoso que los bloques y ladrillos de arcilla y más económico que el costo de un bloque de cemento realizado en obra.

Sin embargo, para poder estimar en términos económicos la viabilidad de la construcción de bloques de PEAD, es indispensable relacionarlo con una actividad, tal como el desarrollo de

muros por metro cuadrado, teniendo como valor agregado que el prototipo de PEAD, no necesita mortero para ser levantado, ni pañete para el acabado.

**4.7.2 Análisis de costos de un muro de mampostería de PEAD.** Con el propósito de tener un análisis a profundidad del ladrillo, se llevó el costo a la construcción de un muro de mampostería por m<sup>2</sup> (metro cuadrado), para poder compararlos con los muros existentes.

Tabla 36

*Análisis de precios unitarios en la fabricación de muros de mampostería de PEAD*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
<b>Nombre del ítem</b>	Muro en ladrillos de PEAD					
<b>Medida</b>	M2					
<b>Descripción</b>	Muro en ladrillos de PEAD					
Materiales:						
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Ladrillo de PEAD	und	28,00	\$ 1.485,1	\$ 41.583,64	
<b>Subtotal Materiales</b>					<b>\$ 41.583,64</b>	
Herramienta y/o Equipo:						
	<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 8.755,00	20,00	1,00	\$ 437,75	
	Cortadora	\$ 40.000,00	50,00	1,00	\$ 800,00	
	Andamio Convencional	\$ 1.400,00	10,00	2,00	\$ 168,00	
<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>					<b>\$ 1.405,75</b>	
Mano de Obra:						
	<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
	Ayudante	1 \$ 4.500	85%	\$ 8.325	3,50	\$ 2.378,57
	Oficial	1 \$ 5.800	85%	\$ 10.730	3,50	\$ 3.065,71
<b>Subtotal Mano de Obra</b>						<b>\$ 5.444,28</b>
<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>						<b>\$ 48.433,67</b>

Fuente: Autores, (2020)

De acuerdo a la Tabla 36, el costo de la fabricación de un muro de mampostería de PEAD por metro cuadrado es de \$ 48.433,67 COP.

#### 4.7.3 Comparación de ladrillos de PEAD con los existentes en el mercado

Una vez obtenido el valor del ladrillo de PEAD y el valor de muros de mampostería de PEAD, por m<sup>2</sup> (metro cuadrado) se procedió a realizar comparaciones con el precio de los mampuestos existentes en el mercado como lo son el bloque de arcilla, el bloque de cemento y el ladrillo macizo de arcilla. En la

Tabla 37, se presenta los diferentes precios por unidad de diferentes bloques y ladrillos para la construcción de muros.

Tabla 37

*Precio de los mampuestos existentes en el mercado*

<b>Precio de mampuestos en el mercado</b>	
<b>Mampuesto</b>	<b>Precio</b>
Ladrillo macizo	\$ 400
Bloque H-10	\$ 850
Bloque de cemento (Hecho en obra)	\$ 2.650

Fuente: Autores, (2020)

En la Tabla 37, se presentan los precios de los diferentes mampuestos por unidad. En el caso del ladrillo macizo y el bloque H-10 se investigó y consulto el precio en varias ladrilleras y ferreterías de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, por otro lado, para determinar el precio del bloque de concreto, debido a la no disponibilidad del ladrillo en la ciudad, se estimó el precio de acuerdo a la investigación realizada por los ingenieros Nicolás Quintero y Gabby Fernanda



Sánchez en su proyecto de grado denominado: “Fabricación de un prototipo de bloque de concreto permeable remplazando entre el 10% 15% y 20% el agregado fino, por PET triturado, utilizando agregados de las canteras autorizadas en el municipio de Ocaña.”

Tabla 38

*Análisis de precios unitarios en la fabricación de muros de mampostería de ladrillo macizo.*

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>Nombre del ítem</b>		Muro en ladrillos macizos				
<b>Medida</b>		M2				
<b>Descripción</b>		Muro en ladrillos macizos				
Materiales:						
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Ladrillo macizo	Und	50,5	\$ 400	\$ 20,200	
	Cemento	Kg	10,95	\$ 500	\$ 5,475	
	Arena	M3	0,035	\$ 55,00	\$ 1,925	
	Agua	Lt	7,2	\$ 50	\$ 360	
					<b>Subtotal Materiales</b>	<b>\$ 27.960</b>
Herramienta y/o Equipo:						
	<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 8.755,00	20,00	1,00	\$ 437,75	
	Cortadora	\$ 40.000,00	50,00	1,00	\$ 800,00	
	Andamio Convencional	\$ 1.400,00	10,00	2,00	\$ 280,00	
					<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>	<b>\$ 1.517,75</b>
Mano de Obra:						
	<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
	Ayudante	1 \$ 4.500,00	85%	\$ 8.325,00	2,00	\$ 4.162,50
	Oficial	1 \$ 5.800,00	85%	\$ 10.730,00	2,00	\$ 5.365,00
					<b>Subtotal Mano de Obra</b>	<b>\$ 9.527,50</b>
					<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>	<b>\$ 39.005,25</b>

Fuente: Autores, (2020)

De acuerdo a la Tabla 38, el precio por metro cuadrado de muro de ladrillo macizo es de \$39.005 COP, lo que indica que el costo del muro por metro cuadrado, representa un 81% del costo de muro con ladrillo de PEAD.

Tabla 39

*Análisis de precios unitarios en la fabricación de muros de mampostería de bloques H-10*

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>Nombre del ítem</b>	Muro en bloques H-10					
<b>Medida</b>	M2					
<b>Descripción</b>	Muro en bloques H-10					
Materiales:						
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Bloque H-10	Und	17,5	\$ 800	\$ 14.000	
	Mortero 1:4	M3	0,018	223,590,87	\$ 4.024,64	
	<b>Subtotal Materiales</b>				<b>\$ 18.024,64</b>	
Herramienta y/o Equipo:						
	<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 8.755,00	20,00	1,00	\$ 437,75	
	Cortadora	\$ 40.000,00	50,00	1,00	\$ 800,00	
	Andamio Convencional	\$ 1.400,00	10,00	2,00	\$ 280,00	
	<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>				<b>\$ 1.517,75</b>	
Mano de Obra:						
	<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
	Ayudante	1 \$ 4.500,00	85%	\$ 8.325,00	2,00	\$ 4.162,50
	Oficial	1 \$ 5.800,00	85%	\$ 10.730,00	2,00	\$ 5.365,00
	<b>Subtotal Mano de Obra</b>				<b>\$ 9.527,50</b>	
	<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>				<b>\$ 29.069,89</b>	

Fuente: Autores, (2020)

Teniendo como referencia los valores de la Tabla 39, se pudo determinar que el valor por metro cuadrado de muro realizado con bloques de arcilla H10 fue de \$29070 COP, representando un 60% del costo de los bloques realizados con PEAD. Por último el precio de muro por metro cuadrado, compuesto por los bloques de cemento se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40

*Análisis de precios unitarios en la fabricación de muros de mampostería de bloques de cemento*

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Nombre del ítem</b>		Muro en bloque de cemento			
<b>Medida</b>		M2			
<b>Descripción</b>		Muro en bloque de cemento			
Materiales:					
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
Bloque concreto	un	18,00	\$ 2.612,81	\$ 47.030,63	
Mortero 1:4	M3	0,01	\$ 223.590,87	\$ 2.235,91	
<b>Subtotal Materiales</b>				<b>\$ 49.266,54</b>	
Herramienta y/o Equipo:					
<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 8.755,00	20,00	1,00	\$ 437,75	
Cortadora	\$ 40.000,00	50,00	1,00	\$ 800,00	
Andamio Convencional	\$ 1.400,00	10,00	2,00	\$ 280,00	
<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>				<b>\$ 1.517,75</b>	
Mano de Obra:					
<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
Ayudante	1 \$ 4.500,00	85%	\$ 8.325,00	2,00	\$ 4.162,50
Oficial	1 \$ 5.800,00	85%	\$ 10.730,00	2,00	\$ 5.365,00
<b>Subtotal Mano de Obra</b>				<b>\$ 9.527,50</b>	
<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>				<b>\$ 60.311,79</b>	

Fuente: (Sánchez G. & Quintero N., 2020)

En la Tabla 40 se puede apreciar, el precio por metro cuadrado de muro de bloque de cemento realizado en obra, que tiene un costo del 25% mayor que los muros de ladrillos de PEAD, propuesto.

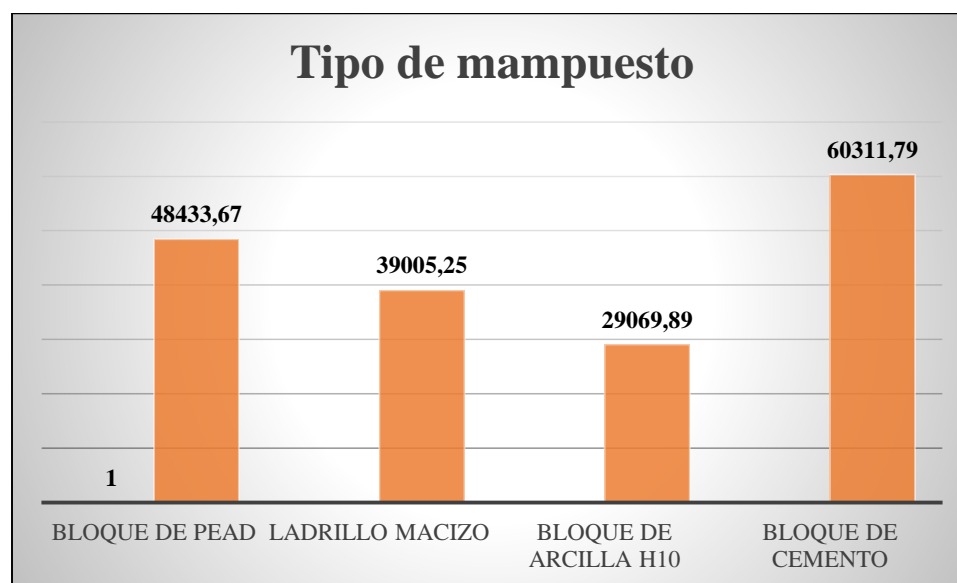
Como se mencionó anteriormente, según la Tabla 38 y la Tabla 39 el valor de los muros realizados con ladrillo macizo y bloque H-10 respectivamente, es menor que el valor al muro de PEAD. Para entender de una manera más concisa de los datos obtenidos se recopilaron en la Tabla 41 y están representados en el *Gráfico 30*.

Tabla 41

*Comparación de precios de bloques por unidad y por metro cuadrado*

<b>Tipo de mampuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>m2</b>
Bloque de PEAD	1485.13	48433.67
Ladrillo macizo	400	39005.25
Bloque de arcilla H10	800	29069.89
Bloque de cemento	2613	60311.79

Fuente: Autores, (2020)



*Gráfico 30.* Comparación de precios por unidad y por metro cuadrado de mampuestos. Autores, (2020)

Sin embargo, a la hora de cuantificar la actividad, es necesario considerar que los muros generalmente se les realizan pañete con mortero en una cara y en ocasiones ambas caras, en donde los muros de PEAD tienen un valor agregado, ya que se les puede realizar el acabado directamente sin necesidad de pañete. Por ende, se procedió a realizar los cálculos del mortero necesario para pañetar un metro cuadrado de muro, como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42

*Análisis de precios unitarios para la fabricación de pañete por metro cuadrado*

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>Nombre del ítem</b>		Muro en bloque de cemento				
<b>Medida</b>		M2				
<b>Descripción</b>		Muro en bloque de cemento				
Materiales:						
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Unitario</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Mortero 1:5	M3	0,015	\$ 274.169,00	\$ 4.112,54	
<b>Subtotal Materiales</b>					<b>\$ 4.112,54</b>	
Herramienta y/o Equipo:						
	<b>Descripción</b>	<b>Tarifa / DD.</b>	<b>Rend. DD.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Vlr. Parcial</b>	
	Herramienta Menor (%Mano de Obra)	\$ 8.755,00	20,00	1,00	\$ 437,75	
	Andamio Convencional	\$ 1.400,00	10,00	2,00	\$ 140,00	
<b>Subtotal Herramientas y/o Equipos</b>					<b>\$ 577,75</b>	
Mano de Obra:						
	<b>Cuadrillas</b>	<b>Jornal Bas.Hr.</b>	<b>% Prest</b>	<b>Total Jornal</b>	<b>Rend. Hr.</b>	<b>Vr. Parcial</b>
	Ayudante	1 \$ 4.500,00	85%	\$ 8.325,00	2,50	\$ 3.330,00
	Oficial	1 \$ 5.800,00	85%	\$ 10.730,00	2,50	\$ 4.292,00
<b>Subtotal Mano de Obra</b>					<b>\$ 7.622,00</b>	
<b>COSTO DIRECTO ITEM</b>					<b>\$ 12.312,29</b>	

Fuente: Autores, (2020)

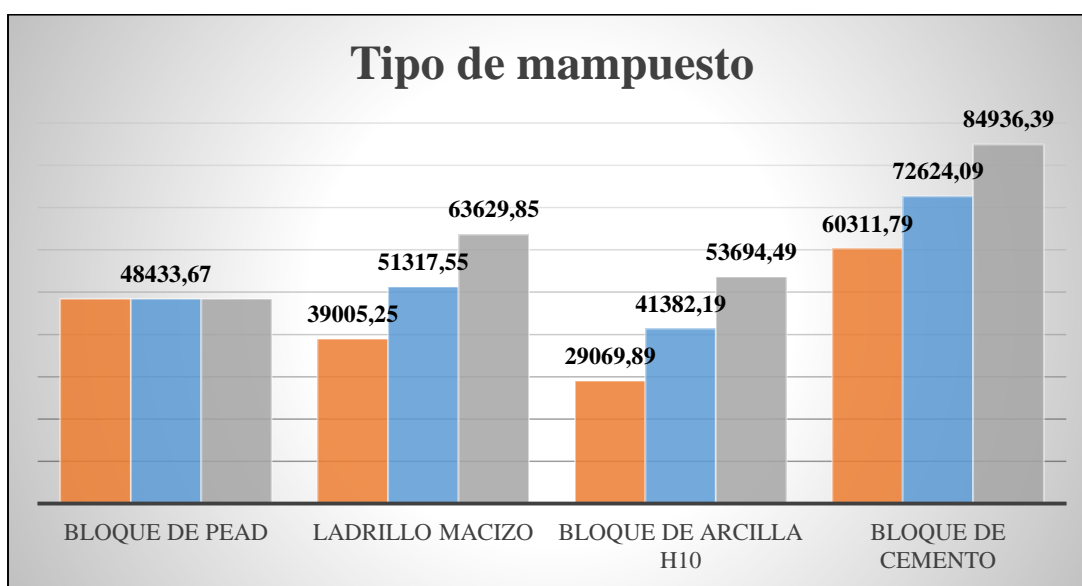
Como se observa en la Tabla 42 el precio del pañete por metro cuadrado de muro es de \$12.312,29 COP, el cual daría un valor agregado a cada uno de los muros tanto si se empañeta por un lado o por ambos lados. Para lo cual se muestra los datos en la Tabla 42 y el *Gráfico 31*.

Tabla 43

*Comparación de precios de muros por metro cuadrado sin pañete y con pañete*

Tipo de mampuesto	m2	Pañete en una cara	Pañete en ambas caras
Bloque de PEAD	48433.67	48433.67	48433.67
Ladrillo macizo	39005.25	51317.55	63629.85
Bloque de arcilla H10	29069.89	41382.19	53694.49
Bloque de cemento	60311.79	72624.09	84936.39

Fuente: Autores, (2020)



*Gráfico 31.* Comparación de precios de muros sin pañete y con pañete. Autores, (2020)

De acuerdo al *Gráfico 31*, se pudo establecer que el muro realizado por ladrillos de PEAD, ya listo para el acabado con estuco y pintura, es más económico que todos los muros con pañete a excepción de los muros pañetados en una sola cara compuestos por bloques de arcilla.

## Capítulo 5. Conclusiones

Los prototipos elaborados totalmente con PEAD, cumplieron de manera general con los requisitos establecidos para la mampostería según las normas técnicas colombianas, el diseño permite un ensamble ajustado y simple, que permite la elaboración de manera rápida de los muros.

Según los datos obtenidos de los ensayos realizados, se pudo deducir que la resistencia a la compresión promedio de los bloques de PEAD fue de 9.86 MPA con un coeficiente de variación del 12% por lo tanto, los valores de la resistencia de la muestra, se consideran como altamente representativos, es necesario aclarar que ningún prototipo presento ruptura, la falla encontrada en todos los prototipos fue por aplastamiento, es decir durante los 120 segundos de duración de la prueba de carga se deformó, sin embargo una vez retirada la carga, el elemento intento regresar a su tamaño original.

La resistencia a la compresión se midió siguiendo la normatividad para unidades de mampostería, por lo tanto las especificaciones como duración del ensayo y la aplicación de la fuerza fue controlada por los lineamientos de las normas técnicas colombianas, por lo tanto el valor encontrado no representa la cantidad de esfuerzo que puede soportar las unidades, es necesario mencionar, que se realizó un ensayo individual, en donde se le aplico 960 KN de fuerza y aun así el prototipo de PEAD no se reventó, sino que se deformato, lo que comprueba la ductilidad del elemento y mayor capacidad de resistencia del material, ya que en los ensayos realizados en laboratorio no se aplicó más de 500 KN.

Al evaluar los requisitos mínimos de resistencia de las diferentes normatividades para mampostería, se pudo establecer que los ladrillos prototipos de PEAD, cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto estructural NTC 4026, para la categoría “Baja”.

Además, cumple con todos los Requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de concreto no estructural NTC 4076, con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla estructural NTC 4205 de tipo PH. Y cumple con los requisitos de resistencia a la compresión de mampostería de arcilla no estructural NTC 4205 de tipo PH.

Con base a estos resultados, podemos decir que el prototipo propuesto tiene un buen comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión, considerándolo de tipo estructural, por su resistencia y con una gran propiedad elástica, que permite que se deforme, pero que no se quiebre.

De los resultados del Esfuerzo respecto una variable independiente como la densidad, se observa que no hay valores atípicos, y que estos describen una relación lineal positiva, es decir, cuanto mayor sea la densidad, mayor será el esfuerzo, lo cual tiene sentido si consideramos que una mayor densidad se logra mediante una mayor energía de compactación en el proceso de fabricación, y por ende se logra prototipos más compactos, sin vacíos y de mayor resistencia.

En cuanto a la absorción, se puede deducir que los prototipos son prácticamente impermeables, ya que la mayoría de los bloques no presento retención de agua.



La densidad en promedio se estableció en  $0.89 \text{ gr/cm}^3$ , debajo de los valores encontrados para el PEAD que oscilan entre 0.94% - 0.97%, sin lugar a dudas la densidad no alcanzo los valores establecidos, debido a que la fabricación y la compactación fue manual, por lo tanto, se presentaron vacíos o poros dentro de los prototipos.

El valor del módulo de rotura equivale al 17% de la resistencia a la compresión del prototipo, por lo tanto, se encuentra dentro del rango aceptable de Takeuchi, que varía del 10% al 30%. Sin embargo, se debe considerar que al igual que la propiedad de resistencia a la compresión, el ensayo fue realizado de acuerdo a los lineamientos de la norma técnica para mampuesto de arcilla.

Debido a que los ensayos existentes para la compresión de prismas están diseñados para elementos frágiles “explosivos” y no dúctiles “elásticos” los prismas no llegaron a la falla, simplemente se deformaron, pero al estar la carga limitada por los lineamientos de la norma técnica colombiana, se presentó algo similar al ensayo de resistencia a la compresión en unidades de mampostería.

El modelo realizado por medio de elementos finitos, en el software Ansys, representa de manera fidedigna, el comportamiento de los prototipos de PEAD con las propiedades idealizadas, por lo tanto, es una llave muy importante de considerar, para estimar el comportamiento de los diferentes elementos o materiales utilizados en las obras civiles.

Es importante mencionar que los ensayos de tracción diagonal no se consideran relevantes, debido a que, al estar los muros sin ningún confinamiento ni elemento de pega como mortero, en la prueba de tracción, los ladrillos simplemente se deslizaron a través de los canales de ensamble. Por lo tanto, la resistencia al corte de muros y el módulo de elasticidad al corte de muros de PEAD, no presentaron valores fidedignos.

Es de resaltar que los muros elaborados con ladrillos de PEAD, resultaron más costosos que los muros de ladrillos de arcilla y bloques de arcilla en un 24% y 66% y más económicos que los muros realizados con bloques de cemento.

Si se considera que los muros deben ser pañetados, los prototipos de PEAD son altamente rentables, ya que la superficie obtenida en el acabado de prototipos, permite que se realice el estuco y pintura sobre la superficie del PEAD directamente, reduciendo los costos en el producto final. Además, se debe considerar que al estar el muro desarrollado para ensamblar los ladrillos de PEAD, el tiempo de desarrollo del muro, es considerablemente menor, que los muros realizados con mampostería convencional.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Es indispensable mecanizar la fabricación de los prototipos, para conservar las propiedades del material, ya que en la transformación del PEAD se pueden ver afectadas.

Se recomienda realizar más investigaciones, relacionadas con el aprovechamiento de residuos plásticos, para fomentar la construcción sostenible y apoyar desde la academia la reducción del impacto ambiental en el ámbito de la construcción.

A la hora de construir elementos mampuestos con materiales alternativos, es indispensable realizar estudios previos de las propiedades de dicho material, para establecer ideas sobre su posible comportamiento en los diferentes ensayos.

Las propiedades evaluadas, deben estar basadas en las normas técnicas vigentes, sin embargo, se debe tener criterio fundamentado, para entender el comportamiento de los elementos evaluados, considerando enfáticamente el tipo del material con el que se vaya a realizar las unidades de mampostería.

Se recomienda realizar nuevos estudios sobre el PEAD, sobre todo en ensayos de tracción diagonal, en donde se considere elementos de confinamiento o pega, para entender el comportamiento de muros desarrollados a partir de PEAD.

## Referencias

- AmapolaBio. (3 de Abril de 2018). *Contaminantes plásticos, ¿cómo afectan a nuestro organismo y al medio ambiente?* Recuperado de: <https://www.amapolabio.com /contaminantes-plasticos-como-afectan-a-nuestro-organismo-y-al-medio-ambiente/>
- Angumba, P. J. (2016). “Ladrillos elaborados con plástico Reciclado (PET), para mampostería no portante”. (Tesis de maestría) Universidad De Cuenca. Cuenca.
- Ambientum, 2000. Reciclado de envases PET. Recuperado de: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>
- Argueta Amador, A. (2006) Proyecto de Inversión en una Planta Recicladora de PET en el Estado de Puebla. (Tesis Maestría). Universidad de las Américas Puebla. Puebla
- Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Reglamento colombiano de Construcción sismo resistente (NSR-10) (Tomo 1). Recuperado de <http://www.minambvivydesa.gov.co/>
- Asociación Nacional de Industrias del Plástico. Reforma. Mexico : Anipac, 2011. págs. 10-15.
- Brundtland, G. H. (1989). Nuestro futuro común. In Ponencias y comunicaciones: Congreso internacional de tecnologías alternativas de desarrollo (pp. 7-8). Servicio de Extensión Agraria. Publicaciones.

Carvajalino, G., & Hernández, J. (2014). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques h-10 utilizados en el municipio de Ocaña (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

Centro del Profesorado y de Recursos de Avilés. (2010). Los plásticos; propiedades, tipos y aplicaciones, fabricación de objetos de plásticos y el reciclaje.

Comunidad Petrolera (agosto 2, 2012), Definición de porosidad. Recuperado de <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2012/08/definicion-de-la-porosidad.html>

Burgos, C.M., & Correa, A. (2006). Diseño e implementación de una metodología Estadística para ensayos de producto terminado en cementos el Cairo S.A. Dyna, Año 74, Nro. 151, pp. 195-207. Medellín, Marzo de 2007. ISSN 0012-7353

Calvo, M. Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Madrid, España: s.n., 2000, Vols. Mundi-Prensa.

Chandra Vijay, Kim John S, Brinckerhoff Parsons. Design Considerations for Thermoplastic Bridges. s.l. : Axion International, Inc., 2012.

Dinero. (8 de Agosto de 2015). ¿Cómo se produce la basura en el mundo? Recuperado de <https://www.dinero.com/economia/articulo/generacion-basura-mundo/212829>

Echeverría, E.R., (2016). Ladrillos de concreto con plástico PET Reciclado (Tesis de pregrado).

Universidad nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Fernandez, L., Marin, F., Varela, J. Y Vargas, G. (2001) Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica. 2001. 10p. Disponible en:  
[http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion\\_resistencia\\_compresion.pdf](http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf)

Ferreira Luis, De Brito Jorge, Saikia. Nabajyoti Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate.. s.l. : elsevier, 2012, Vol. 36.

Gaggino, R., Ladrillos y Placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para autoconstrucción. 063, Santiago: s.n., 08 de 2008, INVI, Vol. 23, págs. 137-163.

Gonzales, R. K. (2016). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes (Tesis de pregrado). Universidad privada del Norte, Cajamarca

González, Barba y Flores, (2012) análisis microscópico para un Material compuesto de productos reciclados, (Trabajo de grado) Universidad Nacional Autónoma de México. México

Hernández, M. El impacto de los plásticos en el ambiente. Especial, México: s.n., 2013, Vol.

Laura Angulo.

La Opinión. (16 de Febrero de 2017). Más de 90 mil toneladas de residuos produce la región

Recuperado de <https://www.laopinion.com.co/region/mas-de-90-mil-toneladas-de-residuos-produce-la-region-128169#OP>

Maas A.L. (2012). Desarrollo de elementos modulares Utilizando materiales alternativos con aplicaciones al Diseño, (Trabajo de grado) Universidad de Papaloapan, México.

Mejía, L.F. (16 de abril de 2010). Estadísticas del reciclaje en Colombia. Recuperado de: <http://ciudadverdeluisa.blogspot.com/2010/04/estadisticas-del-reciclaje-en-colombia.html>

Molina, S; Vizcaíno, A; Ramírez, F. (2007). Estudio de las características físico – mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (META). (Tesis de pregrado). Universidad De La Salle. Bogotá.

Morales, C. E. & Pérez, B. E. (2018). Determinación de la conductividad térmica y resistencia mecánica de ladrillos y placas conformadas de cemento y polietileno Tereftalato (PET)” (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba.

Organización de las Naciones Unidas - ONU. Nuestro futuro común. Noruega : Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1987.

Organización de Naciones Unidas - ONU. Informe de la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible. Johannesburgo - Sudáfrica : s.n., 2002.

Pedrero, M., (2019) Fallas de materiales. Recuperado de: [https://www.academia.edu/7823439/Fallas\\_de\\_Materiales](https://www.academia.edu/7823439/Fallas_de_Materiales)

Publimetro. (14 de Septiembre de 2015). ¿Por qué es importante reciclar el plástico? Aquí te lo explicamos en 7 razones Recuperado de: <https://www.publimetro.cl/cl/nacional/2015/09/14/que-importante-reciclar-plastico-aca-te-explicamos-7-razones.html>

Ramírez, D.S. (2011) Propuesta de un Material Compuesto con Base al PET Reciclado con Aplicaciones en Construcción. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

República De Colombia. Ley 1259 del 19 de diciembre de 2008. Por medio de la cual se insta en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. (2008).



República De Colombia. Congreso De La República. Ley 99 de 1993. Por la cual se establece la ley del medio ambiente y se dictan otras disposiciones. (1993).

República De Colombia. Congreso De La República. Decreto 2269 de 1993. Por el cual se establece el instituto colombiano de normas técnicas y certificación, ICONTEC (1993).  
Diario oficial, 2000, 22, Febrero

Residuos Profesional . (8 de Septiembre de 2015). Cada año se producen entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos en el mundo. Recuperado de:  
<https://www.residuosprofesional.com/millones-toneladas-residuos-urbanos/>

Rivera Martínez, L.E., (2013). Materiales Alternativos Para La Elaboración De Tabiques Ecológicos. (Tesis Maestría). Instituto Tecnológico de Sonora. Obregón.

Roca, I.E. (2005) Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). (Tesis de pregrado). Universidad De San Carlos De Guatemala, Guatemala.

Rodríguez, V. (2018) Influencia de las unidades de albañilería tipo PEAD en las características técnicas y económicas para la construcción de viviendas sustentables en la zona de expansión de Chimbote – 2018 (Trabajo de grado) Universidad César Vallejo, Perú.

Castillo, D. (2018) Análisis de la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado como material de construcción (Monografía) Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.

Rodriguez, P. (2010). Polimeros. Recuperado de:

<http://Www.Xente.Mundo.Com/Explora/Quimica3/Polimeros.Pdf>.

Sánchez, G. & Quintero, N. (2020) Fabricación de un prototipo de bloque de concreto permeable remplazando entre el 10% 15% y 20% el agregado fino, por PEAD triturado, utilizando agregados de las canteras autorizadas en el municipio de Ocaña, (Trabajo de grado) Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Colombia

Somos la revista. (17 de abril de 2011). 4 cierres totales de vías entre pamplona y Cúcuta, dos entre Ocaña y Sardinata y 13 más en el país, reporta policía de carreteras. Recuperado de <http://somoslarevista.com/2011/04/4-cierres-totales-entre-pamplona-y-cucuta-dos-entre-ocana-y-sardinata-y-13-mas-en-el-pais-reporta-policia-de-carreteras/>

Suarez Zarta, D. (9 de marzo de 2016) Solo 26% de las botellas plásticas se recicla. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/solo-26-de-las-botellas-plasticas-se-recicla-2357536>

TAKEUCHI CAORI, Patricia. Comportamiento en la mampostería estructural. 1ra. edición Bogotá D.C. Colombia: Universidad nacional de Colombia, 2007.

Teran, J. *Desenvolupamente sostenible*. 66, 1996. 1132-7081.

Valencia, Nicolás. En 5 días se construyó esta vivienda con ladrillos de plástico reciclado.

ArchDaily. Recuperado de: <https://www.archdaily.mx/mx/792028/en-5-dias-se-construyo-esta-vivienda-con-ladrillos-de-plastico-reciclado>

Vásquez, L. (16 de septiembre de 2016). Plástico desechable un asesino silencioso. Recuperado de <http://www.nacion.com/revista-dominical/plastico-desechable-un-asesino-silencioso/VFLRFTV5KZGXHC3QSDHTTR5H3U/story/>.

Zavala Arteaga, GJ. (2015.) *Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado*. Informe Final. ITCA. Santa Tecla, El Salvador.

# Apéndices

**Apéndice A.**

**Informes y reportes de laboratorios realizados**

## **Apéndice B.**

### **Modelación del prototipo en Ansys**