



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN Y PESO
VOLUMÉTRICO DE BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN, CON
LA UTILIZACIÓN DE POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS**

AUTORA: TITO GONZAGA, DAYANA VANESSA

DIRECTOR: ING. DURÁN CARRILLO, JOSÉ RICARDO MGS.

SANGOLQUÍ

2018



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN, CON LA UTILIZACIÓN DE POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS*” realizado por la señorita *DAYANA VANESSA TITO GONZAGA*, ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos , metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 31 de julio del 2018

Firma:

.....
Ing. José Ricardo Durán Carrillo, Mgs.

DIRECTOR

C.C: 1706351192



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **DAYANA VANESSA TITO GONZAGA**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación “**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN, CON LA UTILIZACIÓN DE POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 31 de julio del 2018

Firma:

.....

Dayana Vanessa Tito Gonzaga

C.C:1722195169



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **DAYANA VANESSA TITO GONZAGA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de investigación “**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES ALIVIANADOS DE HORMIGÓN, CON LA UTILIZACIÓN DE POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 31 de julio del 2018

Firma:

.....
Dayana Vanessa Tito Gonzaga

C.C:1722195169

DEDICATORIA

A mis padres Patricio y Yolanda, pilares fundamentales en mi vida, por depositar su confianza en mis capacidades, por motivarme con sus palabras de apoyo para ser perseverante y alcanzar mis metas, por sus consejos y enseñanzas que me han guiado por un camino de superaciones y éxitos.

A mis hermanos y a mi familia por brindarme siempre su apoyo, cariño y compañía incondicional en todo momento.

A mi amada mamita Clara por tenerme presente en sus oraciones, por su cuidado, ternura y por ser un soporte esencial en mi familia.

A mi enamorado y mejor amigo Daniel por estar a mi lado durante el transcurso de mi carrera universitaria, quien con su amor y alegría me ha apoyado en mis logros e incluso me ha motivado a superar situaciones turbulentas.

Dayana Vanessa Tito Gonzaga

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme su bendición, fuerza y sabiduría para culminar con éxito cada propósito, ya sea personal o académico.

A mis padres por la dedicación y esfuerzo que han realizado para contribuir con mi bienestar y educación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por darme la oportunidad de formar parte de una institución que brinda educación de calidad, con la finalidad de crecer profesionalmente en el campo de la Ingeniería Civil.

Al Ing. Ricardo Durán, director del proyecto, por los conocimientos impartidos y sobre todo por su predisposición al momento de dirigir y guiarme en el desarrollo de este trabajo investigativo.

Al Ing. Juan Haro por su colaboración y ayuda permanente en los trabajos realizados en el laboratorio.

A la Ing. Carolina Robalino, por encaminarme en la investigación de materiales de construcción, mediante el impulso para realizar un trabajo académico previo, el cual permitió observar que los mampuestos de tipo bloque de hormigón necesitan mejorar su calidad. También por su colaboración en la revisión del presente trabajo.

A los docentes que me han orientado durante toda la carrera, a mis compañeros y amigos con los que pude compartir tiempo de estudio y grandes anécdotas. Y a todas las personas que han estado pendientes de mí.

Dayana Vanessa Tito Gonzaga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.2.1. Macro	3
1.2.2. Meso.....	3
1.2.3. Micro.....	4
1.3. Área de estudio.....	4
1.3.1. Área de intervención	5
1.3.2. Área de influencia directa	5
1.3.3. Área de influencia indirecta	5
1.4. Justificación	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Metas	7
1.7. Hipótesis.....	7
CAPÍTULO II.....	8
CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS PARA BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN	8

2.1.	Introducción	8
2.2.	Utilidad de los áridos en la construcción	8
2.3.	Clasificación de los áridos.....	10
2.3.1.	Clasificación por su origen.....	10
2.3.1.1.	Agregados Ígneos.....	10
2.3.1.2.	Agregados Sedimentarios	10
2.3.1.3.	Agregado Metamórfico	11
2.3.2.	Clasificación por fragmentación	12
2.3.3.	Clasificación por su tamaño	12
2.3.3.1.	Árido fino (arena).....	13
2.3.3.2.	Árido grueso (piedra pómez)	14
2.4.	Propiedades físicas y mecánicas	14
2.4.1.	Muestreo campo	14
2.4.2.	Granulometría de áridos NTE INEN 696.....	15
2.4.2.1.	Resultados	16
2.4.3.	Determinación de la densidad y absorción para agregados NTE INEN 856	18
2.4.3.1.	Resultados	19
2.4.4.	Determinación del peso volumétrico de los áridos NTE INEN 858	20
2.4.4.1.	Resultados	21
2.4.5.	Determinación de humedad de áridos para hormigón NTE INEN 862	21
2.4.5.1.	Resultados	22
CAPÍTULO III		23
CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS.....		23
3.1.	Introducción	23
3.2.	Clasificación de los plásticos	24
3.3.	Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno (PET).....	27
3.3.1.	Granulometría del plástico PET	28
3.3.1.1.	Resultados	28
3.3.2.	Determinación de la densidad y gravedad específica del plástico ASTM D 792	30
3.3.2.1.	Resultados	30
3.3.3.	Determinación del peso volumétrico suelto del tereftalato de polietileno	31

3.3.3.1. Resultados	32
3.3.4. Determinación de la absorción de agua del plástico ASTM D 570	33
3.3.4.1. Resultados	33
3.3.5. Determinación de la resistencia a la tracción del plástico ASTM D 638.....	34
3.3.5.1. Resultados	38
3.4. Definición de aditivo con nano partículas	40
3.4.1. Características del nanoaditivo.....	40
CAPÍTULO IV	42
DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN.....	42
4.1. Definición de bloques huecos de hormigón	42
4.1.1. Dimensiones de los bloques de hormigón.....	43
4.2. Dosificación del hormigón	45
4.2.1. Consistencia y trabajabilidad	46
4.2.2. Determinación de dosificación para la elaboración de bloques huecos de hormigón	48
4.2.2.1. Dosificación de cilindros de prueba.....	50
4.2.2.2. Dosificación de bloques de hormigón con 0, 10, 20, 30, 40, 50% PET + nanoadit.....	51
4.2.2.3. Dosificación de bloques de hormigón con 0, 10, 15, 20, 25, 30% PET + nanoadit.....	52
4.2.2.4. Dosificación de bloques huecos de hormigón reemplazando la piedra pómez por PET...	53
4.3. Proceso de fabricación de probetas de hormigón (cilindros base), NTE INEN 3124.....	54
4.3.1. Elaboración de especímenes.....	54
4.3.2. Curado y almacenamiento	56
4.4. Proceso de fabricación de bloques de hormigón con polímeros reciclados	57
4.4.1. Elaboración de especímenes.....	57
4.4.2. Curado y almacenamiento	60
CAPÍTULO V	62
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN.....	62
5.1. Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos NTE INEN 1573 y de bloques huecos de hormigón NTE INEN 3066.....	62
5.1.1. Equipo y accesorios.....	62
5.1.2. Procedimiento.....	63
5.1.3. Análisis de resultados de cilindros de hormigón.....	66

5.1.4.	Análisis de resultados de bloques de hormigón base	69
5.1.5.	Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con 10, 20, 30, 40, 50% PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo.....	71
5.1.6.	Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con 10, 15, 20, 25, 30% PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo.....	76
5.1.7.	Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con reemplazo de p. pómez por plástico PET.....	84
5.2.	Determinación de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón	88
5.3.	Determinación de absorción de agua de bloques de hormigón NTE INEN 3066.....	93
5.3.1.	Equipo y accesorios.....	93
5.3.2.	Procedimiento.....	93
5.3.3.	Análisis de resultados de absorción de agua de bloques huecos de hormigón con: 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo	94
5.3.4.	Análisis de resultados de absorción de agua de bloques huecos de hormigón con: 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo	97
5.3.5.	Resultados de absorción de agua de bloques de hormigón con 25% PET en reempl. de arena sin nanoaditivo, con plástico PET sin piedra pómez y bloques de bloquera....	98
5.4.	Análisis de costos	101
5.5.	Propuesta de reducción de costos.....	109
CAPÍTULO VI	111
6.1.	CONCLUSIONES	111
6.2.	RECOMENDACIONES	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de los áridos de acuerdo con el tamaño de la partícula</i>	13
Tabla 2. <i>Granulometría del agregado fino (arena), NTE INEN 696</i>	16
Tabla 3. <i>Granulometría agregado grueso (piedra pómez) NTE INEN 696</i>	17
Tabla 4. <i>Densidad y absorción del agregado fino (arena) NTE INEN 856</i>	19
Tabla 5. <i>Densidad y absorción del agregado grueso (piedra pómez) NTE INEN 856</i>	20
Tabla 6. <i>Peso volumétrico suelto y varillado del agregado fino (arena) NTE INEN 858</i>	21
Tabla 7. <i>Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso (p. pómez) NTE INEN 858</i> ...21	
Tabla 8. <i>Contenido de humedad del agregado fino (arena) y grueso (pómez) NTE INEN 862</i> ...22	
Tabla 9. <i>Códigos de identificación de resinas plásticas</i>	25
Tabla 10. <i>Granulometría del tereftalato de polietileno (PET) NTE INEN 696</i>	29
Tabla 11. <i>Gravedad específica y densidad del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D 792</i>	31
Tabla 12. <i>Peso volumétrico suelto del tereftalato de polietileno (PET)</i>	32
Tabla 13. <i>Absorción de agua del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D 570</i>	34
Tabla 14. <i>Dimensiones para especímenes de espesor $\leq 4\text{mm}$</i>	36
Tabla 15. <i>Resultados de resistencia a tracción del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D63</i> ..38	
Tabla 16. <i>Indicaciones de uso del nanoaditivo</i>	41
Tabla 17. <i>Bloques de hormigón de acuerdo con su uso</i>	43
Tabla 18. <i>Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad.</i>	43
Tabla 19. <i>Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón</i>	44
Tabla 20. <i>Dimensiones utilizadas en la elaboración de bloques huecos de hormigón</i>	44
Tabla 21. <i>Consistencia medida por aparatos de asentamiento y Vebe</i>	47
Tabla 22. <i>Contenido relativo aproximado de agua para diferentes consistencias</i>	47
Tabla 23. <i>Resistencia promedio requerida a compresión (f_{cr})</i>	48
Tabla 24. <i>Relación entre agua/cemento y esfuerzo a la compresión del cemento</i>	49
Tabla 25. <i>Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón</i>	49
Tabla 26. <i>Dosificación por peso para 4 cilindros de prueba</i>	51
Tabla 27. <i>Dosificación 0% PET para 6 bloques huecos de hormigón</i>	51
Tabla 28. <i>Dosificación 0, 10, 20, 30, 40, 50% PET en reemplazo de arena + nanoaditivo</i>	52
Tabla 29. <i>Dosificación 0, 10, 15, 20, 25, 30% PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo</i>	53
Tabla 30. <i>Dosificación reemplazo de volumen total de piedra pómez por plástico PET</i>	54
Tabla 31. <i>Resultados de resistencia a compresión de cilindros- edad 3 días (curado rápido)</i>	67
Tabla 32. <i>Resultados de resistencia a compresión de cilindros-edad 7 días</i>	67
Tabla 33. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques de hormigón piloto-edad 7 días</i> ..70	
Tabla 34. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques de hormigón piloto-edad 28 días</i> ..70	
Tabla 35. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% PET en reempl. de arena y nanoaditivo. edad 7 días</i>	72
Tabla 36. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% PET en reempl. de arena y nanoaditivo. edad 28 días</i> ..73	

Tabla 37. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% PET en reempl. de arena y nanoaditivo. edad 7 días</i>	77
Tabla 38. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% PET en reempl. de arena y nanoaditivo. edad 28 días.</i> .78	
Tabla 39. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo-edad 7 días</i>	82
Tabla 40. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena y sin nanoaditivo-edad 28 días</i>	82
Tabla 41. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques de hormigón reemplazando en volumen la cantidad de piedra pómez por plástico PET - edad 7 días</i>	85
Tabla 42. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques de hormigón reemplazando en volumen la cantidad de piedra pómez por plástico PET-edad 28 días</i>	85
Tabla 43. <i>Resultados de resistencia a compresión de bloques de hormigón de bloquera</i>	87
Tabla 44. <i>Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo</i>	88
Tabla 45. <i>Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo</i>	90
Tabla 46. <i>Resultados de peso volumétrico de bloques con 25% de PET en reempl. de arena sin nanoaditivo</i>	91
Tabla 47. <i>Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón reemplazando la cantidad de piedra pómez por plástico PET</i>	92
Tabla 48. <i>Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón de una bloquera</i>	92
Tabla 49. <i>Absorción máxima de agua en bloques Clase A</i>	95
Tabla 50. <i>Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo</i>	95
Tabla 51. <i>Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo</i>	97
Tabla 52. <i>Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 25% PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo</i>	99
Tabla 53. <i>Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con reemplazo de toda la cantidad de p. pómez por plástico PET</i>	99
Tabla 54. <i>Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón de una bloquera</i> ...	99
Tabla 55. <i>Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 0% PET sin aditivo</i>	103
Tabla 56. <i>Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 25% de PET sin aditivo</i>	104
Tabla 57. <i>Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 25% de PET + nanoaditivo</i>	105
Tabla 58. <i>Análisis de costo de bloque hueco de hormigón reemplazando p.pómez por PET</i>	106
Tabla 59. <i>Costo por unidad de bloque hueco de hormigón</i>	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicaciones de los áridos en la construcción	9
Figura 2. Rocas ígneas	10
Figura 3. Rocas Sedimentarias	11
Figura 4. Bancos de pizarra-Roca metamórfica	12
Figura 5. Bloquera Alan Service ubicada en el Barrio Santa Teresa-Sangolquí	14
Figura 6. Tamizado de áridos para bloques huecos de hormigón	15
Figura 7. Ensayo de densidades	19
Figura 8. Tiempo de degradación del plástico	24
Figura 9. Clasificación según el tipo de resinas	26
Figura 10. Plástico PET triturado.....	27
Figura 11. Tamizado manual de plástico PET por tamiz No. 50	28
Figura 12. Equipo para ensayo densidad del plástico PET triturado	30
Figura 13. a) Máquina troqueladora. b) probeta (PET) plástico	35
Figura 14. Dibujo de probeta para dimensiones establecidas en la Tabla 14	36
Figura 15. Máquina para ensayo de resistencia a la tracción	37
Figura 16. Ensayo de tracción-probetas correspondientes al plástico PET	37
Figura 17. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento de muestras PET	38
Figura 18. Gráfica promedio esfuerzo vs. deformación unitaria del PET	39
Figura 19. Nanoaditivo impermeabilizante.....	41
Figura 20. Elaboración manual de bloques huecos de hormigón.....	43
Figura 21. Nomenclatura de partes del bloque hueco de hormigón.....	45
Figura 22. Moldes metálicos para cilindros de hormigón.....	55
Figura 23. Proceso de enrasado del hormigón colocado en moldes cilíndricos.....	56
Figura 24. a) 2 cilindros en tanque de curado rápido, b) 2 cilindros dentro del laboratorio a humedad constante	57
Figura 25. Colocación de los materiales para la elaboración del hormigón para bloques	58
Figura 26. Hormigón seco utilizado en la elaboración de bloques huecos	59
Figura 27. a) Colocación del hormigón dentro del molde, b) proceso para desmoldar los bloques de hormigón	59
Figura 28. Proceso de endurecimiento y fraguado de bloques de hormigón	60
Figura 29. Proceso de curado empleado en la bloquera Alan Service ubicada en el barrio Santa Teresa	61
Figura 30. Proceso de curado y almacenamiento de bloques huecos de hormigón	61
Figura 31. Etiquetado de cilindros y bloques de hormigón	63
Figura 32. Ensayo a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón	64
Figura 33. a) colocación de mortero en la cara superior del bloque, b) Nivelación del mortero colocado en la parte inferior del bloque	65
Figura 34. Humedecimiento del refrentado colocado en los bloques huecos de hormigón.....	65
Figura 35. Colocación de bloque hueco de hormigón en la máquina de compresión.....	66

Figura 36. Planos de falla de cilindros de hormigón-edad 3 días	68
Figura 37. Planos de falla de cilindros de hormigón-edad 7 días	68
Figura 38. Modelos comunes de fisura de cilindros de hormigón.	69
Figura 39. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a cargas de compresión	71
Figura 40. Gráfica de esfuerzo a compresión vs. % de plástico PET de bloques huecos de hormigón (10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET) en reempl. de arena + nanoadit. Edad de curado 7 y 28 días.....	74
Figura 41. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con distintos porcentajes de PET que reemplazan la arena + nanoaditivo.....	75
Figura 42. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a compresión.	76
Figura 43. Gráfica de esfuerzo a compresión vs. % de plástico PET de bloques huecos de hormigón (10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET) en reempl. de arena + nanoad. Edad de curado 7 y 28 días.....	79
Figura 44. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con distintos porcentajes de PET que reemplazan arena + nanoaditivo.....	80
Figura 45. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a compresión.	81
Figura 46. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con 25% PET en reemplazo de arena con y sin nanoaditivo.....	83
Figura 47. Fisuras producidas en bloques huecos de hormigón.....	84
Figura 48. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo y bloques sin p. pómez	86
Figura 49. Gráfica comparativa esfuerzo a compresión de bloques de hormigón, edad 28 días ..	87
Figura 50. Gráfica de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo	89
Figura 51. Gráfica de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo	91
Figura 52. Gráfica comparativa de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón.	92
Figura 53. a) Bloques sumergidos durante 24 horas, b) Determinación de masa sumergida de de bloque hueco de hormigón	94
Figura 54. Secado de agua superficial de bloques huecos de hormigón.....	94
Figura 55. Gráfica de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo	96
Figura 56. Gráfica de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET y nanoaditivo	98
Figura 57. Gráfica comparativa de absorción de agua en bloques huecos de hormigón	100
Figura 58. Comparación del incremento de resistencia y reducción de absorción de agua en bloques huecos de hormigón	100
Figura 59. Comparación de costos de bloques huecos de hormigón	107
Figura 60. Comparación de costos y absorción de agua de bloques huecos de hormigón	108
Figura 61. Comparación costos y resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón....	108

RESUMEN

Esta investigación describe la elaboración y evaluación de bloques huecos de hormigón utilizando polímeros reciclados (PET) y nanoaditivo (impermeabilizante, mejorador de resistencia) junto al cemento, arena y piedra pómez, para buscar un material constructivo ecológico capaz de reducir la contaminación ambiental. Se realizaron tres fases; en la primera se caracterizó agregados pétreos, tereftalato de polietileno (PET) y nanoaditivo. En la segunda se estableció varias dosificaciones con diferentes porcentajes de PET triturado que representaban a la arena, adicionalmente se colocó una parte de nanoaditivo en relación del agua total de la mezcla. En la tercera fase se determinó el esfuerzo a compresión, peso volumétrico y absorción de los especímenes elaborados, de acuerdo con lo especificado en la norma NTE INEN 3066:2016. La dosificación óptima resultante fue 25% PET + 0,0087 kg de nanoaditivo, capaz de generar un mampuesto de mejor calidad, obteniendo una resistencia a la compresión de 36,5 kg/cm² muy cercano a la normativa (40 kg/cm²) y superior a los bloques comerciales (14,35 kg/cm²); en cuanto a los pesos volumétricos el plástico tuvo un buen desempeño debido a que logró reducir el peso en un 20%, además el uso de nanoaditivo impermeabilizante disminuyó el 25% de absorción de agua. El bloque de esta investigación resultó dos veces más caro que el elaborado de forma artesanal aún si se triplica la producción, debido a que de esta forma solo se logró reducir \$ 0,06 (8%). Pero en comparación con el elaborados de forma industrial los costos son muy semejantes.

PALABRAS CLAVES:

- **MAMPUESTOS**
- **COPOLÍMERO**
- **PET**
- **RESISTENCIA**

ABSTRACT

This research describes the development and evaluation of hollow concrete blocks using recycled polymers (PET) and nanoadditive (waterproofing, resistance improver) together with cement, sand and pumice, to search an ecological building material capable of reducing environmental pollution. Three phases were performed; in the first, it was characterized petrous aggregates, polyethylene terephthalate (PET) and nanoadditive. In the second one, several dosages were established with different percentages of crushed PET that represented to the sand, additionally a nanoadditive's part was placed in relation to the total water of the mixture. In the third phase, the compressive stress, volumetric weight and absorption of the elaborated specimens were determined, in accordance with what is specified in the NTE INEN 3066: 2016 standard. The resulting optimal dosage was 25% PET in replacement of sand + 0.0087 kg of nanoadditive, able to generate a better quality material, obtaining a compressive strength of 36.5 kg / cm² very close to the normative (40 kg / cm²) and superior to the of commercial blocks (14.35 kg / cm²); Regarding the volumetric weights, the plastic had a good performance because it managed to reduce the weight by 20%, in addition, the use of nanoadditive waterproofing decreased 25% of water absorption. The block of this research was twice as expensive as the one made way traditional, even if production is tripled, because it reduced only \$ 0.06 (8%). But in comparison with the industrially elaborated the costs are very similar.

KEYWORDS:

- **MAMPUESTOS**
- **COPOLYMER**
- **PET**
- **RESISTANCE**

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

Tradicionalmente se suele usar para la construcción de mampostería, materiales provenientes de depósitos aluviales, rocas, barro o bloques de hielo, obtenidos de áreas cercanas a las civilizaciones por la facilidad de transporte. Sin embargo, mientras pasa el tiempo estas acciones están influyendo en el ambiente de forma negativa, porque las materias primas durante su ciclo de vida (extracción, procesamiento, edificación y residuo) van dejando huellas ecológicas irreparables (Arenas, 2008).

El ritmo de extracción de áridos en las canteras incrementa cada año, por esta razón investigadores han visto necesaria la creación de nuevas materias primas que además de ser amigables con el entorno, sean resistentes y alivianen estructuras, pretendiendo tener un cambio positivo, al incluir en la construcción de edificaciones el concepto de desarrollo sostenible y sustentable que son relativamente novedosos (Fernández de Gatta, 2011).

La aplicación de los criterios de sostenibilidad, llevan hacia una conservación de los recursos naturales, una maximización en la reutilización de los recursos, una gestión del ciclo de vida, así como una reducción de la energía y agua global aplicados a la construcción del edificio y a su utilización durante su funcionamiento (Ramírez, 2002). Por otra parte, el desarrollo sustentable en la Industria de la Construcción se basa en tres aspectos que abarca el reciclaje y conservación de los materiales; seguido del mejoramiento de la durabilidad de las estructuras y, por último, pero no el menos importante el uso y aprovechamiento de los subproductos de otras industrias. (Martínez, 2005)

En Zipaquirá, Colombia se realizó un estudio que consistió en elaborar, ensayar y caracterizar mezclas de tereftalato de polietileno (PET) y cemento. Para llevar a cabo este proyecto se implementó una metodología experimental para poder determinar de modo preliminar el posible comportamiento del plástico PET para ser usado como agregado en una mezcla de concreto para la elaboración de bloques, como resultado final obtuvieron un bloque estable con características y funcionalidades que se asemejan a los bloques apropiados y de reemplazo de materiales que se extraen de la corteza terrestre (Garzón & Montaña , 2014).

Gaggino, R (2009) presenta una alternativa económica con materiales reciclados para elementos de mampostería con el propósito de reducir la contaminación ambiental y aumentar la resistencia de los bloques de hormigón, concluyendo que el PET utilizado en elementos constructivos reemplazan parcialmente a los áridos de un hormigón convencional, obteniendo ventajas como la reducción del peso específico y mejor aislación térmica.

En Ecuador se han realizado pocas investigaciones sobre el uso del tereftalato de polietileno (PET) como material alternativo en la construcción, estos proyectos han sido realizados en ciudades principales del país como Quito, Guayaquil y Cuenca. Moreno Cárdenas & Cañizares Ortega (2011) proponen el estudio de una tecnología innovadora y ecológica en la elaboración de agregado para adoquines, en la ciudad de Quito debido a que existe gran cantidad de botellas plásticas PET.

La elaboración de materiales constructivos cuya composición de mezclado contiene PET reciclado, ahorra costos y genera beneficios de durabilidad en comparación con los materiales elaborados tradicionalmente (Tolozano Zuñiga, 2016). Además al ser un residuo contaminante de mayor cantidad en el planeta genera un gran impacto ambiental perjudicial, por lo que el reciclaje deberá convertirse en un hábito, ya que son responsables de evitar el aumento de contaminación en el transcurso de los años, y no como beneficio de entidades que se aprovechan de las personas de

bajos recursos que tienen que trabajar en los basureros propensos a enfermedades (Pullaguari Puente, 2010). El uso de este polímero reciclado genera nuevos productos que favorecen el sector de la construcción donde es notable la posibilidad de sustituir plástico triturado por los áridos que comúnmente se emplean en la elaboración de materiales constructivos (Orellana Ríos & Serrano López, 2015).

Al utilizar plástico reciclado en la elaboración de bloques de hormigón es indispensable controlar la proporción en la mezcla, por lo tanto, en el presente trabajo investigativo se propone la búsqueda del porcentaje óptimo de tereftalato de polietileno (PET) y nanoaditivos que, en unión con el material pétreo de Latacunga previamente caracterizado, se obtenga una dosificación adecuada que reduzca el peso y aumente la resistencia a la compresión.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Macro

El problema surge por el exceso de contaminación producida por la maquinaria que extrae el material pétreo de las canteras para la elaboración de materiales que son utilizados como elementos constructivos a nivel mundial. La industria de la construcción consume el 50% de los recursos mundiales, convirtiéndose en la actividad menos sustentable del planeta, por esta razón que algunos países como México, Colombia, Argentina, España están tratando de reducir el impacto ambiental, mediante la incorporación de materiales sustentables y ecológicos (Evans, 2010).

1.2.2. Meso

La mayor cantidad de mampostería construida en las edificaciones de Ecuador es generalmente con ladrillo y bloque alivianado de hormigón simple, en la actualidad estos mampuestos tienen un peso elevado en comparación al deseado, por lo que generan una estructura pesada. Con el

terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016 en Pedernales, varias construcciones sufrieron daños en su mampostería debido a la baja resistencia de los mampuestos utilizados (Vásconez, 2016).

En el país son muy pocas las alternativas de elementos constructivos en comparación con el resto de los países latinoamericanos, por lo que se propone una solución sostenible y económica que consiste en mezclar los materiales comunes con materiales reciclados, que resultan ser más resistentes y económicos que los explotados de la corteza terrestre. En Ecuador el 11% de residuos sólidos pertenecen a los plásticos PET (Ministerio del Ambiente, 2017) convirtiéndose en uno de los mayores contaminantes porque su degradación dura entre 100 a 1000 años, siendo muy útil en la elaboración de bloques alivianados (Garzón & Montaña , 2014).

1.2.3. Micro

Los materiales utilizados en la construcción de mampostería como los bloques alivianados de hormigón simple son distribuidos en el cantón Rumiñahui y son elaborados con materiales pétreos que se encuentran en los depósitos que están ubicados alrededor del cantón, este material proviene de canteras de Latacunga donde se encuentra la piedra pómez, que es comúnmente empleada en la fabricación de estos mampuestos. Con respecto a los residuos inorgánicos de preferencia el plástico tereftalato de polietileno (PET), en el cantón Rumiñahui se genera aproximadamente un 8%, lo que ha ido incrementado desde el año 2012 donde se tenía un porcentaje del 4,25% de residuos PET (Vilatuña, 2012).

1.3. Área de estudio

Geográficamente la zona de estudio está situada en Ecuador, cuyas coordenadas son 2° 0' 0'' latitud sur y 77° 30' 0'' longitud oeste. Limita con Colombia al norte, sur y al este con Perú, y por el Océano Pacífico al oeste.

1.3.1. Área de intervención

Industria de la construcción

1.3.2. Área de influencia directa

Se tiene como área de influencia directa a todos los involucrados en la industria de la construcción a nivel nacional, siendo un aporte en el reciclaje de residuos sólidos y una opción de material de construcción.

1.3.3. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta abarca a todos los involucrados en la industria de la construcción a nivel de Latinoamérica.

1.4. Justificación

La principal causa del deterioro ambiental que enfrentamos los seres vivos se debe a la extracción indiscriminada de material pétreo o áridos, por esta razón en el área de la construcción es indispensable utilizar métodos y técnicas alternativas que tengan como uno de sus objetivos primordiales el cuidado ambiental. Los avances en construcciones sostenibles no han tenido relevancia en Ecuador debido a la escasa información y falta de conocimiento sobre el tema y para solucionar este problema se plantea elaborar un bloque ecológico como material de construcción, a base de polímeros reciclados, tomando en cuenta que “tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen” (Carballo Gutiérrez, 2009, pág. 62), lo que permite dar un mejor uso a estos residuos sólidos contaminantes. Además, se desea aumentar la resistencia del mampuesto colocando una porción de aditivo fabricado en base a nano partículas.

Esta investigación permite conocer mediante un análisis y evaluación las propiedades físicas y mecánicas que adquieren los bloques al remplazar el material pétreo por material reciclado, y determinar la viabilidad de ser empleados en mampostería o en losas alivianadas. Principalmente

el proyecto se enfoca en el cuidado de los recursos naturales mediante el reciclaje de plástico PET, el cual tiene la característica de reducir el peso y el costo del bloque de hormigón.

La investigación beneficia a los constructores y a los propietarios de las edificaciones, debido a que el producto puede generar una reducción en precios y proporcionar una estructura con mayor resistencia en elementos constructivos. La gestación del proyecto brinda un significativo aporte en la investigación de materiales ecológicos que son utilizados en el ámbito constructivo, lo que aumentará el interés de crear nuevos métodos de construcción a nivel nacional, generando un gran desarrollo social.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar el esfuerzo a compresión y el peso volumétrico de bloques alivianados de hormigón, con la utilización de polímeros reciclados y nanoaditivos, para reducir la contaminación ambiental y costos en la construcción.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosificación adecuada de tereftalato de polietileno (PET) óptimo en porcentaje del volumen de la arena.
- Calcular la dosificación adecuada de nanoaditivo óptimo en función del volumen de agua utilizada en la mezcla.
- Establecer la dosificación adecuada de partículas tereftalato de polietileno (PET)+ nanoaditivo óptimo.
- Comparar el peso volumétrico de un bloque alivianado sin aditivos y bloques alivianados con aditivos.

- Realizar ensayos de resistencia a la compresión.

1.6. Metas

- Identificación de las propiedades mecánicas de los materiales a utilizarse en la elaboración de bloques alivianados de hormigón con polímeros reciclados.
- Determinación de la dosificación óptima y elaboración de bloques alivianados de hormigón añadiendo partículas de plástico tereftalato de polietileno (PET) y nanoaditivos.
- Realización de los ensayos de resistencia a la compresión, densidad, absorción y contenido de humedad, especificados en la norma INEN 3066.
- Análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados y verificación de que el bloque alivianado con aditivos tenga las características deseadas de resistencia a la compresión, acorde a las normas vigentes.

1.7. Hipótesis

La utilización de tereftalato de polietileno (PET) y nanoaditivos en la elaboración de bloques de hormigón contribuyen en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de estos mampuestos.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS PARA BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

2.1. Introducción

En la norma NTE-INEN 3066, Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo, publicado por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (2016) se define que, “los bloques de hormigón se deben elaborar con cemento hidráulico, áridos finos y gruesos, tales como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias u otros materiales inorgánicos inertes adecuados” (pág. 3). Los agregados o áridos finos y gruesos son encontrados generalmente en ríos y valles los mismos que han sido depositados con el tiempo debido a las corrientes de agua (Fonseca Acosta, 2015).

La proporción de agregados finos y gruesos que son utilizados en la elaboración de bloques de hormigón esta entre el 85 y 90%, los cuales deben cumplir con ciertos requisitos como: ser un material limpio, es decir libre de arcillas, sedimentos limosos y material orgánicos, también deben ser resistentes cuyas partículas no se desintegren ante las condiciones climáticas y no deben poseer productos químicos absorbidos, debido a que puede influir en la adherencia con el cemento (Pfeiffenberger, 1987).

2.2. Utilidad de los áridos en la construcción

Los áridos que son empleados en la construcción son caracterizados por ser materiales inorgánicos utilizados en la fabricación de ladrillos, o en la elaboración de mortero u hormigón (Andujar & Navarro, 2016). Esta materia prima proviene "de las rocas ígneas, de las sedimentarias y de las metamórficas, y es de esperarse que las cualidades físicas y mecánicas de la roca madre se

conserven en sus agregados" (Asociación Costarricense de Concesionarios de Materiales y Agregados para la Construcción, 2013, pág. 1).

En el trabajo realizado por Vizcardo Ortega & Trinidad Santos (2014), de la Universidad Nacional Federico Villareal de Lima se menciona que:

En la actualidad es posible producir algunos tipos de agregados de manera artificial, como por ejemplo la perlita y la vermiculita que se obtienen de la cocción de espumas volcánicas, otro ejemplo lo constituye el agregado ligero que se obtiene de la expansión por cocción de nódulos de arcilla, en general a estos agregados se les puede llamar agregados sintéticos. Existen otros materiales resultado de la actividad industrial que bajo ciertas condiciones pudieran usarse como agregados (en lugar de almacenarse como desperdicio), como la escoria de alto horno, la arena sílica residual del moldeo de motores, la ceniza de carbón quemado y otros. (pág. 2)

En la Figura 1 se observa los porcentajes correspondientes a las diferentes aplicaciones de los áridos en la construcción.

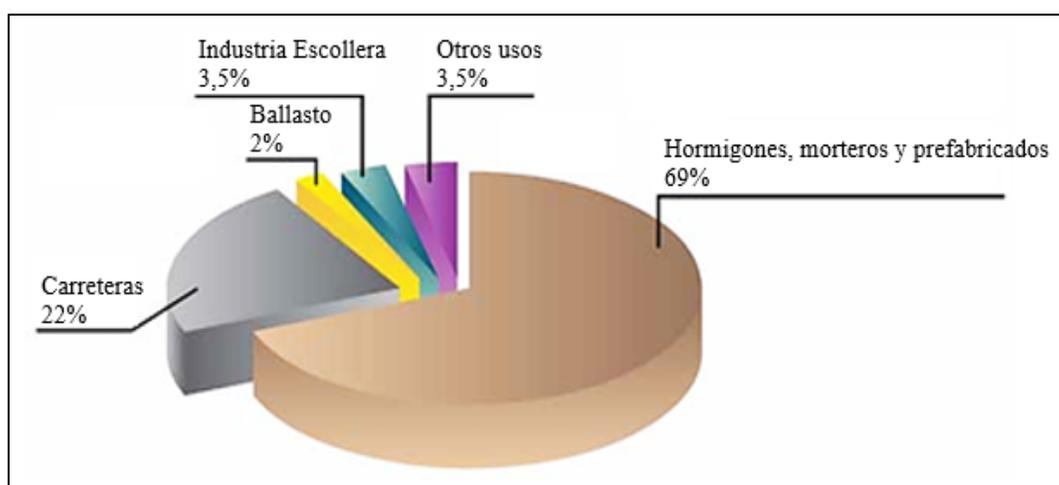


Figura 1. Aplicaciones de los áridos en la construcción

Fuente: (Luaces, 2010)

2.3. Clasificación de los áridos

2.3.1. Clasificación por su origen

2.3.1.1. Agregados Ígneos

Conocidas también como rocas endógenas, originarias de la solidificación producida por el enfriamiento del magma, según varios autores entre ellos Meneses Campos, (2009) mencionan que hay dos grupos de rocas ígneas, como se puede observar en la Figura 2.

- Rocas intrusivas, generadas abajo de la superficie terrestre mediante un enfriamiento lento del magma.
- Rocas extrusivas, denominadas también volcánicas debido a que es el material que es arrojado en las erupciones volcánicas, esta roca proviene cuando ocurre un enfriamiento rápido.



Figura 2. Rocas ígneas
Fuente: (Pandian, 2010)

2.3.1.2. Agregados Sedimentarios

Formados por la petrificación de los sedimentos, materiales que se encuentran depositados de manera estratificada en la superficie terrestre que, a bajas temperaturas y presiones, llega a producirse el fenómeno de diagénesis generando la compactación del material como se puede

visualizar en la [Figura 3](#). Existe dos tipos de agregados sedimentarios: las detríticas, generadas de la sedimentación de trozos de otras rocas (conglomerados, areniscas, limos y arcillas), y las químicas y orgánicas, formadas por la acumulación de sustancias que tienen origen orgánico (Guevara, 2015).



Figura 3. Rocas Sedimentarias
Fuente: (Pérez Porto & Gardey, 2016)

2.3.1.3. Agregado Metamórfico

Para que el proceso de metamorfismo en la roca empiece, la temperatura y la presión debe ir aumentando con la profundidad (La Gaveta, 2011). Guevara, D (2015) señala que los agregados metamórficos tienen diferentes tipos, lo cual se describen a continuación:

- La Pizarra, roca que se encuentra en la superficie terrestre en forma de láminas finas y rectas que en ciertas ocasiones presenta fósiles, en la [Figura 4](#) se observa este tipo de materia prima.
- Los Esquistos, rocas cuyo metamorfismo ha sido intenso y tienen una foliación deformada.
- El Gneis, contiene minerales como el cuarzo y micas, se exhiben en franjas claras y oscuras.



Figura 4. Bancos de pizarra-Roca metamórfica
Fuente: (Camarasa, 2013)

2.3.2. Clasificación por fragmentación

De acuerdo con el tipo de fragmentación los agregados se clasifican en tres grupos:

- Agregados naturales, partículas en las que la mano del hombre no ha intervenido, al contrario, se han fragmentado comúnmente por erosión.
- Agregados manufacturados, se consigue mediante el proceso de trituración con el uso de máquinas industriales.
- Agregados mixtos, actúan los procesos anteriormente descritos.

2.3.3. Clasificación por su tamaño

Los áridos utilizados en la elaboración de bloques de hormigón se clasifican por su tamaño en finos (arena) y gruesos (piedra pómez), se debe tener en cuenta esta característica debido a que es importante en la dosificación y trabajabilidad del hormigón (Álvarez Mejía, 2014). En la [Tabla 1](#) se encuentra detallado el tamaño nominal de las partículas de cada agregado.

Tabla 1.*Clasificación de los áridos de acuerdo con el tamaño de la partícula*

Clasificación	Intervalo nominal (mm)	Malla correspondiente
Árido fino (arena)	0,075-4,75	N°200-N°4
Árido grueso (piedra pómez)	4,75-variable	N°4

Fuente: (Pullaguari Puente, 2010)

2.3.3.1. *Árido fino (arena)*

El agregado fino que se emplea en la elaboración de bloques de hormigón debe estar conformado por partículas resistentes, con gran dureza, limpias, con la finalidad de evitar que la mezcla del hormigón se vea afectada (Hernández, 2014), generalmente este agregado está formado “por granos naturales depositados por las aguas. Las arenas de mina provienen de yacimientos que pueden encontrarse hoy día lejos de cursos de agua, en estratos a mayor o menor profundidad pero que, posiblemente, constituyeron ríos o lagunas” (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014, pág. 61).

Las características de la arena (tamaño, forma, distribución granulométrica y textura) deben garantizar una mezcla uniforme evitando que los materiales se segreguen (Barrantes Villanueva & Holguin Romero, 2015), para lo cual el módulo de finura debe estar en el rango de 2.3 y 3.1 permitiendo que el hormigón elaborado sea manejable, por lo tanto, es importante controlar la cantidad de agregado fino, debido a que si la arena es insuficiente la mezcla se torna áspera o en el caso contrario al existir mayor cantidad de arena la mezcla tiene una consistencia seca por lo que se requiere colocar más agua (Granja Bolaños, 2014). Generalmente en la fabricación de bloques de hormigón, la arena depositada es el 60% del total de áridos.

2.3.3.2. Árido grueso (piedra pómez)

La piedra pómez conocida como pumita es utilizada en la elaboración de hormigón liviano y de baja resistencia lo cual depende del grado de trituración del material. Este tipo de agregado es generado por el enfriamiento del magma por lo que presenta gran cantidad de poros generando un material de peso ligero y con la capacidad de absorber y retener agua (Jiménez Sevilla, 2016).

La estructura de la pumita “está compuesta por partículas vítreas con un alto contenido de sílice superior al 50%” (Valdez Guzmán & Suarez Alcivar, 2010, pág. 48). Su textura porosa genera que el material tenga una densidad baja (0,4 a 0,9 g/cm³), a pesar de que presente valores entre 2,1 a 2,5 g/cm³ de gravedad específica. Se emplea comúnmente en la construcción de mampostería de viviendas debido a que aísla el calor fácilmente (Castillo , 2013).

2.4. Propiedades físicas y mecánicas

2.4.1. Muestreo campo

En la presente investigación el material (arena y piedra pómez) que se empleó en la fabricación de bloques huecos de hormigón fueron adquiridos de una bloquera ubicada en el Barrio Santa Teresa-Sanqolquí (ver [Figura 5](#)), la misma que recibe los agregados de Lasso-Latacunga.



Figura 5. Bloquera Alan Service ubicada en el Barrio Santa Teresa-Sangolquí

2.4.2. Granulometría de áridos NTE INEN 696

El tamaño de los agregados que son utilizados en la elaboración de bloques debe ser el adecuado para evitar que se trabe o quede huecos al momento de la fundición, es recomendable que sea $1/3$ del espesor de los tabiques del bloque, como se tiene 2,5 cm de espesor el procedimiento de análisis granulométrico del agregado fino se empleó para la arena y para el cascajo, con la finalidad de evitar partículas de tamaño superior al espesor de las paredes del mampuesto. La cantidad de muestra de árido fino y grueso que se utilizó en el ensayo es de 500g para cada uno.

Para el desarrollo de este ensayo se usó una balanza con precisión de carga de 0,1g y de acuerdo con la norma INEN 872 establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011) se empleó tanto para la arena como para la piedra pómez los siguientes tamices: (3/8", No. 4, No.8, No.16, No. 30, No.50, No. 100). Finalmente se utilizó un agitador de tamices mecánico, el mismo que debe generar un movimiento de rebote produciendo que las partículas caigan como se observa en la [Figura 6](#) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).



Figura 6. Tamizado de áridos para bloques huecos de hormigón

2.4.2.1. Resultados

Tabla 2.
Granulometría del agregado fino (arena), NTE INEN 696

MUESTRA No. Arena				
Tamices	P. Retenido (g)	P. Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% acumulado pasa total
3/8" (9.5mm)	3,12	3,12	1	99
No. 4 (4,76 mm)	49,56	52,68	11	89
No. 8 (2,36 mm)	63,54	116,22	23	77
No. 16(1,18 mm)	77,60	193,82	39	61
No. 30(0,6 mm)	56,03	249,85	50	50
No. 50(0,30mm)	77,41	327,26	66	34
No. 100(0,15 mm)	66,28	393,54	79	21
Pasante No 100	105,33	498,87	100	0
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		500		
MODULO DE FINURA:		2.7		

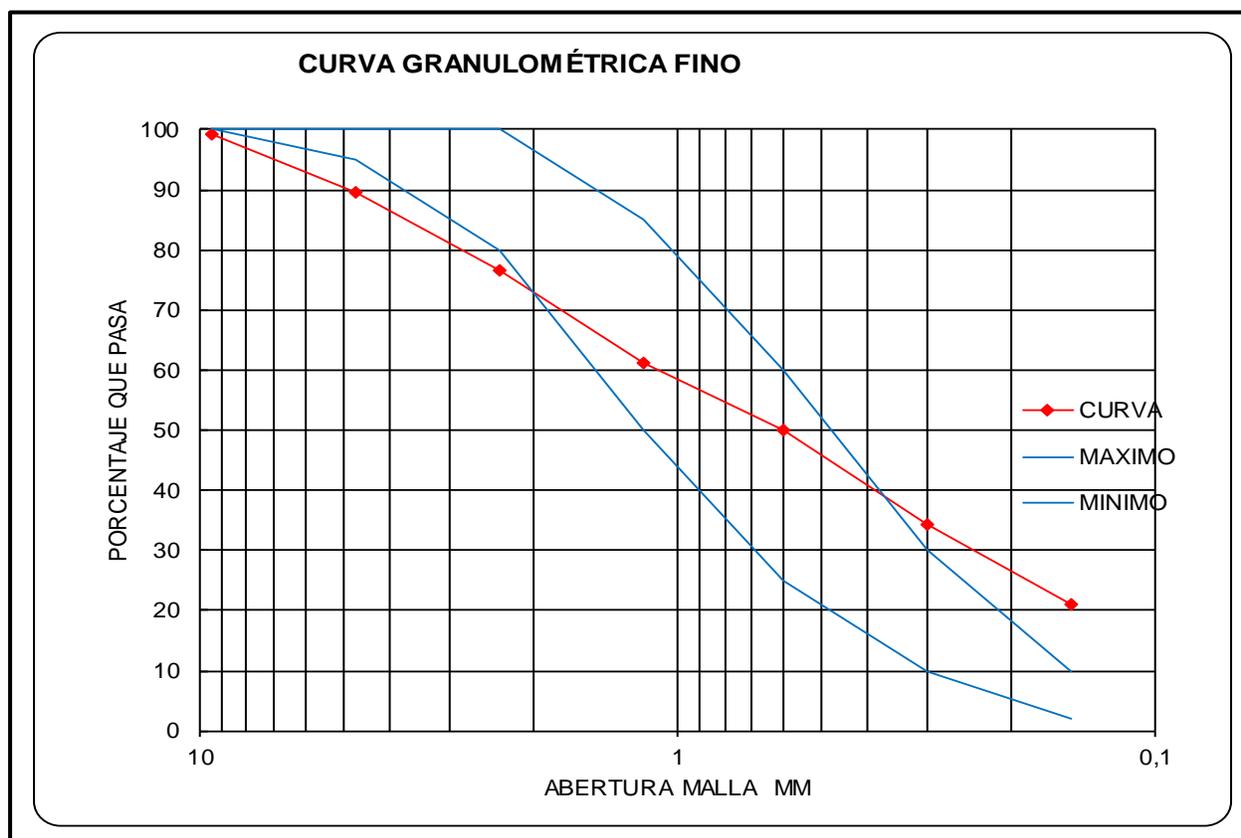
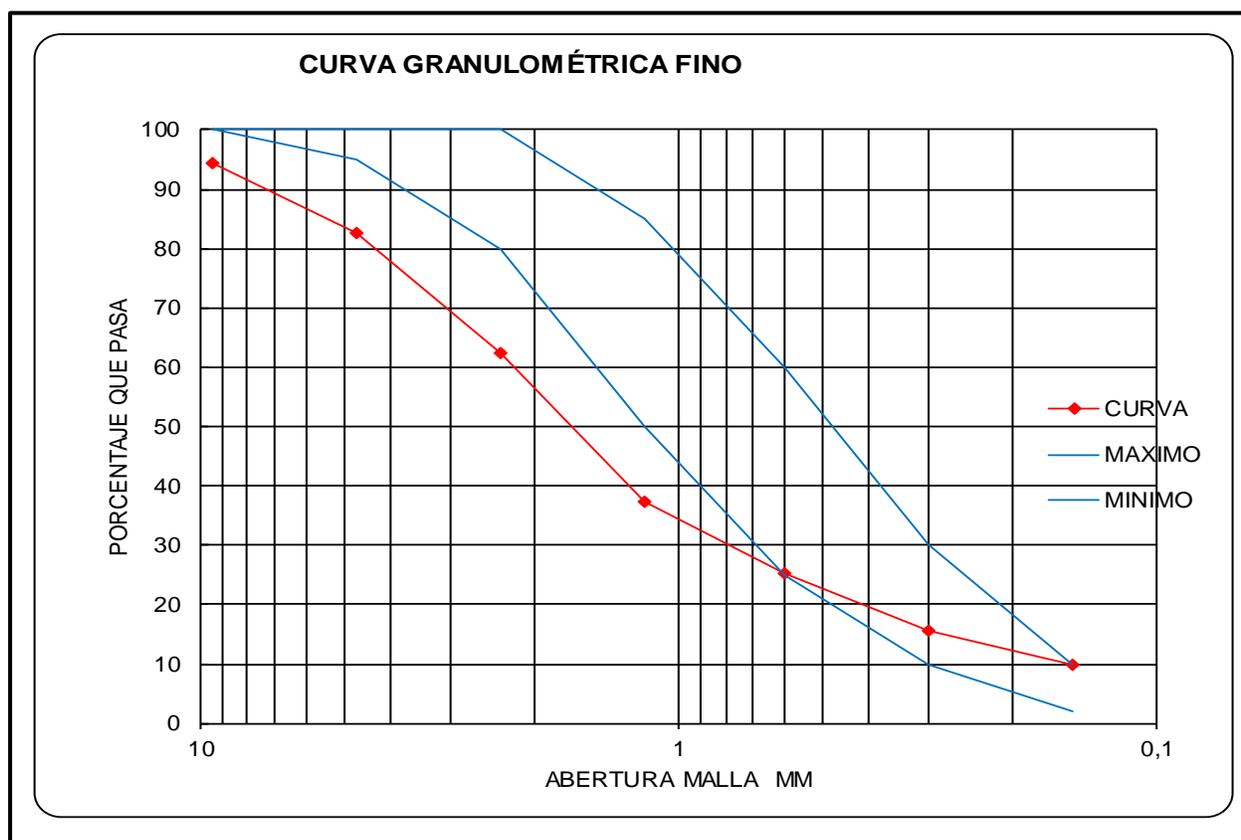


Tabla 3.*Granulometría agregado grueso (piedra pómez) NTE INEN 696*

MUESTRA No. Piedra pómez				
Tamices	P. Retenido (g)	P. Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% Acumulado pasa total
3/8" (9,5mm)	27,56	27,56	6	94
No. 4 (4,76 mm)	58,95	86,51	17	83
No. 8 (2,36 mm)	101,18	187,69	38	62
No. 16(1,18 mm)	124,94	312,63	63	37
No. 30(0,6 mm)	59,55	372,18	75	25
No. 50(0,30mm)	48,07	420,25	84	16
No. 100(0,15 mm)	29,53	449,78	90	10
Pasante No 100	48,78	498,56	100	0
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		500		
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		1/2"		



Se determinó los porcentajes del material retenido en cada tamiz y del pasante del tamiz No.100 con una aproximación del 0,1%. El módulo de finura de la arena ensayada es 2,7 valor que resulta dividiendo la suma de los porcentajes retenidos acumulados para 100 (ver Tabla 2), en el análisis del agregado grueso lo que se obtiene es el tamaño máximo nominal, el material analizado en esta investigación presentó que el 100% pasa el tamiz ½” es decir que el tamaño máximo de la piedra pómez es de 12,5 mm (ver Tabla 3), en ambos casos se obtuvo una diferencia menor al 0,3% entre la masa original y la masa total después del tamizado.

2.4.3. Determinación de la densidad y absorción para agregados NTE INEN 856

La densidad es una característica tanto para el agregado grueso como para el fino que permite determinar el volumen ocupado por dichos áridos en la mezcla. En cambio, la masa que presenta un árido cuando absorbe agua por medio de sus partículas es calculado mediante el ensayo de absorción que se realiza a cada material (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

El método para determinar la densidad y absorción del árido fino es el procedimiento gravimétrico por lo tanto el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010) dispone el siguiente equipo para el desarrollo del ensayo: balanza con una precisión del 0,1%, picnómetro con una capacidad de 500 cm³ (ver Figura 7) y un horno el mismo que debe permanecer a una temperatura uniforme de 110°C±5°C. El procedimiento que especifica la norma utilizada se utilizó para determinar la densidad y absorción de la arena y de la piedra pómez, debido a que el tamaño del agregado grueso requerido para la elaboración de bloques de hormigón es menos de 12,5 mm.



Figura 7. Ensayo de densidades

2.4.3.1. Resultados

Las densidades de los agregados se obtienen cuando la muestra se encuentra en condición seca al horno y saturada superficialmente seca, para este cálculo es necesario conocer el peso específico del agua a través de la temperatura. En la Tabla 4 y Tabla 5 se muestra los cálculos realizados a las muestras, dando como resultado en arena una densidad específica de $2,47 \text{ g/cm}^3$ y 3,45% de absorción, y en la piedra pómez $1,84 \text{ g/cm}^3$ de densidad específica y 18,44% de absorción.

Tabla 4.

Densidad y absorción del agregado fino (arena) NTE INEN 856

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
A	Peso de la muestra saturada con superficie seca	(g)	481,67
C	Peso de la muestra seca	(g)	465,60
D	Peso del frasco lleno de agua	(g)	682,93
E	Peso del frasco lleno con la muestra saturada	(g/cm ³)	969,91
g	Peso específico del agua a la temperatura (19.5°C)		0,99833
(C/C+D-E)*g	Peso específico del material impermeable de las partículas	(g/cm ³)	2,60
(A/A+D-E)*g	Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca	(g/cm ³)	2,47
(C/A+D-E)*g	Peso específico de las partículas secas	(g/cm ³)	2,39
(A-C/C)*100	Absorción de agua	(%)	3,45

Tabla 5.*Densidad y absorción del agregado grueso (piedra pómez) NTE INEN 856*

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
A	Peso de la muestra saturada con superficie seca	(g)	500
C	Peso de la muestra seca	(g)	422,14
D	Peso del frasco lleno de agua	(g)	680,34
E	Peso del frasco lleno con la muestra saturada	(g/cm ³)	908,33
g	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo		0,99831
(C/C+D-E)*g	Peso específico del material impermeable de las partículas	(g/cm ³)	2,17
(A/A+D-E)*g	Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca	(g/cm ³)	1,84
(C/A+D-E)*g	Peso específico de las partículas secas	(g/cm ³)	1,55
(A-C/C)*100	Absorción de agua	(%)	18,44

2.4.4. Determinación del peso volumétrico de los áridos NTE INEN 858

El peso volumétrico del agregado es fundamental en el diseño de la dosificación del hormigón, debido a que permite conocer la relación que existe entre la masa y el volumen con la finalidad de determinar la cantidad de material que debe usarse en la mezcla (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Para la ejecución del ensayo es necesario una balanza calibrada, una varilla lisa con extremos redondos de $\phi=16$ mm y un molde metálico que según el tamaño máximo del árido (12,5mm) debe tener 2800 cm³ de capacidad, por tal razón se usó para el agregado fino y grueso (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

En la norma INEN 858 establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010) se describe tres métodos para determinar el peso volumétrico también conocido como masa unitaria, para este proyecto al tener un tamaño de árido menor a 37,5 mm se aplicó el proceso de varillado para la condición compactada.

2.4.4.1. Resultados

Tabla 6.

Peso volumétrico suelto y varillado del agregado fino (arena) NTE INEN 858

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	
Nº Prueba	1	2	1	2
Peso del molde (g)	2663	2663	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	6209	6445	6944	7076,0
Peso suelo (g)	3546	3782	4281	4413
Volumen (cm3)	2767	2767	2767	2767
Densidad suelta (g/cm3)	1,28	1,37	1,55	1,59
Media (g/cm3)	1,32		1,57	

Tabla 7.

Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso (piedra pómez) NTE INEN 858

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO	
Nº Prueba	1	2	1	2
Peso del molde (g)	2663	2663	2663	2663
Peso molde +suelo (g)	4815	4814	5034	5054
Peso suelo (g)	2152	2151	2371	2391
Volumen (cm3)	2767	2767	2767	2767
Densidad suelta (g/cm3)	0,78	0,78	0,86	0,86
Media (g/cm3)	0,78		0,86	

La arena utilizada en este proyecto presentó una masa unitaria suelta de $1,32\text{g/cm}^3$ y compactada de $1,57\text{ g/cm}^3$ (ver Tabla 6), en cambio para la piedra pómez se obtuvo un peso volumétrico suelto de $0,78\text{ g/cm}^3$ y compactado de $0,86\text{ g/cm}^3$ como se observa en la Tabla 7.

2.4.5. Determinación de humedad de áridos para hormigón NTE INEN 862

Para el desarrollo del ensayo se empleó una balanza calibrada con una precisión del 0,1% de la masa a ensayar, un horno que mantenga una temperatura constante de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, un recipiente o taras que no sean afectadas por el calor, en el caso de que se use otra fuente de calor

como un horno microondas se debe evitar el uso de recipientes metálicos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

2.4.5.1. Resultados

La fórmula que se aplicó para el cálculo de humedad total tanto para la arena y el cascajo es la siguiente:

$$P = 100(W - D)/D \quad (1)$$

Donde:

P= Contenido de humedad (%);

W=Muestra húmeda (g)

D= Muestra seca al horno (g)

Tabla 8.

Contenido de Humedad del agregado fino (arena) y grueso (piedra pómez) NTE INEN 862

Muestra	Arena		Piedra Pómez	
	M14L	A39	301	IB
Recipiente	10,90	9,90	11,40	11,90
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	80,50	79,30	71,80	75,10
Peso del recipiente + muestra seca (g)	71,90	70,80	61,80	65,50
Peso del agua (g)	8,60	8,50	10,00	9,60
Peso seco (g)	61,00	60,90	50,40	53,60
% agua	14,10	13,96	19,84	17,91
Promedio:	14,03		18,88	

El porcentaje de humedad de la arena fue de 14,03% y de la piedra pómez de 18,88%. La humedad que presenta cada agregado puede variar debido a que esta propiedad depende de la temperatura que presenta el lugar de almacenamiento de estos.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS POLÍMEROS RECICLADOS Y NANOADITIVOS

3.1. Introducción

Los plásticos forman parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros, conformados por largas cadenas macromoleculares cuya principal composición es carbono e hidrógeno. Las propiedades que poseen los plásticos pueden llegar a sustituir a materiales convencionales que se usan en elementos de mampostería (Garzón & Montaña , 2014).

Los primeros plásticos, como el celuloide, partían de polímeros a los que se añadían sustancias plastificantes. En la década de los 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE) (ANAIP, 1991). El plástico ha ido evolucionando en el transcurso de los años, en la actualidad el tereftalato de polietileno conocido como PET es el más utilizado por los seres humanos.

Schlossberg (2017) menciona en su artículo publicado en el periódico The New York Times que “las características que han vuelto tan importante al plástico en el mercado global son las mismas que lo hacen un contaminante generalizado: la durabilidad y la resistencia a la degradación”. En la Figura 8 se observa el tiempo de degradación del plástico y debido a que tarda varios años en descomponerse es recomendable reciclarlo y emplearlo en nuevos materiales, con la finalidad de reducir la producción de más plásticos.

10~400 Años Vaso desechable "Polipropileno"	100-1000 Años Botellas de plástico "PET"	Más de 1000 Años Vasos térmicos "Poliestireno"	100-400 Años Bolsas plásticas "Polietileno"
			

Figura 8. Tiempo de degradación del plástico

Fuente: (EcoloKids, 2016)

Por otra parte, el uso de aditivo compuesto por nano partículas permitirá que el mampuesto propuesto en el presente proyecto de investigación genere mejores resultados de esfuerzo a la compresión y de absorción, debido a que un nanomaterial proporciona estabilización y refuerzo de propiedades de la materia a un nivel mil veces más pequeño que el antiguo nivel "micro" (Frutos, 2010).

3.2. Clasificación de los plásticos

Hoy en día en el mundo se produce gran cantidad de plásticos de diferentes características (ver [Figura 9](#)) y a través de un código numérico son clasificados según el tipo de plástico (Recytrans, 2013), este código internacional fue creado en 1988 por la SPI (Sociedad de la Industria de Plásticos) y es usado comúnmente en el sector industrial con la finalidad de identificar los productos plásticos según la cantidad de resinas que se encuentren en su composición (Pascual, 2015). La norma ASTM D7611 (2013) provee al personal encargado del reciclaje de plástico y a otros interesados la codificación de las categorías de resinas que frecuentemente son usadas, en la [Tabla 9](#) se presenta los códigos de identificación opción A y B que se describe en esta norma.

Tabla 9.
Códigos de identificación de resinas plásticas

Resina	Código de identificación de resina	
	Opción A	Opción B
Tereftalato de polietileno	 PETE	 PET
Polietileno de alta densidad	 HDPE	 PE-AD
Policloruro de vinilo	 V	 PVC
Polietileno de baja densidad	 LDPE	 PE-BD
Polipropileno	 PP	 PP
Poliestireno	 PS	 PS
Otras resinas	 OTHER	 O

Fuente: (ASTM D7611 / D7611M-13e1, 2013)

Las principales características y usos de cada tipo de resina se definen a continuación según lo mencionado por Pascual (2015):

- PETE o PET. - es empleado en la fabricación de botellas destinadas para bebidas y mediante su reciclaje se puede generar fibras que sirven para rellenar almohadas, alfombras o para fabricar ropa.
- HDPE o PE-AD. - generalmente se usa en recipientes de leche, jugos, champú, yogur, aceite para motor. Este producto plástico al ser reusado se convierte en botes de basura, tuberías de drenaje, esferos, macetas.

- V o PVC. - se encuentra en empaques de comida como aceites de cocina, también en envases de productos de limpieza, tubería PVC. No es muy común su reciclaje.
- LDPE o PE-BD. – sirve para la elaboración de fundas, empaques para envolver comida y tienen la ventaja de volverse a usar como bolsas de compras.
- PP. – esta resina está presente en las tapas de recipientes, sorbetes, platos y vasos desechables, su reciclado permite la fabricación de cajas para baterías, escobas, etc.
- PS. – el poliestireno es empleado comúnmente en las bandejas de carnes que se venden en los supermercados, también en cartones de huevos y en vasos utilizados para café, aguas aromáticas, entre otras bebidas calientes.
- OTROS. – en esta categoría se encuentran los productos que contienen una combinación de varios plásticos como recipientes para microondas, computadores etc.



Figura 9. Clasificación según el tipo de resinas

Fuente: (Oleh, 2016)

3.3. Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno (PET)

Según García, Bracho, & López (2017, pág. 58) el plástico PET empleado en bloques de hormigón genera una reducción en el peso, y un aumento en las propiedades mecánicas, por lo que se analizó este tipo de plástico. Es un material que se encuentra con facilidad y está “compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% aire” (Alesmar, Rendón, & Korody, 2008, pág. 77), una composición química que no le permite degradarse rápidamente, y que genera un alto nivel de contaminación en el planeta, por lo que es recomendable reciclarlo.

El tereftalato de polietileno triturado que se empleó en la elaboración de los bloques huecos de hormigón se obtuvo de la planta industrial Enkador, empresa situada en Sangolquí junto al Club “Los Chillos”, encargada de la venta nacional e internacional de resinas procedentes de envases PET reciclados (ver [Figura 10](#)) con lo que aporta en la industrialización de productos para jardinería, limpieza e incluso para la fabricación de ropa (ENKADOR, 2017). El material proporcionado pasa por un proceso de lavado en el cual emplean agua, impidiendo la colocación de productos químicos contaminantes (Lagos Ruiz, 2008).



Figura 10. Plástico PET triturado

3.3.1. Granulometría del plástico PET

Debido a que el PET reemplaza en porcentaje al agregado fino, se usó las especificaciones establecidas por la norma INEN 696 para obtener el análisis granulométrico, por lo tanto es necesario disponer de una balanza cuya precisión sea de 0,1g, tamices (3/8", No. 4, No.8, No.16, No. 30, No.50, No. 100) y una máquina de tamizado automático pero adicionalmente se realizó tamizado manual como se observa en la [Figura 11](#) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). La cantidad de plástico PET triturado con la que se inició la evaluación granulométrica es de 300 g, este material es secado previamente al aire procurando que el polvo plástico no se desplace con el viento.



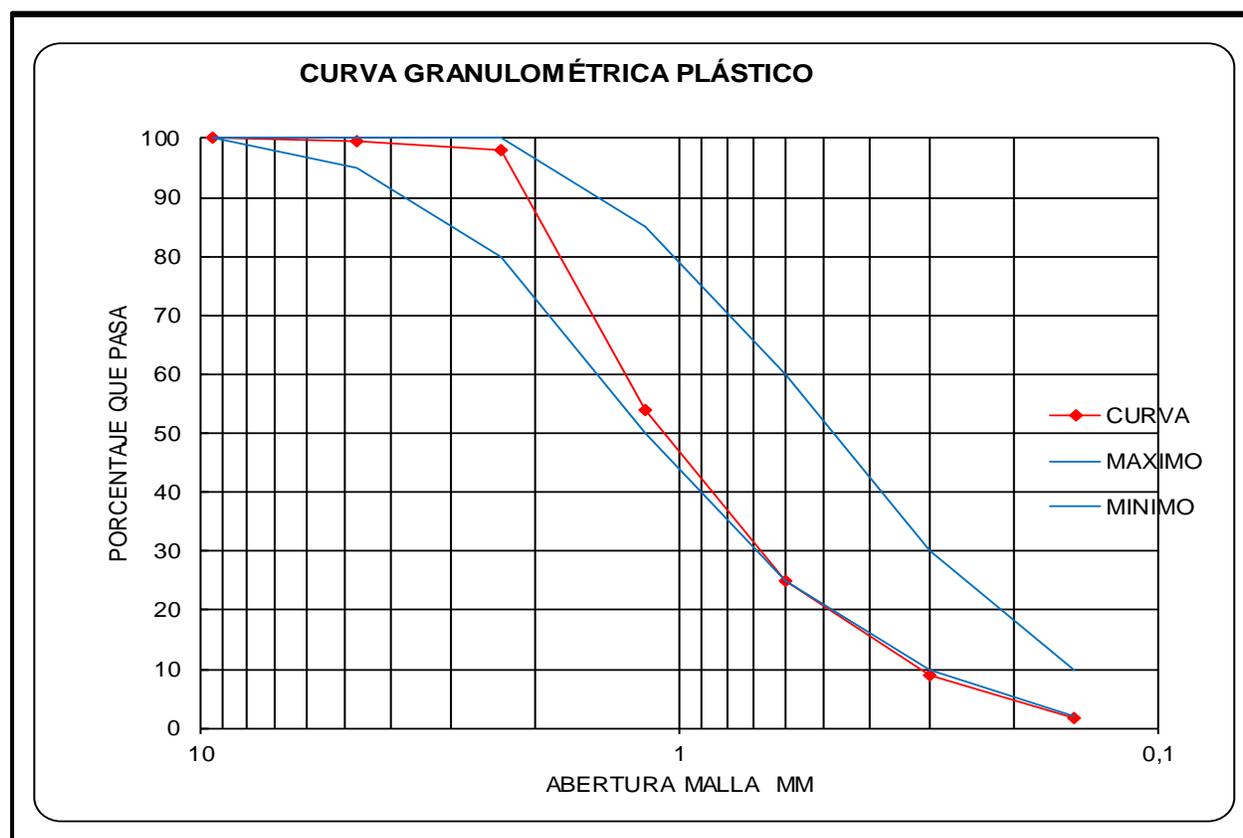
Figura 11. Tamizado manual de plástico PET por tamiz No. 50

3.3.1.1. Resultados

En la [Tabla 10](#) se presentan los resultados del estudio granulométrico realizado al tereftalato de polietileno triturado. El módulo de finura calculado es 3.1 valor que se encuentra dentro del rango establecido para agregado fino (2.3-3.1) según lo mencionado por Bolaños (2014), se debe determinar este parámetro debido a que el plástico PET sustituirá un porcentaje de la arena usada comúnmente en la elaboración de bloques de hormigón.

Tabla 10.*Granulometría del tereftalato de polietileno (PET) NTE INEN 696*

MUESTRA No. Plástico Triturado				
Tamices	P. Retenido (g)	P. Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% Acumulado pasa total
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	1,35	1,35	0,5	100
No. 8 (2,36 mm)	4,36	5,71	2	98
No. 16(1,18 mm)	131,61	137,32	46	54
No. 30(0,6 mm)	91,78	229,1	75	25
No. 50(0,30mm)	45,63	274,73	91	9
No. 100(0,15 mm)	18,97	293,7	98	2
Pasante No 100	5,45	299,15	100	0
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		300		
MODULO DE FINURA		3.1		



3.3.2. Determinación de la densidad y gravedad específica del plástico ASTM D 792

El equipo requerido por la norma ASTM D792 para el desarrollo del ensayo es: una balanza con una exactitud de 0,05% del material analizado, ésta debe disponer de un soporte metálico anticorrosivo en la parte inferior (ver [Figura 12](#)), también es necesario un recipiente de inmersión, debido a que el plástico que se analizó es triturado se trabajó con una funda plástica para evitar la pérdida de material al momento de ser sumergido en agua (ASTM D792, 2013).



Figura 12. Equipo para ensayo densidad del plástico PET triturado

3.3.2.1. Resultados

Según Magariños, Alderete, Arias & Lucca (1998) en su publicación mencionan que la gravedad específica del PET esta alrededor de los 1200 kg/m^3 , en esta investigación el plástico analizado presentó una densidad similar igual a 1298 kg/m^3 , el proceso matemático para encontrar dicho resultado se encuentra en la [Tabla 11](#).

La temperatura del agua que se utilizó en el ensayo es de 17°C siendo distinta a la establecida en la norma (23°C), por lo que se debe hacer la respectiva conversión aplicando la ecuación (2) descrita en la ASTM D792 (2013):

$$D(\text{conversión a } 23^{\circ}\text{C}) = \frac{a}{a-b} * \frac{[997,5 + (t_w - 23) * M]}{997,5} \quad (2)$$

Donde:

a= peso al aire del PET triturado, (g)

b= peso sumergido del PET triturado, (g)

tw= temperatura del agua en el momento del ensayo, (°C)

M= $\Delta D/\Delta t$; ΔD =diferencia entre la tolerancia de temperatura más baja y más alta (21°C - 25°C); Δt =diferencia entre la tolerancia de temperatura más alta y más baja (25°C – 21°C).

Tabla 11.

Gravedad específica y densidad del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D 792

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
A	Peso al aire del recipiente	(g)	8,35
B	Peso al aire recipiente+ pet triturado	(g)	33,04
C	Peso recipiente sumergido	(g)	2,75
D	Peso recipiente+pet triturado sumergido	(g)	8,31
B-A	Peso al aire pet triturado	(g)	24,69
D-C	Peso sumergido pet triturado	(g)	5,56
(B-A)-(D-C)			19,13
(B-A)/(B-A)-(D-C)	Gravedad específica	(g/cm ³)	1,29
γ	Peso específico del agua		0,9988
M	$\delta d/\delta t$		-1
D(conversión a 23°C)	Densidad convertida	(kg/m ³)	1298,41

3.3.3. Determinación del peso volumétrico suelto del tereftalato de polietileno

El volumen de agregado fino que se reemplaza debe ser igual al volumen de plástico triturado que se coloca en la mezcla del hormigón liviano que será aplicado en la fabricación de bloques

huecos y debido a que en el laboratorio conviene trabajar en unidades de masa, el peso volumétrico suelto permite transformar la cantidad de metros cúbicos (m^3) a kilogramos (kg).

Para el desarrollo del ensayo se requirió de una balanza calibrada la cual debe generar un alto grado de exactitud en el peso de la muestra, también es necesario un recipiente (vaso de aluminio) donde se colocó el material. Primero se registró el peso del recipiente sin contenido, posteriormente se llenó el recipiente con tereftalato de polietileno triturado y se pesó su masa. Para finalizar se colocó agua en el vaso de aluminio hasta llenarlo y se registró su peso, este método se aplica cuando se desea conocer el volumen de un recipiente que tiene forma irregular.

3.3.3.1. Resultados

Tabla 12.
Peso volumétrico suelto del tereftalato de polietileno (PET)

Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	72,24	72,24
Peso molde +plástico (g)	218,88	209,99
Peso plástico (g)	146,64	137,75
Peso molde + agua (g)	374,97	374,97
Peso agua (g)	302,73	302,73
Volumen (cm³)	303,15	303,15
Densidad suelta (g/cm³)	0,48	0,45
Media (g/cm³)	0,47	

En la Tabla 12 se presenta los cálculos correspondientes para la determinación de la densidad suelta o peso volumétrico del plástico PET triturado, los cuales generaron un resultado de 469,06 kg/m^3 , valor que se encuentra dentro del rango mencionado en el artículo realizado por Magariños, Alderete, Arias & Lucca (1998) el cual va desde 430,00 a 482,00 kg/m^3 . Para la ejecución de este cálculo es necesario conocer el volumen del recipiente utilizado, el cual se obtiene dividiendo el

peso del agua para su peso específico, este último depende de la temperatura del agua en el momento de realizar el ensayo.

3.3.4. *Determinación de la absorción de agua del plástico ASTM D 570*

La realización del ensayo permite conocer la cantidad de agua que el material plástico puede absorber, siendo esta una propiedad que se utiliza para determinar la proporción de agua que será colocada en la mezcla del hormigón. Para el desarrollo del método especificado en la norma ASTM D 570 es necesario disponer de una balanza, la misma que debe estar calibrada para que las medidas no presenten variaciones, y de un horno con la capacidad de resistir una temperatura máxima de 110 °C (ASTM D 570-98, 2010). Para realizar correctamente el ensayo fue preferible que el plástico PET triturado esté sumergido en agua durante un período de 24 horas para luego realizar el proceso de secado en horno.

3.3.4.1. *Resultados*

El total de agua que absorbe el plástico se determina mediante la suma entre la ecuación (3) y (4) (ASTM D 570-98, 2010, pág. 3). Según Toro Sánchez (2004, pág. 36) el plástico PET presenta un porcentaje de absorción entre 0,1% y 0,7% , otros autores indican que el tereftalato de polietileno tiene 0,25% de absorción (Industrias JQ, 2016). Los resultados que se obtuvieron con el desarrollo de este ensayo se encuentran con mejor detalle en la Tabla 13, donde la muestra de plástico PET que se analizó posee una absorción de 0.26%.

$$\% \text{ de aumento del peso} = \frac{\text{peso superf. seco} - \text{peso al aire}}{\text{peso al aire}} * 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ de material perdido} = \frac{\text{peso al aire} - \text{peso seco al horno}}{\text{peso seco al horno}} * 100 \quad (4)$$

Tabla 13.*Absorción de agua del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D 570*

N° ENSAYO			1	2	3	4
A	Peso de la muestra saturada con superficie seca	(g)	100,13	100,16	100,19	100,22
B	Peso de la muestra seca al aire	(g)	100,00	100,00	100,00	100,00
C	Peso de la muestra seca al horno	(g)	99,88	99,89	99,93	99,96
(A-B/B)*100	% aumento del peso	(%)	0,13	0,16	0,19	0,22
(B-C/C)*100	% material perdido	(%)	0,12	0,11	0,07	0,04
	Absorción de agua	(%)	0,25	0,27	0,26	0,26
Media				0,26		

3.3.5. Determinación de la resistencia a la tracción del plástico ASTM D 638

Propiedades mecánicas del plástico como deformación, máxima resistencia, módulo de elasticidad, son definidas mediante el desarrollo de este ensayo en el cual se aplica una carga de tensión que crece progresivamente hasta producir una rotura (Peres, 2011). El esfuerzo de tracción generado depende directamente de la velocidad empleada, la temperatura y sobre todo de la forma de la probeta, estos factores influyen en la precisión de los resultados en especial si son usados para fines de comparación (ASTM D638-14, 2014).

Principalmente el equipo que se necesitó en la ejecución del ensayo es una máquina con las características necesarias para que las muestras sean sometidas a pruebas de tracción; es decir que debe disponer de dos elementos de agarre, uno fijo y uno móvil que sea capaz de desplazarse con libertad en la misma dirección de la longitud de la probeta (ver [Figura 15](#)), también se empleó un calibrador para la medición del ancho, largo y espesor de las muestras (ASTM D638-14, 2014).

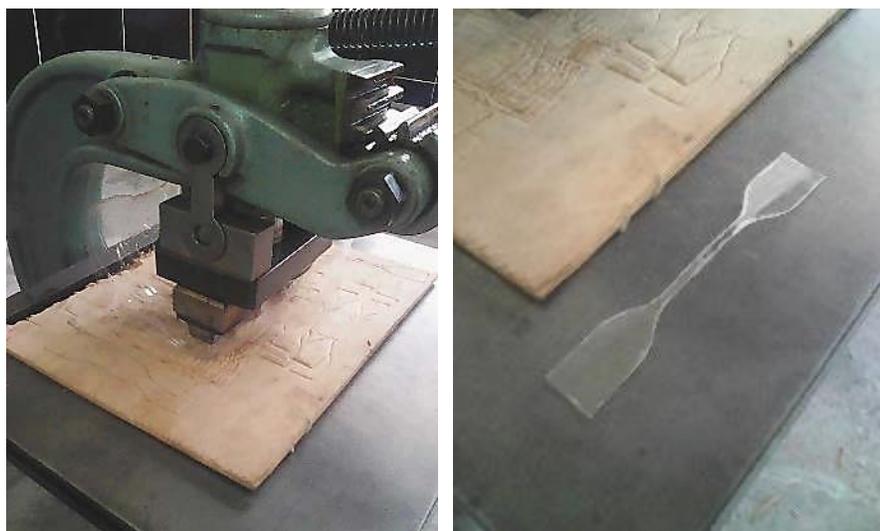


Figura 13. a) Máquina troqueladora. b) probeta (PET) plástico no rígido tipo IV

Todas las muestras deben poseer una forma similar, por lo tanto, se procedió a cortar con una máquina troqueladora (ver [Figura 13a](#)) cuatro especímenes del envase analizado. Las dimensiones que se visualizan en la segunda columna de la Tabla 14 son estándar y fueron obtenidas de la norma ASTM D 638 las cuales dependen del espesor del espécimen, en este ensayo dicho espesor fue menor a 4mm y corresponde a los plásticos no rígidos tipo IV (ver [Figura 13b](#)).

Antes de colocar las muestras en la máquina de tracción, se registró las medidas reales del ancho y espesor de la sección estrecha de cada probeta, datos utilizados en el cálculo del área transversal y se detallan en la tercera columna de la [Tabla 14](#). También se requirió la dimensión del largo de la sección estrecha con el cual se determinó la deformación unitaria de cada espécimen, para obtener una medición precisa se realizó unas marcas al inicio y al final de la parte recta de la probeta.

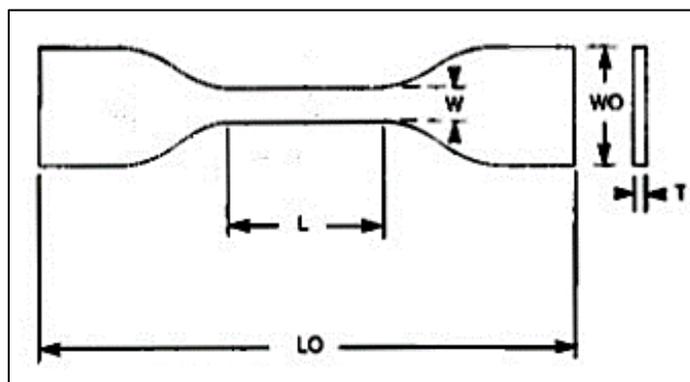


Figura 14. Dibujo de probeta para dimensiones establecidas en la Tabla 14.

Fuente: (ASTM D638-14, 2014)

Tabla 14.

Dimensiones para especímenes de espesor $\leq 4\text{mm}$

Tipo IV (plástico no rígido)		
	Dimensión estándar norma ASTM D638 (mm)	Dimensión real-laboratorio (mm)
W ₀ (ancho general)	19	14
W (ancho sección estrecha)	6	3
L ₀ (longitud general)	115	102
L (longitud sección estrecha)	33	34

Se ubicó la probeta plástica en la máquina verificando que se encuentre bien sujeta con las mordazas para evitar que se desenganche durante el ensayo. La carga de tensión que se aplica en esta prueba debe ir aumentando progresivamente hasta provocar el rompimiento del espécimen (Crespo Amorós, Nadal Gisbert, & Juárez Varón, 2016), como se observa en la [Figura 16](#).



Figura 15. Máquina para ensayo de resistencia a la tracción



Figura 16. Ensayo de tracción-probetas correspondientes al plástico PET

3.3.5.1. Resultados

Los datos que proporcionó la máquina de tracción se presentan con detalle en la [Tabla 15](#) y en la [Figura 17](#) se encuentra la gráfica fuerza vs. desplazamiento que permite verificar el valor de la fuerza máxima y el máximo desplazamiento.

Tabla 15.

Resultados de resistencia a tracción del tereftalato de polietileno (PET) ASTM D 638.

Nombre	Dos ptos	Max. Fuerza	Max. Tensión	Max. Disp. Desplazamiento
Parámetros	Fuerza 20-45N	Calc. At Entire Áreas	Calc. At Entire Áreas	
Unidad	N/mm2	N	N/mm2	mm
1-1	1743,63	92,16	102,40	15,41
1-2	2601,39	126,39	140,43	17,36
1-3	1911,92	108,79	120,88	17,27
1-4	1959,82	101,14	112,38	17,64
Media	2054,44	107,12	119,02	16,92
Desviación Estándar	376,88	14,53	16,15	1,02
Rango	858,76	34,23	38,03	2,23

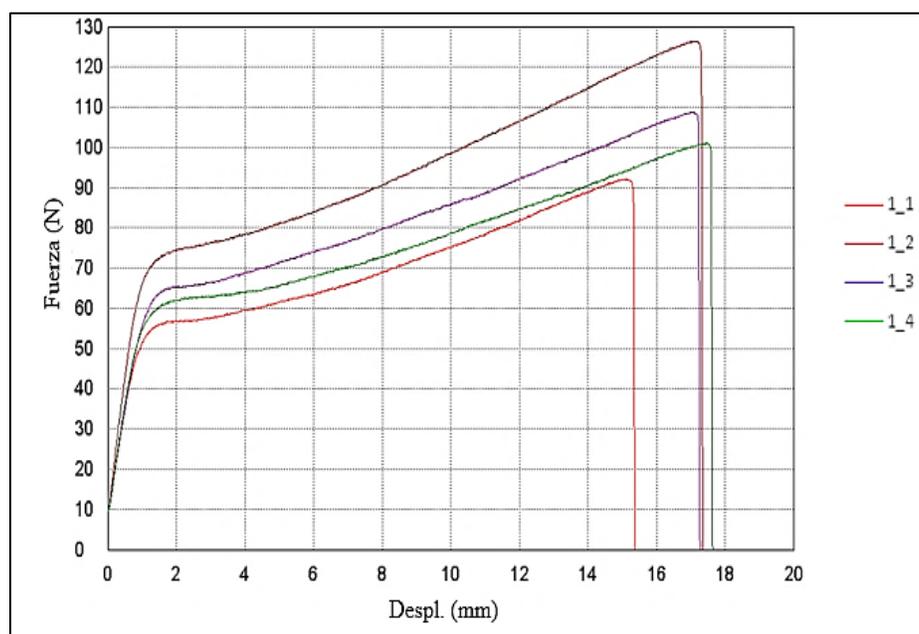


Figura 17. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento de muestras PET

Los resultados obtenidos no difieren de los expuestos por varios autores; por ejemplo, en la tesis doctoral realizada por Baldenebro López (2015) se menciona que la resistencia a tracción del plástico PET es aproximadamente 108,00 MPa \pm 15,00 MPa, el valor obtenido en el desarrollo de este ensayo dio en promedio 119,02 MPa siendo un resultado aceptable de resistencia a tensión.

Por otro lado el módulo de elasticidad se puede determinar con la gráfica esfuerzo en MPa vs. deformación unitaria en mm/mm que se muestra en la [Figura 18](#), en donde la parte recta de la gráfica representa la zona elástica del plástico PET, para el cálculo del módulo se empleó la ecuación (5) con la cual resultó un valor medio de 2054,44 MPa valor que se encuentra dentro del rango establecido en el catálogo Goodfellow (2018) el cual va de 2000,00 a 4000,00 MPa. Sin embargo, el plástico PET puede presentar valores del módulo de elasticidad de 3100,00 MPa (Ullauri, Friend, & Barzola, 2018).

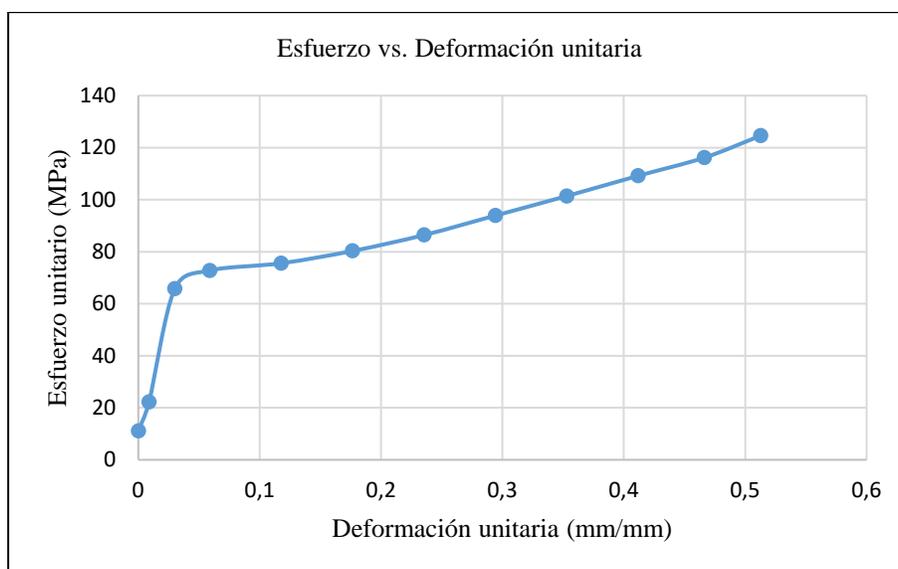


Figura 18. Gráfica promedio esfuerzo vs. deformación unitaria del PET

$$E_{(mm/mm)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (5)$$

$$E = \frac{65,726 - 22,222}{0,030 - 0,008824}$$

$$E = 2054,4 \text{ MPa}$$

3.4. Definición de aditivo con nano partículas

La nanoingeniería con la utilización de tecnología avanzada se encarga de crear nuevos productos y de estudiar sus características a un nivel nanométrico (Aguayo Gonzáles, Zarzuela Roldán, Lama Ruiz, & Córdoba Roldán, 2011). En la actualidad el sector constructivo busca la manera en que la nanotecnología mejore las propiedades de los materiales empleados en la construcción, por lo que se han generado nanoaditivos capaces de aumentar la resistencia, proporcionar mayor durabilidad y permeabilidad en los nuevos materiales (Cornejo, 2015).

La mayoría de los nanoaditivos son aplicados en la elaboración de concreto, debido a que las nanopartículas diseñadas correctamente son introducidas en la mezcla produciendo un efecto positivo, es decir le proporciona nuevas funciones como el mejoramiento en su estabilidad, la capacidad de resistir mayores esfuerzos, inclusive le permite auto repararse ante la aparición de microfisuras (González, 2016). En el presente trabajo lo que se requiere es incrementar la resistencia a la compresión de bloques de hormigón, la misma que puede disminuir con la presencia del plástico PET, y de igual forma analizar la absorción de agua que resulta al colocar un nanoaditivo.

3.4.1. Características del nanoaditivo

El aditivo capaz de impermeabilizar y mejorar la resistencia es un producto elaborado a base de nanopolímeros y comúnmente es usado en la construcción y mantenimiento de carreteras con el fin de controlar el exceso de polvo y la permeabilidad del suelo (ECOROAD S.A, 2017). En este proyecto se utilizó en la elaboración del hormigón para bloques un aditivo compuesto por

nanopartículas (ver [Figura 19](#)), con el objetivo de reducir la cantidad de agua colocada en la mezcla, garantizando que los especímenes presenten altas resistencias y baja absorción de agua, en comparación con los bloques tradicionales.



Figura 19. Nanoaditivo impermeabilizante

El aditivo al tener una estructura nanomolecular, permite que las partículas se adhieran correctamente lo cual genera materiales con nuevas funcionalidades, tales como: alto nivel de resistencia ante la presencia de rayos UV y agua, también brinda estabilidad cuando el material se encuentra expuesto en elevadas temperaturas (ECOROAD S.A, 2017). En la [Tabla 16](#) se describe las indicaciones sobre el uso y almacenamiento del nanoaditivo.

Tabla 16.

Indicaciones de uso del nanoaditivo

Almacenamiento del nanoaditivo	
Temperatura [°C]	5-45
Lugar de almacenaje	Mantener en espacios cubiertos, en donde se evite el contacto con el sol, la lluvia, humedad o calor.
Duración [años]	2
Uso adecuado del nanoaditivo	
Dosificación	Relación 1/200 a 1/300; es decir 1 kg de aditivo en 200 o 300 lt de agua.
Precaución	Después de cada uso se recomienda cerrar el envase que contiene el aditivo

Fuente:(ECOROAD S.A, 2017)

CAPÍTULO IV

DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN

4.1. Definición de bloques huecos de hormigón

El origen del mampuesto conocido comúnmente como bloque se dio en Inglaterra aproximadamente en el siglo XIX, generando progresos de gran importancia en el sector de la construcción. Los primeros especímenes tenían la característica de ser macizos y de peso elevado debido a que eran elaborados con cal, pero al pasar los años ha ido mejorando tanto el proceso de elaboración como los materiales utilizados, en el siglo XX se inició con la producción y comercio de bloques huecos de hormigón los mismos que hasta la actualidad son utilizados en la construcción de paredes (Arrieta Freyre & Peñaherrera Deza, 2001).

La fabricación de bloques tuvo su apareamiento en Ecuador a principios del año 1970 con el objetivo de mejorar la construcción en el país, al ser un material de peso liviano ha reducido el tiempo constructivo de mamposterías y genera un aprovechamiento en el área arquitectónica debido a que el ancho máximo de las paredes es de 30 cm. Los primeros proyectos en lo que se empleó este tipo de mampuesto fueron las casas habitacionales proporcionadas por el BEV (Banco Ecuatoriano de Vivienda) (La Hora, 2008).

El bloque de hormigón puede ser elaborado de forma manual como se ilustra en la [Figura 20](#) o por medio de máquinas, en ambas situaciones los materiales que comúnmente son empleados son: cemento, arena, piedra pómez, agua y en ocasiones se aplica aditivos para mejorar las propiedades del mampuesto (Garzón & Montaña , 2014). Según la norma INEN 3066 establecida por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (2016), este material de construcción se clasifica según su uso (ver [Tabla 17](#)) y su densidad (ver [Tabla 18](#)).



Figura 20. Elaboración manual de bloques huecos de hormigón

Fuente: (Baños, 2013)

Tabla 17.

Bloques de hormigón de acuerdo con su uso.

Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos de losas

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Tabla 18.

Bloques de hormigón de acuerdo con su densidad.

Tipo	Densidad de hormigón (kg/m ³)
Liviano	< 1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	>2000

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

4.1.1. Dimensiones de los bloques de hormigón

Los bloques por lo general son más grandes que los ladrillos, pero al poseer espacios huecos facilita la forma de transportarlo y su almacenamiento (Instituto del cemento Portland, 2014). En la [Tabla 19](#) se presenta las dimensiones modulares y nominales de los bloques de hormigón; sin

embargo, por pedido del cliente pueden tener medidas distintas tomando en cuenta que el ancho sea menor que el largo (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). En Ecuador los bloques que se comercializan con más frecuencia son aquellos que tienen un ancho de 10, 15 y 20 cm.

Tabla 19.

Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón

Dimensiones modulares (nM*)			Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
4	3	2	400	300	200	390	290	190
		2,5			250			240
3 x	2 x		300 x	200 x		290 x	190 x	
		1,5			150			140
2	1	1	200	100	100	190	90	90

* nM= número de medidas modulares

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Un estudio realizado por Robalino, Peñaherrera, Tito & López (2015, pág. 157) reflejó que los bloques de hormigón para mampostería no estructural utilizados en varias edificaciones del Ecuador, no cumplen con los estándares de calidad debido a que presentaron resistencias a la compresión por debajo del mínimo requerido por la normativa empleada, razón por lo cual nace la idea de crear un nuevo material en el cual se añade un porcentaje de tereftalato de polietileno y nanoaditivo sobre la mezcla original, con el objetivo de mejorar las propiedades del mampuesto. En la presente investigación los bloques de hormigón fueron fabricados con las dimensiones que se detallan en la [Tabla 20](#).

Tabla 20.

Dimensiones utilizadas en la elaboración de bloques huecos de hormigón

Largo (l)	Ancho (a)	Altura (h)	Espesor tabiques (Et)	Espesor paredes (Ep)
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
400	150	200	25	25

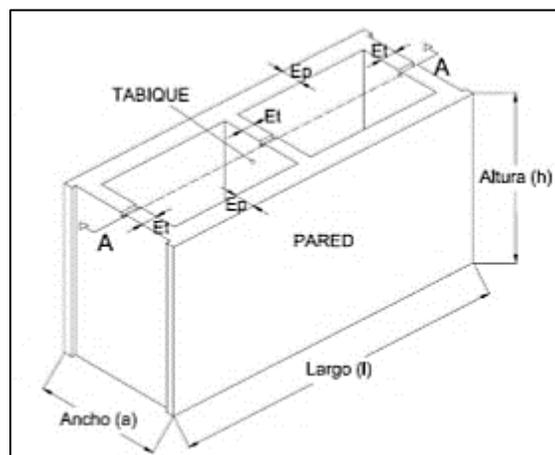


Figura 21. Nomenclatura de partes del bloque hueco de hormigón

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

En la Figura 21 se identifica las dimensiones mencionadas con la nomenclatura correspondiente y también se visualiza que los especímenes analizados son huecos donde el área neta calculada es igual a 275 cm^2 siendo menor a 450 cm^2 , este último valor pertenece al 75% del área bruta, porcentaje expresado en la norma INEN 3066 para considerar si un bloque es hueco o macizo.

4.2. Dosificación del hormigón

Dosificar es la acción que permite determinar las proporciones exactas de agua, cemento, agregados pétreos y aditivos, que mediante un proceso de mezclado generan una pasta homogénea denominada hormigón y dependiendo el tipo de obra en donde es aplicado, sus propiedades de resistencia, consistencia, plasticidad, entre otras; van variando según los requerimientos del proyecto (Pullaguari Puente, 2010).

Medina Toledo (2014) indica en su informe que existen varios métodos para el cálculo de la dosificación del hormigón, como el Método de Fuller, de Bolomey, de Faury, de La Peña y el

Método A.C.I. Para encontrar la dosificación adecuada de los bloques huecos de hormigón se empleó el Método A.C.I debido a que este permite obtener las cantidades de los materiales partiendo de la resistencia requerida. El proceso que dispone el A.C.I. (American Concrete Institute) es a través de tablas que sirven como aproximación en el cálculo de las proporciones con la finalidad de obtener un hormigón que cumpla con determinadas características (Granja Bolaños, 2014).

La mezcla puede ser dosificada por peso o por volumen, siendo la primera opción la más adecuada y precisa. Dosificar en peso se refiere a que las cantidades requeridas de los materiales sean en unidades de masa a excepción del agua y aditivos que deben ser en volumen; es decir en litros (L) o mililitros (ml), los equipos de medición que generalmente se emplea son balanzas, pero cuando son proporciones mayores se utiliza maquinaria con mecanismos de cierre automáticos o manuales que permiten controlar el peso deseado. En cambio, la dosificación por volumen es poco recomendada debido a que no brinda exactitud en la medida generando variaciones que pueden afectar la trabajabilidad del hormigón, razón por lo cual se usa en obras de menor magnitud donde las herramientas que sirven para la medición son carreterillas, palas o parihuelas (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014).

4.2.1. Consistencia y trabajabilidad

La fluidez que presenta el concreto fresco determina la consistencia de la mezcla, esta propiedad se obtiene mediante el ensayo de asentamiento el cual se realiza con el cono de Abrams o por medio del aparato Vebe, este último se utiliza cuando el hormigón muestra una consistencia extremadamente seca (ACI 211,1-91, 2009). En la Tabla 21 se expone los rangos de asentamiento del hormigón, los mismo que dependen del tipo de consistencia.

Tabla 21.
Consistencia medida por aparatos de asentamiento y Vebe

Descripción de la consistencia	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)	Vebe (s)
Extremadamente seca	---	---	32-18
Muy seca	---	---	18-10
Seca	0-25	0-1	10-5
Seco- plástica	25-75	1-3	5-3
Plástica	75-125	3-5	3-0
Blanda	125-190	5-7 ^{1/2}	---

Fuente: (ACI 211.3R-02, 2009)

El ACI 211,1-91 (2009) define trabajabilidad como la facilidad de mezclado y colocación del hormigón, dependiendo de las partículas que componen el agregado, del tipo de cemento y de la consistencia de la mezcla. Se debe tomar en cuenta que la proporción de agua también juega un papel importante, es decir a mayor cantidad el hormigón es más trabajable, y a menor cantidad el concreto presenta poca trabajabilidad. En la Tabla 22 se muestra el contenido relativo de agua con relación a la consistencia, expuesto por el ACI 211.3R-02.

Tabla 22.
Contenido relativo aproximado de agua para diferentes consistencias

Descripción de la consistencia	Contenido relativo aproximado de agua (%)
Extremadamente seca	78
Muy seca	83
Seca	88
Seco-plástica	93
Plástica	100
Blanda	106

Fuente: (ACI 211.3R-02, 2009)

4.2.2. *Determinación de la dosificación para la elaboración de bloques huecos de hormigón*

El hormigón que utilizan los fabricantes de bloques es seco y ligero; es decir que el asentamiento es máximo de 25 mm de acuerdo con lo descrito en la Tabla 21. Según Liu & Chen (2014) un hormigón es ligero cuando se reemplaza los áridos comunes por áridos de densidad baja, en este proyecto la piedra pómez se consideró como agregado grueso y al introducir en la mezcla un porcentaje de plástico PET triturado, material de baja densidad, se espera obtener un mampuesto más liviano.

La relación agua/cemento es definida como la cantidad de agua que reacciona ante la presencia del cemento, este parámetro es importante en la dosificación debido a que influye tanto en la resistencia como en la durabilidad del hormigón (Velay Lizancos, Martínez Lage, Vázquez Herrero, & Vázquez Burgo, 2015), también tiene influencia en la determinación de la consistencia, a mayor proporción de agua, más fluido y trabajable es el hormigón (Guevara Fallas, y otros, 2012). Para determinar esta relación se hace uso de la Tabla 24, cuyos valores dependen de la resistencia promedio requerida a la compresión la cual se obtiene a través de las fórmulas aplicadas cuando la desviación estándar no es conocida (ver Tabla 23), mismas que se encuentran expresadas en la norma INEN 1855-2 (2015).

Tabla 23.

*Resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}).
Cuando la desviación estándar es desconocida*

Resistencia Especificada (f'_c)	Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr})
Menor de 21 MPa	$f'_c+7,0$
Entre 21 y 35 MPa	$f'_c+8,5$
Mayor de 35 MPa	$f'_c+10,0$

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2015)

Tabla 24.*Relación entre agua/cemento y esfuerzo a la compresión del cemento*

Resistencia a la compresión a los 28 días, MPa	Relación agua/cemento, por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
40	0,42	---
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Fuente: (ACI 211,1-91, 2009)

En esta investigación la ecuación que se aplica es $f'_{cr} = f'_c + 70$, debido a que el esfuerzo a la compresión mínima que resiste un bloque de hormigón es menor de 21 MPa, a continuación, se presenta el cálculo de la resistencia promedio requerida que se usó para determinar la relación agua/cemento (a/c) empleada en la dosificación del hormigón. Los bloques que se elaboraron son tipo B cuyo uso es para mampostería no estructural según lo especificado en la [Tabla 17](#), la mínima resistencia a la compresión de esta clase de bloque es de 4.0 MPa para un promedio de 3 bloques de acuerdo con lo indicado en la [Tabla 25](#).

Tabla 25.*Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón*

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4

*1 MPa=10,2 kg/cm²

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

$$f'_{cr} = f'_c + 7,0 \quad (6)$$

$$f'_{cr} = 4,0 + 7,0$$

$$f'_{cr} = 11,0 \text{ MPa}$$

Con la resistencia promedio requerida que se obtuvo con el desarrollo de la ecuación (6), se regresó a la Tabla 24 para determinar la relación agua/cemento, debido a que en la tabla se detallan los valores hasta una resistencia de 15 MPa se adoptó la relación a/c de 0,79 ya que es el más aproximado. Hay que tomar en cuenta que en el total de agua que se coloca en la mezcla influye la presencia de humedad y la absorción del material pétreo, “puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla” (Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003, pág. 5).

La dosificación que se realizó fue por peso para obtener medidas precisas, no se empleó la dosificación por volumen por su inestabilidad en las cantidades y también porque la arena cuando se encuentra en estado húmedo tiende a incrementar de volumen, generando errores al momento de realizar la mezcla; es decir puede faltar o sobrar hormigón.

4.2.2.1. Dosificación de cilindros de prueba

Se realizaron ensayos preliminares para verificar la resistencia a la compresión del hormigón con la dosificación calculada, para posteriormente emplear en la elaboración de los bloques. En la Tabla 26 se muestra la dosificación correspondiente para 4 cilindros cuyas medidas son: alto=30 cm y diámetro=15 cm, los cilindros fueron fundidos sin plástico PET y sin nanoaditivo.

Tabla 26.
Dosificación por peso para 4 cilindros de prueba

Material	Peso estado seco		Peso estado natural	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Agua	7,57	L	1,63	L
Cemento	5,53	kg	5,53	kg
Arena	27,15	kg	30,96	kg
Piedra pómez	11,28	kg	13,40	kg

4.2.2.2. Dosificación de bloques huecos de hormigón con 0, 10, 20, 30, 40 y 50% de plástico PET triturado en reemplazo de arena y nanoaditivo

Todos los bloques elaborados tuvieron las medidas que se encuentran descritas en la Tabla 20. Primero se realizó 6 especímenes sin plástico ni aditivo con la dosificación que se presenta en la Tabla 27, con la finalidad de verificar que las cantidades utilizadas permitan obtener resistencias aceptables, pero debido a que los resultados a los 7 días (ver Tabla 33) fueron valores inferiores del 70% esperado se decidió aumentar la cantidad del cemento un 50% para mejorar la resistencia a la compresión de los bloques que contienen PET triturado como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 27.
Dosificación 0% PET para 6 bloques huecos de hormigón

Material	Peso estado seco		Peso estado natural	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Agua	12,32	L	2,66	L
Cemento	9,00	kg	9,00	Kg
Arena	44,17	kg	50,37	Kg
Piedra pómez	18,34	kg	21,81	Kg

Corregida la dosificación se elaboraron 9 muestras de bloques para cada porcentaje de plástico analizado, en la primera prueba se colocó la cantidad correspondiente al 10, 20, 30, 40 y 50% de

PET; porcentaje obtenido del volumen de la arena, debido a que el mismo volumen que se retira de agregado fino se debe colocar de PET triturado, posteriormente con la densidad suelta del plástico se transformó la cantidad de m³ a kg, para facilitar el pesado de los materiales.

En la Tabla 28 también se puede visualizar que la proporción de agua, cemento, piedra pómez y aditivo permanece constante en todas las dosificaciones, pero en el proceso de mezclado se controló la cantidad de agua aplicada ya que esta puede variar al colocar aditivos en la mezcla de hormigón generando que el bloque se desmorone o presente fisuras (Arrieta Freyre & Peñaherrera Deza, 2001). La cantidad de nanoaditivo, impermeabilizante y generador de aumento en la resistencia, que se aplicó en esta dosificación fue determinado mediante la relación 1/300 del volumen total de agua.

Tabla 28.

Dosificación 0, 10, 20, 30, 40, 50% PET en reemplazo de arena + nanoaditivo para 9 bloques huecos de hormigón c/dosif.

%	Peso estado seco					Peso estado natural					Aditivo (kg)
	PET	A (L)	C (kg)	Ar (kg)	P. Pómez (kg)	Plást. (kg)	A(L)	C (kg)	Ar (kg)	P. Pómez (kg)	
0%	19,00	20,25	66,26	27,52	0	4,50	20,25	75,55	32,71	0	0
10%	19,00	20,25	59,63	27,52	2,35	4,50	20,25	68,00	32,71	2,68	0,063
20%	19,00	20,25	53,01	27,52	4,69	4,50	20,25	60,44	32,71	5,35	0,063
30%	19,00	20,25	46,38	27,52	7,04	4,50	20,25	52,89	32,71	8,03	0,063
40%	19,00	20,25	39,75	27,52	9,39	4,50	20,25	45,33	32,71	10,70	0,063
50%	19,00	20,25	33,13	27,52	11,73	4,50	20,25	37,78	32,71	13,38	0,063

4.2.2.3. Dosificación de bloques huecos de hormigón con 0, 10, 15, 20, 25, 30% de plástico PET triturado en reemplazo de arena + nanoaditivo

En la Tabla 29 que se presenta a continuación se detalla la dosificación con porcentajes de plástico PET de 0, 10, 15, 20, 25 y 30%, ya que mediante la gráfica esfuerzo a la compresión vs.

edad de curado (ver [Figura 41](#)) realizada con los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de los bloques elaborados con las dosificaciones de la [Tabla 28](#) se determinó que el porcentaje de PET óptimo se encuentra dentro del rango del 10 a 30%. En la dosificación de la nueva mezcla de 9 bloques de hormigón se aumentó tanto la cantidad de cemento y como la de aditivo, en la primera se incrementó un 35% y para el segundo se utilizó la relación de 1/250 del volumen total de agua determinada cuando los agregados se encuentren en estado seco.

Tabla 29.

Dosificación 0, 10, 15, 20, 25, 30% PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo para 9 bloques huecos de hormigón c/dosif.

% PET	Peso estado seco					Peso estado natural					Aditivo (kg)
	A (L)	C (kg)	Ar (kg)	P. Pómez (kg)	Plást. (kg)	A(L)	C (kg)	Ar (kg)	P. Pómez (kg)	Plást. (kg)	
0%	19,60	27,33	66,26	27,52	0	5,09	27,33	75,55	32,71	0	0
10%	19,60	27,33	59,63	27,52	2,35	5,09	27,33	68,00	32,71	2,68	0,078
15%	19,60	27,33	56,32	27,52	3,52	5,09	27,33	64,22	32,71	4,01	0,078
20%	19,60	27,33	53,01	27,52	4,69	5,09	27,33	60,44	32,71	5,35	0,078
25%	19,60	27,33	49,69	27,52	5,87	5,09	27,33	56,66	32,71	6,69	0,078
30%	19,60	27,33	46,38	27,52	7,04	5,09	27,33	52,89	32,71	8,03	0,078

4.2.2.4. Dosificación de bloques huecos de hormigón reemplazando el total de volumen de la cantidad de piedra pómez por plástico PET triturado

Se empleó otra prueba experimental con el objetivo de tener varias opciones que permitan determinar la mejor mezcla de hormigón para bloques, la cual debe generar un valor aceptable del esfuerzo a la compresión. Para la dosificación de los 9 especímenes de esta prueba se reemplazó la cantidad en volumen de la piedra pómez por plástico PET triturado, utilizando las proporciones del 0% que se presenta en la [Tabla 29](#), en esta mezcla no se aplicó el nanoaditivo de las características mencionadas anteriormente con la finalidad de analizar el efecto únicamente del plástico PET sobre

el hormigón de los mampuestos tipo bloque. En la [Tabla 30](#) que se muestra a continuación se detalla las cantidades de cada material que fueron empleadas en la producción de estos nuevos bloques de concreto y plástico PET triturado.

Tabla 30.

Dosificación reemplazo de volumen total de piedra pómez por plástico PET

Material	Peso estado seco		Peso estado natural	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Agua	19,60	L	5,09	L
Cemento	27,34	kg	27,34	kg
Arena	66,26	kg	75,55	kg
Piedra pómez	0,00	kg	0,00	kg
Plástico	16,60	kg	19,72	kg

4.3. Proceso de fabricación de probetas de hormigón (cilindros base), NTE INEN 3124

4.3.1. Elaboración de especímenes

Para la elaboración de las probetas cilíndricas de hormigón se usó 4 moldes metálicos de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro (ver [Figura 22](#)), medidas que corresponden a la parte interna del molde, como herramientas esenciales se empleó una varilla compactadora con punta redondeada, un mazo de goma, una pala cucharón, un enrasador, una balanza calibrada que soporte pesos en kilogramos. El equipo utilizado para producir el hormigón fue una concretera con la capacidad de mezclar por completo todos los materiales (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).



Figura 22. Moldes metálicos para cilindros de hormigón

Antes de iniciar con el proceso de mezclado se pesó los materiales (cemento, agregado fino, grueso y agua) con una exactitud del 0,1g y tomando en cuenta si los áridos presentan condición seca o húmeda. De acuerdo con lo descrito en la norma INEN 3124 establecida por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (2016), se colocó primero la piedra pómez con un poco de agua y se encendió la concretera, posteriormente se fue aplicando la arena, el cemento y el resto del agua, se mezcló durante 3 min procurando que los agregados formen una pasta homogénea y de consistencia seca, una vez obtenido el hormigón deseado se depositó en una carretilla humedecida.

Se engrasó los moldes y se ubicaron sobre un área plana para evitar movimientos durante la colocación del hormigón, el cual fue depositado por capas de forma distribuida evitando la separación del agregado grueso. En la norma INEN 3124 se menciona que el número de capas y compactación de la mezcla depende del diámetro del espécimen, para este proyecto al tener un diámetro de 150 mm se realizó 3 capas en las cuales se varilló 25 veces y se efectuó 15 golpes distribuidos en el exterior del molde, terminada la última capa se engrasó el material dejando una superficie lisa como se observa en la [Figura 23](#), finalmente se dejó endurecer el hormigón durante 24 horas en la forma en la que fue llenado (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).



Figura 23. Proceso de enrasado del hormigón colocado en moldes cilíndricos

4.3.2. Curado y almacenamiento

El curado adecuado del hormigón permite alcanzar la resistencia con la que fue diseñada la dosificación, la cual se obtiene a través del tiempo mediante la hidratación del cemento (González Beltrán & Monge Sandi, 2011). Culminadas las 24 horas los cilindros se desmoldaron y 2 de ellos se colocaron dentro del tanque de curado rápido durante 3 días (ver [Figura 24a](#)) para obtener el 90 o 95% de la resistencia total. Según la norma ASTM C192 / C192M (2016) el curado estándar para muestras de cilindros en el laboratorio consiste en mantener los especímenes en un espacio donde se conserve la humedad; por lo tanto los 2 cilindros restantes se dejó 7 días dentro del laboratorio (ver [Figura 24b](#)) debido a que es un lugar donde la humedad es constante y al ser considerados como bloques los cilindros deben estar ocultos del sol, la lluvia y el viento.



Figura 24. a) 2 cilindros en tanque de curado rápido, b) 2 cilindros dentro del laboratorio a humedad constante

4.4. Proceso de fabricación de bloques de hormigón con polímeros reciclados

4.4.1. Elaboración de especímenes

El proceso para la elaboración de bloques de hormigón no se encuentra descrito en ninguna norma, por lo que la fabricación de los especímenes de esta investigación se realizó en base a desarrollos expuestos por varios autores. Los bloques fueron realizados en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y de acuerdo con Mora, García, & Nájera (2011, pág. 19) las técnicas empleadas deben ser similares a las utilizadas en una bloquera, para iniciar se preparó las cantidades de los materiales que se encuentra en detalle tanto en la Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30 según sea el caso de estudio.

Debido a que el hormigón debe presentar una consistencia seca lo primero que se colocó en la concretera fueron los agregados (finos, gruesos, PET triturado) y el cemento como se muestra en la Figura 25, según Valdés & Rapimán (2007) estos materiales debían ser mezclados hasta que visualmente se obtenga un color homogéneo. Posteriormente se aplicó el agua, la cual se empleó

en dos partes iguales; la primera para hidratar la pasta y la segunda se suministró controlando la trabajabilidad y consistencia de la mezcla (Fuentes Molina, Fragozo Tarifa, & Vizcaino Mendoza, 2015), la cantidad de aditivo con nano partículas que corresponde a cada dosificación se disolvió en la primera parte del agua que fue separada. De acuerdo con Sánchez (2014, pág. 32) el mezclado del hormigón se realiza durante un rango de tiempo de 4 a 5 minutos, verificando que la unión de todos los materiales forme una mezcla uniforme.



Figura 25. Colocación de los materiales para la elaboración del hormigón para bloques

Terminada la mezcla de consistencia seca se depositó sobre una carretilla previamente humedecida (ver [Figura 26](#)) y con la ayuda de una pala cuadrada se distribuyó el material por toda la carretilla para que exista uniformidad en el mezclado, luego se fue colocando dentro del molde metálico de dimensiones adecuadas para generar un bloque hueco de 40cm*20cm*15cm, el cual fue engrasado previo a la colocación del hormigón con el objetivo de evitar que la mezcla se quede pegada en sus paredes.



Figura 26. Hormigón seco utilizado en la elaboración de bloques huecos

El molde fue llenado en tres capas y debido a que no se dispuso de una máquina vibradora lo que se hizo fue varillar cada una de ellas y en la última se golpeó las paredes del molde con un mazo de caucho verificando que el hormigón se disperse completamente sin dejar espacios vacíos (ver [Figura 27a](#)), luego se enrazó la parte superior hasta obtener un acabado liso.



Figura 27. a) Colocación del hormigón dentro del molde, b) proceso para desmoldar los bloques de hormigón

Para finalizar se dio la vuelta al molde y se removió con movimientos ligeros hacia arriba procurando que el bloque sea desmoldado perfectamente (ver [Figura 27b](#)), una vez retirado el molde metálico se realizó una evaluación visual; es decir si el espécimen mostraban grandes fisuras

en sus paredes, el material debía ser colocado nuevamente en la carretilla para proceder a la elaboración de un nuevo bloque (Sierra Guevara, 2014).

4.4.2. Curado y almacenamiento

Según Lamb Bernal & Ramírez Carmona (2008, pág. 11) los bloques deben ser curados de manera inmediata luego de su elaboración, por lo que se dejó los especímenes inmóviles en el sitio donde fueron desmoldados durante un período de tiempo de un día hasta que se endurecieron (ver [Figura 28](#)), posteriormente se movieron a un lugar de almacenamiento donde las condiciones climáticas fueron adecuadas para que los bloques mantengan su humedad y consigan llegar a su máxima resistencia.



Figura 28. Proceso de endurecimiento y fraguado de bloques de hormigón

“El curado consiste en mantener los bloques durante los primeros siete días por lo menos en las condiciones de humedad y temperatura necesarias para que se desarrolle la resistencia y otras propiedades deseadas” (Sierra Guevara, 2014, pág. 34). La mayoría de las bloqueras del Ecuador no tienen un control específico en el curado de los bloques, debido a que suelen colocarlos en un lugar abierto como se muestra en la [Figura 29](#), sin tener las medidas pertinentes sobre los efectos que puede provocar el sol, la lluvia o el viento.



Figura 29. Proceso de curado empleado en la bloquera Alan Service ubicada en el barrio de Santa Teresa

Los bloques se mantuvieron almacenados dentro del laboratorio a una temperatura promedio de 17°C y de acuerdo con lo mencionado en el trabajo de Sierra Guevara (2014) se colocaron con una separación máxima de 2 cm entre cada espécimen para asegurar la circulación del aire (ver [Figura 30](#)). De los 9 bloques elaborados 3 de ellos tuvieron un curado de 7 días con la finalidad de obtener el 70% de la resistencia a la compresión, en cambio los bloques restantes cumplieron con la edad máxima de 28 días.



Figura 30. Proceso de curado y almacenamiento de bloques huecos de hormigón

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

5.1. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos NTE INEN 1573 y de bloques huecos de hormigón NTE INEN 3066

Toirac Corral (2009, pág. 492) afirma que la resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas con mayor importancia del hormigón debido a que permite determinar la durabilidad de este. Los fabricantes de hormigón verifican mediante ensayos de compresión que la mezcla elaborada presente una medida igual o superior a la resistencia previamente establecida (INECYC, 2009). Debido a que el hormigón tiene varias aplicaciones en la construcción su esfuerzo a la compresión debe ser mayor a la de otros esfuerzos según Yancho Alvarado (2013, pág. 20) menciona que la compresión de un espécimen de hormigón es 10 veces el valor del esfuerzo a tracción.

5.1.1. *Equipo y accesorios*

Para la obtención de la resistencia a la compresión tanto de los cilindros como de los bloques de hormigón se empleó una máquina de compresión la cual aplica la carga de forma continua sobre el espécimen hasta producir una rotura. El porcentaje de error que presenta el equipo utilizado es $\pm 1\%$ de la carga y debe disponer de dos unidades de carga, una de ellas se encuentra en la parte superior de la máquina y la otra en la parte inferior donde se asentó la muestra (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

De acuerdo con la norma INEN 3066 descrita por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (2016) para el caso de los bloques de hormigón se utilizó adicionalmente varias placas de metal

capaces de cubrir toda el área del espécimen con la finalidad de que la carga se distribuya uniformemente. También se usó una balanza, un calibrador y una regla para determinar el peso y las dimensiones de cada muestra.

5.1.2. Procedimiento

El proceso para la determinación de la resistencia a la compresión es similar tanto para los cilindros como para los bloques de hormigón, es decir en las dos situaciones las muestras son sometidas a cargas capaces de comprimir el material hasta llegar a la máxima resistencia. Cada espécimen fue etiquetado con un número arábigo, el porcentaje de plástico utilizado según el caso y la fecha de elaboración (ver [Figura 31](#)), para facilitar su identificación en el registro de los resultados.



Figura 31. Etiquetado de cilindros y bloques de hormigón

En el caso de las muestras cilíndricas se aplicó la norma INEN 1573 donde se indica que los especímenes deben estar previamente humedecidos pero al ser tratados igual que bloques de hormigón lo que se hizo fue almacenarlos en un área donde la temperatura les permitió mantener constante la humedad hasta el momento del ensayo, adicionalmente los cabezales que fueron colocados en la parte superior e inferior de las muestras deben disponer de placas de neopreno para

evitar fisuras prematuras, para finalizar se colocó el cilindro en la máquina procurando que sus extremos tengan una superficie plana y verificando que se encuentre alineado al eje central como se muestra en la Figura 32 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).



Figura 32. Ensayo a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón

Por otra parte, la norma INEN 3066 fue utilizada para determinar el esfuerzo a compresión de los bloques de hormigón; en esta norma se menciona que las muestras empleadas para el ensayo deben ser por lo general enteras y a diferencia de los cilindros los bloques fueron refrentados para asegurar que la carga se aplique sobre un área uniforme. Para el refrentado se empleó la norma INEN 2619 en la cual se describen varios métodos de ensayo, para esta investigación se utilizó el caso tres en donde se indica que se debe aplicar mortero conformado por cemento y arena fina, previo al refrentado los bloques fueron sumergidos en agua durante un período de 2 horas para que el mortero de dosificación 1:1 se pueda adherir correctamente, una vez elaborado este material cementante se colocó de manera distribuida una capa de 6 mm sobre la cara superior e inferior del

mampuesto controlando su nivelación (ver [Figura 33](#)), para finalizar se humedeció el mortero del refrentado para evitar que se fisure y para mantener su humedad se colocó fundas plásticas durante un día como se visualiza en la [Figura 34](#) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012).



Figura 33. a) colocación de mortero en la cara superior del bloque, b) Nivelación del mortero colocado en la parte inferior del bloque



Figura 34. Humedecimiento del refrentado colocado en los bloques huecos de hormigón

Culminadas las 24 horas de curado del refrentado se procedió a ensayar los elementos, los cuales fueron colocados sobre la máquina de compresión de acuerdo a la posición que se sitúan en la construcción de la mampostería, adicionalmente se verificó el alineamiento vertical para que la carga aplicada se distribuya por toda el área de contacto (ver [Figura 35](#)); la velocidad con la que se

realizó el ensayo fue ajustada hasta que ésta presente uniformidad, procurando que el tiempo de duración de la carga sobrante sea aproximadamente de 1 a 2 minutos (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).



Figura 35. Colocación de bloque hueco de hormigón en la máquina de compresión

5.1.3. Análisis de resultados de cilindros de hormigón

El esfuerzo a compresión resulta de la división realizada entre la fuerza máxima y el área de la sección transversal del espécimen analizado. Para que los resultados sean válidos es necesario obtener más de un valor para calcular un promedio; por lo tanto, para el análisis de los cilindros se ensayó dos muestras que permanecieron en el curado rápido y dos cuya edad corresponde a 7 días. Considerando que el hormigón es para bloques los resultados de los cilindros se compararon con la resistencia mínima para la clase B descrita en la [Tabla 25](#); por lo tanto, la resistencia a compresión promedio que presentan los cilindros de curado rápido es superior del 90 o 95% de resistencia esperada (ver [Tabla 31](#)) por otro lado los cilindros de edad 7 días si mostraron el 70% de la resistencia propuesta (ver [Tabla 32](#)).

Tabla 31.*Resultados de resistencia a compresión de cilindros- edad 3 días (curado rápido)*

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Diámetro (cm)					
1	2017-11-07	2017-11-10	3	10473,00	30,50	15,40	186,27	5681,08	1,84	9490,00	50,95
2	2017-11-07	2017-11-10	3	10092,00	30,20	15,30	183,85	5552,39	1,82	8710,00	47,37
Promedio										49,16	

Tabla 32.*Resultados de resistencia a compresión de cilindros-edad 7 días*

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones		Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Diámetro (cm)					
1	2017-11-07	2017-11-14	7	9592,00	30,60	15,40	186,27	5699,71	1,68	5100,00	27,38
2	2017-11-07	2017-11-14	7	9528,00	30,30	15,30	183,85	5570,77	1,71	5530,00	30,08
Promedio										28,73	



Figura 36. Planos de falla de cilindros de hormigón-edad 3 días



Figura 37. Planos de falla de cilindros de hormigón-edad 7 días

En la [Figura 36](#) y [Figura 37](#) se visualiza la forma de la rotura que se presentó en los cilindros ensayados y de acuerdo con los modelos comunes de fisuras detallados en la [Figura 38](#) los especímenes muestran un plano de falla tipo 5 a excepción del cilindro No.1 de edad 7 días que muestra una falla tipo 3.

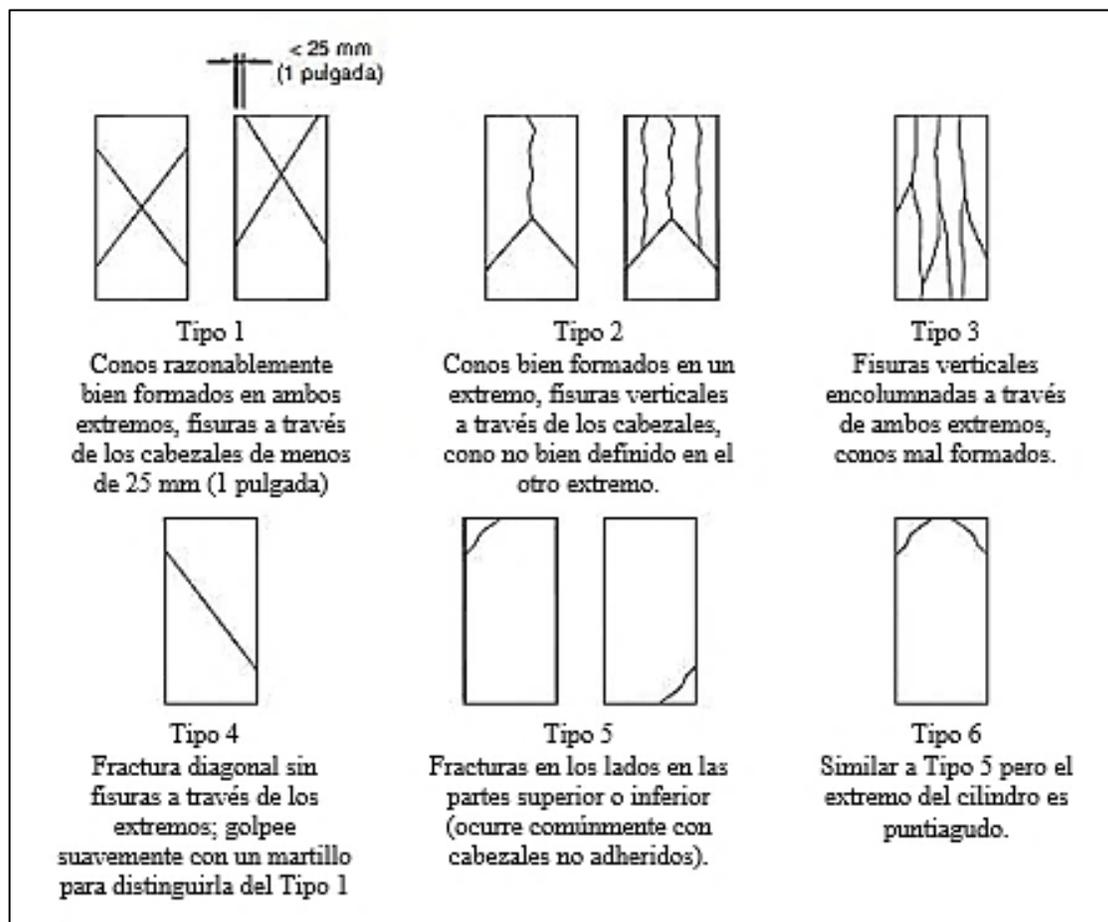


Figura 38. Modelos comunes de fisura de cilindros de hormigón.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010)

5.1.4. Análisis de resultados de bloques de hormigón base

Por otro lado, para el análisis que se realizó a los bloques elaborados se tomó en cuenta los requisitos descritos en la norma INEN 3066 donde se menciona que para cada ensayo se debe someter a fuerzas de compresión 3 especímenes. En la Tabla 33 y Tabla 34 se muestra los resultados del esfuerzo a compresión que se obtuvieron a los 7 y 28 días de realizar los ensayos en bloques pilotos de la primera prueba, los mismos que no contienen plástico PET ni nanoaditivo y fueron elaborados con la dosificación de la Tabla 27.

Tabla 33.*Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón piloto-edad 7 días*

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2017-11-30	2017-12-07	7	11905,00	19,90	15,10	39,80	600,98	11959,50	1,00	5802,00	9,65
2	2017-11-30	2017-12-07	7	12341,00	19,90	15,10	39,90	603,69	12013,37	1,03	7402,00	12,26
3	2017-11-30	2017-12-07	7	11999,00	19,80	15,10	40,00	602,40	11927,52	1,01	7682,00	12,75
Promedio											11,56	

Tabla 34.*Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón piloto-edad 28 días*

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2017-11-30	2018-01-05	36	10535,00	19,50	15,10	39,70	597,88	11658,70	0,90	10684,00	17,87
2	2017-11-30	2018-01-05	36	10863,00	19,90	15,10	39,70	601,06	11961,05	0,91	13095,00	21,79
3	2017-11-30	2018-01-05	36	10702,00	19,80	15,20	39,80	605,76	11993,97	0,89	13367,00	22,07
Promedio											20,57	

Con los resultados que se detallan en las tablas anteriores se puede definir que la resistencia a compresión va aumentando mientras el tiempo de curado es mayor. Las fallas que presentaron los bloques sin plástico ni aditivo que fueron ensayados en la primera prueba son verticales como se observa en la [Figura 39](#).



Figura 39. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a cargas de compresión

5.1.5. Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con 10, 20, 30, 40, 50% de PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo

En las siguientes tablas se encuentran los resultados obtenidos al ensayar a la edad de 7 y 28 días los bloques que fueron elaborados con la dosificación detallada en la [Tabla 28](#); es decir aquellos que contenían en la mezcla el 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo (impermeabilizante y mejorador de resistencia), en un relación de 1kg de aditivo sobre 300 lt de agua.

Tabla 35.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo. edad 7 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Promedio	
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)							
0%	1	2017-12-14	2017-12-21	7	11506,00	19,80	14,70	39,70	583,59	11555,08	1,00	12322,00	21,11	21,31
	2	2017-12-14	2017-12-21	7	11545,00	20,00	15,00	39,70	595,50	11910,00	0,97	12973,00	21,79	
	3	2017-12-14	2017-12-21	7	11523,00	19,90	15,10	39,80	600,98	11959,50	0,96	12646,00	21,04	
10%	1	2018-01-04	2018-01-11	7	9765,00	20,60	15,30	40,20	615,06	12670,24	0,77	8610,84	14,00	19,67
	2	2018-01-04	2018-01-11	7	9774,00	20,60	15,30	40,20	615,06	12670,24	0,77	12731,70	20,70	
	3	2018-01-04	2018-01-11	7	9760,00	20,10	15,30	40,20	615,06	12362,71	0,79	14945,96	24,30	
20%	1	2018-01-09	2018-01-16	7	9587,00	19,90	15,20	39,00	592,80	11796,72	0,81	9833,70	16,59	20,40
	2	2018-01-09	2018-01-16	7	9591,00	19,70	15,20	39,10	594,32	11708,10	0,82	13907,09	23,40	
	3	2018-01-09	2018-01-16	7	9603,00	19,80	15,20	39,10	594,32	11767,54	0,82	12599,60	21,20	
30%	1	2018-01-09	2018-01-16	7	9310,00	20,00	15,20	39,10	594,32	11886,40	0,78	10578,90	17,80	20,00
	2	2018-01-09	2018-01-16	7	9341,00	19,80	15,10	39,00	588,90	11660,22	0,80	11130,20	18,90	
	3	2018-01-09	2018-01-16	7	9356,00	19,90	15,30	39,20	599,76	11935,22	0,78	13974,40	23,30	
40%	1	2018-01-10	2018-01-17	7	9306,00	19,90	15,10	39,20	591,92	11779,21	0,79	10181,00	17,20	18,67
	2	2018-01-10	2018-01-17	7	9142,00	20,00	15,20	39,40	598,88	11977,60	0,76	9821,60	16,40	
	3	2018-01-10	2018-01-17	7	9172,00	20,00	15,20	39,00	592,80	11856,00	0,77	13278,70	22,40	
50%	1	2018-01-10	2018-01-17	7	9100,00	19,80	15,30	39,10	598,23	11844,95	0,77	11203,90	18,73	18,10
	2	2018-01-10	2018-01-17	7	9011,00	19,80	15,20	39,00	592,80	11737,44	0,77	10707,50	18,06	
	3	2018-01-10	2018-01-17	7	9024,00	19,80	15,10	39,20	591,92	11720,02	0,77	10365,20	17,51	

Tabla 36.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo. edad 28 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Promedio	
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)							
0%	1	2017-12-14	2018-01-11	28	11618,00	20,10	15,10	39,70	599,47	12049,35	0,96	16179,00	26,99	25,20
	2	2017-12-14	2018-01-11	28	11346,00	20,10	14,90	39,60	590,04	11859,80	0,96	14805,00	25,09	
	3	2017-12-14	2018-01-11	28	11624,00	19,90	15,10	39,60	597,96	11899,40	0,98	14069,00	23,53	
10%	1	2018-01-04	2018-02-01	28	9085,00	20,00	15,10	39,10	591,97	11839,48	0,77	10165,80	17,17	25,69
	2	2018-01-04	2018-02-01	28	9186,00	19,90	15,10	39,20	591,92	11779,21	0,78	13081,43	22,10	
	3	2018-01-04	2018-02-01	28	9018,00	19,50	15,20	39,10	594,32	11589,24	0,78	22465,30	37,80	
20%	1	2018-01-09	2018-02-06	28	8767,00	19,70	15,10	39,10	590,41	11631,08	0,75	16099,70	27,27	26,39
	2	2018-01-09	2018-02-06	28	9041,00	19,80	15,10	39,00	588,90	11660,22	0,78	16430,30	27,90	
	3	2018-01-09	2018-02-06	28	9127,00	19,90	15,20	39,10	594,32	11826,97	0,77	14263,70	24,00	
30%	1	2018-01-09	2018-02-06	28	9008,00	20,00	15,20	39,00	592,80	11856,00	0,76	17843,30	30,10	25,23
	2	2018-01-09	2018-02-06	28	8959,00	20,00	15,10	39,00	588,90	11778,00	0,76	13246,90	22,49	
	3	2018-01-09	2018-02-06	28	8987,00	19,90	15,10	39,20	591,92	11779,21	0,76	13673,40	23,10	
40%	1	2018-01-10	2018-02-07	28	8537,00	19,70	15,20	39,00	592,80	11678,16	0,73	12567,40	21,20	21,53
	2	2018-01-10	2018-02-07	28	8484,00	19,80	15,10	39,10	590,41	11690,12	0,73	12044,36	20,40	
	3	2018-01-10	2018-02-07	28	8673,00	19,70	15,10	39,00	588,90	11601,33	0,75	13544,70	23,00	
50%	1	2018-01-10	2018-02-07	28	8390,00	19,90	15,20	39,80	604,96	12038,70	0,70	12452,00	20,58	20,57
	2	2018-01-10	2018-02-07	28	8271,00	20,00	15,10	39,80	600,98	12019,60	0,69	12764,20	21,24	
	3	2018-01-10	2018-02-07	28	8254,00	19,90	15,10	39,60	597,96	11899,40	0,69	11893,60	19,89	

Se observa en la Tabla 35 y Tabla 36 que la resistencia a la compresión que presentaron los bloques huecos de hormigón en los cuales se añadió un porcentaje de plástico y nanoaditivo va incrementando favorablemente hasta llegar al 20% de PET pero al colocar más porcentaje de plástico triturado las resistencias decrecen, incluso son menores en comparación con el esfuerzo a compresión que se obtuvo al ensayar los bloques sin plástico; el análisis de estos resultados se visualiza mejor en la Figura 40 la misma que muestra una gráfica de esfuerzo vs. porcentaje de PET. Con esta gráfica también se observa que mientras el día de curado es superior las resistencias aumentan, pero si el porcentaje de plástico es mayor el esfuerzo no presenta un mayor incremento como el caso de los bloques que contenían el 40% y 50% de PET.

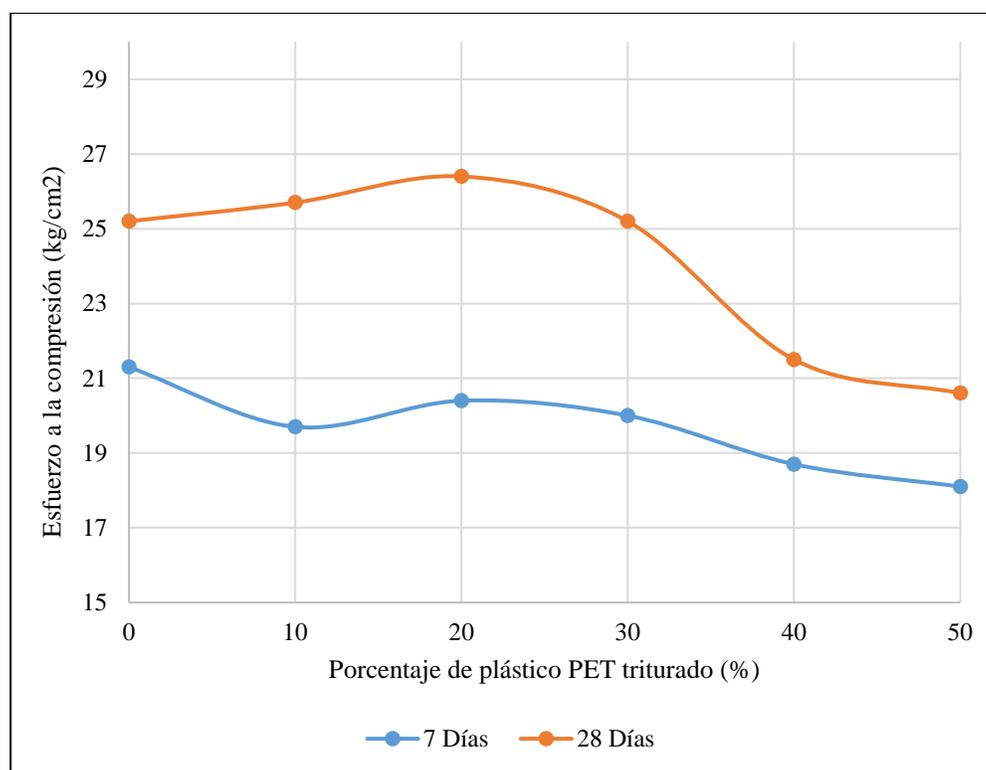


Figura 40. Gráfica de esfuerzo a compresión vs. % de plástico PET de bloques huecos de hormigón (10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET) en reemplazo de arena + nanoaditivo. Edad de curado 7 y 28 días

De acuerdo con la [Figura 41](#) que se indica a continuación se puede determinar que los bloques que contienen un porcentaje entre 10% al 30% de plástico PET presentaron los valores más altos de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días.

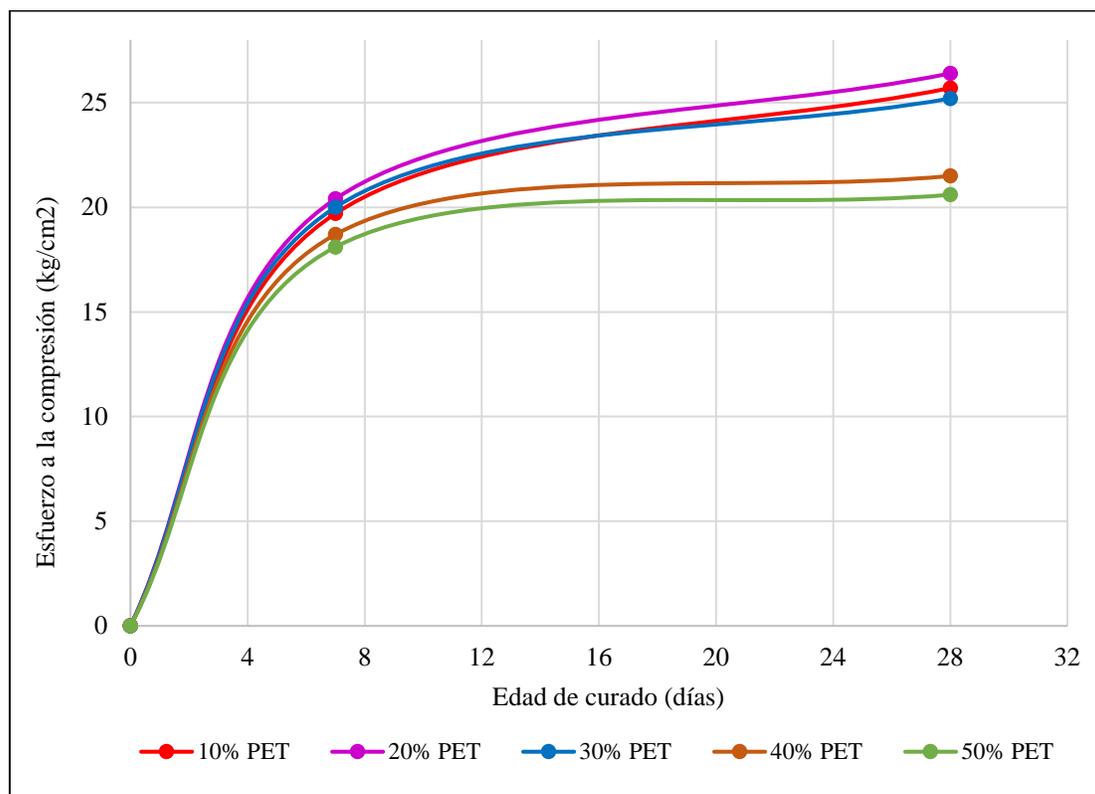


Figura 41. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con distintos porcentajes de PET que reemplazan la arena + nanoaditivo

Los planos de falla que se generaron al ensayar a compresión los bloques huecos de hormigón cuya mezcla está conformada con diferentes porcentajes de plástico PET que reemplazan arena, por lo general fueron fisuras verticales. Al analizar las fotografías 5 y 6 que se puede visualizar en la [Figura 42](#) se puede definir que mientras más cantidad de tereftalato de polietileno se encuentra presente en los bloques, su rotura tiende a ser como desmoronamientos de material.



Figura 42. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a compresión.
 1) 0% PET, 2) 10% PET, 3) 20% PET, 4) 30% PET, 5) 40% PET, 6) 50% PET

5.1.6. Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con 10, 15, 20, 25, 30% de PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo

A continuación, se detallan los resultados de resistencia a la compresión que se obtuvo al someter a fuerzas capaces de comprimir mampuestos tipo bloque hueco de hormigón que fueron fabricados con la dosificación de la [Tabla 29](#); es decir aquellos especímenes cuya mezcla contenía un aumento de la cantidad de cemento y un porcentaje del 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de plástico PET triturado que reemplaza arena+ nanoaditivo de características mencionadas previamente en una relación de 1/250 del volumen total de agua. Las muestras fueron ensayadas a la edad de 7 y 28 días, siendo este último el tiempo de curado máximo para que el hormigón adquiriera su máxima resistencia, con la cual se puede determinar la carga que puede soportar un bloque hueco de hormigón con polímeros reciclados (plástico PET) y nanoaditivo.

Tabla 37.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo. edad 7 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Promedio	
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)							
0%	1	2018-01-23	2018-01-30	7	11372	19,8	15,2	39,2	595,84	11797,63	0,96	15424,00	25,89	25,64
	2	2018-01-23	2018-01-30	7	11142	20,0	15,1	39,1	590,41	11808,20	0,94	15003,81	25,41	
	3	2018-01-23	2018-01-30	7	10794	19,9	15,1	39,1	590,41	11749,16	0,92	15129,00	25,62	
10%	1	2018-01-23	2018-01-30	7	9739	19,5	15,1	39,1	588,46	11474,87	0,85	13364,57	22,71	23,26
	2	2018-01-23	2018-01-30	7	9865	19,9	15,1	39,1	591,97	11780,28	0,84	15429,61	26,06	
	3	2018-01-23	2018-01-30	7	9948	19,7	15,2	39,2	595,84	11738,05	0,85	12506,22	20,99	
15%	1	2018-01-24	2018-01-31	7	9860	19,9	15,2	39,2	595,84	11857,22	0,83	14462,22	24,27	24,59
	2	2018-01-24	2018-01-31	7	9840	19,9	15,1	39,0	589,68	11734,63	0,84	14714,63	24,95	
	3	2018-01-24	2018-01-31	7	10060	20,0	15,2	39,0	592,80	11856,00	0,85	14545,72	24,54	
20%	1	2018-01-24	2018-01-31	7	9320	20,0	15,1	39,2	591,92	11838,40	0,79	15661,21	26,46	26,10
	2	2018-01-24	2018-01-31	7	9180	19,8	15,1	39,0	588,90	11660,22	0,79	14788,86	25,11	
	3	2018-01-24	2018-01-31	7	9600	19,9	15,1	39,0	590,46	11750,15	0,82	15787,40	26,74	
25%	1	2018-01-25	2018-02-01	7	8960	20,1	15,2	38,9	591,28	11884,73	0,75	17575,47	29,72	27,28
	2	2018-01-25	2018-02-01	7	9030	20,0	15,2	39,0	592,80	11856,00	0,76	15596,72	26,31	
	3	2018-01-25	2018-02-01	7	9100	20,1	15,2	39,0	592,80	11915,28	0,76	15288,72	25,79	
30%	1	2018-01-25	2018-02-01	7	9020	20,0	15,2	39,0	592,80	11856,00	0,76	15586,72	26,29	25,27
	2	2018-01-25	2018-02-01	7	8560	19,8	15,1	39,3	593,43	11749,91	0,73	14323,38	24,14	
	3	2018-01-25	2018-02-01	7	8740	20,0	15,1	39,0	588,90	11778,00	0,74	14943,86	25,38	

Tabla 38.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 0%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo. edad 28 días.

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Promedio	
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)							
0%	1	2018-01-23	2018-02-20	28	11265,00	19,40	15,10	39,20	591,92	11483,25	0,98	18457,00	31,18	31,03
	2	2018-01-23	2018-02-20	28	11042,00	19,20	15,30	39,10	598,23	11486,02	0,96	19021,68	31,80	
	3	2018-01-23	2018-02-20	28	10108,00	19,50	15,40	39,20	603,68	11771,76	0,86	18173,79	30,11	
10%	1	2018-01-23	2018-02-20	28	9612,00	19,70	15,10	39,00	588,90	11601,33	0,83	18605,95	31,59	31,65
	2	2018-01-23	2018-02-20	28	9712,00	19,80	15,00	39,20	588,00	11642,40	0,83	18787,00	32,95	
	3	2018-01-23	2018-02-20	28	9709,00	19,90	15,00	39,00	585,00	11641,50	0,83	18374,50	31,41	
15%	1	2018-01-24	2018-02-21	28	9500,00	19,90	15,20	38,90	591,28	11766,47	0,81	19455,16	32,90	32,39
	2	2018-01-24	2018-02-21	28	9520,00	19,60	15,10	39,00	588,90	11542,44	0,82	18845,55	32,00	
	3	2018-01-24	2018-02-21	28	9400,00	20,00	15,10	38,90	587,39	11747,80	0,80	18949,04	32,26	
20%	1	2018-01-24	2018-02-21	28	9013,00	19,90	15,10	39,10	590,41	11749,16	0,77	19750,90	33,45	34,03
	2	2018-01-24	2018-02-21	28	8800,00	20,00	14,90	39,00	581,10	11622,00	0,76	19480,45	33,52	
	3	2018-01-24	2018-02-21	28	9420,00	19,80	15,00	39,00	585,00	11583,00	0,81	20533,50	35,10	
25%	1	2018-01-25	2018-02-22	28	8400,00	19,70	15,20	39,00	592,80	11678,16	0,72	21644,10	36,51	36,53
	2	2018-01-25	2018-02-22	28	8800,00	19,80	15,20	39,00	592,80	11737,44	0,75	21569,80	36,39	
	3	2018-01-25	2018-02-22	28	8500,00	19,90	15,20	39,00	592,80	11796,72	0,72	21749,50	36,69	
30%	1	2018-01-25	2018-02-22	28	9000,00	19,70	15,30	39,30	601,29	11845,41	0,76	19853,50	33,02	33,66
	2	2018-01-25	2018-02-22	28	8200,00	19,90	15,30	39,40	602,82	11996,12	0,68	19803,50	32,85	
	3	2018-01-25	2018-02-22	28	8450,00	19,80	15,20	39,20	595,84	11797,63	0,71	20928,50	35,12	

Anteriormente se mencionó que los bloques que contenían un porcentaje entre 10% y 30% de plástico en su mezcla presentaron un mejor resultado de resistencia a la compresión por lo que en la Tabla 37 y Tabla 38 se analizan especímenes cuya dosificación está dentro de dicho rango de porcentaje y se puede observar claramente que los esfuerzos van incrementando hasta el 25% de PET introducido en el hormigón, también se puede visualizar en la gráfica de la [Figura 43](#). Los valores que se generaron en estos nuevos ensayos muestran un incremento del 20% en comparación con los resultados obtenidos en la Tabla 35 y Tabla 36 que se estudió con anterioridad, debido a que la dosificación que se usó tenía un aumento de cemento y aditivo de nano partículas impermeabilizantes con características de mejorar la resistencia.

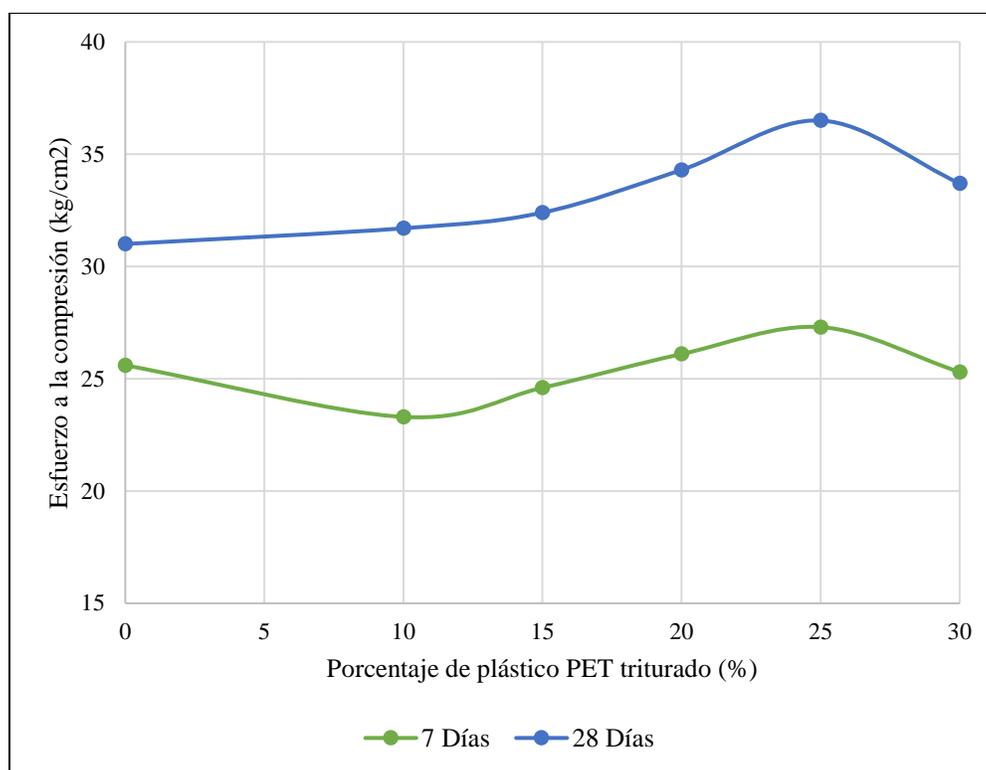


Figura 43. Gráfica de esfuerzo a compresión vs. % de plástico PET de bloques huecos de hormigón (10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET) en reemplazo de arena + nanoaditivo. Edad de curado 7 y 28 días

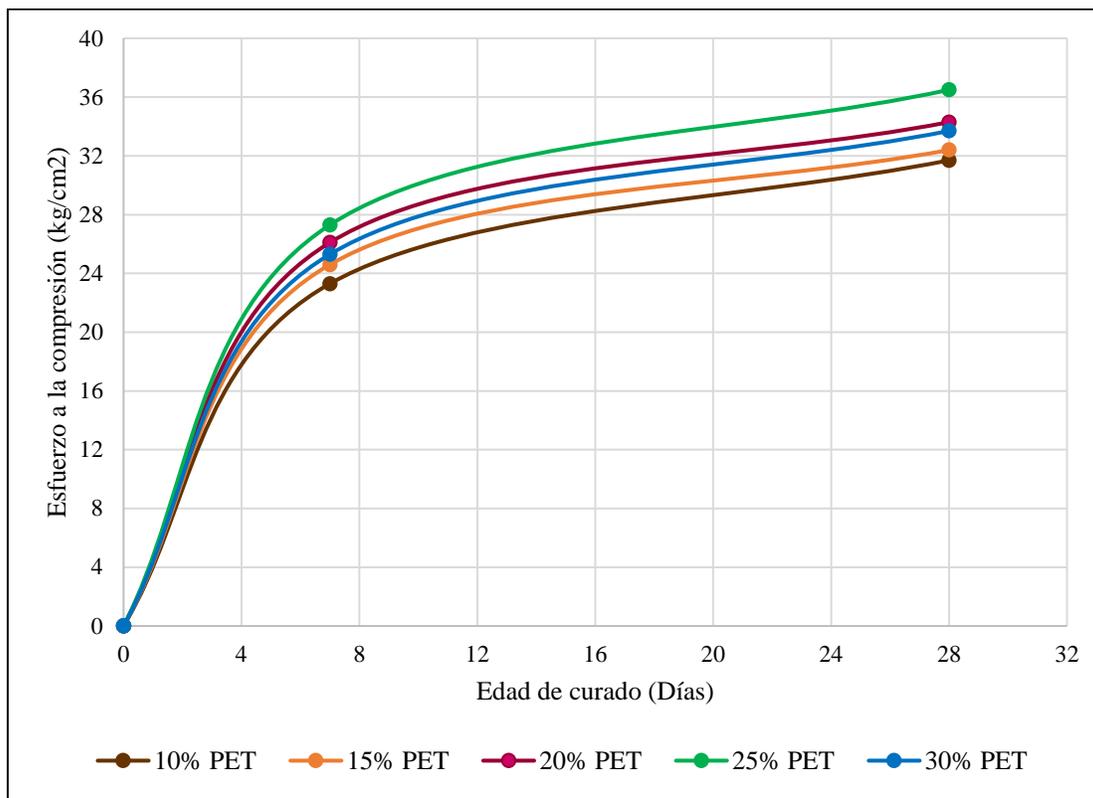


Figura 44. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con distintos porcentajes de PET que reemplazan arena + nanoaditivo

La gráfica esfuerzo a la compresión vs. edad de curado que se muestra en la [Figura 44](#) permite determinar que el porcentaje óptimo de plástico PET aplicado en la mezcla de hormigón de bloques huecos es de 25% , debido a que el resultado más alto de resistencia fue de los especímenes que fueron fabricados con la dosificación que tiene el porcentaje mencionado como se puede ver en la curva de color verde.

En la [Figura 45](#) que se presenta a continuación se observa los diferentes planos de falla que se generaron en los bloques huecos de hormigón con plástico y nanoaditivo al ser sometidos a cargas de compresión, los cuales en su mayoría fueron fisuras verticales a excepción de la fotografía N°6 que adicionalmente de la falla vertical muestra un cierto desmoronamiento en la esquina del espécimen.

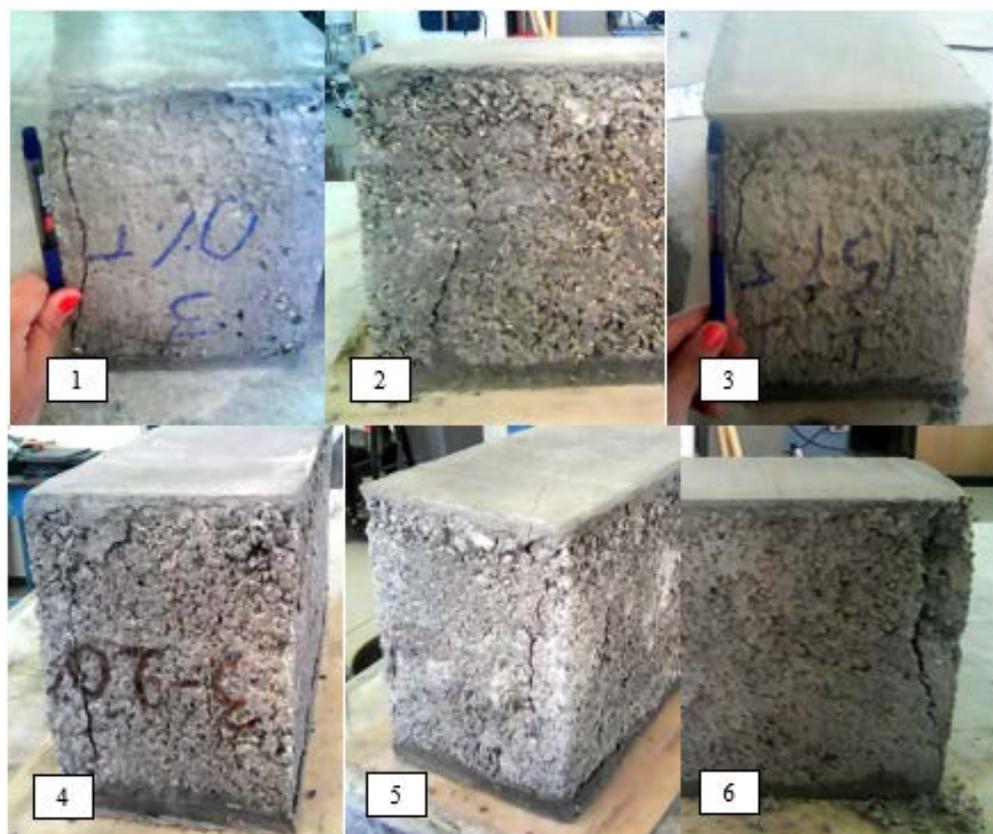


Figura 45. Fisuras producidas en bloques de hormigón sometidos a compresión.
1) 0% PET, 2) 10% PET, 3) 15% PET, 4) 20% PET, 5) 25% PET, 6) 30% PET

Al tener conocimiento que los bloques huecos de hormigón tienen un buen rendimiento a la compresión cuando se reemplaza arena de su mezcla tradicional por bloque con 25% de plástico PET y 0,0087 kg de aditivo con nano partículas que corresponde a la relación de 1/250 del volumen total de agua, se decidió elaborar 9 especímenes con la misma dosificación del 25% de PET que se encuentra en la [Tabla 29](#) pero con la diferencia de que en la nueva mezcla no se aplicó la cantidad de aditivo, con la finalidad de conocer si éste influye en el aumento de la resistencia del hormigón. En la [Tabla 39](#) y [Tabla 40](#) se muestra detalladamente los resultados que se obtuvieron a comprimir los nuevos bloques.

Tabla 39.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo-edad 7 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2018-03-05	2018-03-12	7	8320,00	19,80	15,30	38,80	593,64	11754,07	0,71	14680,94	24,73
2	2018-03-05	2018-03-12	7	8280,00	20,00	15,10	39,20	591,92	11838,40	0,70	13943,21	23,56
3	2018-03-05	2018-03-12	7	8401,00	19,90	15,20	39,10	594,32	11826,97	0,71	14435,97	24,29
Promedio											24,19	

Tabla 40.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena y sin nanoaditivo-edad 28 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2018-03-05	2018-04-02	28	8211,00	19,90	15,20	39,20	595,84	11857,22	0,69	17969,96	30,16
2	2018-03-05	2018-04-02	28	8129,00	20,00	15,10	39,30	593,43	11868,60	0,69	17507,30	29,50
3	2018-03-05	2018-04-02	28	8331,00	19,50	15,10	39,20	591,92	11542,44	0,72	17542,48	29,64
Promedio											29,77	

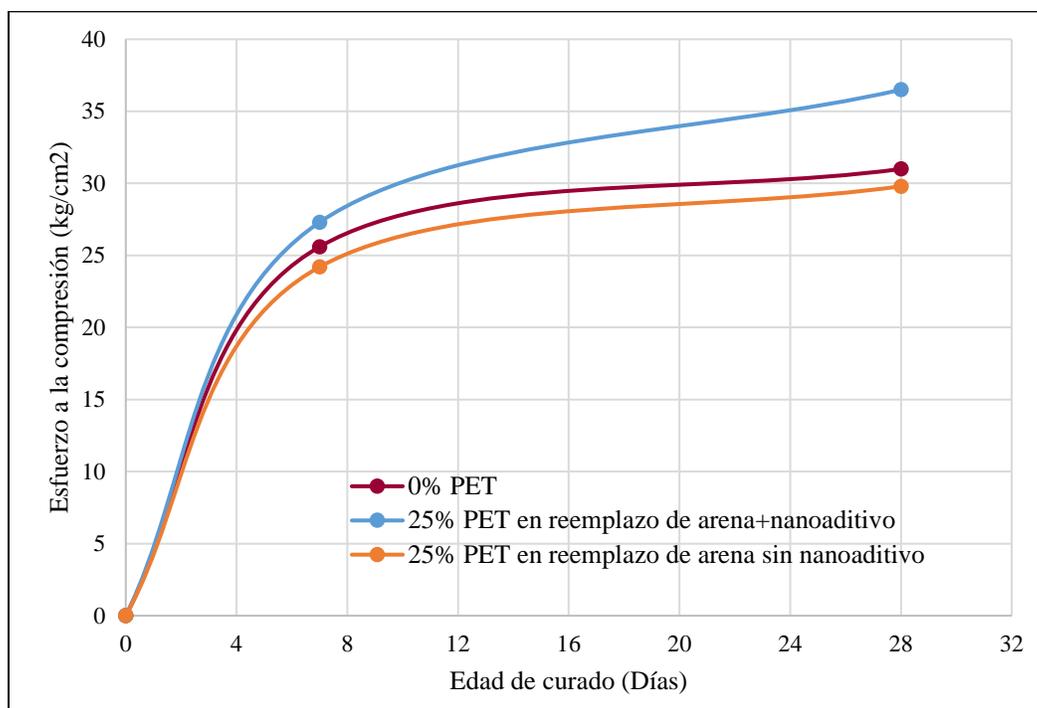


Figura 46. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con 25% PET en reemplazo de arena con y sin nanoaditivo

Los resultados que presentaron los especímenes con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo al ser comprimidos a la edad de 7 y 28 días permiten realizar una comparación con las resistencias que se obtuvo al ensayar los bloques elaborados con la dosificación tradicional (sin plástico ni aditivos) y con los bloques que contenía 25% de plástico PET en reemplazo de arena y nanoaditivo como se analiza en la [Figura 46](#), donde se observa que la curva naranja que pertenece a los mampuestos que fueron reemplazados solo con el 25% de PET es inferior a las demás curvas por lo que se puede definir que al reemplazar solo un porcentaje de PET por arena no se obtiene buenos resultados de resistencia a la compresión. En la [Tabla 39](#) y [Tabla 40](#) se puede ver que la única ventaja que mostraron los nuevos bloques estudiados fue disminuir su peso a diferencia de los que fueron fabricados con el aditivo de nanopartículas.



Figura 47. Fisuras producidas en bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo y sin nanoaditivo, sometidos a cargas de compresión

En la Figura 47 se muestra las fisuras generadas en los bloques huecos de hormigón cuya dosificación contenía el 25% de PET en reemplazo de arena y sin nanoaditivo, estas fallas fueron verticales y en su mayoría se presentaron en los extremos del espécimen. Además, las muestras ensayadas tuvieron una característica peculiar en el hormigón debido a que se puede visualizar que los agregados no tuvieron una correcta adherencia generando porosidad en los mampuestos.

5.1.7. Análisis de resultados de bloques huecos de hormigón con reemplazo de la piedra pómez por plástico PET

Para determinar si el plástico PET influye directamente en la resistencia de los bloques se realizó ensayos a muestras en las que se reemplazó la cantidad total de piedra pómez por plástico PET debido a que los dos materiales son de baja densidad, los resultados que se obtuvieron tanto a los 7 como 28 días se exponen en la Tabla 41 y Tabla 42 que se muestran a continuación.

Tabla 41.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón reemplazando en volumen la cantidad de piedra pómez por plástico PET - edad 7 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2018-03-05	2018-03-12	7	9322,00	19,10	15,20	39,20	595,84	11380,54	0,82	14447,22	24,25
2	2018-03-05	2018-03-12	7	9560,00	19,20	15,30	39,00	596,70	11456,64	0,83	14602,50	24,47
3	2018-03-05	2018-03-12	7	9604,00	19,10	15,10	39,30	593,43	11334,51	0,85	15033,90	25,33
Promedio											24,68	

Tabla 42.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón reemplazando en volumen la cantidad de piedra pómez por plástico Pet-edad 28 días

Muestra No.	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso de la probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
					Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	2018-03-05	2018-04-02	28	9164,00	19,40	15,30	39,20	599,76	11635,34	0,79	16695,00	27,84
2	2018-03-05	2018-04-02	28	9334,00	19,50	15,20	39,00	592,80	11559,60	0,81	17096,20	28,84
3	2018-03-05	2018-04-02	28	9246,00	19,30	15,20	39,20	595,84	11499,71	0,80	17203,50	28,87
Promedio											28,52	

La [Figura 48](#) permite visualizar claramente que al reemplazar en la mezcla de hormigón para bloques plástico PET por el volumen total de piedra pómez se obtiene una resistencia a la compresión baja comparada con las obtenidas en los ensayos realizados a especímenes que contenían 25% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo, incluso es menor a la resistencia que presentaron los bloques que fueron elaborados solo con cemento, arena y piedra pómez.

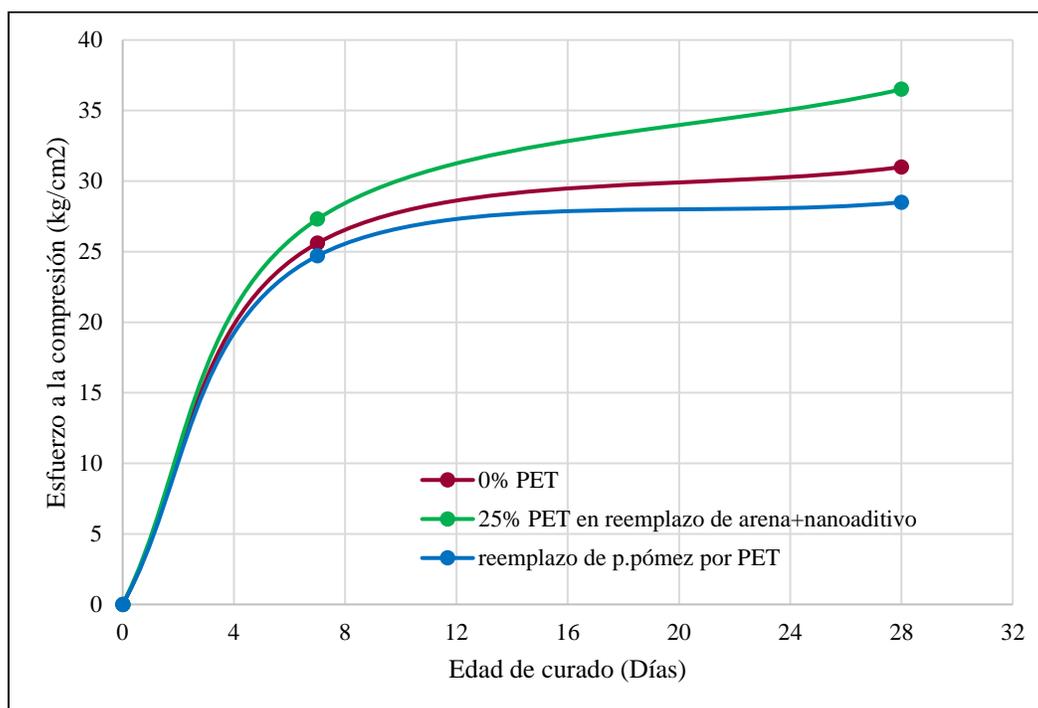


Figura 48. Gráfica esfuerzo a compresión vs. edad de curado de bloques huecos de hormigón con PET en reemplazo de arena+ nanoaditivo y bloques sin p. pómez

Para completar la investigación fue necesario adicionalmente realizar pruebas a 3 bloques huecos de hormigón comprados en una distribuidora de materiales de construcción ubicada en Sangolquí, con la finalidad de obtener una comparación entre las resistencias a compresión promedio que presentaron los mampuestos estudiados. Los resultados que se generaron al realizar el ensayo se presentan en la [Tabla 43](#), se asumió que los bloques tenían más de 28 días de edad.

Tabla 43.

Resultados de resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón de bloquera

Muest. No.	Peso de probeta (g)	Dimensiones			Área Probeta (cm ²)	Volumen Probeta (cm ³)	Peso volumétrico (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)
		Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)					
1	11400,00	20,00	15,00	40,00	600,00	12000,00	0,95	7699,00	12,83
2	11623,00	20,00	15,00	40,00	600,00	12000,00	0,97	9661,00	16,10
3	11520,00	20,00	15,00	40,00	600,00	12000,00	0,96	8464,00	14,11
Promedio									14,35

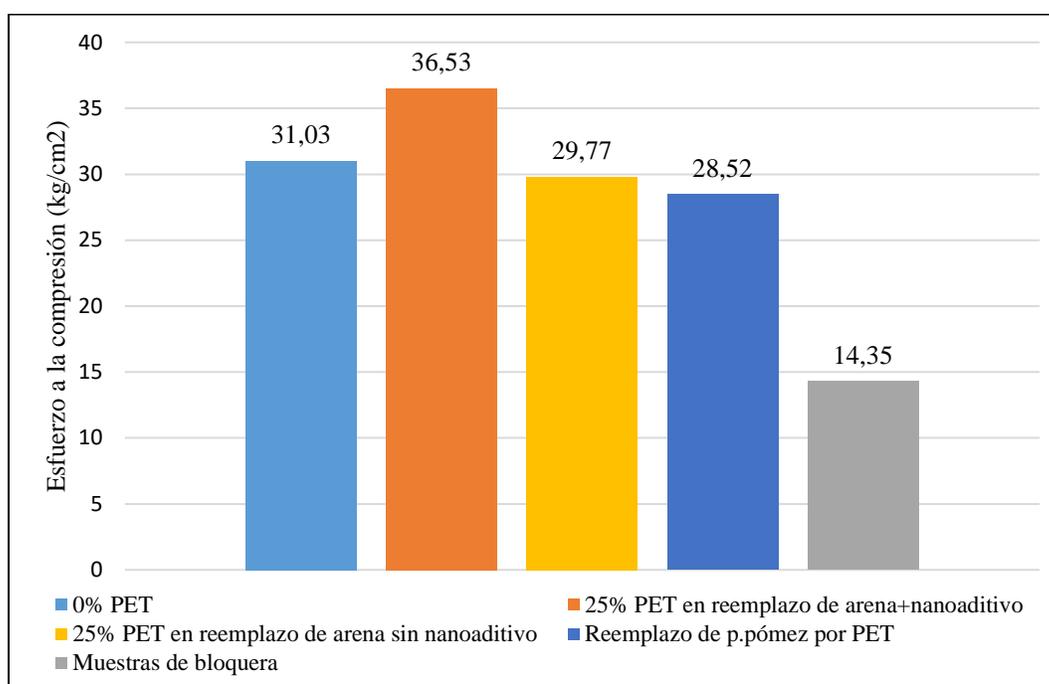


Figura 49. Gráfica comparativa de esfuerzo a la compresión de bloques huecos de hormigón, edad 28 días

En la gráfica que se muestra en la [Figura 49](#) se puede observar que los bloques de hormigón que se comercializan no presentan calidad en su mezcla ya que se obtuvo una resistencia muy baja en comparación con los bloques que se elaboraron con las dosificaciones calculadas en el presente proyecto, incluso se puede determinar que los bloques que no contienen aditivo y aquellos que no presentan piedra pómez podrían usarse en la construcción a pesar de que no cumplen con la norma

son mejores que los empleados actualmente. También se puede visualizar que la dosificación con mejores resultados es la que posee el 25% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo con 36,5 kg/cm², aproximándose a la mínima de 40 kg/cm² establecida en la norma para bloques de mampostería no estructural.

5.2. Determinación de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón

El peso volumétrico permite determinar la densidad de los materiales, este resulta de la división entre la masa y el volumen de la muestra, en el caso del bloque de hormigón es necesario conocer el volumen neto de los especímenes debido a que poseen cavidades huecas. El volumen neto se calculó restando el volumen de los huecos del volumen bruto este último se obtuvo asumiendo un bloque macizo. A continuación, se presenta los resultados de pesos volumétricos obtenidos en cada prueba de estudio a la edad de 28 días.

Tabla 44.

Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Muest No.	Peso de probeta (g)	Área B macizo (cm ²)	Volumen Bruto (cm ³)	Peso Vol. Bruto (g/cm ³)	Área huecos (cm ²)	Vol. huecos (cm ³)	Vol. Total Neto (cm ³)	Peso Vol. Neto (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)	
1	11618,00	599,47	12049,35	0,96	352,00	6336,00	5713,35	2,03		
0%	2	11346,00	590,04	11859,80	0,96	352,00	6336,00	5523,80	2,05	2,06
	3	11624,00	597,96	11899,40	0,98	352,00	6336,00	5563,40	2,09	
1	9085,00	591,97	11839,48	0,77	352,00	6336,00	5503,48	1,65		
10%	2	9186,00	591,92	11779,21	0,78	352,00	6336,00	5443,21	1,69	1,69
	3	9018,00	594,32	11589,24	0,78	352,00	6336,00	5253,24	1,72	
1	8767,00	590,41	11631,08	0,75	352,00	6336,00	5295,08	1,66		
20%	2	9041,00	588,90	11660,22	0,78	352,00	6336,00	5324,22	1,70	1,67
	3	9127,00	594,32	11826,97	0,77	352,00	6336,00	5490,97	1,66	
1	9008,00	592,80	11856,00	0,76	352,00	6336,00	5520,00	1,63		
30%	2	8959,00	588,90	11778,00	0,76	352,00	6336,00	5442,00	1,65	1,64
	3	8987,00	591,92	11779,21	0,76	352,00	6336,00	5443,21	1,65	

CONTINÚA→

	1	8537,00	592,80	11678,16	0,73	352,00	6336,00	5342,16	1,60	
40%	2	8484,00	590,41	11690,12	0,73	352,00	6336,00	5354,12	1,58	1,61
	3	8673,00	588,90	11601,33	0,75	352,00	6336,00	5265,33	1,65	
	1	8390,00	604,96	12038,70	0,70	352,00	6336,00	5702,70	1,47	
50%	2	8271,00	600,98	12019,60	0,69	352,00	6336,00	5683,60	1,46	1,47
	3	8254,00	597,96	11899,40	0,69	352,00	6336,00	5563,40	1,48	

Con los valores promedio de la [Tabla 44](#) se realizó la gráfica de la [Figura 50](#), donde se puede observar que el peso volumétrico del bloque hueco de hormigón va disminuyendo mientras más plástico se encuentre en la mezcla, mostrando cierta similitud entre los porcentajes de 10%, 20% y 30% de PET; por lo tanto, se analizó entre dicho rango obteniendo los resultados que se presentan en la [Tabla 45](#).

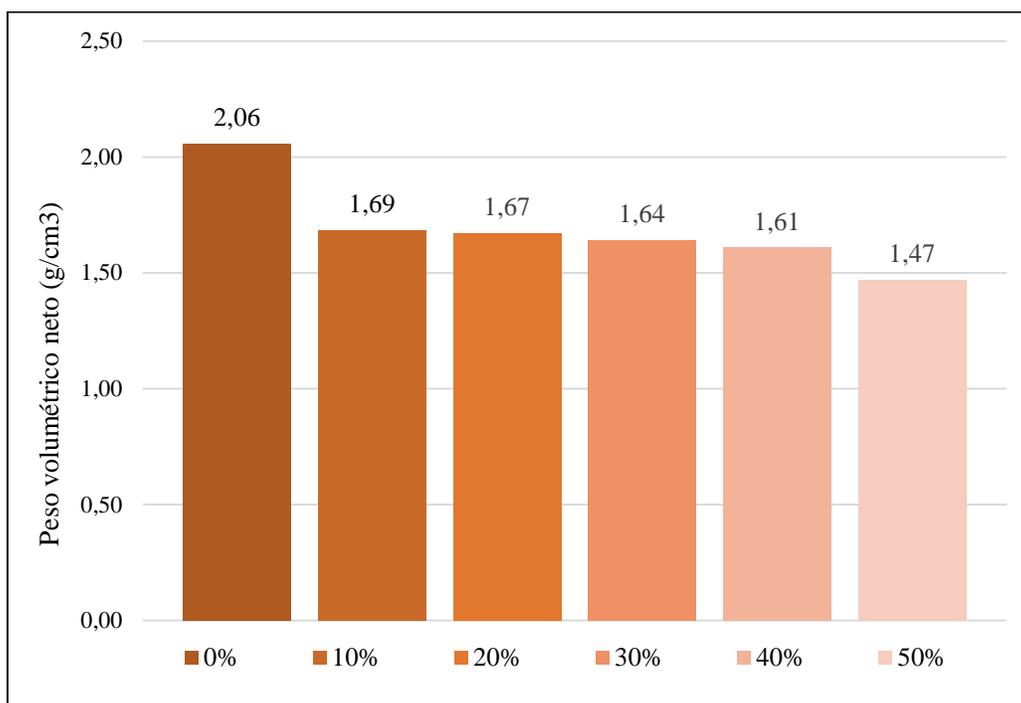


Figura 50. Gráfica de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón con: **0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%** de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Tabla 45.

Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Muest No.	Peso de la probeta (g)	Área B macizo (cm ²)	Volumen Bruto (cm ³)	Peso Vol. Bruto (g/cm ³)	Área huecos (cm ²)	Vol. huecos (cm ³)	Vol. Total Neto (cm ³)	Peso Vol. Neto (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)
0%	1	11265,00	591,92	11483,25	0,98	352,00	6336,00	5147,25	2,19
	2	11042,00	598,23	11486,02	0,96	352,00	6336,00	5150,02	2,14
	3	10108,00	603,68	11771,76	0,86	352,00	6336,00	5435,76	1,86
10%	1	9612,00	588,90	11601,33	0,83	352,00	6336,00	5265,33	1,83
	2	9712,00	588,00	11642,40	0,83	352,00	6336,00	5306,40	1,83
	3	9709,00	585,00	11641,50	0,83	352,00	6336,00	5305,50	1,83
15%	1	9500,00	591,28	11766,47	0,81	352,00	6336,00	5430,47	1,75
	2	9520,00	588,90	11542,44	0,82	352,00	6336,00	5206,44	1,83
	3	9400,00	587,39	11747,80	0,80	352,00	6336,00	5411,80	1,74
20%	1	9013,00	590,41	11749,16	0,77	352,00	6336,00	5502,40	1,69
	2	8800,00	581,10	11622,00	0,76	352,00	6336,00	5324,22	1,72
	3	9420,00	585,00	11583,00	0,81	352,00	6336,00	5414,15	1,77
25%	1	8400,00	592,80	11678,16	0,72	352,00	6336,00	5342,16	1,57
	2	8800,00	592,80	11737,44	0,75	352,00	6336,00	5401,44	1,63
	3	8500,00	592,80	11796,72	0,72	352,00	6336,00	5460,72	1,56
30%	1	9000,00	601,29	11845,41	0,76	352,00	6336,00	5509,41	1,63
	2	8200,00	602,82	11996,12	0,68	352,00	6336,00	5660,12	1,45
	3	8450,00	595,84	11797,63	0,71	352,00	6336,00	5461,63	1,55

La gráfica de la [Figura 51](#) muestra la tendencia de los pesos volumétricos que presentaron los bloques huecos de hormigón elaborados con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo, al igual que en la gráfica anterior se puede visualizar que los valores van reduciendo mientras se aumenta la cantidad de plástico PET triturado en el hormigón, teniendo como valores más bajos aquellos que corresponden a los especímenes cuya mezcla contenía 25% y 30% de PET + nanoaditivo en comparación con el peso volumétrico que se obtuvo en los bloques elaborados sin plástico ni aditivo el cual es superior a 2,0 g/cm³. En la [Tabla 44](#) y [Tabla 45](#) también

se observa que la masa de las muestras estudiadas es menor cuando se coloca un porcentaje de plástico PET y nanoaditivo (impermeabilizante, mejorador de resistencia).

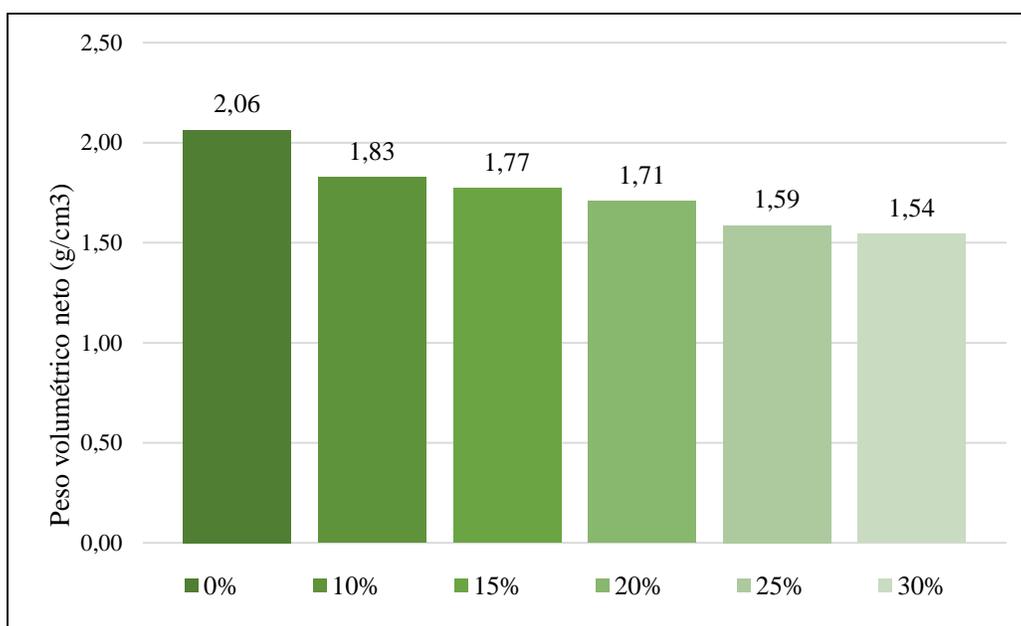


Figura 51. Gráfica de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

En la Tabla 46, Tabla 47 y Tabla 48 se muestran los pesos volumétricos de los bloques que fueron elaborados con 25% de PET sin nanoaditivo, de los que fueron reemplazados la piedra pómez por plástico PET y aquellos bloques que fueron comprados en un sector de Sangolquí, este último sirvió para realizar un análisis comparativo debido a que permite conocer la calidad de los mampuestos que son comercializados en la actualidad.

Tabla 46.

Resultados de peso volumétrico de bloques con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo

Muestra No.	Peso de probeta (g)	Área B macizo (cm ²)	Volumen Bruto (cm ³)	Peso Vol. Bruto (g/cm ³)	Área huecos (cm ²)	Vol. huecos (cm ³)	Vol. Total Neto (cm ³)	Peso Vol. Neto (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)
25% sin adit.	1	8211,00	595,84	11857,22	0,69	352,00	6336,00	5521,22	1,49
	2	8129,00	593,43	11868,60	0,68	352,00	6336,00	5532,60	1,47
	3	8331,00	591,92	11542,44	0,72	352,00	6336,00	5206,44	1,60

Tabla 47.

Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón reemplazando la cantidad de piedra pómez por plástico PET

Muestra No.	Peso de probeta (g)	Área B macizo (cm ²)	Volumen Bruto (cm ³)	Peso Vol. Bruto (g/cm ³)	Área huecos (cm ²)	Vol. huecos (cm ³)	Vol. Total Neto (cm ³)	Peso Vol. Neto (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)
sin pómez	1	9164,00	599,76	11635,34	0,79	352,00	6336,00	5299,34	1,73
	2	9334,00	592,80	11559,60	0,81	352,00	6336,00	5223,60	1,79
	3	9246,00	595,84	11499,71	0,80	352,00	6336,00	5163,71	1,79

Tabla 48.

Resultados de peso volumétrico de bloques huecos de hormigón de una bloquera

Muestra No.	Peso de probeta (g)	Área B. macizo (cm ²)	Volumen Bruto (cm ³)	Peso Vol. Bruto (g/cm ³)	Área huecos (cm ²)	Vol. huecos (cm ³)	Vol. Total Neto (cm ³)	Peso Vol. Neto (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)
bloquera	1	11400,00	600,00	12000,00	0,95	352,00	6336,00	5664,00	2,01
	2	11623,00	600,00	12000,00	0,97	352,00	6336,00	5664,00	2,05
	3	11520,00	600,00	12000,00	0,96	352,00	6336,00	5664,00	2,03

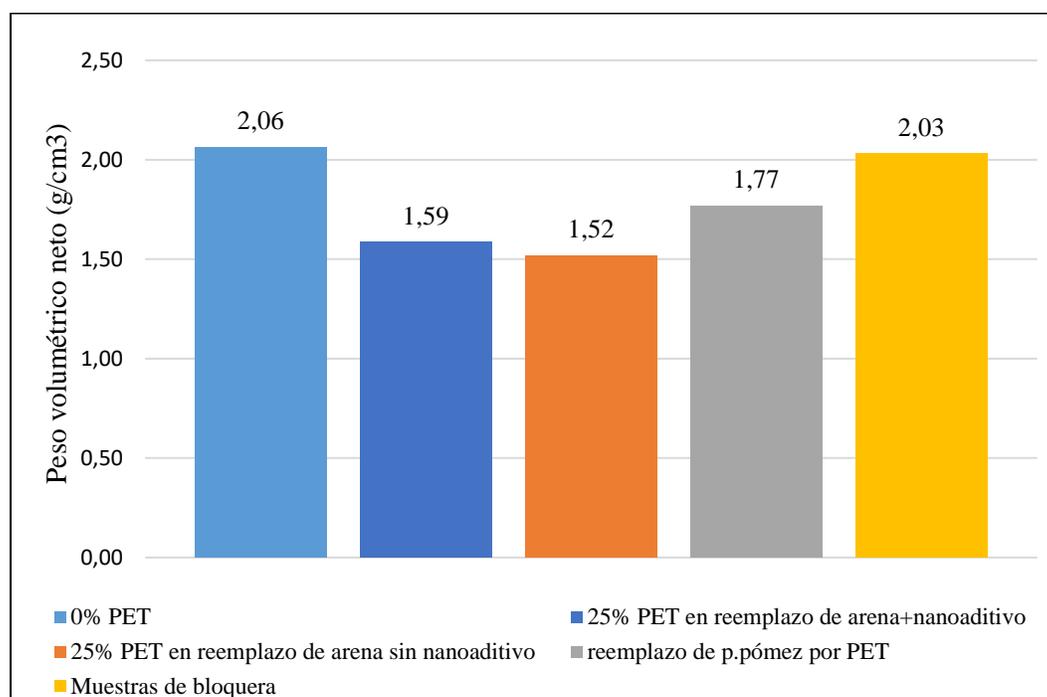


Figura 52. Gráfica comparativa de pesos volumétricos de bloques huecos de hormigón, edad 28 días

En la [Figura 52](#) se visualiza que al introducir en la mezcla de hormigón un material de baja densidad como es el plástico, influye positivamente en la reducción de pesos volumétricos de los bloques huecos debido a que los resultados obtenidos son inferiores al valor que presentaron los bloques que fueron fabricados por una bloquera del Ecuador. Por otra parte, también se puede determinar que cuando se reemplazó plástico por arena se obtuvo mejores resultados que cuando fue reemplazo de la piedra pómez.

5.3. Determinación de absorción de agua de bloques huecos de hormigón NTE INEN 3066

5.3.1. Equipo y accesorios

La propiedad de absorción en los materiales de construcción generalmente indica la cantidad de agua que un material puede absorber entre sus partículas permitiendo determinar su permeabilidad. Para la ejecución del ensayo fue necesario utilizar una balanza calibrada con capacidad de soportar el peso de materiales pesado, también se requirió de un horno con temperaturas entre 100°C y 115° C.

5.3.2. Procedimiento

En primer lugar, se sumergió en agua durante un período de 24 h, 3 bloques enteros de cada dosificación a la edad de 28 días como se observa en la [Figura 53a](#), posteriormente se registró la masa de cada espécimen mientras se encontraba sumergido en el agua con la ayuda de una malla de metal sostenida con un alambre (ver [Figura 53b](#)). Se sacó los bloques del agua y fueron secados con una franela húmeda con el objetivo de retirar el agua visible como se muestra en la [Figura 54](#), luego se colocó sobre la balanza para conocer la masa superficialmente seca. Para finalizar con el ensayo se ubicaron todos los especímenes dentro del horno 24 h con las especificaciones de temperatura antes mencionadas, culminado el tiempo se registró la masa seca de cada muestra (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016, pág. 14).



Figura 53. a) Bloques sumergidos durante 24 horas, b) Determinación de la masa sumergida de un bloque hueco de hormigón



Figura 54. Secado de agua superficial de bloques huecos de hormigón

5.3.3. Análisis de resultados de absorción de agua de bloques huecos de hormigón con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

En las siguientes tablas se presenta los resultados obtenidos al ensayar los bloques elaborados con distintos porcentajes de plástico PET y nanoaditivo según el caso de dosificación. Para este análisis se tomó en cuenta los valores máximos de absorción de agua perteneciente al tipo liviano que se describe en la Tabla 49, a pesar de que son para bloques Clase A permiten tener un enfoque de la cantidad de agua absorbida por bloques de menor densidad.

Tabla 49.*Absorción máxima de agua en bloques Clase A*

Tipo	Densidad (kg/m3)	Absorción de agua máxima promedio (kg/m3)	Absorción de agua máxima por unidad (kg/m3)
Liviano	< 1680	288	320
Medio	1680 a 2000	240	272
Normal	>2000	208	240

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Tabla 50.*Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo*

Muestra No.	P. al aire (g)	P. sumerg (g)	P. sup. seco (g)	P. seco horno (g)	Abs. (%)	Prom. (%)	Abs. (kg/m3)	Prom. (kg/m3)	Densidad (kg/m3)	Prom. (kg/m3)
0%	1	11,00	5,63	12,20	10,86	12,34	203,88		1652,34	
	2	11,60	5,91	13,60	11,20	21,43	18,40	311,93	276,33	1455,68
	3	11,60	5,94	13,60	11,20	21,43		313,19		1461,57
10%	1	9,18	4,51	10,30	8,86	16,25		248,53		1529,17
	2	9,31	4,70	10,60	9,02	17,52	17,03	267,71	259,62	1528,30
	3	9,12	4,51	10,30	8,78	17,31		262,61		1516,93
20%	1	8,94	4,24	9,90	8,52	16,20		243,73		1504,77
	2	9,02	4,43	10,30	8,78	17,31	16,78	258,90	253,21	1495,49
	3	8,96	4,40	10,00	8,56	16,82		257,01		1527,75
30%	1	8,66	4,06	9,70	8,32	16,59		244,51		1474,13
	2	9,24	4,27	10,30	9,00	14,44	16,04	215,55	235,73	1492,29
	3	8,98	4,09	10,00	8,54	17,10		247,12		1445,50
40%	1	8,64	3,93	9,50	8,36	13,64		204,78		1501,71
	2	9,16	4,16	10,30	8,82	16,78	15,77	240,85	229,61	1435,31
	3	9,04	4,10	10,10	8,64	16,90		243,21		1439,28
50%	1	8,24	3,82	9,54	8,14	17,20		244,88		1423,82
	2	8,16	3,75	9,22	8,06	14,39	15,32	212,14	224,45	1474,03
	3	8,30	3,95	9,40	8,22	14,36		216,32		1506,87

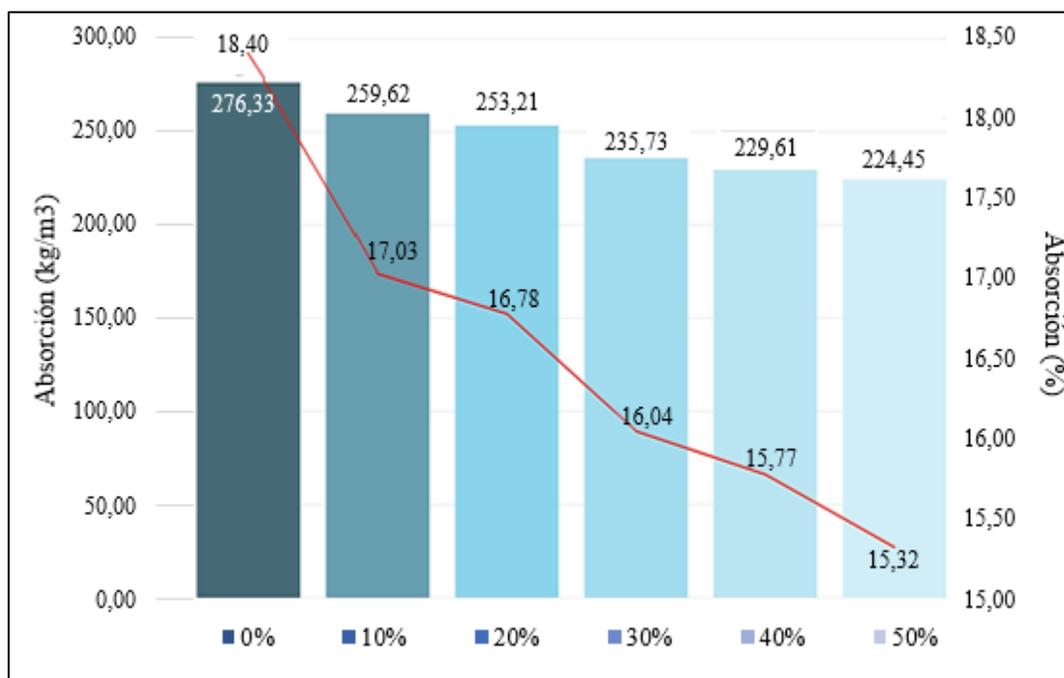


Figura 55. Gráfica de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Utilizando los valores promedio de la [Tabla 50](#) se realizó una gráfica de barras con la absorción en kg/m^3 y una gráfica de dispersión con línea con la absorción en % (ver [Figura 55](#)), en los dos casos se puede observar que los valores tienden a disminuir mientras se introduce más porcentaje de plástico en la mezcla, similar a las gráficas analizadas en pesos volumétricos. En la norma vigente INEN 3066 no se especifica el porcentaje máximo de absorción, pero se esperaba obtener resultados menores o iguales a 15%, valor recomendado en normas anteriores, con la finalidad de tener un dato guía que nos permita mejorar el producto de la investigación. Sin embargo, los porcentajes calculados fueron mayores a dicho valor por lo que se vio necesario analizar los bloques elaborados con la dosificación que contenía porcentajes entre 10% a 30% de PET en reemplazo de arena y con aumento del 35% de cemento y nanoaditivo con una relación de 1kg de aditivo sobre 250 lt de agua, cuyos resultados se muestran en la [Tabla 51](#).

5.3.4. Análisis de resultados de absorción de agua de bloques huecos de hormigón con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Analizando las densidades que se encuentran en la siguiente tabla se tiene que los bloques elaborados con un porcentaje de PET y nanoaditivo son de tipo liviano según la Tabla 49 detallada en el numeral anterior. También se puede observar que la absorción en porcentaje de aquellos especímenes que contenían entre 0% a 20% de PET sigue siendo alta, a diferencia de las muestras con 25% y 30% de PET donde se obtuvo un valor cercano a 15% e incluso menor.

Tabla 51.

Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de PET en reemplazo de arena y nanoaditivo

Muestra No.	P. al aire (g)	P. sumerg (g)	P. sup. seco (g)	P. seco horno (g)	Abs. (%)	Prom. (%)	Abs. (kg/m ³)	Prom. (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Prom. (kg/m ³)
0%	1	10,80	11,98	4,82	9,96	20,28	282,30		1391,94	
	2	10,70	11,80	4,92	9,88	19,43	279,11	19,54	1436,26	1434,05
	3	10,90	11,58	4,97	9,74	18,89	278,45		1473,97	
10%	1	9,60	10,60	4,85	9,10	16,48	260,69		1581,51	
	2	9,80	10,80	4,90	9,24	16,88	264,38	17,63	1565,97	1554,06
	3	9,70	10,90	4,88	9,12	19,52	295,63		1514,70	
15%	1	9,58	10,68	4,72	9,18	16,34	251,70		1540,40	
	2	9,56	10,56	4,74	9,12	15,79	247,47	16,31	1567,28	1554,02
	3	9,68	10,78	4,84	9,23	16,79	261,03		1554,40	
20%	1	8,80	9,80	3,86	8,50	15,29	218,86		1430,98	
	2	9,02	10,10	4,24	8,78	15,03	225,22	15,74	1498,04	1460,81
	3	8,96	9,96	4,10	8,52	16,90	245,65		1453,43	
25%	1	9,00	10,00	4,12	8,66	15,47	227,70		1471,54	
	2	8,62	9,62	3,87	8,44	13,98	205,25	15,05	1468,08	1460,88
	3	8,58	9,58	3,84	8,28	15,70	226,56		1443,01	
30%	1	8,32	9,32	3,12	8,12	14,78	193,53		1309,57	
	2	8,48	9,50	3,30	8,26	15,01	199,94	14,86	1331,85	1359,69
	3	8,52	9,62	3,79	8,38	14,80	212,73		1437,64	

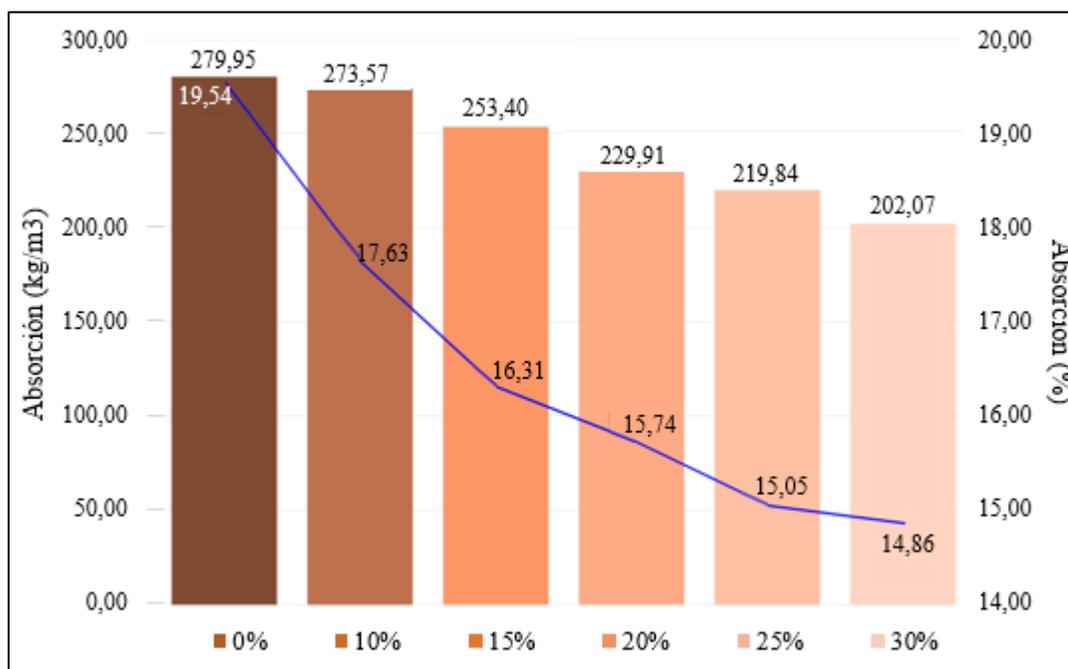


Figura 56. Gráfica de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con: **0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%** de PET y nanoaditivo

Tanto en la gráfica de barras (absorción en kg/m^3) como en la de dispersión con línea (absorción en %) que se presenta en la [Figura 56](#) se puede visualizar que el agua absorbida por los bloques va decreciendo mientras se incrementa la cantidad de plástico en la dosificación. También como se esperaba en esta prueba se redujo la cantidad absorbida al aumentar el aditivo impermeabilizante, comparando con los resultados de la [Figura 55](#) en especial aquellos que corresponden a los especímenes con 20% y 30% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo.

5.3.5. Resultados de absorción de agua de bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo, con plástico PET sin piedra pómez y bloques huecos de una bloquera.

A continuación, se detallan los resultados de absorción de agua obtenidos al ensayar los bloques que fueron elaborados con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo, con el reemplazo de la piedra pómez por PET y bloques comerciales. Con la absorción en kg/m^3 promedio

de la Tabla 52, Tabla 53 y Tabla 54 se realizó una gráfica comparativa (ver Figura 57) incluyendo el valor promedio obtenido en bloques con 25% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo de la Tabla 51, en esta gráfica se observa que al colocar un porcentaje de PET + nanoaditivo se reduce la cantidad absorbida; de igual manera, los bloques que solo contenían plástico presentaron una absorción inferior a la de los bloques tradicionales.

Tabla 52.

Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo

Muestra No.	P. al aire (g)	P. sumerg (g)	P. sup. seco (g)	P. seco horno (g)	Absorción (%)	Absorción (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)	
25% sin adi.	1	8,20	3,40	9,20	7,85	17,20	232,90	1354,27
	2	8,10	3,22	9,10	7,74	17,57	231,25	1316,10
	3	8,20	3,40	9,20	7,82	17,65	237,85	1347,81
Promedio					17,47	234,00	1339,39	

Tabla 53.

Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón con reemplazo de toda la cantidad de p. pómez por plástico PET

Muestra No.	P. al aire (g)	P. sumerg (g)	P. sup. seco (g)	P. seco horno (g)	Absorción (%)	Absorción (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)	
sin piedra pómez.	1	9,20	4,84	10,20	8,78	16,17	264,95	1638,21
	2	9,30	4,91	10,30	8,94	15,21	252,41	1659,24
	3	9,10	4,78	10,10	8,62	17,17	278,35	1621,21
Promedio					16,19	265,24	1639,56	

Tabla 54.

Resultados de absorción de agua en bloques huecos de hormigón de una bloquera

Muestra No.	P. al aire (g)	P. sumerg (g)	P. sup. seco (g)	P. seco horno (g)	Absorción (%)	Absorción (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)	
Bloquera	1	11,14	5,43	12,15	10,10	20,26	304,53	1503,23
	2	11,30	5,63	12,30	10,36	18,68	290,15	1553,62
	3	10,89	5,26	11,93	9,97	19,59	292,92	1495,45
Promedio					19,51	295,86	1517,43	

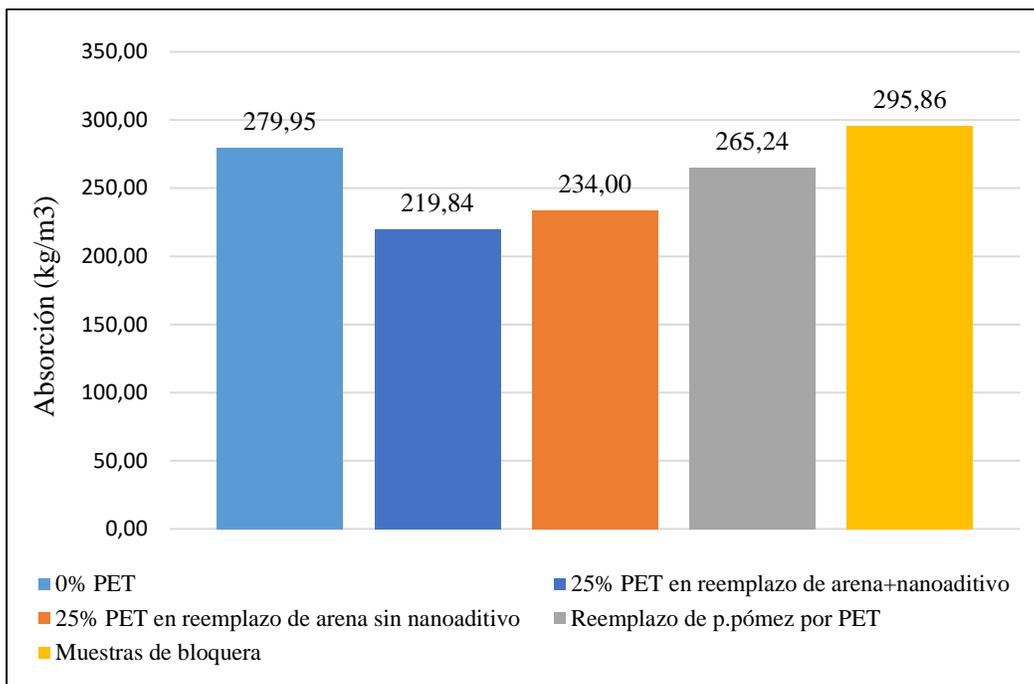


Figura 57. Gráfica comparativa de absorción de agua en bloques huecos de hormigón-edad 28 días

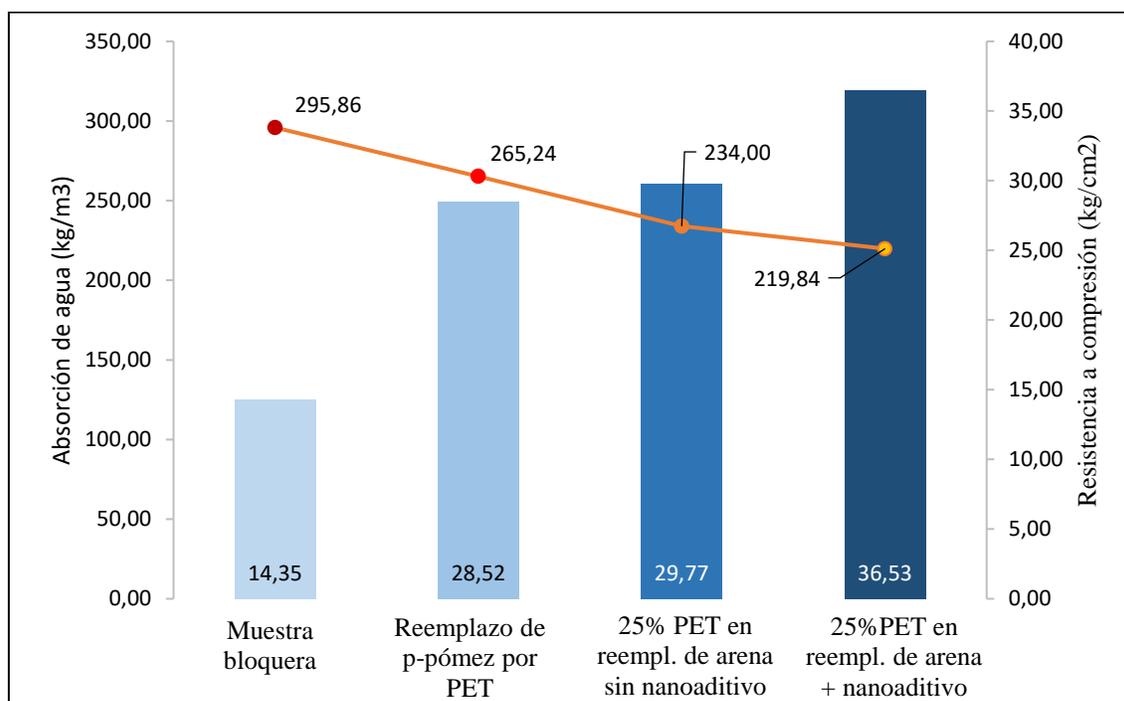


Figura 58. Comparación del incremento de resistencia y reducción de absorción de agua en bloques huecos de hormigón

En la Figura 58 se puede observar en resumen como al reemplazar arena por un porcentaje de plástico PET y colocar un nanoaditivo incrementa la capacidad de resistencia a la compresión y a la vez reduce la cantidad de agua absorbida por el mampuesto frente a los resultados que se obtiene de los bloques elaborados por una bloquera tradicional, los cuales presentan una baja resistencia y un alto contenido de absorción.

5.4. Análisis de costos

En el área de la construcción es relevante el análisis económico de los materiales que son empleados y generalmente se busca ahorrar en su adquisición, pero con la condición de que tengan la calidad adecuada para cumplir con lo establecido en las normas (Caballero Meza & Flores Lengua, 2016). A continuación, se presenta el detalle del análisis de costos unitarios que corresponde a los bloques elaborados en esta investigación, en especial aquellos con las siguientes dosificaciones: con 0% y 25% de plástico PET sin nanoaditivo, con 25% de PET + nanoaditivo y por último de un bloque que se reemplazó la piedra pómez por plástico PET.

Es fundamental para el análisis de costos conocer el precio de los materiales pétreos, para este proyecto el m³ de arena es de \$ 9,00 y de piedra pómez \$ 7,00. El precio del plástico reciclado y triturado es 0,07 ctvs. cada kilogramo, este valor puede variar dependiendo del proveedor; por otro lado, el kilogramo de aditivo tiene un costo comercial de \$8,00. También se tomó en cuenta el costo del agua de acuerdo con la zona donde fueron elaborados los bloques de hormigón; por lo tanto, según el Gobierno Municipal de Rumiñahui (2018) expone que la tarifa para el área industrial es de 0,54 ctvs. el metro cúbico.

Para el costo de mano de obra se tomó en cuenta que en una bloquera tradicional de Ecuador laboran 2 peones y 1 maestro mayor, los cuales fabrican en promedio un total de 1600 bloques

diarios, cantidad calculada con datos obtenidos de información recopilada, según Zambrano Macías (2018) menciona que después del terremoto ocurrido el 16 de Abril del 2016 la demanda de bloques de hormigón alivianados es elevada en comparación con otros años.

De acuerdo con el trabajo realizado por Orellana Ríos & Serrano López (2015) para el costo indirecto que se debe incluir en la fabricación de bloques se debe tomar en cuenta los gastos administrativos (personal, mobiliario, servicios básicos, artículos de limpieza) y gastos de seguros, en esta investigación se calculó un costo indirecto aproximadamente de 13%, hay que tener en cuenta que este porcentaje depende del fabricante.

A pesar de que se realizó una búsqueda de precios estándares de los materiales que intervienen en la mezcla de hormigón, el costo de un bloque es variante debido a que puede existir un incremento sobre todo cuando se presenta la necesidad de añadir más cantidad de cemento con la finalidad de obtener una resistencia superior y también para satisfacer los requerimientos del comprador.

Tabla 55.

Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 0% PET sin aditivo

RUBRO: Hormigón bloques de 15 cm					Unidad	u	
DETALLE: Dosificación: 0% PET sin nanoaditivo							
EQUIPOS							
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO		
	A	B	C = A x B	R	D=C x R		
Herramienta Menor 5% M. O					0,003		
Máquina mezcladora	1	3,01	3,01	0,005	0,015		
Máquina vibrocompactadora de bloques	1	3,01	3,01	0,005	0,015		
SUBTOTAL M						0,03	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO		
	A	B	C = A x B	R	D=C x R		
Maestro mayor en ejecución de bloques de hormigón	1,00	3,93	3,93	0,005	0,02		
Peón para elaboración de bloques de hormigón	2,00	3,51	7,01	0,005	0,04		
SUBTOTAL N						0,06	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO			
		A	B	C=A x B			
Cemento	kg	3,04	0,14	0,44			
Arena fina para bloques	m ³	0,0035	9,00	0,03			
Piedra pómez fina	m ³	0,0023	7,00	0,02			
Agua	m ³	0,00057	0,54	0,0003			
SUBTOTAL O						0,49	
TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO			
		A	B	C=A x B			
SUBTOTAL P						0	
				Total Costo Directo (M+N+O+P)		0,58	
				Indirectos y Utilidad	13,00%	0,07	
				Otros Indirectos	0,00%	0,00	
				Costo Total del Rubro		0,65	
				Valor ofertado		\$ 0,65	

Tabla 56.

Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 25% de PET sin aditivo

RUBRO: Hormigón bloques de 15 cm					Unidad	u
DETALLE: Dosificación: 25% PET sin nanoaditivo						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Herramienta Menor 5% M. O					0,003	
Máquina mezcladora	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
Máquina vibrocompactadora de bloques	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
SUBTOTAL M						0,03
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Maestro mayor en ejecución de bloques de hormigón	1,00	3,93	3,93	0,005	0,02	
Peón para elaboración de bloques de hormigón	2,00	3,51	7,01	0,005	0,04	
SUBTOTAL N						0,06
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
Cemento	kg	3,04	0,14	0,44		
Arena fina para bloques	m ³	0,0026	9,00	0,02		
Piedra pómez fina	m ³	0,0023	7,00	0,02		
Agua	m ³	0,00057	0,54	0,0003		
Plástico PET triturado	kg	0,74	0,07	0,05		
SUBTOTAL O						0,53
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
SUBTOTAL P						0
					Total Costo Directo (M+N+O+P)	0,62
					Indirectos y Utilidad 13,00%	0,08
					Otros Indirectos 0,00%	0,00
					Costo Total del Rubro	0,70
					Valor ofertado	\$ 0,70

Tabla 57.

Análisis de costos de bloque hueco de hormigón con 25% de PET + nanoaditivo

RUBRO: Hormigón bloques de 15 cm					Unidad	u
DETALLE: Dosificación: 25% PET + nanoaditivo						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Herramienta Menor 5% M. O					0,003	
Máquina mezcladora	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
Máquina vibrocompactadora de bloques	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
SUBTOTAL M						0,03
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Maestro mayor en ejecución de bloques de hormigón	1,00	3,93	3,93	0,005	0,02	
Peón para elaboración de bloques de hormigón	2,00	3,51	7,01	0,005	0,04	
SUBTOTAL N						0,06
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
Cemento	kg	3,04	0,14	0,44		
Arena fina para bloques	m ³	0,0026	9,00	0,02		
Piedra pómez fina	m ³	0,0023	7,00	0,02		
Agua	m ³	0,00057	0,54	0,0003		
Plástico PET triturado	kg	0,74	0,07	0,05		
Nanoaditivo	kg	0,0087	8,00	0,07		
SUBTOTAL O						0,60
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
SUBTOTAL P						0
				Total Costo Directo (M+N+O+P)	0,69	
				Indirectos y Utilidad	13,00%	0,09
				Otros Indirectos	0,00%	0,00
				Costo Total del Rubro	0,78	
				Valor ofertado	\$	0,78

Tabla 58.

Análisis de costo de bloque hueco de hormigón reemplazando la piedra pómez por PET

RUBRO: Hormigón bloques de 15 cm					Unidad	u
DETALLE: Dosificación: reemplazo de piedra pómez por plástico PET						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Herramienta Menor 5% M. O					0,003	
Máquina mezcladora	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
Máquina vibrocompactadora de bloques	1	3,01	3,01	0,005	0,015	
SUBTOTAL M						0,03
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM.	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D=C x R	
Maestro mayor en ejecución de bloques de hormigón	1,00	3,93	3,93	0,005	0,02	
Peón para elaboración de bloques de hormigón	2,00	3,51	7,01	0,005	0,04	
SUBTOTAL N						0,06
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
Cemento	kg	3,04	0,14	0,44		
Arena fina para bloques	m ³	0,0035	9,00	0,03		
Agua	m ³	0,00057	0,54	0,0003		
Plástico PET triturado	kg	2,1900	0,07	0,15		
SUBTOTAL O						0,62
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT	COSTO		
		A	B	C=A x B		
SUBTOTAL P						0
					Total Costo Directo (M+N+O+P)	0,71
					Indirectos y Utilidad 13,00%	0,09
					Otros Indirectos 0,00%	0,00
					Costo Total del Rubro	0,80
					Valor ofertado	\$ 0,80

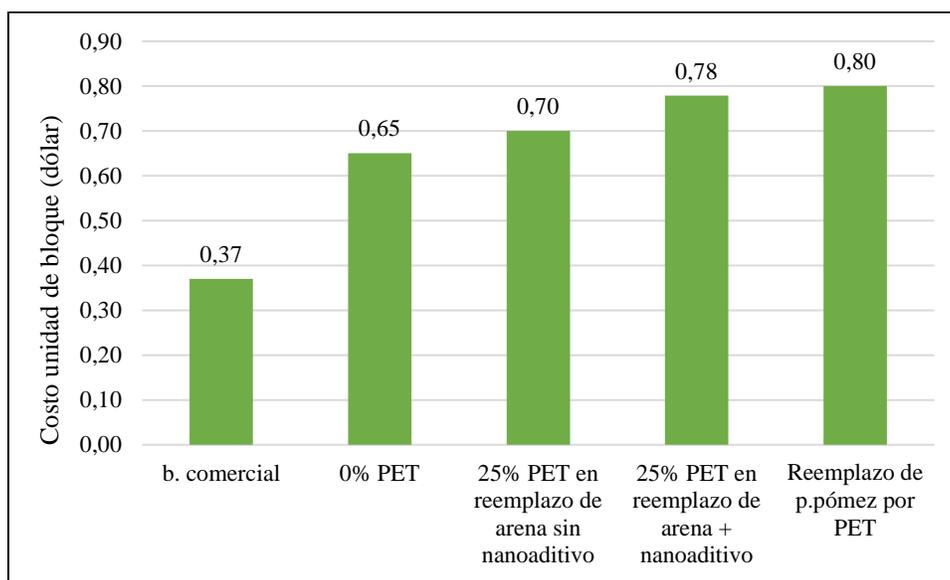


Figura 59. Comparación de costos de bloques huecos de hormigón

En la Figura 59 se muestra una gráfica comparativa entre los precios por unidad de los bloques que fueron elaborados con una dosificación calculada de acuerdo con los parámetros de la A.C.I y que adicionalmente se colocó plástico PET y nanoaditivo (impermeabilizante y mejorador de resistencia) vs. el precio comercial de un bloque tradicional. Se puede visualizar que los costos son elevados en comparación con el bloque liviano de 15 cm cuyo valor aproximado es de \$0,37; esto es debido a que se utilizó un aditivo compuesto por nano partículas cuya tecnología puede aumentar su costo, por otro lado se ha incrementado la cantidad de cemento ya que en una bloquera tradicional usan la mitad de la cantidad de cemento que se empleó en esta investigación, por lo que no cumplen con los parámetros de resistencia expuestos en la norma INEN 3066.

El costo de un bloque cuya dosificación fue reemplazar toda la cantidad de piedra pómez por plástico PET triturado es mayor, debido a que el precio del m^3 de la arena supera al de la piedra pómez y al retirar esta última de la mezcla lo costos no disminuyen significativamente. También en el alto costo de este tipo de bloque influye el incremento de la cantidad de plástico triturado.

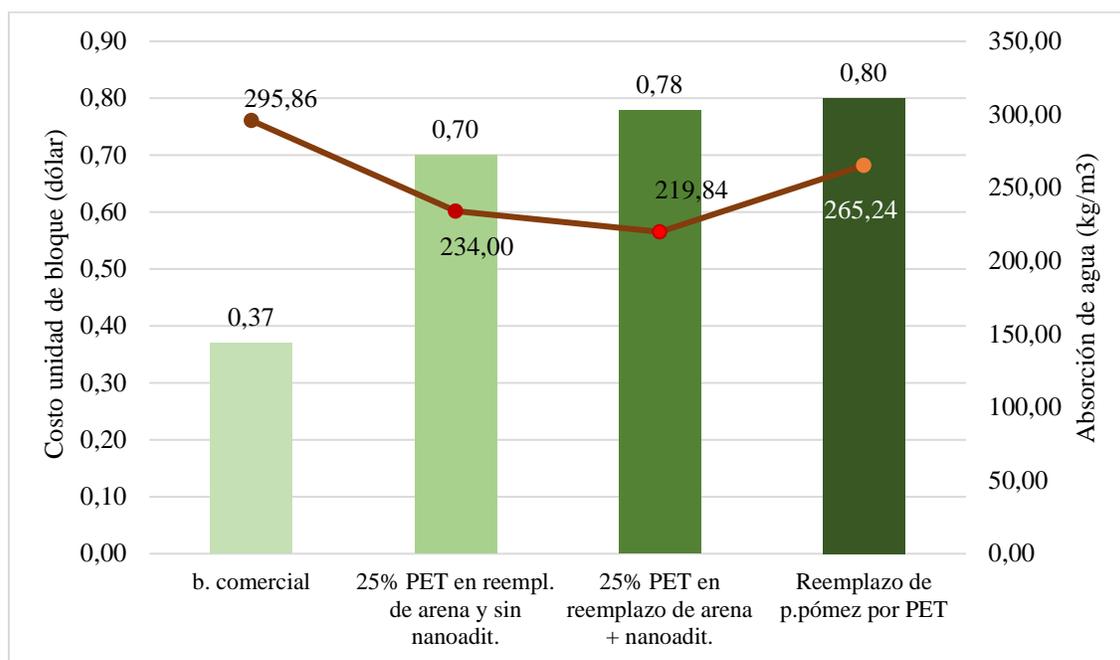


Figura 60. Comparación de costos y absorción de agua de bloques huecos de hormigón

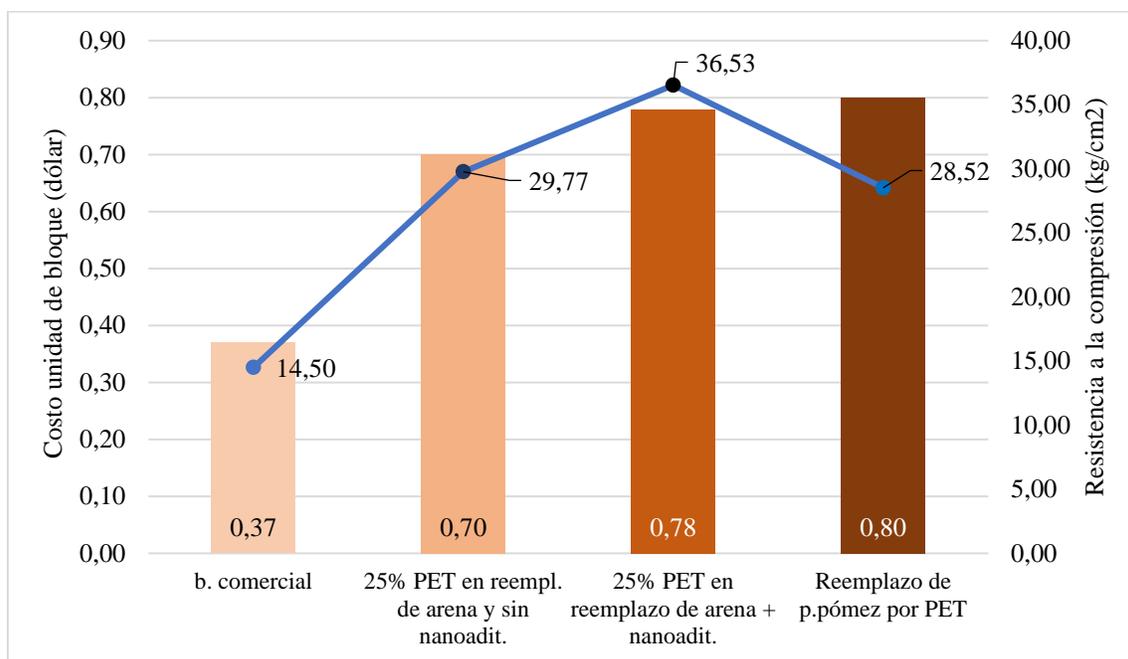


Figura 61. Comparación de costos y resistencia a compresión de bloques huecos de hormigón

En la Figura 60 y Figura 61 se realizó un comparación entre resistencia a la compresión, absorción de agua y costos con la finalidad de relacionarlos entre sí y determinar la dosificación óptima, la misma que es aquella que contiene 25% de PET en reemplazo de arena + nanoaditivo y a pesar de que su costo es alto generó los mejores resultados tanto en compresión como en absorción, sin embargo también se podría considerar la dosificación con 25% de PET en reemplazo de arena sin nanoaditivo, debido a que sus resultados son aceptables y el costo es menor.

5.5. Propuesta de reducción de costos

Para generar una reducción en el costo del mampuesto sin variar la cantidad de los materiales utilizados en su elaboración, se estableció una producción máxima diaria de 6000 bloques tomando en cuenta la capacidad laboral de un obrero, lo que implica un aumento, tanto en la maquinaria, como en la mano de obra (cuadrilla: 1MM+6P) necesarias para que el fabricante alcance el objetivo propuesto; sin embargo, al realizar el nuevo análisis de costo se logró reducir máximo \$0,06 por bloque como se puede visualizar en la Tabla 59

Tabla 59.

Costo por unidad de bloque hueco de hormigón

TIPO DE BLOQUE	COSTO POR UNIDAD DE BLOQUE				TOTAL + COST INDIREC.
	EQUIPO	M. DE OBRA	MATERIALES	TOTAL	
B. 0% PET sin nanoaditivo	\$0,02	\$0,03	\$0,49	\$0,54	\$0,59
B. 25% PET sin nanoaditivo	\$0,02	\$0,03	\$0,53	\$0,58	\$0,64
B. 25% PET + nanoaditivo	\$0,02	\$0,03	\$0,60	\$0,65	\$0,72
B. PET sin piedra pómez	\$0,02	\$0,03	\$0,62	\$0,67	\$0,74

Los bloques de 15 x 20 x 40 en el mercado varían de costo dependiendo de su fabricación, sea artesanal o industrial. Los bloques artesanales oscilan alrededor de \$ 0,37 pero los bloques industriales por el hecho de estar elaborados con agregados de mejor calidad incrementan sus precios, como en el caso de la empresa DISENSA (2018) que distribuye bloques cuyo costo está alrededor de \$ 0,64. En el caso de los bloques elaborados en esta investigación la competencia se dirige solamente a la parte industrial.

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- En todas las pruebas de compresión realizadas en los bloques huecos de hormigón, se obtuvieron resistencias menores al valor mínimo de 40 kg/cm^2 , siendo el mejor resultado $36,5 \text{ kg/cm}^2$ perteneciente a la dosificación: *25% PET en reemplazo de arena + 1/250 de nanoaditivo impermeabilizante y mejorador de resistencia*, cuya resistencia en comparación con los bloques que se comercializan es muy buena, debido a que estos suelen tener en promedio $14,3 \text{ kg/cm}^2$ muy por debajo del valor mínimo.
- El principal factor que impidió llegar al mínimo requerido se debe a la falta de maquinaria vibratoria que distribuye el material uniformemente, se comprobó que realizar el proceso artesanalmente no permite un acomodo correcto de las partículas.
- Los pesos volumétricos pertenecientes a los porcentajes de plástico utilizado fueron excelentes, porque todos resultaron livianos; incluso tomando en cuenta la dosificación: *25% PET en reemplazo de arena + 1/250 de nanoaditivo impermeabilizante y mejorador de resistencia*, cuya resistencia fue la mejor, se obtuvo un valor de $1,59 \text{ g/cm}^3$ menor a los bloques que se comercializan cuyo valor promedio es $2,03 \text{ g/cm}^3$.
- En el bloque, el peso volumétrico no es afectado significativamente si se utiliza piedra pómez o en su lugar PET, pero si podría variar con el nanoaditivo; sin embargo, como se observó, la proporción entre ambos (PET + aditivo de nano partículas) mantuvo la característica ligera que se esperaba obtener.
- Se demostró que el plástico en cantidades superiores al 15% impiden la absorción de agua, por esta razón la dosificación con 25% de PET presentó un valor de absorción de agua de

234 kg/m³ menor al tradicional 295,9 kg/m³ y menor también al valor expuesto en la norma que es 288 kg/m³.

- Si se considera utilizar PET junto al nanoaditivo que es lo óptimo, se absorbe incluso menos agua (219, 84 kg/m³) porque su combinación permite una estructura impermeable sin poros.
- Los bloques huecos de hormigón con la dosificación óptima, *25% PET en reemplazo de arena + nanoaditivo*, frente a los bloques tradicionales elaborados en una bloquera presentaron un aumento en la resistencia a la compresión en más del 100% y una reducción de absorción de agua aproximadamente del 25%.
- El precio del bloque experimental es superior al bloque tradicional ya sea con o sin aditivo, sin embargo, hay que tener en cuenta que al proponer un material con polímeros reciclados ha reducido la contaminación ambiental y el mampuesto tendrá mejores características que evitará los costos que vienen de la mano con los bloques de menor precio y de mala calidad, como por ejemplo control de humedades en mampostería.
- Incrementar la producción no representa una reducción de costos significativa, porque se debe aumentar el número de obreros y tomar en cuenta su capacidad de trabajo.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se debe utilizar una máquina vibradora y compactadora para asegurar que las partículas se acomoden y se compacten con mejor precisión.
- Considerar correctamente la cantidad de plástico que se coloca en la mezcla, porque en porcentajes altos existe desmantelamiento en el bloque cuando se ensaya a compresión.

- Realizar siempre pruebas de compresión en bloques de hormigón utilizando la norma INEN 3066 para comprobar que las dosificaciones sean correctas.
- Al utilizar un nanoaditivo impermeabilizante controlar la cantidad de agua que se coloca en la mezcla, para evitar que la consistencia del hormigón sea demasiado fluida.
- Para futuras investigaciones se debe experimentar con aditivos de menor precio que tengan características impermeabilizantes, con la finalidad de disminuir los costos y conservar la baja absorción de agua.
- Se debería investigar aglomerantes que reemplacen el cemento, ya que éste conlleva gran parte de los costos.

REFERENCIAS

- ACI 211,1-91. (2009). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)*. Obtenido de <https://www.concrete.org>
- ACI 211.3R-02. (2009). *Guide for Selecting Proportions (Reapproved 2009)*. Obtenido de www.concrete.org
- Aguayo Gonzáles, F., Zarzuela Roldán, E., Lama Ruiz, J. R., & Córdoba Roldán, A. (2011). Técnicas y Aplicaciones de la Microingeniería y la Nanoingeniería. *Técnica Industrial*(295), 24-32. Obtenido de <https://idus.us.es>
- Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. E. (2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) - cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(1), 76-86. Recuperado el Febrero de 2017, de <http://www.scielo.org.ve>
- Álvarez Mejía, D. (2014). *Evualuación de la densidad y la resitencia a la compresión de bloques de concreto con sustitución del agregado de piedra por desechos de la industria del papel*. Medellín.
- ANAIP. (1991). *Los plásticos, materiales de nuestro tiempo*. Confederación española de fabricantes de plásticos.
- Andujar, & Navarro. (2016). *Áridos para la construcción: Qué son y para que se usan*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2017, de Hnos. Andujar y Navarro: <https://andujarynavarro.com/novedades/aridos-la-construccion-se-usan/>
- Arenas, F. (2008). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*.
- Arrieta Freyre, J., & Peñaherrera Deza, E. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*. Lima: Programa Científico PC-CISMID. Obtenido de <http://www.cismid-uni.org>
- Asociación Costarricense de Concesionarios de Materiales y Agregados para la Construcción. (2013). *SlideShare*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de Importancia de los minerales áridos o agregados en la construcción: <https://es.slideshare.net>
- ASTM C192 / C192M-16a. (2016). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de <https://www.astm.org/>
- ASTM D 570-98. (2010). *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de www.astm.org
- ASTM D638-14. (2014). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de www.astm.org

- ASTM D7611 / D7611M-13e1. (2013). *Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de <https://www.astm.org>
- ASTM D792. (2013). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. West Conshohocken: ASTM International. Obtenido de www.astm.org
- Baldenebro López, F. J. (2015). *Estudio numérico-experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto*. Chihuahua: Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, S.C.
- Baños, J. L. (2013). *Materiales de construcción a la cubana para resistir ciclones*. Obtenido de Inter Press Service: <http://www.ipsnoticias.net/2013/06/materiales-de-construccion-a-la-cubana-para-resistir-ciclones/>
- Barrantes Villanueva, J. A., & Holguin Romero, R. C. (2015). *Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano*. Trujillo.
- Caballero Meza, B., & Flores Lengua, O. (2016). *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. Cartagena.
- Camarasa, V. (2013). *Las rocas metamórficas. Cuarzita y pizarra*. Recuperado el Noviembre de 2017, de Geobiombo: <https://vicentecamarasa.wordpress.com/2013/05/27/las-rocas-metamorficas-1-cuarzitas-y-pizarras/>
- Carballo Gutiérrez, E. T. (2009). Futuro en los plásticos. *Ciencias 96*, 62-69. Obtenido de <http://www.revistaciencias.unam.mx>
- Castillo, A. (2013). *Uso de la piedra pómez en la construcción*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/presentation/164132636/Piedra-Pomez>
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería. Redalyc. Ingeniería Revista Académica*, 7(2), 39-46. Obtenido de <http://www.redalyc.org>
- Cornejo, L. (2015). *Aplicaciones de la nanotecnología a la industria de la construcción*. Recuperado el Febrero de 2018, de Nuevas tecnologías y materiales: <http://nuevatecnologiasymateriales.com/aplicaciones-de-la-nanotecnologia-a-la-industria-de-la-construccion/>
- Crespo Amorós, J., Nadal Gisbert, A., & Juárez Varón, D. (2016). *Cuaderno de Investigación en la Ingeniería* (Vol. 1). Valencia: Área de Innovación de Desarrollo, S.L. Obtenido de <https://books.google.com.ec>

- DISENSA. (2018). Recuperado el Junio de 2018, de <https://www.disensa.com.ec>
- EcoloKids. (2016). *Tiempo de degradación*. Recuperado el Enero de 2018, de <http://teachfunbyfergomm.blogspot.com/>
- ECOROAD S.A. (2017). *ZycoBond. Control de polvo y erosión*. Obtenido de ECOROAD: <http://www.ecoroadsa.com/catalogos/ZYCOBOND.pdf>
- ENKADOR. (2017). *Historia*. Recuperado el Enero de 2018, de Enkador. Fibras sintéticas y textiles: <https://www.enkador.com/history/>
- Evans, J. (2010). *Sustentabilidad en Arquitectura I*. Ciudad Autónoma Buenos Aires: CPAU.
- Fernández de Gatta, D. (2011). El régimen de la sostenibilidad medioambiental. *Revista jurídica de Castilla y León*, 169.
- Fonseca Acosta, A. B. (2015). *El hormigón de baja densidad y su aplicación en bloques para la construcción de viviendas*. Ambato.
- Frutos, C. (2010). Paradigmas de sustentabilidad. Tecnología. *Construcción y tecnología en concreto*.
- Fuentes Molina, N., Fragozo Tarifa, O. I., & Vizcaino Mendoza, L. (2015). Residuos Agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 99-116. Obtenido de <http://www.redalyc.org>
- Gaggino, R. (2009). Tecnología innovativa para la construcción utilizando plástico reciclados. *XII Jornadas. Interescuelas/Departamentos de Historia. Departamento de Historia, Facultad de Humanidades y Centro Regional Universitario Bariloche. Universidad Nacional del Comahue*. San Carlos de Bariloche.
- García, S., Bracho, N., & López, W. (2017). Estudio del efecto de la adición de residuos plásticos en la fabricación de bloques huecos de hormigón. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*(7), 55-59.
- Garzón, J., & Montaña, A. (2014). *Propuesta de un material para la construcción a partir de cemento y el reciclaje de PET*. Zipaquirá.
- González Beltrán, G., & Monge Sandi, A. (2011). Recomendaciones para obtener resultados confiables de resistencia de cilindros de concreto. *Métodos y Materiales*, 1(1), 4-13. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr>
- González, J. F. (2016). Nanotecnología y concreto. *revistacyt*, 3. Obtenido de <http://www.revistacyt.com>
- Goodfellow. (2018). *Información técnica- Politereftalato de etileno*. Recuperado el Abril de 2018, de Todos los materiales para investigación científica y fabricación: <http://www.goodfellow.com/catalogue>

- Granja Bolaños, E. F. (2014). *Diseño de un Hormigón Fluorescente para la señalización de vías terrestres*. Quito.
- Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). Efectos de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, 25(2), 80-86.
- Guevara, D. (2015). *Rocas: características, clasificación y tipos*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de Prezi: <https://prezi.com/lsl6sh9dc29p/rocas-caracteristicas-clasificacion-y-tipos/>
- Hernández, G. A. (2014). *Agregado fino y grueso*. Recuperado el Noviembre de 2017, de <https://es.slideshare.net/LupitaHedz/agregado-fino-y-grueso>
- Industrias JQ. (2016). *PET-Datos Técnicos*. Obtenido de <http://www.jq.com.ar>: <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- INECYC. (2009). Control de calidad del hormigón. *Control por resistencia. Parte II*. (J. Camposano, Ed.) Quito, Ecuador: Imprenta NOCIÓN.
- Instituto del cemento Portland. (2014). *Construcción con bloques de hormigón de cemento portland*. Recuperado el Marzo de 2018, de sistemamid: <http://www.sistemamid.com>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE-INEN 1573. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. *I*, 1-16. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE-INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. *I*, 1-15. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE-INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. *I*, 1-14. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE-INEN 858. Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. *I*, 1-13. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE-INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico de los áridos, finos y grueso. *I*, 1-12. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE-INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. *I*, 1-8. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE-INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos. 1, 1-19. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NTE-INEN 2619. Bloques huecos de hormigón, unidades relacionadas y prismas para mampostería. Refrentado para el ensayo a compresión. 1, 1-11. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Jiménez Sevilla, L. (2016). *Propiedades y usos de la pumita*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2017, de Biología y Geología: <http://biojcosta.blogia.com/2016/060507-propiedades-y-usos-de-la-pumita.php>
- La Gaveta. (2011). *Rocas: características, clasificación y tipos*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de Blog educativo sobre ciencia, historia, ecología, mundo animal y muchos otros temas interesantes.: <http://gavetasdemiescritorio.blogspot.com>
- La Hora. (11 de Abril de 2008). Evolución de la construcción. *La Hora. Lo que necesitas saber*. Recuperado el Marzo de 2018, de <https://lahora.com.ec/noticia/706261/home>
- Lagos Ruiz, C. L. (2008). *Proyecto planta recicladora de PET*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Lamb Bernal, C. P., & Ramírez Carmona, M. E. (2008). Elaboración industrial de bloques de concreto empleando ceniza volante. *Investigaciones Aplicadas*, 2(2), 8-15.
- Liu, N., & Chen, B. (2014). Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 68, 227-232. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>
- Luaces, C. (2010). *Interempresas*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2017, de Los áridos: <http://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- Magariños, O., Alderete, C., Arias, L., & Lucca, M. (1998). Estudio de morteros que contienen escamas de plástico procedente de residuos post-industriales. *Materiales de Construcción*, 48(250). Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Martínez, P. (2005). Construcción sostenible: rol y posibilidades de desarrollo del hormigón como material sustentable. *Ingeniería de construcción*, 188.
- Medina Toledo, J. E. (2014). *Métodos de dosificación*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja. Obtenido de <https://es.slideshare.net/locojemt/metodos-de-dosificacion>
- Meneses Campos, J. V. (2009). *Agregados ígneos para fabricar concreto*. Puebla-Mexico.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS)*. Quito. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec>

- Mora , J., García, C. P., & Nájera, F. (2011). Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana. *Revista perfiles, de la Facultad de Ciencias, XV(8)*, 16-20.
- Moreno Cárdenas, R. A., & Cañizares Ortega, F. F. (2011). *Agregado alternativo para fabricación de bloques y adoquines en base a polítilen tereftalato*. Quito.
- Municipio de Rumiñahui. (2018). *Rumiñahui Gobierno Municipal*. Recuperado el Junio de 2018, de <http://www.ruminahui.gob.ec>
- Oleh, M. (2016). *Mengenal Simbol Pada Wadah Plastik*. Recuperado el Enero de 2018, de Mariana Indonesia Female Blogger: <https://mariana.my.id/kesehatan/mengenal-simbol-pada-wadah-plastik/>
- Orellana Ríos, N. J., & Serrano López, M. Á. (2015). *Reutilización de polímeros como alternativa socio ambiental y económica en la elaboración de eco bloques*. Cuenca.
- Pandian, B. (2010). *Igneous Rocks*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de Illumination IAS: <https://blessan.wordpress.com/2010/04/09/igneous-rocks/>
- Pascual, E. (2015). *La clasificación de los plásticos*. Recuperado el Enero de 2018, de El blog verde: <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/>
- Peres, J. (2011). *Tracción de plasticos N°8*. Recuperado el Febrero de 2018, de SCRIB: <https://es.scribd.com>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2016). *Definición de roca sedimentaria*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de Definición.de: <https://definicion.de/roca-sedimentaria/>
- Pfeiffenberger, L. (1987). Granulometría y proporcionamiento de agregados para bloques de concreto. *IMCYC, 25(198)*, 35.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual del Concreto Estructural* (Primera ed.). Caracas.
- Pullaguari Puente, A. S. (2010). *Diseño de bloques en base a polietileno tereftalato (plástico reciclado)*. Quito.
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. En *Monógrafo energía. Física y sociedad*.
- Recytrans. (2013). *Clasificación de los plásticos*. Recuperado el Enero de 2018, de <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-plasticos/>
- Robalino, C., Peñaherrera, L., Tito, D., & López, M. (2015). Estudio de las propiedades mecánicas de mampostería de bloques de hormigón en edificaciones del Valle de los Chillos que iniciaron su construcción durante el año 2014. *Revista Ciencia, 17(1)*, 147-157.

- Sánchez, C. (2014). Diseño experimental para elaborar bloques de conglomerado madera-cemento. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*(8), 28-37.
- Schlossberg, T. (21 de Julio de 2017). El plástico, la huella más duradera de la humanidad. *The New York Times*. Obtenido de <https://www.nytimes.com/es/2017/07/21/contaminacion-huella-plastico/>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2015). NTE-INEN 1855-2. Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos. 2, 1-28. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE-INEN 3066. Bloques de hormigón. Requisitos y Métodos de ensayo. 1, 1-32. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE-INEN 3124. Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio. 2, 1-18. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>
- Sierra Guevara, J. A. (2014). *Análisis comparativo entre bloques de concreto tradicional y bloques de concreto alivianado con poliestireno*. Trabajo de titulación, Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería Civil, Quito. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2260/1/T-UIDE-1275.pdf>
- Toirac Corral, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y Sociedad*, XXXIV(4), 463-504.
- Tolozano Zuñiga, M. C. (2016). *Uso de bloques de plástico reciclado para viviendas de interés social para mejoramiento de su micro-clima, plan "Socio Vivienda"*. Guayaquil.
- Toro Sánchez, J. E. (2004). *Aplicación para polietileno tereftalato (pet) reciclado*. Guayaquil: Espol.
- Ullauri, A., Friend, N., & Barzola, J. (2018). Análisis físico-mecánico de morteros asfálticos compuestos a partir de materiales reciclados. *Universidad y Sociedad. Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 10(1), 248-257. Obtenido de <https://rus.ucf.edu.cu>
- Urquiola Lecue, V. (s.f.). *Rocas Sedimentarias*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/340181993/Rocas-sedimentarias-pdf>
- Valdés, G. A., & Rapimán, J. G. (2007). Propiedades físicas y mecánicas de bloques de hormigón compuestos con áridos reciclados. *Información tecnológica*, 18(3), 81-88. Obtenido de <https://dx.doi.org>
- Valdez Guzmán, L. F., & Suarez Alcivar, G. E. (2010). *Hormigones Livianos*. Guayaquil.

- Vásconez, M. (2016). *El terremoto de Manabí: constatación preliminar de errores técnico - constructivas que incrementaron la vulnerabilidad de las edificaciones ante el fenómeno sísmico*. Manabí.
- Velay Lizancos, M., Martínez Lage, I., Vázquez Herrero, C., & Vázquez Burgo, P. (2015). Definición empírica de la relación agua/cemento efectiva en morteros con áridos reciclados en función de la absorción. *Proceedings of the II International and IV National Congress on Sustainable Construction and Eco Efficient Solutions*, 517-528. Obtenido de <https://idus.us.es>
- Vilatuña, E. (2012). *Gestión Integral de Residuos sólidos en el Cantón Rumiñahui*. Sangolquí.
- Vizcardo Otero, T., & Trinidad Santos, L. (2014). *Agregados para la construcción*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de SlideShare: <https://es.slideshare.net>
- Yancha Alvarado, A. G. (2013). *Módulo elástico de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'c = 28$ MPa), fabricado con materiales de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento chimborazo*. Tesis , Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Zambrano Macías, V. (2018). Bloque y metal reemplazan a ladrillo y cemento tras 16A. *El Telégrafo*.