



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de
Ingeniero Civil**

**Influencia del Plástico Reciclado ABS en las Propiedades Mecánicas del Hormigón
de una resistencia nominal ($f'c$ 240 kg/cm²)**

Samuel Alejandro Mena Chávez

Quito, noviembre de 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Samuel Alejandro Mena Chávez, con cédula de identidad # 1720749512, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

.

D. M. Quito, noviembre de 2024

Samuel Alejandro Mena Chávez

samueljuniorch80@gmail.com

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**Influencia del Plástico Reciclado ABS en las Propiedades Mecánicas del Hormigón
de Alta Resistencia (f'_c 240 kg/cm²)**

Realizado por:

Samuel Alejandro Mena Chávez

como Requisito para la Obtención del Título de:

Ingeniero Civil

ha sido dirigido por el profesor

Hugo Marcelo Otáñez

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

**Influencia del Plástico Reciclado ABS en las Propiedades Mecánicas del Hormigón
de Alta Resistencia (f'_c 240 kg/cm²)**

Por

Samuel Alejandro Mena Chávez

Noviembre 2024

Aprobado:

Hugo Otáñez, Tutor

Primer Nombre, , Primer Apellido, , Presidente del Tribunal

Primer Nombre, Primer Apellido, , Miembro del Tribunal

Primer Nombre, Primer Apellido, , Miembro del Tribunal

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

_____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Presidente(a) del Tribunal

Universidad Internacional SEK

Dedicatoria

A la memoria eterna de mis amados padres Gloria y Patricio, cuyo amor, guía y enseñanzas siguen iluminando mi camino, incluso desde lo más profundo de mi corazón. Su legado vive en cada logro alcanzado durante este arduo viaje académico.

A mi querida tía Nora, cuyo afecto y sabiduría han dejado una huella inextinguible en mí. Aunque no estén físicamente presentes, su espíritu perdura en cada paso de esta travesía.

Un agradecimiento especial a mi tía Mónica, quien, desde la distancia, en los Estados Unidos, me ha ofrecido un respaldo constante y desinteresado a lo largo de mi trayectoria académica. Su generosidad no solo se refleja en el respaldo financiero que hizo posible mi educación, sino también en el constante estímulo y aliento que ha sido mi motivación. Gracias, tía Mónica, por creer en mí y por ser una presencia fundamental en este camino.

A todos ustedes familia les dedico este logro. En su memoria, en su amor y en su inspiración, encuentro la fuerza para alcanzar nuevas alturas. Gracias por ser mi guía desde más allá de los límites de la existencia.

"Lo que somos es un reflejo de quienes nos han amado." – Albert

Schweitzer

Agradecimiento

A mis respetados profesores y mentores, agradezco sinceramente por compartir su conocimiento, orientación y paciencia a lo largo de mi carrera. Sus enseñanzas han sido una fuente continua de inspiración.

A mis amigos y colegas, quienes han compartido conmigo la carga académica, risas, desafíos y momentos de camaradería. Su compañía ha hecho este viaje más memorable y enriquecedor.

A todas las personas que formaron parte del desarrollo de esta investigación y aportaron sus conocimientos, cada contribución, la diversidad de influencias y contribuciones varias ha enriquecido el contenido de esta tesis.

Y a cada persona que ha dejado su huella en este viaje, gracias por ser parte de este logro significativo.



Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:

Nombre de Programa

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

Y con el financiamiento de

(colocar el que aplique)

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-PXXXXXX_X.X

Resumen

La incorporación de plásticos reciclados en la construcción es una alternativa innovadora y sostenible que busca disminuir el efecto ambiental y optimizar algunas características mecánicas del concreto. En este trabajo, se analizó el efecto de añadir plástico ABS triturado en diferentes proporciones (5%, 10% y 15%) como sustituto parcial de los agregados finos y gruesos en mezclas de concreto con una resistencia nominal de 240 kg/cm². A lo largo de 28 días, se realizaron ensayos de compresión en cilindros de concreto a diferentes edades (1, 3, 7, 14 y 28 días), con el objetivo de analizar la relación entre la resistencia a compresión y el tiempo de fraguado, así como la influencia de la proporción de ABS en dicha resistencia. Los resultados mostraron que las mezclas con un 5% y 10% de reemplazo del agregado fino lograron un incremento en la resistencia, pero, al reemplazar el 15% del agregado grueso, se evidenció una disminución notable. La incorporación de ABS en porcentajes moderados demostró potencial como refuerzo efectivo en aplicaciones estructurales de baja exigencia, fomentando la sustentabilidad y promoviendo la economía circular dentro del ámbito de la construcción.

Palabras Clave

Concreto reforzado, plástico ABS reciclado, resistencia a compresión, sustentabilidad, economía circular

Abstract

The incorporation of recycled plastics into construction is an innovative and sustainable alternative aimed at reducing environmental impact and optimizing certain mechanical properties of concrete. This study analyzed the effect of adding crushed ABS plastic in different proportions (5%, 10%, and 15%) as a partial replacement for fine and coarse aggregates in concrete mixtures with a nominal strength of 240 kg/cm². Over 28 days, compression tests were conducted on concrete cylinders at different curing ages (1, 3, 7, 14, and 28 days) to examine the relationship between compressive strength and curing time, as well as the influence of ABS proportion on this strength. The results showed that mixtures with 5% and 10% replacement of fine aggregates achieved an increase in strength, while replacing 15% of coarse aggregates led to a significant reduction. The incorporation of ABS in moderate percentages demonstrated potential as an effective reinforcement for low-demand structural applications, promoting sustainability and advancing the circular economy within the construction sector.

Keywords:

Reinforced concrete, recycled ABS plastic, compressive strength, sustainability, circular economy

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas.....	xvii
Lista de Figuras	xx
Lista de Ecuaciones	xxii
Capítulo 1: Introducción.....	23
1.1 Planteamiento	23
1.2 Formulación.....	24
1.3 Objetivos.....	24
1.3.1 Objetivos Generales.....	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
1.4 Justificación.....	25
Capítulo 2: Marco Teórico	27
2.1 Antecedentes.....	27
2.2 Marco Referencial	28
2.2.1 El Plástico en el Sector de la Construcción	28
2.2.3 Fabricación de Plásticos	31
2.3 Estadísticas de los Desechos Plásticos	32
2.4 Impacto Planetario de los Plásticos	33
2.4.1 Impacto Ambiental del Plástico.....	34
2.5 Impacto Económico.....	35
2.6 Beneficio Social.....	35
2.7 Reciclaje de Plásticos	36
2.7.1 Plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	38
2.8 Proceso de peletizado de los plásticos.....	39

2.9 Fibras de Plástico Triturado.....	40
2.9.1 Propiedades del Plástico ABS	42
2.10 El Hormigón en el Sector de la Construcción	45
2.11 Elementos del Hormigón.....	46
2.11 Componentes y Propiedades de los Elementos del Hormigón.....	48
2.11.1 Cemento.....	48
2.11.2 Cemento fuerte GU.....	50
2.11.3 El Agua.....	53
2.11.4 Aditivos	54
2.12 Agregados del Hormigón	55
2.12.1 Categorización de los Agregados para La Mezcla	57
2.13 Características del Hormigón	61
2.13.1 Estado Fresco:.....	61
2.13.2 Estado Endurecido:.....	62
2.14 Potencial de Calentamiento Global (GWP) y su relevancia en el Cemento Tipo Fuerte GU con reducción de Huella de Carbono de Holcim.....	63
2.14.1 Importancia del GWP en la Evaluación de Materiales.....	63
2.14.2 Beneficios Ambientales del Cemento Tipo Fuerte GU con Huella de Carbono Reducida	63
2.14.3 Desafíos y Consideraciones.....	64
2.14.2 Valores Referenciales del GWP del Cemento Tipo Fuerte GU	65
2.14.3 Importancia de los Valores del GWP en el Uso de Cemento con balance de Carbono.....	67
Capítulo 3: Metodología.....	69
3.1 Ensayo de Granulometría de los Agregados:	70

3.2 Ensayo de Humedad de los Agregados:	70
3.3 Dosificación del Plástico ABS Reciclado:	70
3.4 Dosificación de la Mezcla de Hormigón:	70
3.5 Preparación de la Mezcla y Ensayo de Asentamiento (ASTM C143):	70
3.6 Ensayo de Densidad del Hormigón Fresco: (ASTM C138):.....	70
3.7 Vaciado y Compactación en Moldes:.....	71
3.8 Curado de las Probetas:	71
3.9 Ensayos de Resistencia Mecánica a Compresión (ASTM C39):	71
3.9.1 Agregado Fino:	71
3.10 Equipo y Herramientas:	72
Capítulo 4: Resultados	73
4.1 Ensayos para la caracterización de los materiales	73
4.1.1 Análisis granulométrico en los áridos (ASTM C136)	73
4.1.2 Resultados del Agregado Fino.....	75
4.2 Resultados del Agregado Grueso	77
4.3 Resultados del Plástico Reciclado ABS Triturado pasante por Tamiz 200.....	79
4.4 Resultados del Plástico Reciclado ABS Grande Pasante por el Tamiz 4.....	81
4.4.1 Análisis de los diseños experimentales.....	84
4.5 Diseño Piloto I.....	85
4.5.1 Determinación el Contenido Total de Humedad (NTE INEN 862-2011).85	
4.5.2 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados.....	85
4.6 Dosificación.....	88
4.6.1 Importancia de la Dosificación.....	88
4.6.2 Dosificación Bajo La Normativa ACI 211	88

4.6.3 Objetivos y Explicación de cada concepto en el Análisis de Dosificación	91
4.6.4 Corrección por Absorción y Contenido de Humedad	92
4.6.5 Conceptos Utilizados en el diseño Bajo la Norma ACI 211	92
4.7 Ensayos Realizados Para El Diseño Piloto I	97
4.7.1 Asentamiento	97
4.7.2 Rotura de Cilindros.....	98
4.7.3 Registro De Resistencias	99
4.7.4 Curva de resistencia del hormigón ensayado.....	100
4.7.5 Curva Porcentajes De Resistencia Del Hormigón Ensayado	101
4.7.6 Observaciones y Recomendaciones para el Diseño Piloto 1	102
4.8 Diseño Piloto II.....	104
4.8.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados	104
4.8.2 Ensayos realizados para el Diseño Piloto II	106
4.8.2.2 Rotura de cilindros.....	107
4.8.2.3 Registro de Resistencias	108
4.8.2.4 Curva de resistencia del Hormigón ensayado.....	109
4.8.2.5 Curva Porcentajes de resistencia del Hormigón Ensayado.....	110
4.8 Observaciones y Recomendaciones para el diseño Piloto 2.....	111
4.8.1 Observaciones.....	111
4.8.2 Recomendaciones	111
4.9 Diseño Prueba III.....	112
4.9.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados	112
4.10 Ensayos Realizados Para La Prueba III.....	113
4.10.1 Asentamiento	113

4.10.2 Rotura de Cilindros.....	114
4.10.3 Registro de Resistencias	115
4.10.4 Curva de Resistencia Del Hormigón Ensayado.....	116
4.10.5 Curva Porcentajes de Resistencia del Hormigón Ensayado	117
4.10.6 Observaciones y recomendaciones para la prueba III	118
4.11 Prueba IV	120
4.11.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados.....	120
4.11.2 Ensayos Realizados Para La Prueba Iv.....	122
4.11.2.2 Rotura de Cilindros.....	122
4.11.2.3 Registro de Resistencias	123
4.11.2.4 Curva de Resistencia del Hormigón Ensayado.....	124
4.11.2.5 Curva porcentajes de resistencia del Hormigón Ensayado.....	126
4.12 Observaciones y Recomendaciones para la prueba iv	127
4.13 Prueba V Incorporación del Plástico ABS Triturado en prueba I al 5%.....	129
4.13.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados.....	129
4.14 Ensayos Realizados Para la Prueba V	130
4.14.2 Rotura de Cilindros.....	131
4.14.3 Registro de Resistencias	131
4.14.4 Comparativa de Crecimiento de Resistencia en Porcentaje	132
4.14.5 Curva de Resistencia del Hormigón Ensayado.....	133
4.14.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado	134
4.14.7 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 5% en el hormigón	135
4.14.8 Sustitución Parcial de Cemento Por ABS.....	136
4.14.9 Impacto de la utilización de ABS en el GWP	136

4.14.10 Consideración del impacto del transporte.....	137
4.14.11 Justificación de la reducción del GWP mediante el uso de ABS	137
4.14.12 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 5%	138
4.17.1 Justificación del uso de ABS reciclado:	139
4.18 Observaciones y recomendaciones para la prueba v	139
4.19 Prueba VI incorporación del plástico ABS triturado en prueba I al 10%	142
4.19.1 Registro del diseño y humedades de los agregados.....	142
4.20 Ensayos realizados para la prueba vi	143
4.20.2 Rotura de cilindros.....	144
4.20.3 Registro de resistencias.....	144
4.20.4 Comparativa de crecimiento de resistencia en porcentaje	145
4.20.5 Curva de resistencia del hormigón ensayado.....	146
4.20.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado	148
4.20.7 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 10% en el hormigón	149
4.25 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 10%	151
4.26 Observaciones y Recomendaciones para la prueba vi.....	152
4.27 Prueba VII Incorporación del plástico ABS triturado en prueba I al 15%.....	153
4.27.1 Registro del Diseño y Humedades de los agregados	153
4.28 Ensayos realizados para la prueba VII.....	154
4.28.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado	159
4.29 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 15% en el hormigón	160

4.30 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 15%	162
4.31 Observaciones y recomendaciones para la prueba vii	162
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	165
5.1 Conclusiones.....	165
5.2 Recomendaciones	165
5.3 Referencias:	170
Anexo A: Fotos de las mezclas y ensayos in situ	177
Anexo B: Cilindros de Pruebas	184
Anexo C: Pesajes de muestras	187
Anexo D: Pesaje de ABS	190
Anexo E: Calidad y comportamiento de las mezclas	191

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Propiedades cualitativas del plástico ABS</i>	43
Tabla 2	<i>Propiedades cuantitativas del plástico ABS</i>	44
Tabla 3	<i>Elementos y Tipos de Agregados del Hormigón</i>	47
Tabla 4	<i>Componentes del cemento fuerte tipo Gu</i>	49
Tabla 5	<i>Componentes y Fórmulas Químicas del Cemento Fuerte tipo Gu</i>	49
Tabla 6	<i>Límites de resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu</i>	51
Tabla 7:	<i>Resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu</i>	52
Tabla 8	<i>Tipos de Agregados del Hormigón y sus Propiedades</i>	56
Tabla 9	<i>Tamices para realizar ensayo de granulometría</i>	57
Tabla 10	<i>Valores referenciales del Potencial de Calentamiento Global (GWP) para el ABS</i>	65
Tabla 11	<i>Tamaños Nominales de muestras</i>	74
Tabla 12	<i>Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura</i>	77
Tabla 13	<i>Resultados granulometría plástico ABS triturado surblock</i>	80
Tabla 14	<i>Resultados granulometría plástico ABS triturado</i>	82
Tabla 15	<i>Registro del diseño Piloto 1 y resultados de humedades de los agregados</i> ...86	
Tabla 16	<i>Resistencia a compresión media requerida</i>	92
Tabla 17	<i>Asentamientos recomendados para varios tipos de consistencia</i>	93
Tabla 18	<i>Contenido de aire atrapado en función del agregado grueso</i>	94
Tabla 19	<i>Relación agua cemento</i>	94
Tabla 20	<i>Cantidad de Agua requerida</i>	95
Tabla 21	<i>Volumen Agregado Grueso</i>	96
Tabla 22	<i>Ensayo de asentamientos de la prueba I</i>	97
Tabla 23	<i>Ensayos de Rotura de Cilindros de la prueba I</i>	98

Tabla 24: <i>Ensayos de Resistencia de la prueba I</i>	99
Tabla 25 <i>Registro del diseño Piloto 2 y resultados de humedades de los agregados</i> .105	
Tabla 26 <i>Ensayo de asentamientos de la prueba 2</i>	106
Tabla 27 <i>Ensayo de rotura de cilindros de la prueba 2</i>	107
Tabla 28 <i>Ensayos de Resistencia de la prueba 2</i>	108
Tabla 29 <i>Registro del diseño Piloto 3 y resultados de humedades de los agregados</i> .113	
Tabla 30 <i>Ensayo de asentamientos de la prueba III</i>	114
Tabla 31 <i>Ensayo de rotura de cilindros de la prueba III</i>	115
Tabla 32 <i>Ensayos de Resistencia de la prueba III</i>	115
Tabla 33 <i>Registro de la prueba IV y resultados de humedades de los agregados</i>	121
Tabla 34 <i>Ensayo de asentamientos de la Prueba IV</i>	122
Tabla 35 <i>Ensayo de rotura de cilindros de la Prueba IV</i>	122
Tabla 36 <i>Ensayos de Resistencia prueba IV</i>	124
Tabla 37 <i>Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 5% y resultados de humedades de los agregados</i>	129
Tabla 38 <i>Ensayo de asentamientos prueba V</i>	130
Tabla 39 <i>Ensayo de Rotura de cilindros prueba V</i>	131
Tabla 40 <i>Ensayos de Resistencia prueba V</i>	132
Tabla 41 <i>Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 5%.</i>	133
Tabla 42 <i>Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS</i>	139
Tabla 43 <i>Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 10% y resultados de humedades de los agregados</i>	142
Tabla 44 <i>Ensayo de asentamientos prueba VI</i>	143
Tabla 45 <i>Ensayo de Rotura de cilindros prueba VI</i>	144

Tabla 46 <i>Ensayos de Resistencia prueba VI</i>	145
Tabla 47 <i>Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 10%</i>	146
Tabla 48 <i>Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS</i>	151
Tabla 49 <i>Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 15% y resultados de humedades de los agregados</i>	153
Tabla 50 <i>Ensayo de asentamientos prueba VII</i>	154
Tabla 51 <i>Ensayo de Rotura de cilindros prueba VII</i>	155
Tabla 52 <i>Ensayos de Resistencia prueba VII</i>	156
Tabla 53 <i>Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 15%</i>	157
Tabla 54 <i>Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS</i>	162

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Códigos de identificación de plásticos	29
<i>Figura 2</i> Intervenciones requeridas durante el ciclo de vida del plástico.....	38
<i>Figura 3</i> Características de los agregados.....	48
<i>Figura 4</i> Resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu	50
<i>Figura 5</i> : Valores referenciales del Potencial de Calentamiento Global (GWP) para el cemento.....	65
<i>Figura 6</i> Valores referenciales GWP	66
<i>Figura 8:</i> Resultados granulometría agregado fino cantera Wilson Pérez.....	75
<i>Figura 9</i> Curva granulométrica agregado fino	76
<i>Figura 10</i> :Resultados granulometría agregado fino cantera Wilson Pérez.....	78
<i>Figura 11</i> Curva granulométrica agregado grueso.....	79
<i>Figura 12</i> : Curva granulométrica agregado fino	81
<i>Figura 13</i> Curva granulométrica agregado fino	83
<i>Figura 14</i> Agregado fino y grueso secos de la prueba I.....	85
<i>Figura 15</i> Curva de Resistencia del Hormigón prueba 1 23.5 MPA (kg/cm ²)	100
<i>Figura 16</i> Curva De Resistencia del Hormigón prueba 1 23.5 MPA (kg/cm ²)	101
<i>Figura 17</i> Recipientes y agregados fino y grueso secos de la prueba 2.....	104
<i>Figura 18</i> Curva de Resistencia del hormigón prueba 2 23.5 mpa	109
<i>Figura 19</i> Curva Porcentajes de Resistencia del Hormigón Prueba 2 23.5 Mpa	110
<i>Figura 20</i> Recipientes y agregados fino y grueso de la prueba III	112
<i>Figura 21</i> Curva de resistencia del hormigón prueba III 23.5 MPA.....	116
<i>Figura 22</i> Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba III 23.5 MPA	117
<i>Figura 23</i> Agregados fino y grueso secos de la Prueba IV	120
<i>Figura 24</i> Curva De Resistencia Del Hormigón PRUEBA IV 23.5 MPA	125
<i>Figura 25</i> Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba IV 23.5 MPA	126

<i>Figura 26</i> Curva de resistencia del hormigón prueba V 23.5 MPA.....	134
<i>Figura 27</i> Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba 1 23.5 MPA	135
<i>Figura 28</i> Curva de resistencia del hormigón prueba V 23.5 MPA.....	147
<i>Figura 29</i> Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba VI 23.5 MPA	148
<i>Figura 30</i> Curva de resistencia del hormigón prueba VII 23.5 MPA	158
<i>Figura 31</i> Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba VII 23.5 MPA.....	159

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Modulo de finura	58
Ecuación 2 Humedad.....	59
Ecuación 3 Porcentaje de Vacíos	59
Ecuación 4 Absorción.....	61
Ecuación 5 : Humedad.....	87
Ecuación 6 : Relación agua cemento	91
Ecuación 7 Corrección por Absorción	92
Ecuación 8 Peso Unitario	98
Ecuación 9: Gwp ABS.....	136
Ecuación 10 Gwp ABS + cemento tipo Gu.....	136
Ecuación 11: GWP considerando transporte	137
Ecuación 12: Gwp total	137
Ecuación 13 GWP ABS.....	149
Ecuación 14: GWP ABS + cemento tipo Gu	149
Ecuación 15 GWP considerando transporte	150
Ecuación 16 GWP total	150
Ecuación 17GWP ABS.....	160
Ecuación 18: GWP ABS + cemento tipo Gu	161
Ecuación 20: GWP considerando transporte	161
Ecuación 21 GWP total	161

Capítulo 1: Introducción

1.1 Planteamiento

El concreto es ampliamente empleado en la construcción gracias a su adaptabilidad, resistencia y larga duración (Espinales, Lago y Mera, 2023), sin embargo, el impacto ambiental ocasionado por la rama de la construcción e infraestructura debido al uso intensivo de recursos no renovables, ha impulsado en este sector una búsqueda de materiales más sostenibles y eficientes (Malavé y Játiva, 2023). La creciente preocupación por el impacto ambiental de los elementos tradicionalmente utilizados en la construcción, junto con la acumulación de residuos plásticos, ha llevado a la necesidad de explorar alternativas que sean funcionales a la vez que sostenibles a largo plazo. La producción de hormigón convencional implica altos niveles de emisiones de carbono, lo que contribuye significativamente al cambio climático (Pin, 2024).

Los síntomas de esta problemática se reflejan en la saturación de residuos plásticos, la escasez de materiales no renovables y la necesidad de innovaciones sostenibles en la construcción, además, el hormigón convencional, sin aditivos sostenibles, puede presentar limitaciones en ciertas aplicaciones que requieren un mayor desempeño mecánico y durabilidad (Muñoz y Rafael, 2024).

El presente estudio se propone diagnosticar la efectividad del plástico reciclado ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), como aditivo en el hormigón de alta resistencia. Se utilizará cemento Holcim Fuerte Eco Planet, que reduce las emisiones de carbono en un 30%, buscando contribuir a la construcción sostenible y a la reducción de la huella de carbono. El plástico reciclado ABS es un material derivado de residuos industriales y post-consumo, caracterizado por su resistencia y capacidad de mejorar las propiedades mecánicas cuando se combina con el hormigón. Este material posee una estructura que puede aportar a la compresión y durabilidad del hormigón, haciéndolo más adecuado para aplicaciones que requieren alta resistencia estructural (Romero, 2022).

Según investigaciones anteriores, la inclusión de agregados plásticos en el concreto puede incrementar su resistencia a la compresión entre un 15 % y un 25 %, en dependencia de la cantidad empleada y del tipo de plástico incorporado. El uso de plástico ABS en el hormigón ha demostrado incrementar su resistencia y durabilidad, lo que valida la importancia de este estudio en el contexto de la construcción sostenible. (García, Pérez y Martínez, 2019).

1.2 Formulación

¿En qué manera influye la inclusión de plástico ABS en la composición del hormigón de alta resistencia, en sus propiedades mecánicas del concreto y cómo esta práctica puede generar beneficios ambientales y económicos?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la resistencia de cilindros de concreto con y sin agregado plástico reciclado ABS, para la determinación de su idoneidad en construcciones del sector y verificación de la aptitud del hormigón modificado para su aplicación en obras de construcción locales.

1.3.2 Objetivos Específicos

Medir la resistencia a la compresión en muestras de concreto con una resistencia nominal de 240 kg/cm², con y sin agregado de distintas cantidades de plástico reciclado ABS, en intervalos de 1, 3, 7, 14 y 28 días, para la evaluación de la relación entre resistencia y tiempo de fraguado.

Analizar los ensayos de resistencia mediante una prensa hidráulica, para el establecimiento de tablas comparativas de las propiedades mecánicas del concreto con y sin adición de plástico ABS, determinando así su idoneidad para el uso en la construcción.

Evaluar los beneficios en la economía y el ambiente de la incorporación de plástico reciclado ABS en proyectos de construcción, identificando el potencial de esta práctica para la contribución en la sostenibilidad en el sector.

1.4 Justificación

La presente investigación es necesaria, conveniente y relevante en el contexto actual en respuesta a las crecientes inquietudes en el ámbito del cuidado ambiental y la urgencia de implementar prácticas sostenibles en la industria de la construcción. La acumulación de desechos plásticos, como el ABS, junto con el elevado impacto ambiental asociado a los materiales convencionales de construcción, como el concreto, impulsa la búsqueda de alternativas que garanticen calidad y durabilidad en las edificaciones, al tiempo que favorezcan la disminución de la huella ecológica en este sector.

El área de la construcción y desarrollo urbano, es reconocida como una de las principales fuentes de emisiones de carbono y consumidora de recursos naturales, es por eso que enfrenta el reto de encontrar materiales que permitan mejorar la sostenibilidad de sus prácticas. Además, el manejo de residuos plásticos plantea un desafío ambiental de gran importancia debido a su lento proceso de degradación. Esta investigación aborda estas necesidades al evaluar la posibilidad de incorporar plástico reciclado ABS en el hormigón, explorando así una solución que podría contribuir a mitigar la acumulación de plásticos en el medio ambiente.

La motivación central de este estudio es determinar si la utilización de plástico ABS reciclado puede optimizar el rendimiento estructural del hormigón y, a la vez, ofrecer una opción viable para reducir los residuos plásticos en el ambiente, además, la utilización de cemento Holcim Fuerte Eco Planet, con una reducción del 30% el impacto de carbono, lo cual refleja el compromiso con prácticas de construcción ecoeficientes y alineadas con los objetivos de sostenibilidad del sector.

La investigación resulta beneficiosa y oportuna para el ámbito de la construcción, ya que podría resultar en una alternativa práctica y ecológica que no solo respalde el desarrollo de infraestructuras más sostenibles, sino que también promueva la economía circular, reutilizando materiales residuales como el plástico ABS. Esta práctica, de ser efectiva, puede establecer un nuevo estándar en la utilización de materiales reciclados en la construcción, lo cual es crucial para promover alternativas a los recursos no renovables y disminuir el impacto ambiental del sector.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Los plásticos ABS, derivados comúnmente de residuos electrónicos y productos de consumo, representan polímeros termoplásticos notables por su resistencia y durabilidad. En el contexto de la construcción sostenible, el plástico reciclado ABS ha surgido como una alternativa ambientalmente amigable, buscando reducir la dependencia de materiales vírgenes (Jovel y Pérez, 2011).

Cuando se incorpora plástico reciclado ABS en la composición del hormigón, surge la oportunidad de optimizar diversas propiedades del concreto resultante. La resistencia del ABS puede optimizar el comportamiento del hormigón bajo cargas de impacto. Además, al utilizar plástico reciclado en la composición del hormigón, se fomenta una gestión más eficiente de los desechos plásticos, promoviendo la industria de la construcción con prácticas más sostenibles (Baldoceda y Quezada, 2024).

No obstante, es fundamental analizar de manera detallada cómo la inclusión del plástico ABS influye en aspectos clave como la durabilidad, el tiempo de vida útil y las propiedades mecánicas del hormigón. Impulsar un enfoque de ciclo de vida más sustentable para ambos materiales, junto con la disminución de la huella ambiental generada en la fabricación de insumos de construcción, resulta esencial para identificar el impacto positivo que este plástico puede tener sobre las propiedades del hormigón, además de favorecer el desarrollo de estrategias constructivas más respetuosas con el entorno.

La mayor parte de plásticos ABS son aptos para ser moldeados mediante prensado, soplar, extruirse y moldearse por inyección. A pesar de que no es muy inflamable, arderá; una solución es utilizar un retardante de llama, el ABS es un material liviano que combina las características de resistencia a la tracción y resistencia al impacto en un material (Gamboa, 2021). Es empleado para fabricar componentes de automóviles

como las rejillas, los tapacubos, las carcasas de los espejos retrovisores y las cubiertas de las puertas, los electrodomésticos incluyen los revestimientos interiores y exteriores de las puertas de los frigoríficos, las carcasas de los taladros, los televisores, las radios, las aspiradoras, las máquinas de coser y los coches pueden tener más de 12 kg de ABS (Molina, 2016).

2.2 Marco Referencial

2.2.1 El Plástico en el Sector de la Construcción

2.2.2 Definición y Clasificaciones

La definición inicial es "plástico", que proviene del término griego *plastikos* y señala la maleabilidad que tienen estos materiales. Los polímeros plásticos suelen ser sintetizados mediante la polimerización de monómeros que provienen del gas o del petróleo, a los que se les agregan una variedad de aditivos químicos (Arroyo, 2020).

La variedad de materiales plásticos existentes ha impulsado la creación de códigos de identificación de cada uno de ellos, destacando las múltiples posibilidades de reciclaje que poseen. Cada paso del proceso de reciclaje se representa con estos códigos, cuyo símbolo original data de 1970, desde la obtención de los materiales hasta su transformación mediante reciclaje y la compra de productos reciclados. El triángulo de Möbius, que se ha convertido en el símbolo universal del reciclaje, es un triángulo con tres flechas rodeando un número del 1 al 7, este símbolo indica la capacidad de reciclarse para la creación de nuevos productos, además del material con el que está hecho el envase (Sánchez, 2010).

						
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	O
Tereftalato de polietileno	Polietileno (alta densidad)	Cloruro de polivinilo	Polietileno (baja densidad)	Polipropileno	Poliestireno	Bisfenol-A y otros
PET es comúnmente usado en botellas de condimentos o de bebidas como agua, refresco y energéticos.	PEAD es comúnmente usado en botellas de leche, jugo o champú, contenedores de detergente, bolsas de supermercado, y bolsas de cereal.	PVC puede ser flexible o rígido, y es usado para tuberías de drenaje, empaques para comida transparentes, plástico para envolver, juguetes de niños, manteles, pisos de vinilo, tapetes de juego para niños, y empaques de medicamentos en cápsula.	PEBD es usado para bolsas para lavandería, para pan, para periódico, para frutas y verduras, y para basura, así como para vasos de "papel" para bebidas y envases de "papel" para leche.	PP es usado para contenedores de yogurt, contenedores de comida de cafetería, muebles, maletas y aislamiento para ropa de invierno.	También llamado plumavit, unicel y más nombres, es usado para vasos, platos, contenedores para comida a domicilio, charolas para carne cruda, y material de relleno para envíos.	Cualquier artículo de plástico que no sea de los seis mencionados se pone en una misma categoría múltiple de plástico #7. Cosas como discos compactos, biberones de bebé, y faros de coche.
						

Figura 1 Códigos de identificación de plásticos

Tomado de: plasticoceans.org, 2021

El plástico ABS se encuentran dentro de aquellos clasificados con el número 7 que son una categoría que incluye una variedad de plásticos que abarcan una gama de plásticos con composiciones químicas y propiedades diversas e incluyen al policarbonato (PC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliamidas (nylon), y otros polímeros especializados (Pérez-Belis, Bovea, Gómez, y Ruiz, 2012).

Los plásticos del grupo 7 son materiales especializados con aplicaciones específicas y complejas, conocidos por sus propiedades únicas y su dificultad para el reciclaje convencional, suelen tener propiedades específicas que los hacen ideales para aplicaciones técnicas y de alto rendimiento. El ABS es resistente a impactos y es rígido, mientras que el policarbonato es transparente y resistente al calor. Estos plásticos se encuentran en aplicaciones que requieren durabilidad y características específicas, como componentes electrónicos, piezas de automóviles, lentes de gafas, compactos de discos, botellas reutilizables, biberones, utensilios de cocina, y equipo médico (Ínfer, 2023).

En cuanto a las características de reciclaje, los plásticos del grupo 7 no son tan fácilmente reciclables debido a la complejidad de su composición y a la diversidad de materiales agrupados en esta categoría, lo que dificulta el proceso de reciclaje y reutilización. Algunos plásticos en esta categoría, como los que contienen Bisfenol-A (BPA), han sido objeto de preocupación debido a sus potenciales impactos en la salud humana y en el entorno natural. Por ello, en aplicaciones de consumo, algunos productos con plásticos tipo 7 son ahora libres de BPA (Castillo, 2020).

Además de lo anterior se puede destacar que los plásticos según sus diversos métodos de reciclaje se clasifican en termoestables y termoplásticos, los plásticos termoestables solo pueden reciclarse por medio de métodos químicos, y los termoplásticos suelen ser susceptibles al reciclaje mecánico (Meiver, 2022).

Los termoplásticos constituyen un amplio grupo de plásticos que se caracterizan por su facilidad de reciclaje, ya que pueden ser conformados, enfriados y calentados en repetidas ocasiones sin que sus características fundamentales se vean significativamente afectadas. Entre los plásticos de este grupo se encuentran el polipropileno (PP), el tereftalato de polietileno (PET), el poliestireno (PS), el polietileno (PE), el poliestireno expandido (PS-E), el policloruro de vinilo (PVC) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) (Zarate, 2021)

Los plásticos termoestables, por otro lado, son materiales sintéticos que solo pueden reciclarse a través de procesos químicos para alterar su estructura molecular, estos plásticos no pueden fundirse de nuevo ni cambiar de forma después de ser moldeados y calentados. El poliéster insaturado, el éster de vinilo, la resina epoxi, la resina acrílica y el poliuretano (PUR) y por supuesto el ABS son ejemplos de plásticos termoestables (Díaz, Ipuz y Garcés, 2023).

2.2.3 Fabricación de Plásticos

Debido a su importancia en la mayor parte de procesos productivos de múltiples sectores, el sector de fabricación y procesamiento de plásticos se posiciona como una de las más destacadas a nivel global. Gracias a los avances impulsados por investigadores y químicos, el plástico ha experimentado un notable avance desde la Revolución Industrial. Sin embargo, la contaminación y la acumulación de desechos han aumentado como resultado de este avance. Se han iniciado investigaciones para encontrar formas de reciclar y reutilizar el plástico debido a esta situación (Narváez y Luna, 2014).

Antes del año 2000, se produjo la misma cantidad de plástico en todo el mundo que en los últimos 16 años. La naturaleza versátil, económica y confiable del material plástico es la razón detrás de esta rápida expansión (PlasticsEurope, 2018). La producción de productos plásticos desechables es impulsada por estas características; en menos de tres años, casi la mitad del plástico se convierte en residuos (Kaza, et al., 2018).

La generación de residuos se ha convertido en uno de los retos ambientales más significativos a nivel global en la actualidad. En Ecuador, se calcula que cada persona que vive en zonas urbanas genera alrededor de 0.58 kilogramos de residuos sólidos al día (INEC, 2016).

El procesamiento de plástico y la producción de combustibles constituyen el 96% del petróleo crudo utilizado en la fabricación de productos plásticos. Según un análisis de ambos mercados, la producción de combustibles disminuiría con un incremento en la fabricación de plásticos. Por ejemplo, para obtener una tonelada de polietileno, un plástico que se usa con frecuencia en el hogar, se necesita 18.7 toneladas de petróleo crudo; esto provoca una descomposición prolongada de los plásticos (Cobos, 2011).

2.3 Estadísticas de los Desechos Plásticos

De acuerdo con la clasificación central de productos, el uso de recursos básicos y su procesamiento a través de terceros se encuentran detallados en el informe del INEC del año 2016. Las adquisiciones locales netas de polipropileno como materia prima alcanzaron las 5781.5 toneladas, mientras que las de ABS fueron de apenas 1.5 toneladas. En contraste, se importaron 381.5 toneladas de ABS y 74418 toneladas de polipropileno (INEC, 2016).

En 2016, el 41.46% de los hogares a nivel nacional adoptaron prácticas de reciclaje de residuos, lo que equivale a aproximadamente 4 de cada 10 hogares ecuatorianos. Entre los materiales clasificados, el plástico representó el 34.08%, superando al papel-cartón con un 24.53% y al vidrio con un 15.10% (INEC, 2016).

En cuanto a la disposición de residuos plásticos, el 14.83% se dirige a centros de acopio, el 57.61% se regala o se vende, el 19.24% se mezcla con la basura ordinaria y el 7.89% es quemado o arrojado en quebradas. Además, solo el 16.63% de los hogares ecuatorianos conocieron al menos una campaña de protección ambiental entre 2014 y 2016 (INEC, 2016).

El plástico rígido y el plástico suave representaron el 5.84% y el 4.78% de los residuos sólidos producidos en áreas urbanas en el año 2017 (AME-INEC, 2017).

Un estudio realizado por el Municipio de Quito en 2013 para identificar los residuos sólidos en las Estaciones de Transferencia encontró que en la Estación de Transferencia Norte, el 2.57% de los residuos sólidos eran de polipropileno, mientras que en la Estación de Transferencia Sur este porcentaje era del 2.15% (Zabala, 2018).

2.4 Impacto Planetario de los Plásticos

Los micro plásticos que se encuentran en el agua del grifo, en los peces que comemos, en la sal de mesa que sazona nuestras comidas y incluso en el tracto intestinal humano se encuentran en prácticamente todos los rincones del planeta, desde los océanos hasta las cimas del Himalaya. Las ventajas de los plásticos en cuanto a la resistencia, durabilidad, ligereza y versatilidad lo convirtieron en un material muy utilizado después de la Segunda Guerra Mundial. no obstante, más de cincuenta años después del auge del plástico de un solo uso, este material se ha extendido por todos los rincones del planeta (Organización de las Naciones Unidas, 2019)

Para el año 2050, se estima que, todas las aves del mundo ingerirán plástico de forma regular. Los científicos han identificado más de 700 especies de fauna marina que presentan plástico en sus sistemas digestivos o enredado en sus cuerpos. En la actualidad, solo aproximadamente uno de cada cinco productos plásticos se recicla. El problema no se limita a los envases que atraen a las tortugas o a las grandes bolsas flotantes en el mar; cuando se degrada, se transforma en micro plásticos. En nuestras vidas se integran estas pequeñas partículas que provienen de bastoncillos para los oídos, bolsas o pajitas.

En la alimentación humana, en el agua que se bebe e incluso en el cuerpo humano ya se han encontrado indicios de esta sustancia. Por lo tanto, es necesario disminuir significativamente el uso del plástico en todos los ámbitos, no es suficiente reciclar lo que se produce.

Aproximadamente 100 millones de toneladas de contaminación terrestre y marina se producen cada año como resultado de la gestión ineficiente de los residuos plásticos en todo el mundo (de Souza Machado et al., 2020).

El cierre del ciclo de los plásticos se ve obstaculizado por dos obstáculos principales: por un lado, la falta de viabilidad económica de la industria del reciclaje, la cual no logra expandirse a una escala adecuada; por otro lado, los consumidores no tienen acceso a opciones respetuosas con el medio ambiente como alternativas al uso de los plásticos. Además, la mayoría de los materiales plásticos reciclados de calidad secundaria provienen de plásticos reciclados de menor calidad en comparación con los productos fabricados con plástico virgen, lo que los hace comercializar a precios más bajos. Esta problemática también se debe a los altos costos operativos asociados con las actividades de reciclaje, que incluyen la oferta limitada de plástico reciclable, la recolección y la clasificación de los desechos (Samaniego, et al., 2022).

2.4.1 Impacto Ambiental del Plástico

Al considerar los daños ocasionados por el plástico en relación con la fauna, se puede mencionar que la fauna marítima afectada y las lesiones graves o incluso mortales suelen resultar del enredo en desechos plásticos; los desechos plásticos que incluyen equipos de pesca perdidos o descartados, causan la muerte de al menos mil tortugas marinas cada año (Pereiras, 2019).

La ingesta de plástico tiene un impacto perjudicial en la salud de los animales, ya que, en la mayoría de los casos, no pueden digerirlo, lo que provoca obstrucciones en su sistema digestivo, abrasiones internas y, en última instancia, en la muerte. La ingesta de plástico puede causar efectos subletales, como dificultades para la captura y la digestión de alimentos, alteraciones en el sentido del hambre, escape de depredadores, problemas en la reproducción, disminución de la condición corporal y complicaciones en la migración y la locomoción, además de causar muertes directas (Elías, 2015).

La presencia de desechos plásticos en suelos, ríos y océanos genera un grave deterioro en los hábitats de la fauna silvestre, ya sea alterándolos significativamente o destruyéndolos por completo. La salud de la fauna puede verse afectada negativamente por la contaminación con pequeñas partículas de plástico, que altera las condiciones del suelo (de Souza Machado et al., 2020).

2.5 Impacto Económico

Según Souza Machado et al. (2020), la contaminación por plásticos en los océanos es cuatro veces mayor que la contaminación terrestre; sin embargo, todavía no se sabe con certeza cómo afecta a la economía en su conjunto. Debido a la preocupación de que los animales hayan consumido plásticos y a la mortalidad de la fauna marina, la contaminación oceánica por plásticos tiene un impacto en el suministro y la demanda de productos marinos en cuanto a las pesquerías. Además, la contaminación plástica, que también puede afectar los motores de los barcos causando problemas a la industria pesquera (Ortuño, 2022).

2.6 Beneficio Social

El manejo no regulado de los residuos plásticos tiene los efectos directos más comunes (Dalberg Advisors, 2019). En procesos no regulados, como el reciclaje no controlado o la quema o vertido a cielo abierto, estos residuos son mal gestionados. La incineración, el vertido y los vertederos son los principales métodos de manejo de los desechos plásticos. El 39% de los desechos plásticos fueron enviados directamente a los vertederos en 2016; su descomposición lleva más de 400 años (Geyer, 2017).

Las quemas a cielo abierto, liberan gases nocivos que tienen un impacto en la calidad del aire y los asentamientos, los cuerpos de agua y los acuíferos cercanos son

contaminados por este tipo de prácticas (Silpa Kaza, 2018). Se ha descubierto que los compuestos relacionados con los plásticos, cuando se combinan con la incineración a cielo abierto o no controlada, incrementan el peligro de padecer enfermedades cardíacas, las enfermedades respiratorias y el sistema nervioso (Rinku Verma, 2016).

Otra preocupación importante es el consumo humano de plástico. Los efectos directos en la salud de los micro plásticos y las nanopartículas de plástico aún no se han comprendido por completo; sin embargo, es más probable que se consuman productos del mar (Food and Agriculture of the United Nations, 2018).

Otra consecuencia perjudicial es la contaminación de aguas y suelos. Según Souza Machado et al. (2020), las micropartículas de plástico que se liberan durante el lavado de la ropa pueden acumularse en los alcantarillados y luego se utilizan como fertilizante en el campo; esto conduce a la introducción de miles de toneladas métricas de micro plásticos en el suelo. Además, las plantas de tratamiento de aguas residuales no logran eliminar por completo las partículas plásticas presentes en el agua antes de su reintegración al medio ambiente.

2.7 Reciclaje de Plásticos

El reciclaje está estrechamente relacionado con el concepto de desecho. Los desechos se refieren a aquellos materiales que, aunque no poseen valor económico para el usuario, tienen un valor comercial al ser recuperados e incorporados nuevamente en el ciclo de vida de la materia. El plástico y el vidrio son ejemplos de desechos inorgánicos originados por actividades industriales o procesos no naturales, en contraste con los residuos biológicos generados por organismos vivos. La recuperación de materiales reciclables contribuye a disminuir la cantidad de desechos sólidos enviados a los vertederos, al tiempo que extiende su vida útil. Además, la fabricación de nuevos

productos a partir de materiales reciclados ayuda a conservar tanto recursos renovables como no renovables (Castro y Benavides, 2023).

El reciclaje es el proceso de reutilizar productos que han sido desechados para recuperar algunos de sus componentes directa o indirectamente, este proceso puede salvaguardar los recursos no renovables y limpiar el medio ambiente. Reciclar significa darles otra vida a las cosas, ya sea con el mismo propósito o transformándolos en nuevos productos, aprovechando los elementos que la sociedad ha descartado después de su uso (Ávila-Cuevas y Carillo-Silva, 2022).

El sistema de gestión de plásticos está generando desechos a un ritmo que no puede ser gestionado adecuadamente. Este crecimiento descontrolado provoca fallas en toda la cadena de suministro del plástico, haciendo que desecharlo en la naturaleza sea más barato que gestionarlo correctamente hasta su finalización. Es urgente tomar medidas inmediatas para frenar el aumento desmesurado de la contaminación por plásticos, además de implementar programas coordinados que mejoren la gestión de desechos y promuevan la reutilización de plásticos. Estas acciones podrían resultar en un sistema libre de contaminación por plásticos y generar más de un millón de empleos en la industria del reciclaje, abriendo así un panorama más prometedor para el futuro (Galindo, Melo y Pérez, 2021; Dalberg Advisors, 2019).

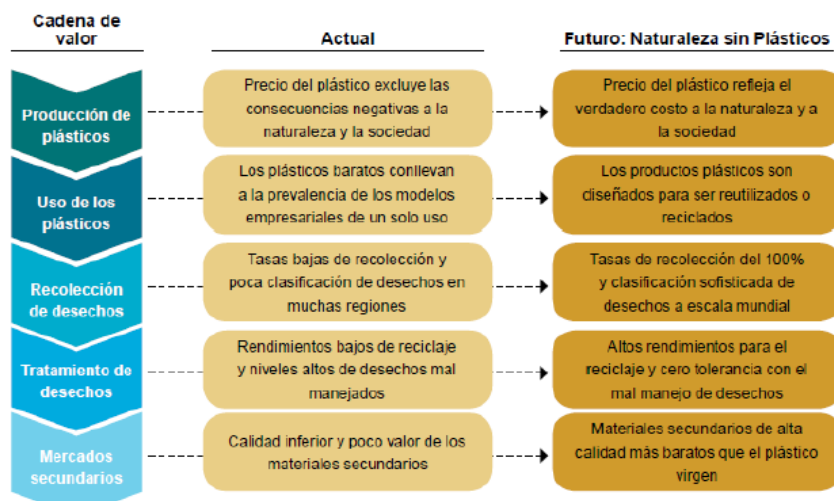


Figura 2 Intervenciones requeridas durante el ciclo de vida del plástico

Fuente: (Dalberg Advisors, 2019)

2.7.1 Plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

Debido a su elaboración y procesamiento más complejos en comparación con los plásticos convencionales, el acrílonitrilo butadieno estireno (ABS), comúnmente conocido por su acrónimo, es un tipo de termoplástico catalogado como plástico de ingeniería. Sus propiedades son el resultado de la combinación de tres componentes principales: el acrílonitrilo, que proporciona dureza, rigidez, resistencia y estabilidad a altas temperaturas; el butadieno, que proporciona tenacidad; y el estireno, que proporciona dureza y resistencia mecánica (León, Isidro y Quintero, 2021).

La combinación de estas características indica que el producto final tiene características superiores a la suma de sus partes individuales. Actualmente, el ABS se produce polimerizando estireno y acrílonitrilo en presencia de polibutadieno, lo que da como resultado una estructura de polibutadieno con cadenas de estireno acrílonitrilo injertadas en ella (Vargas, 2021).

El contenido de butadieno aumenta la resistencia al impacto de los plásticos ABS, pero reduce la resistencia a la tensión y las temperaturas de deformación por calor. Los plásticos ABS pueden procesarse por soplado, extrusión, moldeo por inyección y

prensado porque no son tóxicos. Aunque no son muy inflamables, a menudo mantienen la combustión. Sin embargo, el uso de retardantes de llama puede aliviar este problema (León, Isidro y Quintero, 2021).

El ABS se destaca por su liviandad y resistencia a la tensión y al impacto en un mismo material. Se utiliza ampliamente para fabricar una amplia gama de componentes para automóviles, incluidos tapacubos, parrillas del radiador, alojamientos para espejos retrovisores y cubiertas de puertas. Por ejemplo, cada automóvil puede contener 12 kg de ABS al menos. También se puede encontrar en piezas de LEGO, televisores, radios, aspiradoras, máquinas de coser y secadores de pelo, carcasas de taladros y recubrimientos interiores y exteriores de heladeras (Vargas, 2021).

2.8 Proceso de peletizado de los plásticos

La primera etapa del proceso consiste en recolectar los desechos plásticos producidos en hogares o lugares de trabajo, luego clasificarlos en empresas especializadas en acopio. Debido a la diversidad y contaminación de los materiales, en esta etapa los desechos se separan por tipo de plástico y color. La recolección y clasificación de plásticos representan aproximadamente el 40% de los costos totales del reciclaje y cuando los plásticos se entregan de manera diferente, este proceso se acelera (Jiménez, 2022).

La fase siguiente consiste en la destrucción de los desechos plásticos, que se lleva a cabo en un molino conocido como destructor, donde se reduce el tamaño de los desechos para obtener hojuelas de aproximadamente media pulgada, posteriormente, estos fragmentos se someten a un proceso de limpieza si están contaminados con alimentos, papel, polvo o aceite. Una vez limpios, los desechos se introducen en una máquina extrusora, donde se funden a altas temperaturas y se forman en hilos que, al

pasar por una tina de enfriamiento, adquieren la consistencia deseada. Luego, los hilos pasan a una máquina picadora que los corta en forma de pellets, que se recolectan y envasan en sacos de 50 kg (Cabeza, 2024).

Los desechos plásticos pueden provenir de comercios y consumidores finales, conocidos como desechos de posconsumo, que requieren un proceso de limpieza, o de fábricas procesadoras de plásticos, donde se obtienen los llamados desechos de postproducción, que suelen estar limpios y ideales para reciclar. Marlon Ordoñez de RT RECICLART S.A. afirma que la recolección de envolturas de snacks de polipropileno en el mercado ecuatoriano es limitada debido a su bajo valor de compra y su gran tamaño en comparación con su peso. Esta empresa compra alrededor de 1,5 toneladas de ABS al mes, un polímero más costoso debido a su larga vida útil (RT Reciclart, 2022).

2.9 Fibras de Plástico Triturado

Las fibras de plástico triturado son pequeñas partículas de plástico reciclado que se utilizan como refuerzo en diversos materiales, incluyendo el hormigón. Estas fibras se obtienen mediante el procesamiento de plásticos reciclados, como botellas de agua, envases de alimentos u otros productos plásticos desechados. Una vez triturados, los fragmentos de plástico se incorporan a la mezcla de materiales para mejorar ciertas propiedades, como la resistencia, la durabilidad y la tenacidad del material compuesto. La utilización de fibras de plástico triturado no solo ofrece una solución para la gestión de residuos plásticos, sino que también puede proporcionar beneficios económicos y ambientales al reducir la dependencia de materias primas vírgenes y disminuir la cantidad de desechos enviados a vertederos (Aleaga, 2023).

Las fibras trituradas de plástico ABS son un tipo de refuerzo utilizado en el hormigón que consiste en partículas de plástico reciclado provenientes de productos

fabricados con ABS, estas fibras se introducen en la mezcla de hormigón para mejorar sus propiedades mecánicas y proporcionar beneficios adicionales en términos de sostenibilidad y reducción de residuos (Polo, 2024).

La incorporación de fibras de plástico ABS trituradas en el hormigón es una práctica emergente en la industria de la construcción como respuesta a la creciente preocupación por el reciclaje y la sostenibilidad de los materiales. El reciclaje del plástico ABS para su uso en la construcción es una solución ingeniosa para reducir la cantidad de desechos plásticos y mejorar la eficiencia de los materiales de construcción. El plástico ABS es comúnmente utilizado en una amplia gama de productos, desde electrodomésticos hasta componentes de automóviles (Polo, 2024).

Al agregar fibras de plástico ABS trituradas al hormigón, se pueden mejorar la resistencia a la tracción y la ductilidad, reducir la segregación y la retracción y reducir el peso específico del hormigón. Esta práctica también puede reducir la huella de carbono de la construcción al reducir la cantidad de materias primas vírgenes requeridas y al eliminar los desechos plásticos de los vertederos (Polo, 2024).

Uno de los valores de vital importancia al momento de tomar decisiones acerca del reciclado de materiales o generación de nuevos materiales es el valor referencial del *Global Warming Potential* o *Potencial de Calentamiento Global* (GWP) que es crucial para evaluar los beneficios del reciclaje en este caso del plástico ABS. Comparando el GWP del ABS reciclado con los valores referenciales a la generación de nuevo material, es posible cuantificar la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero que se logra al optar por el reciclaje en lugar de la producción de material virgen, al reducir la dependencia de recursos no renovables y reducir la huella de carbono asociada con la producción de plásticos, la implementación de estrategias de reciclaje efectivas puede

contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático (Abt, 2024) por lo que el plástico ABS reciclado sería una opción viable como agregado del hormigón.

2.9.1 Propiedades del Plástico ABS

A continuación, se analizan las características cualitativas y cuantitativas del plástico ABS debido a que esto es fundamental para en la comprensión de cómo este material influirá en el comportamiento y rendimiento del hormigón de alta resistencia cuando se incorpore en su mezcla.

La tabla 1, analiza una serie de propiedades físicas, mecánicas y químicas del plástico ABS, material que será evaluado en este estudio por su potencial para mejorar las características del hormigón de alta resistencia, estas propiedades incluyen resistencia a la abrasión, permeabilidad, estabilidad dimensional, resistencia química y propiedades ambientales, entre otras. Cada una de estas características tiene implicaciones importantes en la mezcla de hormigón modificada con ABS, permitiendo evaluar su durabilidad, resistencia y viabilidad para aplicaciones en el sector de la construcción, el análisis de estas propiedades será clave para comprender cómo la adición de plástico reciclado ABS puede influir en el rendimiento y la sostenibilidad del hormigón en diversas condiciones estructurales y ambientales (Lara Tineo, 2024).

Tabla 1

Propiedades cualitativas del plástico ABS

Propiedad	Descripción
Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son catalogados como impermeables al agua, aunque ligeramente permeables al vapor.
Propiedades de fricción	No los degradan los aceites, son aconsejables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas.
Estabilidad dimensional	Es una de las características más importantes, lo que admite su utilización en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de Absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos aportan a su estabilidad dimensional.
Pigmentación o coloración	La mayor parte de estas resinas se ofrecen en una gama de colores básicos y pueden ser teñidas, aunque este proceso necesita de herramientas específicas.
Facilidad de unión	Se unen con facilidad a otros materiales plásticos, formando uniones sólidas con adhesivos y cementos.
Capacidad de Absorción	Baja
Propiedades de exposición ambiental	La radiación solar induce la formación de una capa superficial quebradiza, causando decoloración, pérdida de brillo y disminución de la resistencia a la flexión. La pigmentación negra aumenta la durabilidad ante las condiciones atmosféricas
Resistencia química	Su resistencia varía según el tipo de resina, la cantidad de químicos, la temperatura y la fuerza que se aplique. Por lo general, resisten bien el agua, sales, ácidos y bases, pero se disuelven en ciertos solventes como acetona
Procesos de conformación	Son muy versátiles para procesos de conformado posteriores. Al calentarse, los perfiles pueden moldearse y estamparse fácilmente
Facilidad de maquinado	Se trabajan como los metales no ferrosos: se pueden perforar, cortar, moldear y dar forma de muchas maneras.
Acabados superficiales	Se pueden recubrir con una capa metálica, ya sea por metalizado al vacío o por electrodeposición.

Propiedad	Descripción
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg/mm ² .
Recocida	Se mantiene 5°C arriba de la temperatura de distorsión durante 2 a 4 horas

Fuente: Adaptado de (Pasa materiales de construcción, 2017).

La Tabla 2, presenta algunas de las propiedades cuantitativas del plástico ABS, clasificadas en distintos grados de impacto: alto impacto, impacto medio, bajo impacto y resistente al calor. Estas propiedades, evaluadas según métodos estándar como ASTM D256, D638, y D785, son cruciales para determinar la idoneidad del ABS en diversas aplicaciones industriales y estructurales. Los datos incluyen la resistencia al impacto, la resistencia a la tensión, la elongación, el módulo de tensión, la dureza, el peso específico, el coeficiente de expansión térmica y la distorsión por calor. Esta información permite una comprensión integral de cómo varían las características del ABS según su clasificación, proporcionando así una base para seleccionar el tipo adecuado para aplicaciones específicas en ingeniería y construcción.

Tabla 2

Propiedades cuantitativas del plástico ABS

Propiedad	Unidades	Alto impacto	Impacto medio	Bajo impacto	Resistente al calor
Resistencia al impacto (prueba Izod, ASTM D256)	J/m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión (ASTM D638)	Kg/mm ²	3.3-4.2	4.2-4.9	4.2-5.3	4.2-5.3
Elongación (ASTM D638)	%	15-70			
Módulo de tensión (ASTM D638)	Kg/cm ²	214-255	214-255	240-265	240-265
Dureza (Rockwell, ASTM D785)	HRC	88-90	95-105	100-105	105-110
Peso específico (ASTM D792)	-	1.02-1.04	1.04-1.05	1.05-1.07	1.04-1.06
Coeficiente de expansión térmica (ASTM D696)	x 10 ⁵ cm/cm°C	9.5-11.0	7.0-8.8	7.0-8.2	6.5-9.3

Distorsión por calor (ASTM D648)	°C a 18.4 Kg/cm ²	93-99	96-102	96-104	102-112
----------------------------------	---------------------------------	-------	--------	--------	---------

Fuente: Adaptado de (Pasa materiales de construcción 2017).

Según las propiedades analizadas, el plástico ABS presenta alta resistencia a la abrasión y estabilidad dimensional, lo que sugiere que, al incorporarse en el hormigón, podría incrementar su durabilidad en entornos sometidos a desgaste o cambios de temperatura; las propiedades de baja permeabilidad y capacidad de Absorción minimizan la retención de agua, aumentando así la resistencia del hormigón a la humedad; la buena resistencia química y a la fatiga del ABS también lo hacen adecuado para estructuras expuestas a entornos ligeramente agresivos o cargas cíclicas. Sin embargo, el ABS es susceptible a cambios de color y deterioro superficial bajo exposición solar prolongada, lo que limita su uso en aplicaciones exteriores sin protección adicional.

2.10 El Hormigón en el Sector de la Construcción

El hormigón es una mezcla homogénea que se compone de una pasta adhesiva de cemento y agua que fija las partículas de materiales inertes y se compone de agregados gruesos y finos (Perles, 2003). El hormigón, conocido también como concreto en ciertas regiones, posee una historia que se remonta a milenios atrás. Sus orígenes se atribuyen a civilizaciones antiguas como la romana y la egipcia, donde se empleaban combinaciones de cal, arena y agua para erigir estructuras de gran solidez (De Hoz, Ramos y Cossío, 2003). No obstante, el hormigón moderno, en su forma actualmente reconocida, emergió en el siglo XIX con la incorporación del cemento Portland, material que confiere al hormigón sus características distintivas de resistencia y durabilidad (Moreno, Galindo, Bayona, y Ruiz, 2023).

A lo largo del tiempo, el hormigón ha formado un parte importante en la edificación de edificios, puentes, carreteras y una diversidad de infraestructuras. Su

versatilidad, robustez y coste relativamente bajo hace que sea de los materiales más usados globalmente. Conforme ha progresado la industria de la construcción, el hormigón ha evolucionado también, dando lugar al desarrollo de mezclas especiales para distintas aplicaciones, como el hormigón reforzado con fibras, el hormigón premezclado y, en la actualidad, incluso el hormigón con adiciones de plástico reciclado, como el ABS, en pos de soluciones más sostenibles y respetuosas con el entorno ambiental (Moreno, Galindo, Bayona, y Ruiz, 2023).

El hormigón va más allá de ser simplemente vigas lineales o paneles planos; a veces se dobla con gracia para formar un arco, otras veces se extiende en tres dimensiones, envolviendo con diferentes espesores los volúmenes que el diseñador desea encerrar. Esta libertad en sus formas da lugar a nuevas soluciones para antiguos problemas, donde la técnica y la sensibilidad compiten hasta lograr un estilo que merece un lugar especial en el arte de la construcción. No es su aspecto concreto y poco atractivo lo que ha llevado al éxito del hormigón; es su capacidad de adoptar formas lo que ha sido la clave de su triunfo (Holcim España, 2017).

2.11 Elementos del Hormigón

En la Tabla 3 se describen los elementos clave y tipos de agregados utilizados en la elaboración del hormigón. Estos componentes desempeñan un rol fundamental en las propiedades y el rendimiento final del concreto, desde la durabilidad y resistencia hasta la sostenibilidad y aplicabilidad en diversos contextos. El cemento, base del hormigón, es complementado por una variedad de agregados que pueden ser naturales, artificiales o reciclados, cada uno aportando características únicas que optimizan la mezcla según las necesidades constructivas. Esta información es esencial para comprender la importancia de seleccionar adecuadamente los elementos que conforman el hormigón en proyectos de construcción.

Tabla 3

Elementos y Tipos de Agregados del Hormigón

Elemento	Descripción
Cemento	El cemento se fabrica mediante la cocción a 1350°C de piedras calcáreas que contienen más del 22% de arcilla. Después, se obtiene el Clinker, debe ser pulverizado para que tenga poder aglomerante.
Agregados pétreos naturales	Incluyen grava y arena extraídas de canteras y lechos de ríos mediante técnicas de minería y extracción. Estos agregados son fragmentos de roca de origen natural (grava) y partículas depositadas en lechos fluviales (arena).
Agregados pétreos artificiales	Producidos industrialmente mediante la trituración de rocas con máquinas trituradoras para obtener tamaños específicos de partículas, como la piedra triturada y la arena artificial.
Agregados pétreos triturados	Incluyen materiales reciclados, como escombros de construcción y demolición, generados mediante la trituración de residuos de construcción, permitiendo la reutilización de materiales y contribuyendo a prácticas sostenibles.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura, ofrece una perspectiva visual de la variedad y características de los agregados utilizados para la elaboración de concreto, la sección A muestra un conjunto de agregados pétreos, que incluyen una variedad de materiales básicos esenciales para la construcción; en la sección B, se destacan los agregados pétreos naturales, como la grava y la arena, que se extraen de canteras y lechos de ríos mediante métodos de minería y extracción; en la sección C presenta los agregados pétreos artificiales, que se obtienen industrialmente a través de la trituración de rocas, resultando en partículas de tamaños específicos, como la piedra triturada y finalmente, la sección D ilustra los agregados pétreos triturados, formados por materiales reciclados, como escombros de construcción y demolición, que promueven la sostenibilidad al ser reutilizados en nuevas mezclas de concreto.

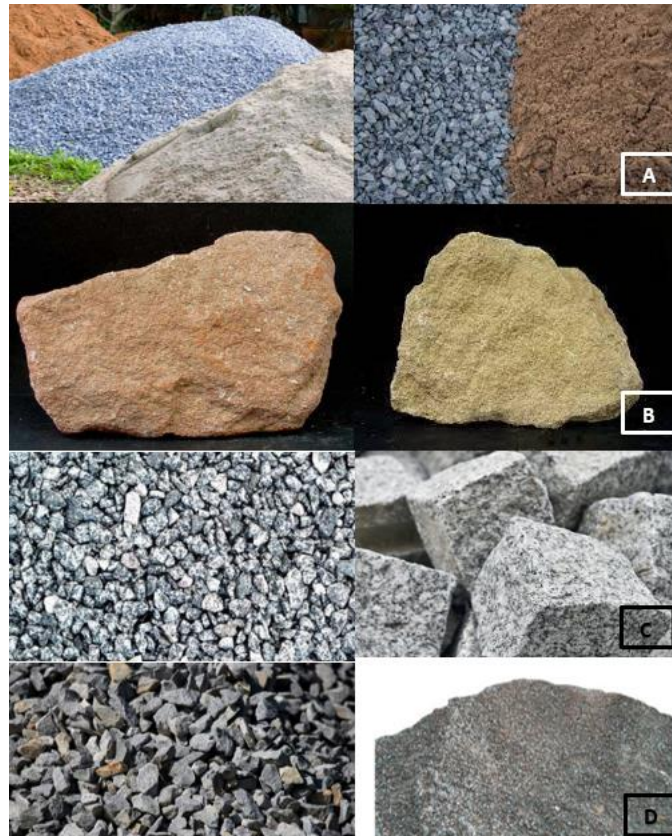


Figura 3 Características de los agregados

Fuente: adaptación propia

2.11 Componentes y Características de los Elementos del Hormigón

2.11.1 Cemento

La composición química del Cemento Fuerte tipo Gu, que será objeto de análisis en este trabajo se detalla a continuación en la siguiente tabla, donde se detallan los óxidos que están presentes en una muestra de cemento, realizado bajo el método especificado en la norma NTE 160; se detallan los porcentajes de diferentes compuestos, tales como dióxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y trióxido de azufre (SO_3), así como la pérdida por calcinación. Estos valores son cruciales para evaluar la calidad y propiedades del cemento, influyendo en aspectos como la resistencia y durabilidad del hormigón. El análisis se llevó a cabo en enero de 2021, con algunos de los resultados no especificados

en la norma INEN 2380, reportándose únicamente como referencia informativa (Cemento Atenas, 2021).

Tabla 4

Componentes del cemento fuerte tipo Gu

Óxido	Método	Unidad	INEN 2380	Resultado
SiO ₂				22,03
Al ₂ O ₃				5,02
Fe ₂ O ₃				2,21
CaO	NTE 160	%	A	48,11
MgO				1,00
SO ₃				2,99
Pérdida por calcinación				7,64

Fuente: Adaptado de (Cemento Atenas 2021)

A: Límite no especificado por la NTE INEN 2380 y reportado solo como información (analizado en enero del 2021).

En la próxima tabla, se muestran los componentes y fórmulas químicas del cemento fuerte tipo Gu, que son importantes para comprender su estructura y propiedades, estos compuestos, como el silicato tricálcico (C₃S) y el silicato dicálcico (C₂S), contribuyen a la resistencia y durabilidad del cemento, mientras que otros, como el aluminato tricálcico (C₃A) y el ferritoaluminato tetracálcico (C₄FA), influyen en aspectos como la velocidad de fraguado y la reacción con sulfatos. La presencia de yeso (Y) regula el tiempo de fraguado, y los álcalis (N+K) pueden afectar la reactividad con ciertos agregados, el Magnesia (M), cal libre (C.L.) y residuos insolubles (R.I.) también forman parte de la composición y tienen un impacto en las propiedades generales del cemento y en su comportamiento en ciertas aplicaciones concretas.

Tabla 5

Componentes y Fórmulas Químicas del Cemento Fuerte tipo Gu

Componentes	Fórmula Química	Fórmula Abreviada
Silicato tricálcico	3CaO-SiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	2CaO-SiO_2	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	C_4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4\text{-2H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$	N+K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	CaO+Ca(OH)_2	C.L.

Fuente: Adaptado de (J. Mater. Chem. B. 2013)

2.11.2 Cemento fuerte GU

En el contexto de este trabajo, es necesario adicionalmente, analizar ciertas características específicas del Cemento fuerte Gu para lo cual se adjunta la siguiente ilustración que muestra la resistencia a compresión del cemento Holcim Fuerte Tipo GU en comparación con el estándar de la NTE INEN 2380 en diferentes edades de prueba (1, 3, 7 y 28 días).

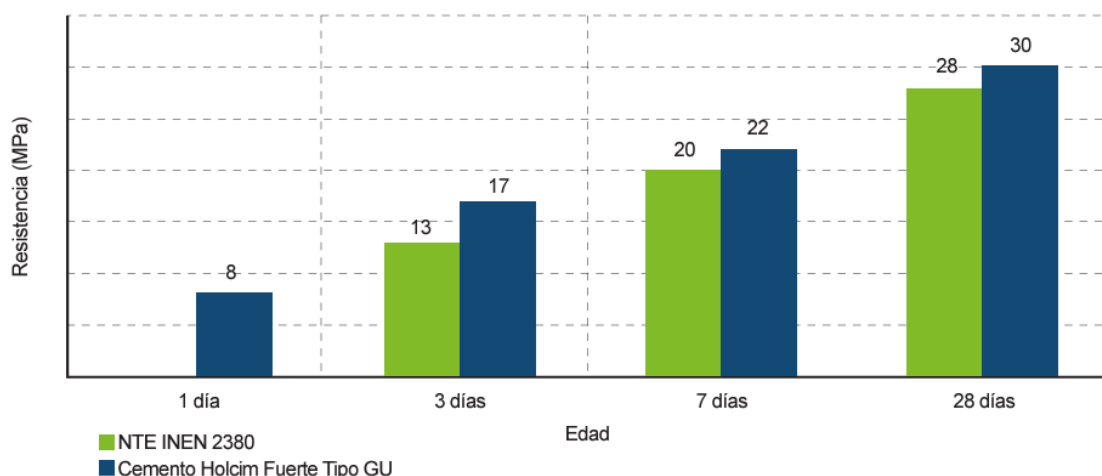


Figura 4 Resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu

Fuente: Adaptado de (Holcim Ecuador, 2021).

En la ilustración se visualiza como el cemento Holcim Fuerte Tipo GU supera consistentemente los valores de resistencia a compresión especificados en la NTE INEN 2380 en todas las edades evaluadas. A 1 día, el cemento Holcim Fuerte Tipo GU muestra una resistencia de 8 MPa, mientras que a 3 días alcanza 17 MPa, superando los 13 MPa indicados por la norma. A los 7 y 28 días, el cemento tipo GU continúa mostrando un rendimiento superior, alcanzando 22 MPa y 30 MPa, respectivamente, frente a los valores normativos de 20 MPa y 28 MPa. Este desempeño indica que el cemento Holcim Fuerte Tipo GU no solo cumple, sino que excede los estándares de resistencia, lo cual sugiere su idoneidad para aplicaciones que requieren una alta capacidad de carga y durabilidad estructural (Holcim, 2021).

En la Tabla 6, se muestran además los límites de resistencia a compresión del cemento fuerte Gu.

Tabla 6

Límites de resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu

Edad	Lím. Inferior (% f'c)	Lím. Superior (% f'c)	Promedio Límites (% f'c)
1	10	40	25
3	30	60	45
7	55	85	70
14	75	105	90
28	95	125	110

Fuente: Adaptado de (Montoya, 2011)

Esta tabla presenta los límites de resistencia en términos de porcentaje de f^c , el cual representa la resistencia característica del cemento, mostrando los valores de resistencia en función de la edad del cemento (1, 3, 7, 14 y 28 días) en tres categorías: límite inferior, límite superior y el promedio de los límites. Estos valores permiten analizar el desarrollo de la resistencia del cemento en diferentes etapas de fraguado y endurecimiento, proporcionando una referencia clave para evaluar el comportamiento estructural del material en condiciones reales de uso (*Montoya, 2011*).

Al analizar la tabla, se observa que la resistencia a compresión del cemento fuerte tipo GU incrementa de manera progresiva con el tiempo. A un día de edad, la resistencia promedio es del 25% de f^c , lo cual indica un desarrollo inicial adecuado. A los 3 y 7 días, el cemento alcanza el 45% y el 70% de su resistencia característica, respectivamente, lo que refleja un crecimiento sostenido en su resistencia. A los 28 días, la resistencia promedio alcanza el 110% de f^c , superando el límite característico del material.

En la siguiente tabla, se pueden observar los valores de resistencia a compresión en megapascuales (MPa) del cemento Holcim Fuerte Tipo GU a distintas edades (1, 3, 7 y 28 días). Esta tabla permite observar la evolución de la resistencia del cemento en diferentes etapas de fraguado y endurecimiento, proporcionando una referencia crucial para evaluar su idoneidad en aplicaciones que requieren una capacidad de carga específica (*Holcim, 2021*).

Tabla 7:

Resistencia a compresión del cemento fuerte tipo Gu

Edad/días	Resistencia mínima (MPa) INEN	Cemento Fuerte Tipo GU (MPa) HOLCIM
1 día	---	---
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30

Fuente: Adaptado de (Holcim Ecuador, 2021)

Como se puede evidenciar existe un incremento progresivo de la resistencia a compresión del cemento Holcim Fuerte Tipo GU con el tiempo. A los 3 días, el cemento presenta una resistencia mínima de 13 MPa, superada por el valor alcanzado de 17 MPa. A los 7 días, se observa una resistencia mínima de 20 MPa frente a un valor alcanzado de 22 MPa, lo que indica un crecimiento constante. Finalmente, a los 28 días, la resistencia mínima requerida de 28 MPa es superada con un valor de 30 MPa.

2.11.3 El Agua

El agua cumple un rol esencial en el proceso de mezclado del hormigón, actuando como agente de hidratación del cemento y facilitando la formación de una masa homogénea. Su calidad y cantidad son aspectos cruciales que conectan directamente en las características finales del concreto (Esparza, 2024).

Para evitar problemas como la segregación y la caída del valor de la resistencia del hormigón, es necesario controlar minuciosamente la cantidad de agua presente en la mezcla. Por el contrario, la colocación adecuada del material y la trabajabilidad pueden verse afectadas por una cantidad insuficiente. Además, es fundamental utilizar agua de alta calidad, libre de impurezas que puedan comprometer la resistencia y durabilidad del hormigón. Las normativas y estándares de la industria establecen pautas precisas, como

la relación agua-cemento (A/C) óptima, para garantizar un uso adecuado del agua en la mezcla (Esparza, 2024).

2.11.4 Aditivos

Los aditivos naturales e inorgánicos cumplen un papel crucial en la mejora de las características del hormigón, ya que tienen la capacidad de modificar la hidratación o alterar las características fundamentales del material en su estado endurecido, haciéndolo más versátil para diversas aplicaciones. Estos aditivos, disponibles en forma líquida o en polvo, pueden incorporarse antes o durante la mezcla del hormigón, dependiendo de sus objetivos específicos (Loayza, 2023).

En cuanto a la oferta del mercado, se encuentran una variedad de aditivos con distintas funciones, como plastificantes, superplastificantes, acelerantes y retardantes. Los plastificantes mejoran la trabajabilidad y fluidez del hormigón, facilitando su colocación y acabado, además de reducir la cantidad de agua requerida. Los superplastificantes aumentan significativamente la trabajabilidad del hormigón, permitiendo una mayor reducción en la cantidad de agua requerida. Los acelerantes agilizan el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón, útiles en condiciones donde se necesita una rápida ganancia de resistencia. Por otro lado, los retardantes retrasan el fraguado y endurecimiento, beneficiosos en situaciones que requieren una mayor trabajabilidad o control de la temperatura de la hidratación (Rubio, 2007). El uso adecuado de estos aditivos en la mezcla de hormigón puede mejorar notablemente sus propiedades y desempeño, permitiendo adaptar el material a diferentes exigencias y condiciones específicas de construcción.

2.12 Agregados del Hormigón

El hormigón tiene agregados esenciales que le dan al material volumen y resistencia. Para crear una estructura resistente, se combinan con el cemento y el agua materiales granulares como la grava, la arena y las piedras trituradas (Guillén y Llerena, 2020).

La importancia de la proporción de agregados está en su influencia directa en las características físicas, mecánicas y de trabajabilidad del hormigón. Es como la armonía de una sinfonía, donde cada instrumento debe estar en el porcentaje adecuado para lograr la melodía perfecta, los distintos tipos de agregados, como la grava, la arena y los agregados finos, se distribuyen en porcentajes específicos según las necesidades del diseño de mezcla. Los agregados deben tener características como limpieza, tamaño y forma adecuadas, resistencia a la compresión, baja Absorción de agua y resistencia al desgaste, por lo que el porcentaje de agregados en la mezcla tiene un impacto directo en las propiedades finales del hormigón (Yam, J., Carcaño y Moreno, 2003).

Las normativas y estándares de la industria, como los emitidos por ASTM International o INEN dentro del territorio ecuatoriano establecen pautas precisas para la selección y uso de agregados, esto se traduce en seguir una receta bien definida para garantizar la durabilidad y calidad del concreto en cualquier proyecto de construcción (Miranda y Rado, 2019).

La Tabla 8, detalla los diferentes tipos de agregados usados en la fabricación de hormigón, destacando tanto sus orígenes, que pueden ser naturales o producidos, como sus propiedades específicas. Estos agregados son fundamentales en la composición del concreto, ya que influyen en su resistencia, trabajabilidad, densidad y otras características esenciales que afectan su rendimiento en diversas aplicaciones de construcción. Comprender las propiedades y los tipos de agregados permite seleccionar los materiales

adecuados para optimizar la mezcla y cumplir con los requisitos específicos de cada proyecto.

Tabla 8

Tipos de Agregados del Hormigón y sus Propiedades

Tipo de Agregado	Naturales/Producidos	Propiedades
Agregados gruesos	Grava, piedra triturada	Aportan robustez y estabilidad mecánica al concreto, disminuyendo la necesidad de pasta de cemento.
Agregados finos	Arena natural o triturada	Mejoran la trabajabilidad y consistencia del concreto, influyendo en su textura superficial y cohesión.
Agregados ligeros	Arcilla expandida, pizarra expandida	Reducen el peso del concreto y ofrecen cualidades de aislamiento térmico y acústico.
Agregados densos	Magnetita, hematita	Contribuyen a la densidad del concreto, siendo idóneos para aplicaciones que requieren alta masa.
Agregados reciclados	Provenientes de RCD: concreto reciclado, cerámica reciclada	Contribuyen a prácticas sostenibles, aunque su uso puede necesitar ajustes en la mezcla para mantener la calidad.
Agregados sintéticos	Vidrio expandido, esferas de poliestireno	Ofrecen características específicas como aislamiento térmico, aplicándose en contextos especializados.
Agregados finos especiales	Polvo de piedra caliza, polvo de mármol	Mejoran la trabajabilidad y cohesión, siendo utilizados en la elaboración de concretos especiales.
Agregados para concreto pesado	Magnetita, hematita	Incrementan la densidad del concreto, siendo empleado en aplicaciones que requieren protección contra radiaciones.

Fuente: Adaptado de (Pinargote, Gutierrez, y Mera, 2024; García-Moreta, Morrillo-García y Guerra-Mera, 2023; Santamaría, Adame, y Bermeo, 2021).

2.12.1 Categorización de los Agregados para La Mezcla

2.12.1.1 Agregado Fino

Este material pasa por un tamiz de 3/8" y se conservan mediante un tamiz N.º 200, estos se producen de las piedras de formas natural y se recoge tanto orgánica como sintéticamente (Cajamarca, 2023).

2.12.1.2 Granulometría

La Tabla 9 presenta los tamaños de tamiz y los porcentajes de masa que pasan a través de cada uno, según el tamaño de las partículas. Este ensayo es fundamental en la caracterización de agregados finos, ya que permite determinar la distribución granulométrica y evaluar si los materiales cumplen con las especificaciones requeridas para la elaboración de mezclas de concreto.

Tabla 9

Tamices utilizados al realizar ensayos granulométricos

Tamiz	Porcentaje que pasa (en masa)
9.5 mm (3/8 pulg.)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	10 a 30*
150 µm (No. 100)	2 a 10**

Fuente: Eddy.h, 2011.

De lo anterior se puede inferir que, medida que disminuye el tamaño del tamiz, el porcentaje de masa que pasa también tiende a reducirse, lo cual es esperado en una distribución granulométrica. Los valores oscilan desde un 100% de paso en el tamiz de 9.5 mm hasta un rango de 2 a 10% en el tamiz de 150 μm .

2.12.1.3 Módulo de Finura

La normativa ASTM C125 establece los parámetros para evaluar el tamaño del agregado utilizado en la fabricación de hormigón. Se utilizan una variedad de tamices con diferentes números y tamaños, que van desde el número 100 hasta 6 pulgadas, para determinar la idoneidad del agregado. Esta evaluación se realiza dividiendo el tamaño del agregado por 100 y se utiliza una fórmula específica para calcular los porcentajes correspondientes (Castro y Vásquez, 2024).

Ecuación 1 Modulo de finura

$$MF = \frac{\sum \llbracket \% \text{ retenido} - \text{acumulado } (6'' + 3'' + 11/2'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100) \rrbracket}{100}$$

2.12.1.4 Peso específico

La proporción entre su volumen y su masa es el peso específico del material granular, también conocido como agregado. Indica cuánto pesa un volumen específico de agregado en términos simples. En el sistema métrico, se expresa en unidades de masa por unidad de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) (Castro y Vásquez, 2024).

2.12.1.5 Humedad

El término se refiere a la cantidad de agua presente en el agregado. Si el material ABSorbe más agua de lo habitual, el aprovechamiento relación A/c disminuye, lo que significa que la resistencia del hormigón disminuye (Castro y Vásquez, 2024).

Ecuación 2 Humedad

$$\%H = \frac{p.natural - p.seco}{p.seco} * 100$$

2.12.1.6 Porcentaje de vacíos

Es valuado según la normativa ASTM C29 y el resultado es determinado por medio de la proporción de índice de porosidad del material y la disposición de materiales (Castro y Vásquez, 2024)..

Ecuación 3 Porcentaje de Vacíos

$$\% VACIOS = \frac{(S * W - M)}{(S * W)} * 100$$

2.12.1.7 Agregado grueso

Las piedras pueden ser reducidas a tamaño tanto de manera natural como mediante procesos artificiales para crear lo que conocemos como agregado grueso. Las partículas retenidas en el tamiz N°4 se describen como este tipo de agregado. Algunas de estas piedras se pueden encontrar naturalmente en los lechos de ríos y en minas, presentándose como rocas trituradas. Además, existen piedras trituradas artificialmente que se conocen como canto rodado (Castro y Vásquez, 2024)..

2.12.1.8 Granulometría

Debido a que los tamaños de grano en su granulometría son bastante similares, el hormigón se vuelve más manejable, sin correr el riesgo de dañar o alterar el cemento y

el contenido de agua. Esto facilita considerablemente su manejo y aplicación en diversas obras sin comprometer su resistencia (Castro y Vásquez, 2024).

2.12.1.9 Tamaño

Es crucial identificar qué parte del tamiz está en uso antes de llegar al primer tamiz, donde se espera que al menos el 15% del agregado se retenga. Esto nos ayuda a comprender cómo se está utilizando el tamiz comercialmente. En el diseño del hormigón, si los agregados exceden el tamaño máximo nominal, sería necesario añadir más agua y cemento. Esto implica ajustar la proporción de los ingredientes para mantener la calidad deseada del hormigón (Moscote y Torregroza, 2024).

2.12.1.10 Peso Especifico

Una vez que la superficie del agregado está seca y su peso específico alcanza la sequedad de estufa, se debe determinar la Absorción, el peso específico y promedio de una muestra del mismo. Este proceso nos brinda información valiosa sobre las propiedades del agregado, como su capacidad de Absorción y densidad, esenciales para el diseño y la dosificación del hormigón (Moscote y Torregroza, 2024).

2.12.1.11 Humedad

Para calcular el porcentaje de humedad, se coloca una muestra del agregado en el horno; esto es esencial para saber cuánto agua hay en el agregado grueso. Los agregados generalmente se mantienen en un estado húmedo controlado, lo que permite ajustar las dosis empleadas en las mezclas de hormigón en función de la cantidad de humedad presente. Para asegurar la calidad y las características deseadas en la mezcla final, este proceso es fundamental (Moscote y Torregroza, 2024).

2.12.1.12 Absorción

Después de que el agregado haya estado expuesto a esta Absorción durante 24 horas, se procede a secarlo superficialmente. Los datos finales sobre la Absorción se obtienen al medir la variación en la masa seca del agregado. Este proceso nos brinda información precisa sobre cuánta humedad ha sido Absorbida, lo cual es esencial para comprender las características del agregado y ajustar las proporciones en la mezcla de hormigón (Taus, 2003).

Ecuación 4 Absorción

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{M_{ss} - MS}{MS} * 100$$

2.13 Características del Hormigón

2.13.1 Estado Fresco:

A continuación, se presentan algunas de las propiedades fundamentales del hormigón fresco, las cuales determinan su comportamiento y calidad durante el proceso de construcción (Martín-Nieto, 2003):

Trabajabilidad: El hormigón debe ser lo suficientemente trabajable cuando está fresco para que pueda ser compactado, moldeado y colocado con facilidad. El uso de aditivos, la cantidad y el tipo de agregados, así como la cantidad de agua, afectan la trabajabilidad

Segregación y sangrado: Para evitar la segregación, que es la separación de los componentes más pesados y ligeros, y el sangrado, que es la liberación de agua hacia la superficie por la gravedad, el hormigón fresco debe tener una cohesión sólida

Tiempo de fraguado: Se refiere al lapso de tiempo que transcurre entre el estado plástico del hormigón y el estado endurecido. La composición del hormigón y las condiciones ambientales pueden influir en el tiempo de fraguado.

2.13.2 Estado Endurecido:

El comportamiento y la calidad del hormigón en su estado endurecido dependen de varias propiedades, que determinan su capacidad para soportar cargas y resistir factores ambientales como las siguientes (Rosell, Aguado y Dolz, 1987):

1. Resistencia a la compresión: El grado de resistencia del hormigón a las fuerzas de compresión. Para edificios, puentes y represas, que soportan cargas pesadas, esta característica es fundamental

2. Durabilidad: En el estado endurecido, el hormigón debe ser resistente a la abrasión, la erosión, los cambios de temperatura, los ciclos de congelación y descongelación, y la acción química del agua salada y los productos químicos industriales.

3. Permeabilidad: El hormigón endurecido debe tener una permeabilidad controlada para evitar la infiltración de agua y otros líquidos que puedan dañar la estructura o corroer el refuerzo de acero.

4. Retracción: Durante el proceso de endurecimiento, el hormigón experimenta retracción debido a la pérdida de humedad. Es importante controlar la retracción para evitar grietas y deformaciones no deseadas en la estructura.

5. Adherencia: El hormigón endurecido debe tener una buena adherencia con el acero de refuerzo y otros materiales utilizados en la construcción para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura.

2.14 Potencial de Calentamiento Global (GWP) y su relevancia en el Cemento Tipo Fuerte GU con reducción de Huella de Carbono de Holcim

Una medida crucial para medir el impacto de los diversos gases de efecto invernadero en el medio ambiente es el ,GWP, por las siglas en el idioma inglés. En comparación con el dióxido de carbono (CO₂), que se utiliza como referencia con un GWP de 1, esta métrica permite calcular la cantidad de calor que un gas atrapa en la atmósfera durante un período de tiempo determinado; la capacidad de Absorción de calor, el tiempo de permanencia en la atmósfera y el espectro de Absorción del gas se utilizan para calcular el GWP (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2024)

2.14.1 Importancia del GWP en la Evaluación de Materiales

El GWP es fundamental para evaluar la sostenibilidad ambiental de una variedad de procesos y materiales en la producción de cemento. Debido al uso intensivo de energía y a los procesos de calcinación, el cemento y su producción es una de las principales fuentes globales de emisiones de CO₂. Evaluar el GWP relacionado con estos procedimientos ayuda a encontrar métodos para disminuir el impacto ambiental

2.14.2 Beneficios Ambientales del Cemento Tipo Fuerte GU con Huella de Carbono Reducida

Una solución viable para disminuir el impacto ambiental de la producción de cemento es el cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono de Holcim. El uso de este tipo de cemento reduce la necesidad de fabricar cemento tradicional con una huella de carbono más alta, lo que reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (Holcim Ecuador, 2024).

- a. Reducción de Emisiones: La producción de cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono consume menos energía en comparación con la producción de cemento tradicional. Esto se traduce en una menor emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (Holcim Ecuador, 2024)..
- b. Tecnologías de Producción Mejoradas: Holcim ha implementado tecnologías y procesos avanzados que mejoran la eficiencia energética y reducen las emisiones de CO₂ durante la producción del cemento (Holcim Ecuador, 2024).
- c. Comparativa de GWP: Estudios han demostrado que el GWP asociado con la producción de cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono es significativamente menor que el del cemento tradicional. Esto se debe a la reducción de los procesos químicos y energéticos intensivos que generan altas emisiones de gases de efecto invernadero (Holcim Ecuador, 2024).

2.14.3 Desafíos y Consideraciones

Usar cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono ofrece claros beneficios ambientales, existen desafíos económicos y técnicos que deben ser solucionados para maximizar su eficacia (Holcim Ecuador, 2024):

Consistencia del Material: La calidad y las propiedades del cemento con reducción de huella de carbono deben ser consistentemente mantenidas para asegurar su desempeño en aplicaciones de construcción.

Infraestructura de producción: Para garantizar un suministro continuo y de alta calidad de este tipo de cemento, es esencial establecer una infraestructura adecuada para su fabricación y distribución.

2.14.2 Valores Referenciales del GWP del Cemento Tipo Fuerte GU

Para proporcionar una evaluación precisa de (GWP) global warning potential, asociado con la producción de cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono, se utilizaron datos de la base de datos Ecoinvent 3.8 y el software GaBi SP40 2020. La siguiente tabla presenta los valores referenciales del GWP para este tipo de cemento (*Ecoinvent 3.8 y GaBi SP40 2020.*)

Tabla 10

Valores referenciales del Potencial de Calentamiento Global (GWP) para el ABS

FUENTE	GWP (kgCO ₂ -eq/kgABS)
Ecoinvent 3.8	0.8
GaBi SP40 2020	0.7

Fuente: Ecoinvent 3.8 y GaBi SP40 2020.

Estos valores indican que la producción de 1 kilogramo de cemento tipo Fuerte GU con reducción de huella de carbono genera aproximadamente 0.8 kg de CO₂-eq según Ecoinvent 3.8 y 0.7 kg de CO₂-eq según GaBi SP40 2020. La ligera variación entre los valores se debe a diferencias en los métodos de cálculo y los datos utilizados por cada fuente.

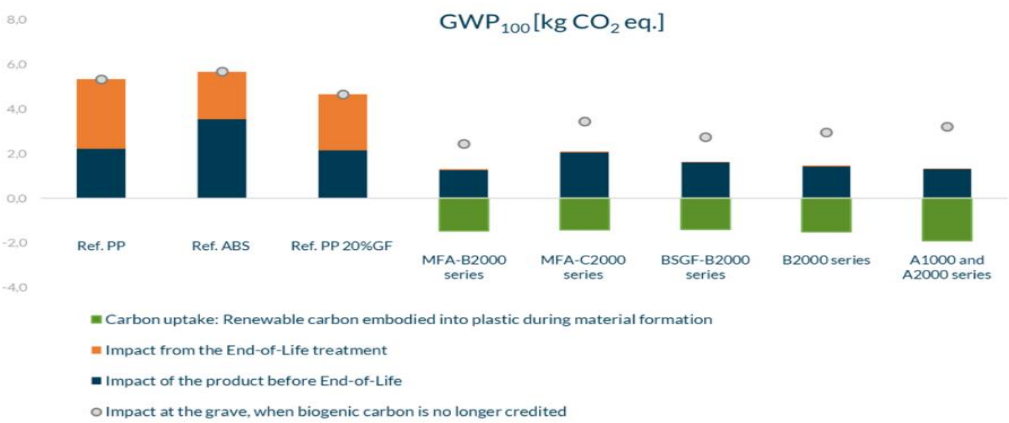


Figura 5 : Valores referenciales del Potencial de Calentamiento Global (GWP) para el cemento

Fuente: adaptado de (ABM Composite, 2024)

En la figura anterior se puede visualizar como para el cemento tipo GU compara el impacto ambiental de diferentes materiales, medido en términos de kilogramos de CO₂ equivalente (kg CO₂ eq.). Cada barra del gráfico desglosa los factores que contribuyen al GWP: la captación de carbono renovable (en verde), el impacto del producto antes de su fase de fin de vida (en azul), el impacto del tratamiento al final de su vida útil (en naranja) y el impacto en la fase final, cuando el carbono biogénico ya no cuenta como crédito (círculo gris). Los materiales de referencia (PP, ABS, PP 20% GF) exhiben mayores emisiones de CO₂, en comparación con alternativas como las series MFA-B2000, MFA-C2000 y BSGF-B2000. Estas alternativas muestran menores valores de GWP, en gran parte gracias a la Absorción de carbono renovable en su composición, destacándose las opciones más sostenibles (ABM Composite, 2024).

En la siguiente muestra, además, los valores referenciales del Potencial de Calentamiento Global (GWP) y otros indicadores de impacto ambiental para el cemento tipo GU en comparación con los valores máximos y promedios de emisiones en distintos materiales de construcción.

Indicator/LCI Metric	AP	EP	GWP	ODP	PCOP	ADPe	ADPf
Unit	kg SO ₂ eq	kg N	kg CO ₂ -Eq	kg CFC-11.	kg O ₃ eq	kg Sbeq	kg Sbeq
Maximum	113	0.118	823	2.81e-05	1.75	0.00212	3480
Mean	87.1	0.0916	627	2.18e-05	1.35	0.0017	2680
GU Cement	75.8	0.08	541	1.89e-05	1.17	0.00141	2320

Figura 6 Valores referenciales GWP

Fuente: Ecoinvent 3.8, 2020

Se puede observar como el cemento tipo GU presenta valores de GWP, AP, EP, ODP, y PCOP inferiores a los valores máximos y promedios de las referencias generales, lo cual indica un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con otros materiales utilizados en el sector de la construcción. Específicamente, el GWP del cemento tipo GU es de 541 kg CO₂-eq, situándose por debajo del promedio (627 kg CO₂-

eq) y del valor máximo (823 kg CO₂-eq). Esto sugiere que el cemento tipo GU es una opción menos intensiva en carbono, lo cual puede ser favorable en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.14.3 Importancia de los Valores del GWP en el Uso de Cemento con balance de Carbono

Para evaluar los beneficios del uso de cemento tipo Fuerte GU con balance de carbono, es crucial comprender estos valores referenciales. En comparación con estos valores de referencia, se puede calcular la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero que se produce al utilizar este cemento en lugar del cemento tradicional (Cárdenas y Sánchez, 2021).

Al disminuir la dependencia de procesos de producción intensivos en carbono y disminuir el balance de carbono asociada con la construcción, la implementación de métodos de producción y uso de cemento con reducción de huella de carbono puede hacer una contribución importante en cuanto a la mitigación del cambio climático. La importancia de promover el uso de cemento tipo Fuerte GU con reducción de la huella de carbono como práctica ambientalmente sostenible se evidencia con estos datos (Cárdenas y Sánchez, 2021).

Las propiedades mecánicas de las muestras de hormigón se ven afectadas por su estado de endurecimiento, especialmente la resistencia a la compresión. Las condiciones ambientales y de humedad que permiten que el concreto se forme y desarrolle sus propiedades físicas y químicas ideales se denomina proceso de curado. La calidad final del hormigón está significativamente influenciada por factores como la temperatura, la humedad relativa y el tiempo de curado. La normativa ASTM e INEN además de prácticas estándar en la industria de la construcción establecen pautas específicas para el curado de probetas de hormigón, incluyendo los tiempos de curado requeridos antes de

realizar los ensayos mecánicos. Estos tiempos suelen ser de 7, 14 y 28 días, ya que representan etapas críticas en la curva de resistencia del concreto.

También es importante utilizar cementos de uso general (GU), ya que el tipo y las características del cemento empleado pueden afectar la velocidad a la cual se produce el proceso de fraguado y la resistencia final del hormigón. La obtención de resistencias adecuadas a la compresión y el proceso de curado dependen, además, de la calidad de los agregados y de la proporción de agua en la mezcla de hormigón (Cárdenas y Sánchez, 2021).

Capítulo 3: Metodología

Esta investigación es de tipo aplicada, descriptiva, exploratoria, experimental y de campo. La investigación aplicada permite explorar el potencial de incorporar plástico ABS reciclado en el hormigón, mientras que el enfoque experimental y de campo facilita la recolección y análisis de datos directamente en el entorno de estudio. La investigación es de tipo descriptiva, ya que busca caracterizar las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón modificado con diferentes porcentajes de plástico ABS reciclado, proporcionando un perfil detallado de sus comportamientos específicos. Además, se considera exploratoria debido a que el uso de ABS reciclado como sustituto parcial de los agregados en el hormigón es un enfoque novedoso en el contexto de la sostenibilidad en la construcción.

Se utiliza además un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo para evaluar tanto los aspectos físicos del hormigón modificado con ABS como los resultados cuantitativos obtenidos en los ensayos realizados

La investigación fue llevada a cabo en la planta de Holcim en Quito. Pichincha, Ecuador, específicamente en la Calle Manuel Zambrano #200 y Av. 10 de agosto. las actividades experimentales se desarrollan entre los meses de mayo y octubre del año 2024.

La población objeto de estudio está conformada por hormigón de alta resistencia de 240 kg/cm², utilizando diversos tipos de agregados adecuados para la fabricación de este tipo de hormigón, mientras que la muestra se compone de hormigón de alta resistencia en el que se reemplaza un porcentaje de 5%, 10% y 15% de agregados con plástico ABS reciclado. Esto permite analizar el impacto de diferentes niveles de sustitución en las propiedades del hormigón. En cuanto al diseño experimental y

procedimiento para el proceso de obtención de hormigón modificado con ABS reciclado sigue una serie de ensayos y pasos detallados a continuación:

3.1 Ensayo de Granulometría de los Agregados:

Se realiza el análisis granulométrico conforme a la norma ASTM C136, asegurando una adecuada distribución de tamaños de partículas para mejorar la compactación y durabilidad.

3.2 Ensayo de Humedad de los Agregados:

Se mide el contenido de humedad en los agregados, ajustando la cantidad de agua añadida para mantener la relación agua/cemento adecuada y lograr la consistencia óptima de la mezcla.

3.3 Dosificación del Plástico ABS Reciclado:

El plástico ABS reciclado es triturado para obtener partículas que sustituyan un porcentaje del agregado. Se establecen niveles de reemplazo del 5%, 10% y 15%, utilizando una densidad de 1050 kg/m³ para asegurar una dosificación precisa.

3.4 Dosificación de la Mezcla de Hormigón:

Se determinan las proporciones de cemento, agua, agregados finos, gruesos y ABS reciclado con el objetivo de lograr una resistencia de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$. Los diferentes porcentajes de plástico permiten evaluar su impacto en la resistencia mecánica del concreto.

3.5 Preparación de la Mezcla y Ensayo de Asentamiento (ASTM C143):

Se evalúa la trabajabilidad de la mezcla a través del ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams, lo cual ayuda a asegurar que la mezcla tenga la fluidez necesaria para un adecuado proceso de colocación.

3.6 Ensayo de Densidad del Hormigón

3.6 Ensayo de Densidad del Hormigón Fresco: (ASTM C138):

Se mide la densidad del hormigón fresco para asegurar una adecuada compactación y ausencia de aire atrapado.

3.7 Vaciado y Compactación en Moldes:

El hormigón se vierte en moldes y se compacta en capas para eliminar el aire atrapado, usando varillas o vibradores para uniformar la densidad.

3.8 Curado de las Probetas:

Las probetas se curan en agua o cámaras húmedas por 1, 3, 7, 14 y 28 días para alcanzar la resistencia deseada en cada nivel de reemplazo.

3.9 Ensayos de Resistencia Mecánica a Compresión (ASTM C39):

Finalmente, se evalúa la resistencia a compresión en diferentes días de curado, permitiendo comparar la influencia de los porcentajes de ABS en el desempeño del hormigón.

El conjunto de materiales y herramientas utilizados en la realización de las pruebas experimentales realizadas en este estudio y que fueron esenciales para la producción, caracterización y ensayo del hormigón modificado con plástico ABS reciclado son:

3.9.1 Agregado Fino: Proveniente de la cantera de Wilson Pérez, ubicada en el sector de San Antonio de Pichincha. Este agregado cumple con estándares de calidad, tal como lo certifica su acreditación ISO 9001:2008.

3.9.2 Agregado Grueso: Consiste en cascajo obtenido de la cantera de Holcim en Pifo, sector Palugo, en la Avenida Interoceánica. Es reconocido por su baja densidad.

3.9.3 Plástico ABS Reciclado: Suministrado por la empresa SURBLOCK, ubicada en Puembo, Pichincha. Este plástico, derivado de desechos electrónicos, es triturado para su uso en la mezcla de hormigón.

3.9.4 Cemento Tipo GU: Utilizado para cumplir con la resistencia de diseño de 240 kg/cm² en el hormigón. Este cemento es parte de la formulación base y se dosifica según las recomendaciones de la normativa ACI 211.

3.9.5 Agua: Empleada en la mezcla para alcanzar la consistencia y trabajabilidad requeridas, ajustada conforme al contenido de humedad de los agregados y en función de la relación agua/cemento.

3.10 Equipo y Herramientas:

3.10.1 Tamices y balanza: Para el ensayo granulométrico y el control de la distribución de tamaño de partículas de los agregados.

3.10.2 Horno: Utilizado en el ensayo de humedad para secar las muestras.

3.10.3 Cono de Abrams: Para medir el asentamiento de la mezcla de hormigón y verificar su trabajabilidad.

3.10.4 Vibrador o varilla: Para la compactación de la mezcla en los moldes.

Finalmente, los datos obtenidos de los ensayos se organizan en tablas e ilustraciones elaboradas mediante el uso de Excel facilitando la visualización, análisis y comparación de resultados en función de los porcentajes de reemplazo y las propiedades mecánicas del hormigón

Capítulo 4: Resultados

4.1 Ensayos para la caracterización de los materiales

4.1.1 Análisis granulométrico en los áridos (ASTM C136)

Este ensayo es utilizado principalmente para medir la granulometría de los materiales que serán utilizados como áridos en el hormigón. Los resultados proporcionan la información necesaria para controlar la producción de diversos productos y permiten verificar si la distribución granulométrica de las partículas cumple con las características requeridas. Una serie de tamices con aberturas ordenadas de mayor a menor se utilizan en el ensayo para separar las partículas de una muestra seca y de masa conocida por tamaño. La distribución del tamaño de las partículas se puede determinar utilizando las masas de las partículas que son mayores que las aberturas de los tamices utilizados, que se expresan como un porcentaje de la masa total (INEN, 2011).

Para la realización de este ensayo, se requiere una balanza que pueda leerse con precisión hasta 0.1 g y que tenga una precisión de 0.1 g o del 0.1% de la carga de ensayo. Otro elemento indispensable para llevar a cabo este ensayo son los tamices, los cuales deben estar equipados con una tela montada sobre marcos diseñados para prevenir la pérdida de material durante el proceso de tamizado (INEN, 2011).

Este ensayo requiere una serie de pasos. El primer paso es secar la muestra hasta que alcance una masa constante a 110°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$). La masa de la muestra de agregado fino debe ser de al menos 300 gramos.

Tabla 11

Tamaños Nominales de muestras

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9.5	1
12.5	2
19	5
25	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: Adaptado de (INEN, 2011)

La anterior tabla muestra los tamaños nominales máximos de los agregados (en milímetros y pulgadas) y la masa mínima de la muestra necesaria para realizar el ensayo de granulometría, según la normativa NTE INEN 696:2011 que será una guía a ser utilizada en el presente estudio.

En el segundo paso, se seleccionan los tamices apropiados y necesarios, ordenándolos de arriba hacia abajo según el tamaño de abertura, y luego se coloca la muestra en el tamiz superior. En el tercer paso, los tamices se agitan de manera manual a aproximadamente 150 veces por minuto o con un agitador mecánico durante un minuto. Es esencial que, al finalizar el tamizado, la cantidad de material retenido en cualquier tamiz no exceda el 1% en masa del material total retenido en ese tamiz (NTE INEN 696, 2011). Se divide la muestra en dos o más porciones para evitar la sobrecarga de material en un tamiz. En el cuarto paso, se utiliza una balanza para medir las masas de cada

aumento de tamaño y se verifica que la masa total del material después del tamizado sea comparable a la masa original de la muestra. La masa de esta muestra no debe variar más del 0.3% de la masa de la muestra seca inicial (INEN, 2011).

4.1.2 Resultados del Agregado Fino

En la siguiente, figura se muestran los resultados del análisis granulométrico del agregado fino procedente de la cantera de Wilson Pérez ubicada en San Antonio de Pichincha.



Holcim Ecuador S.A.

Granulometría de agregado fino KMAT-H00-RC04

Planta:	Pífo		Muestreo fecha:	-----	
Agregado:	Arena Wilson Perez		Ensayo fecha:	16/5/2024	
Fuente:	Planta Quito Norte		Hora:	10:00	
Muestra No:	1		Realizado por:	Mauricio Guillén	
Masa inicial (g):	685,5				
Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	4,9	1	1	99
2,36 mm	No. 8	121,4	18	18	82
1,18 mm	No. 16	131,3	19	38	62
600 µm	No. 30	120,3	18	55	45
300 µm	No. 50	102,8	15	70	30
150 µm	No. 100	67,3	10	80	20
Bandeja		136,0	20	100	0
Masa final (g):	684,0	Módulo de Finura :	2,62		
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				

Figura 7: Resultados granulometría agregado fino cantera Wilson Pérez

Fuente: Documento de trabajo interno HOLCIM (2024).

Un indicador llamado módulo de finura permite la evaluación de la finura o grosor de un determinado material. Esta es la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos. Aunque se puede calcular para cualquier material, es recomendable realizar un cálculo específico del módulo de finura del agregado fino. La figura anterior muestra cómo este agregado se clasifica según su valor.

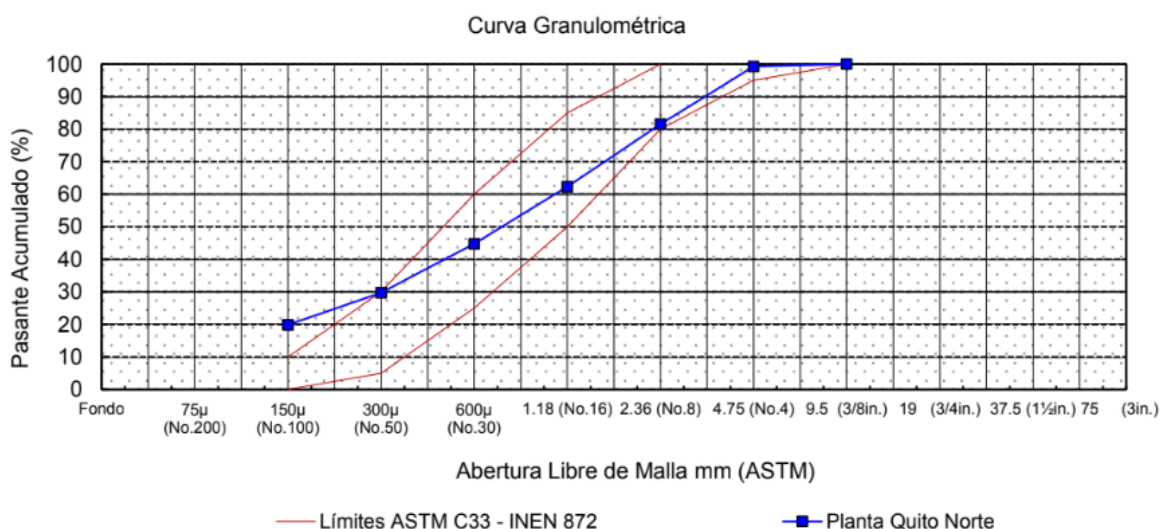


Figura 8 Curva granulométrica agregado fino

Fuente: Documento de trabajo interno HOLCIM (2024).

El módulo de finura de la arena se define por Giraldo Bolívar en 1987 como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 Y 200. El comité de ACI recomienda mantener el módulo de finura de arena entre 2.3 y 3.1 (ACI Committee 211 (211. 3R-02), 2009).

En la ilustración anterior, se puede visualizar como la curva granulométrica asegura que el material se comportará de manera óptima en términos de compactación, resistencia y trabajabilidad, cumpliendo con las características necesarias para su aplicación en mezclas de concreto.

La tabla a continuación muestra la clasificación de los agregados finos en función del valor del módulo de finura, un indicador clave para definir el tamaño relativo de las partículas en los agregados utilizados en la construcción. Este valor permite categorizar los agregados finos en rangos que van desde muy fino o extra fino, hasta muy grueso o extra grueso, según sus propiedades granulométricas. Esta clasificación es fundamental para seleccionar el tipo adecuado de agregado de acuerdo con las exigencias específicas de la mezcla de concreto y sus propiedades deseadas.

Tabla 12

Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura

Módulo de Finura	Agregado Fino
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Adaptado de (Rivera G, 2017)

4.2 Resultados del Agregado Grueso

La siguiente figura muestra un análisis granulométrico de agregado grueso realizado en la planta de Holcim en Pifo, siguiendo la Norma de Ensayo NTE INEN 696. El agregado estudiado es Piedra N° 67 de color rosado, y la prueba fue realizada el 23 de abril de 2024 por el técnico Mauricio Guillén. Este ensayo permite determinar la distribución de tamaños de las partículas en el agregado, un factor fundamental para la calidad y propiedades de la mezcla de concreto en la que se utilizará.



Holcim Ecuador S.A.

Granulometría de Agregado Grueso

KMAT-H00-RC05

Planta:		Pifo		Norma de Ensayo: NTE INEN 696	
Agregado:		Piedra N° 67		Rosado	Fecha de Muestreo: 2024-04-23
Fuente:		BT-40			Fecha de Ensayo: 2024-04-23
Muestra No:		1			Hora: 10:45
Masa inicial (g):		10724			Realizado Por: Mauricio Guillén
Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3½ in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2½ in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	0,0	0	0	100
19 mm	¾ in.	998,0	9	9	91
12.5 mm	½ in.	---	---	---	---
9.5 mm	3/8 in.	5405,0	51	60	40
4,75 mm	No. 4	3567,0	33	93	7
2,36 mm	No. 8	577,0	5	99	1
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		139,0	1	100	0
Masa final (g):		10686,0		Módulo de Finura	6,56
Pérdida ≤0.5%: Ensayo válido					

Figura 9 :Resultados granulometría agregado fino cantera Wilson Pérez

Fuente: Documento de trabajo interno HOLCIM (2024).

Ahora bien, como se puede observar en los resultados detallados del ensayo de granulometría del agregado grueso, incluyendo datos de retención y pasante para tamices de diversos tamaños, medidos tanto en milímetros como en pulgadas (ASTM). La distribución de partículas indica que el mayor porcentaje retenido se encuentra en el tamiz de 9.5 mm (3/8 in), con un 51% de retención parcial, mientras que los tamices de menor tamaño presentan retenciones significativamente menores, lo que refleja una curva granulométrica que se ajusta al tamaño esperado para este tipo de agregado; con un módulo de finura de 6.56 y una pérdida en la bandeja inferior al 0.5%, el agregado cumple con los estándares de validez del ensayo, lo que sugiere que es adecuado para su uso en

mezclas de concreto donde se requiera un tamaño de partícula mayor y una distribución uniforme (INEN, 2011).

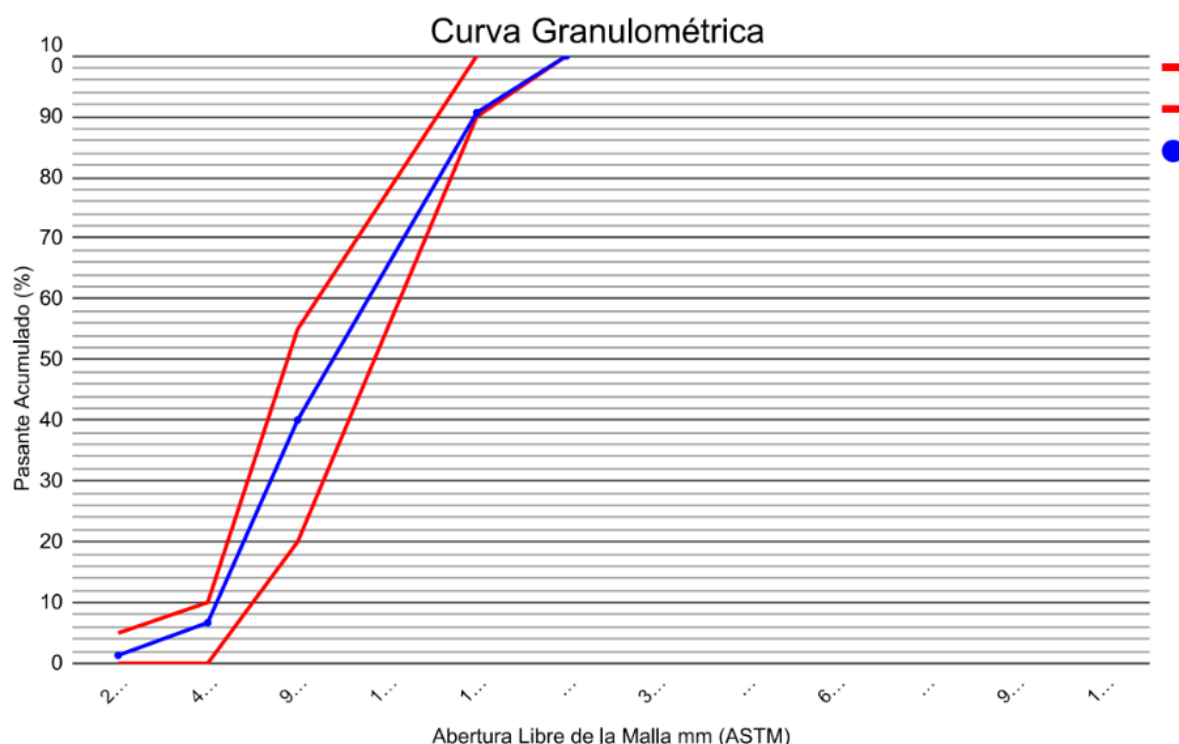


Figura 10 Curva granulométrica agregado grueso

Fuente: Documento de trabajo interno HOLCIM (2024).

En la curva granulométrica, la línea roja representa los límites granulométricos establecidos por la norma, en tanto que, la línea azul muestra los resultados específicos de la muestra ensayada; la proximidad de la línea azul a los límites indica que la muestra cumple con las especificaciones granulométricas requeridas, lo cual es fundamental para garantizar la calidad del agregado y su adecuado comportamiento en el hormigón.

4.3 Resultados del Plástico Reciclado ABS Triturado pasante por Tamiz 200

El objetivo de este ensayo es evaluar la distribución de tamaños de partículas en la muestra analizada, misma que tiene un peso de 1000 gramos, tanto en condiciones

húmedas como secas, lo cual garantiza la precisión en el análisis que se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 13

Resultados granulometría plástico ABS triturado surblock

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN					
(NORMA ASTM D 2487-06)					
PROYECTO	Universidad Internacional SEK			MUESTRA No	1
OBRA	Proyecto de titulación				
UBICACIÓN	Quito			PROFUNDIDA	-
FECHA	17/6/2020			CALCULADO	Samuel Mena
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA				1000	g
PESO DE LA MUESTRA SECA				1000	g
GRANULOMETRÍA					
(NORMA ASTM D 422-63)					
TAMI	PRP	%PRP	P.RETEN	%	%
3"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
No 4	0	0,0	0,0	0,0	100,0
No 8	0	0,0	0,00	0,0	100,0
No 10	0,3	0,0	0,30	0,0	100,0
No 30	0,3	0,0	0,60	0,1	99,9
No 50	1,9	0,2	2,50	0,3	99,8
No	9,7	1,0	12,20	1,2	98,8
No	10,3	1,0	22,50	2,3	97,8
BBan	28,4	2,8	50,9	5,1	94,9
GRAVA			0%		
ARENA			5%		
FINOS			95%		

Fuente: Elaboración Propia

La tabla de datos muestra el porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz, comenzando desde mallas más gruesas (como las de 3 pulgadas) hasta las más finas (No. 200 y bandeja). Los resultados indican que el 94.9% del material pasa por el tamiz más fino (bandeja), lo cual es consistente con la clasificación de la muestra como mayoritariamente compuesta por finos. Esta distribución sugiere que el material es

adecuado para usos que demandan una gran cantidad de partículas finas, asegurando una buena compactación y estabilidad estructural.

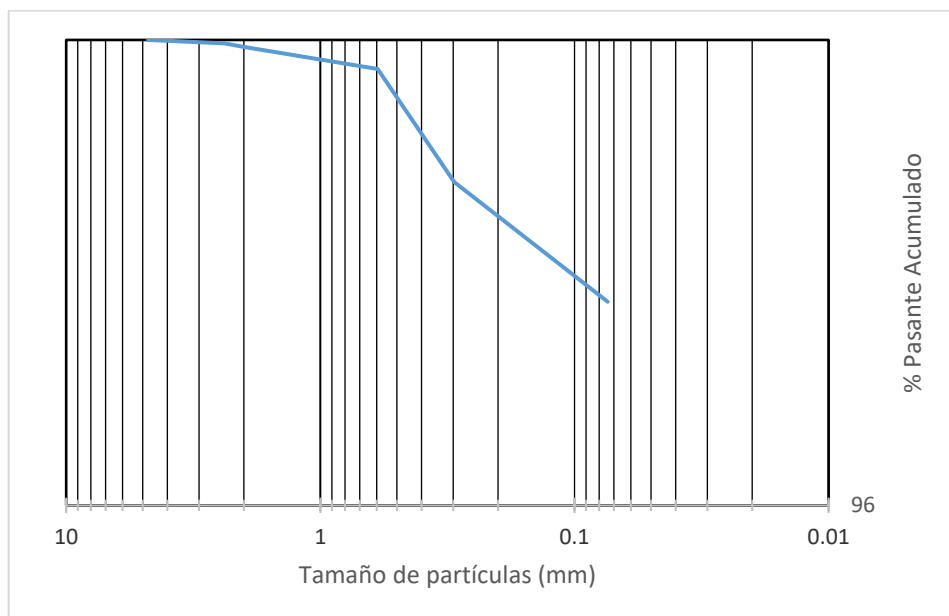


Figura 11 : Curva granulométrica agregado fino

Fuente: elaboración propia

La distribución de las partículas que se puede observar en la curva granulométrica sugiere que el material se encuentra dentro de los rangos esperados para agregado fino, con una adecuada proporción de partículas de diferentes tamaños, lo cual es ideal para la cohesión y la compactación en mezclas de concreto.

4.4 Resultados del Plástico Reciclado ABS Grande Pasante por el Tamiz 4

La Tabla 14 presenta los resultados del ensayo de granulometría ejecutado sobre el plástico ABS reciclado de tamaño grande, suministrado por la empresa Surblock. Este análisis, efectuado según las normas ASTM D 2487-06 y ASTM D 422-63, permite clasificar el material en función de su distribución granulométrica. La caracterización granulométrica es esencial para determinar la proporción de partículas de diferentes

tamaños en la muestra, lo cual impacta directamente en las propiedades mecánicas del concreto modificado.

Tabla 14

Resultados granulometría plástico ABS triturado

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN					
(NORMA ASTM D 2487-06)					
PROYECTO	Universidad Internacional SEK			MUESTRA No	1
OBRA	Proyecto de titulación				
UBICACIÓN	Quito			PROFUNDIDAD	-
FECHA	17/6/2020			CALCULADO POR	Samuel Mena
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA			100	g	
PESO DE LA MUESTRA SECA			100	g	
GRANULOMETRÍA					
(NORMA ASTM D 422-63)					
TAMIZ	PRP	%PRP	P.RETENID	%	% PASA
3"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,2	0,0	0,2	0,0	100,0
No 4	519,2	51,9	519,20	51,9	48,1
No 8	378,49	37,8	897,69	89,8	10,2
No 10	50,5	5,1	948,19	94,8	5,2
No 30	13,8	1,4	961,99	96,2	3,8
No 50	4,3	0,4	966,29	96,6	3,4
No 100	1,9	0,2	968,19	96,8	3,2
Bandeja	1,4	0,1	969,6	97,0	3,0
GRAVA			52%		
ARENA			45%		
FINOS			3%		

Fuente: elaboración propia

El análisis granulométrico del plástico ABS grande muestra una distribución predominante de partículas gruesas, con un 52% clasificado como grava y un 45% como arena. Solo un 3% de la muestra corresponde a partículas finas, lo cual es ventajoso para su uso en concreto, ya que potencia la cohesión de la mezcla sin afectar significativamente la trabajabilidad. La presencia mayoritaria de partículas de tamaño grava y arena sugiere que el ABS grande podría ser un sustituto adecuado para los

agregados tradicionales en aplicaciones que requieren una resistencia estructural adicional; esta composición granulométrica respalda el potencial del ABS reciclado como un material sostenible y funcional en la producción de concreto modificado.

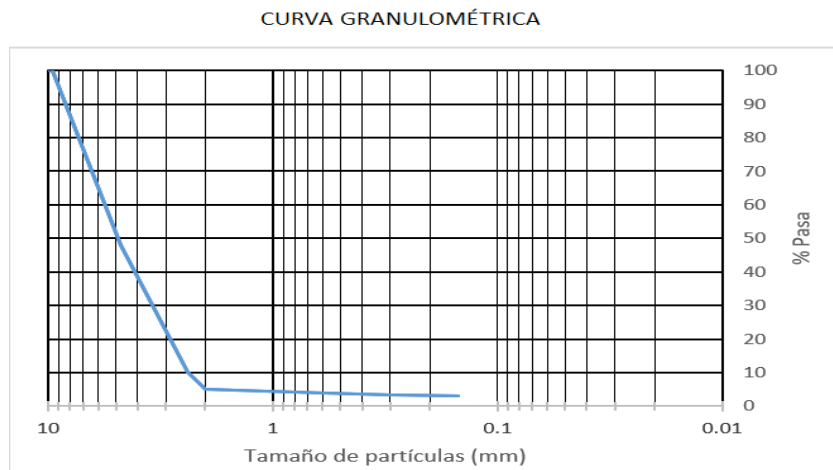


Figura 12 Curva granulométrica agregado fino

Fuente: elaboración propia

La ilustración detalla el porcentaje de partículas que pasa a través de las mallas disminuye rápidamente a medida que el tamaño de partícula se reduce. Esto indica que la muestra contiene principalmente partículas gruesas, con un bajo porcentaje de partículas finas. La pendiente pronunciada al inicio de la curva sugiere una presencia limitada de partículas menores a 1 mm, lo cual es favorable en aplicaciones de concreto donde se busca mejorar la cohesión sin reducir la trabajabilidad. Esta distribución granulométrica implica que el ABS grande puede actuar como un agregado eficaz en mezclas de concreto, aportando estructura sin alterar significativamente la consistencia de la mezcla, además, al tener una distribución granulométrica que se acerca a los valores esperados de un agregado grueso, el ABS grande podría ser un buen sustituto de materiales convencionales, especialmente en aplicaciones que requieren resistencia y durabilidad estructural.

4.4.1 Análisis de los diseños experimentales

En esta sección se detallan cada uno de los diseños experimentales realizados, ya sea con agregados pétreos únicamente como las mezclas de hormigón realizadas con agregado de plástico ABS, en el Anexo 1, se incluyen las ilustraciones correspondientes a los ensayos de las distintas pruebas de mezcla y resistencia del concreto, realizadas in situ para evaluar la incorporación de plástico reciclado ABS en diversas proporciones. En el Anexo 1 literal A se ilustran la Prueba II, en literal B, se presentan los ensayos correspondientes a la Prueba III, en el literal C, se muestra la Prueba IV y finalmente, el literal D detalla los resultados de la Prueba I con un 5% de adición de plástico ABS.

4.5 Diseño Piloto I

4.5.1 Determinación el Contenido Total de Humedad (NTE INEN 862-2011)

De acuerdo con la norma NTE INEN 862, 2011, se establece un procedimiento para medir el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de áridos, considerando tanto la humedad superficial como la contenida en los poros del material. Para realizar este ensayo, se toma una muestra con una masa normalizada en su estado natural, y se seca en un horno hasta eliminar toda la humedad, tanto superficial como interna. La cantidad de agua evaporada se expresa como un porcentaje en relación con la masa seca del árido, lo que define su contenido de humedad (INEN, 2011).

Para realizar este ensayo se necesita una balanza precisa, que tenga una sensibilidad del 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de su rango de operación, demás, se requiere una fuente de calor, como un horno ventilado, capaz de mantener una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (NTE INEN 862, 2011).

4.5.2 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados

En la siguiente figura se presentan imágenes de los materiales empleados en el estudio, específicamente el agregado fino y el agregado grueso en estado seco, listos para su uso en las mezclas de concreto.



Figura 13 Agregado fino y grueso secos de la prueba I

Fuente: elaboración propia

En esta ilustración se visualiza la preparación cuidadosa de los materiales, asegurando que se encuentren en las condiciones adecuadas para el ensayo; en la imagen etiquetada con la letra A, se observa el agregado fino en una balanza digital, mostrando un peso de 1449.7 gramos, este material se caracteriza por su textura arenosa y granos de menor tamaño, adecuados para contribuir a la cohesión de la mezcla; y en la imagen etiquetada con la letra B, se observa el agregado grueso, también colocado en una balanza digital, con un peso de 1452.1 gramos, este material está compuesto por partículas de mayor tamaño, y es utilizado para aportar resistencia estructural y estabilidad al concreto.

A continuación, se detalla el ensayo de humedad de los agregados fino y grueso que serán utilizados en la mezcla de concreto de diseño piloto 1, del cual se proporcionan también los detalles de dosificación que serán explicados posteriormente, la humedad de los agregados se calculó siguiendo el proceso estándar de medición de pesos antes y después del secado, proporcionando información clave para los ajustes en la dosificación de agua.

Tabla 15

Registro del diseño Piloto 1 y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN			
PRUEBA N°=	DISEÑO PILOTO I		
DISEÑO=	240 kg/cm ²	=	23.54 Mpa
FECHA=	12/06/2024		
PERSONA ENCARGADA	SAMUEL MENA		
DOSIFICACION			
DISEÑO PILOTO		DISEÑO PILOTO	
RECETA PARA 8 CILINDROS		RECETA PARA M3	
CEMENTO=	6.03 Kg	M ³ NATU	402.00
AGREGADO FINO=	9.10 Kg	PORC	18%
AGREGADO GRUESO=	15.33 Kg	DENSIDAD	2235.00
AGUA=	3.08 Lt		
PARAMEZCLA			
HUMEDADES			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
W1=	905.90 g	W1=	953.00 g
W2=	1455.80 g	W2=	1453.00 g
W3=	1449.70 g	W3=	1452.10 g
W=	1.11 %	W=	0.18 %
DONDE:		PESO DEL RECIPIENTE	
		PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	
		PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	
		HUMEDAD	

Fuente: elaboración propia

Los pesos registrados en el proceso, como el peso del recipiente vacío (W1), el peso del recipiente o contenedor con la muestra húmeda (W2), y el peso con la muestra seca (W3), permitieron calcular de manera precisa los porcentajes de humedad utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 5 : Humedad

$$W = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)}$$

En donde:

W₁ = peso de recipiente vacío

W₂ = peso del recipiente con el agregado húmedo

W₃ = Peso del recipiente con el agregado seco, después del secado al horno

W = Porcentaje de contenido de humedad

De acuerdo a los resultados, el contenido de humedad para el agregado fino es de 1.11%, mientras que para el agregado grueso es de 0.18%; estos valores indican que el agregado fino tiene un mayor contenido de agua en comparación con el agregado grueso,

lo cual es común en este tipo de materiales debido a su mayor área superficial, que facilita la retención de agua. Este dato es relevante para la dosificación, ya que la mayor humedad en el agregado fino requiere un ajuste en la cantidad de agua adicional para no causar efectos negativos en la relación agua-cemento de la mezcla.

4.6 Dosificación

4.6.1 Importancia de la Dosificación

La dosificación precisa en la elaboración del hormigón es crucial para asegurar sus propiedades mecánicas y durabilidad. Una dosificación correcta garantiza la resistencia estructural, la trabajabilidad durante el vertido, y la resistencia a factores ambientales. Una mezcla bien proporcionada mejora la cohesión del hormigón, reduciendo el riesgo de segregación y exudación (Torres, 2019). Además, Pin, 2023, destaca que una adecuada dosificación optimiza el uso de materiales, fortaleciendo la sostenibilidad y economía del proyecto. Por tanto, controlar la dosificación es esencial para mantener los estándares de calidad y seguridad en la construcción de estructuras de hormigón.

4.6.2 Dosificación Bajo La Normativa ACI 211

Datos Generales

1. **Tipo de Construcción:** Columnas
2. **Resistencia del Concreto:** 240 kg/cm²
3. **Peso Específico del Agua:** 0.001 kg/cm³

Datos del Cemento

- **Tipo:** Holcim Fuerte - Tipo GU
 - **Objetivo:** Identificar el tipo de cemento utilizado para asegurar que cumple con las especificaciones del proyecto.
 - **Dato General:** Cemento Portland Tipo GU.

- **Peso por Bolsa de Cemento:** 50 kg
 - **Objetivo:** Determinar la proporción de cemento en cada bolsa para el cálculo preciso de la mezcla.
 - **Dato General:** 50 kg por bolsa.
- **Peso Específico del Cemento:** 3.1 g/cm³
 - **Objetivo:** Conocer la densidad del cemento para calcular las proporciones adecuadas de la mezcla.
 - **Dato General:** 3.1 g/cm³.
- **Aire Incorporado:** No
 - **Objetivo:** Indicar si se ha incorporado aire en el cemento para ajustar las cantidades de elementos en la mezcla y asegurar la durabilidad del concreto.
 - **Dato General:** No se incorpora aire.

4.6.8 Datos del Agregado

Agregado Fino

- **Peso Unitario Suelto Seco:** 1681.1 kg/m³
 - **Objetivo:** Conocer la densidad del agregado fino en estado suelto y seco para ajustar las proporciones en la mezcla.
 - **Dato General:** 1681.1 kg/m³.
- **Peso Unitario Compactado Seco:** 1903.3 kg/m³
 - **Objetivo:** Determinar la densidad del agregado fino en estado compactado y seco para una mezcla precisa.
 - **Dato General:** 1903.3 kg/m³.
- **Peso Específico del Agregado:** 2.51 g/cm³
 - **Objetivo:** Conocer la densidad real del agregado fino para los cálculos de mezcla.

- **Dato General:** 2.51 g/cm³.
- **Porcentaje de Absorción:** 5.3%
 - **Objetivo:** Determinar la capacidad del agregado fino para ABSorber agua, que influye en la relación agua-cemento.
 - **Dato General:** 5.3%.
- **Contenido de Humedad:** 1.11%
 - **Objetivo:** Evaluar el contenido de humedad actual del agregado fino para ajustar la cantidad de agua en la mezcla.
- **Módulo de Fineza:** 2.62
 - **Objetivo:** Determinar la granulometría del agregado fino, importante para la trabajabilidad y resistencia del concreto.
 - **Dato General:** 2.62.

Agregado Grueso

- **Peso Unitario Suelto Seco:** 1292.46 kg/m³
 - **Objetivo:** Conocer la densidad del agregado grueso en estado suelto y seco para ajustar las proporciones en la mezcla.
 - **Dato General:** 1292.46 kg/m³.
- **Peso Unitario Compactado Seco:** 1429.46 kg/m³
 - **Objetivo:** Determinar la densidad del agregado grueso en estado compactado y seco para una mezcla precisa.
 - **Dato General:** 1429.46 kg/m³.
- **Peso Específico del Agregado:** 2.53 g/cm³
 - **Objetivo:** Conocer la densidad real del agregado grueso para los cálculos de mezcla.
 - **Dato General:** 2.53 g/cm³.
- **Porcentaje de Absorción:** 3.84%

- **Objetivo:** Determinar la capacidad del agregado grueso para ABSorber agua, que influye en la relación agua-cemento.
- **Dato General:** 3.84%.
- **Contenido de Humedad:** 0.18%
 - **Objetivo:** Evaluar el contenido de humedad actual del agregado grueso para ajustar la cantidad de agua en la mezcla.
- **Tamaño Máximo Nominal:** 3/4"
 - **Objetivo:** Determinar el tamaño máximo del agregado grueso para asegurar una mezcla adecuada y evitar segregación.
 - **Dato General:** 3/4".

4.6.3 Objetivos y Explicación de cada concepto en el Análisis de Dosificación

1. Peso Específico del Agua:

- **Objetivo:** Determinar la densidad del agua utilizada en la mezcla para calcular la relación agua-cemento.
- **Dato General:** 0.001 kg/cm³.

2. Relación Agua/Cemento:

- **Objetivo:** Determinar la cantidad de agua necesaria en relación al cemento para alcanzar la resistencia requerida del concreto.

Ecuación 6 : Relación agua cemento

$$Relacion\ Agua/Cemento = \frac{peso\ del\ agua}{peso\ del\ cemento}$$

3. Volumen Unitario de Agua:

- **Objetivo:** Determinar la cantidad de agua necesaria para la mezcla en función del asentamiento y tamaño del agregado.

4. Contenido de Agregado Fino:

- **Objetivo:** Determinar el volumen que ocupa el agregado fino en la mezcla y calcular su peso.

4.6.4 Corrección por Absorción y Contenido de Humedad

- **Objetivo:** Ajustar la cantidad de agua en la mezcla basada en la Absorción y el contenido de humedad del agregado

Ecuación 7 Corrección por Absorción

$$\text{Agua de absorción} = \text{Peso del agregado} * \frac{\text{porcentaje de absorción}}{100}$$

$$\text{Agua de humedad} = \text{Peso del agregado} * \frac{\text{contenido de humedad}}{100}$$

$$\text{Ajuste de agua} = \text{Agua de humedad} - \text{Agua de absorción}$$

4.6.5 Conceptos Utilizados en el diseño Bajo la Norma ACI 211

En la siguiente tabla se representan los valores de resistencia a compresión especificada y la resistencia a compresión media que se requiere para diferentes rangos de resistencia del concreto, expresados en kg/cm². Este parámetro es imprescindible al momento de considerar el diseño y control de calidad de mezclas de concreto, ya que permite establecer el nivel de resistencia mínima que el concreto debe alcanzar para cumplir con los requisitos estructurales. Los valores varían en función del rango de resistencia especificada, de tal manera que se garantice un margen de seguridad adecuado en estructuras de alta resistencia según la normativa ACI 211 (López, 2020).

Tabla 16

Resistencia a compresión media requerida

Resistencia a compresión especificada, f' _c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	f' _c +70

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
210 a 350	f'_c+84
Más de 350	$1.10 \cdot f'_c+50$

Fuente: López, 2020

La tabla 17, muestra los rangos de asentamiento recomendados para diferentes tipos de consistencia del concreto. Estos valores son fundamentales en la dosificación y manipulación de mezclas, ya que el asentamiento indica el grado de trabajabilidad o fluidez del concreto fresco; la consistencia seca, con un asentamiento entre 0 y 2, es adecuada para mezclas de baja trabajabilidad, utilizadas en aplicaciones que requieren un concreto más rígido y poco deformable; la consistencia plástica, con un asentamiento de entre 3 y 4, es común en construcciones generales, ya que permite una buena trabajabilidad sin que el concreto pierda estabilidad; por último, la consistencia fluida, con un asentamiento de 5 o más, se recomienda para elementos que necesitan alta fluidez, facilitando el vertido en áreas de difícil acceso y proporcionando una buena capacidad de relleno.

Tabla 17

Asentamientos recomendados para varios tipos de consistencia

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	$\geq 5"$

Fuente: Adaptado de (López, 2020).

La Tabla 18, presenta los valores porcentuales de aire atrapado correspondientes a diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso en mezclas de concreto. Los valores indican que a medida que el tamaño del agregado aumenta, el contenido de aire atrapado disminuye. Este comportamiento se debe a que los agregados de mayor

tamaño generan menos espacios intersticiales, lo que reduce el volumen de aire atrapado en la mezcla.

Tabla 18

Contenido de aire atrapado en función del agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
4"	0.2 %

Fuente: Adaptado de (López, 2020).

La Tabla 19, establece la relación entre el agua y el cemento necesaria para obtener distintas resistencias a la compresión en el concreto a los 28 días, diferenciando entre concreto sin aire y con este incorporado. En el concreto sin aire, a medida que aumenta la resistencia deseada, se reduce la relación agua/cemento, lo que incrementa la densidad y minimiza la porosidad, optimizando la resistencia mecánica; en el concreto con aire incorporado, la relación agua/cemento es en general menor para cada nivel de resistencia en comparación con el concreto sin aire, lo que indica un ajuste para mejorar la durabilidad.

Tabla 19

Relación agua cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DÍAS (f'cr) (kg/cm2)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61

150	0.80	0.71
-----	------	------

Fuente: Adaptado de (López, 2020).

La Tabla 20, presenta el volumen unitario de agua en l/m³ que es necesario para diferentes asentamientos, tamaños de agregado y tipos de concreto, con y sin aire incorporado. A medida que se incrementa el asentamiento, el volumen de agua requerido aumenta, ya que se necesita más agua para lograr una mayor fluidez en la mezcla. Para concreto sin aire incorporado, los valores de agua son más altos en comparación con el concreto con aire incorporado, debido a que el aire en el concreto, mejora su trabajabilidad, reduciendo así la cantidad de agua necesaria. Además, a mayor tamaño de agregado, el volumen de agua disminuye, ya que los agregados grandes reducen la superficie específica que requiere humectación, contribuyendo a una mezcla menos densa.

Tabla 20

Cantidad de Agua requerida

Asentamiento	Agua, en lt/m ³ , para los tamaños máximo nominales de agregados grueso y consistencias indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	120
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	157	147	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	120

Fuente: Adaptado de (López, 2020).

La tabla 21 muestra el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Observamos que a medida que el tamaño máximo del agregado grueso aumenta, el volumen requerido de agregado en la mezcla

también incrementa, lo que permite reducir el contenido de pasta necesaria para cubrir la superficie del agregado. Asimismo, un módulo de fineza del agregado fino más alto, que indica partículas más gruesas, se asocia con un menor volumen de agregado grueso en la mezcla. Esto se debe a que el agregado fino de mayor tamaño contribuye a una mayor densidad y estabilidad en la mezcla, reduciendo la cantidad de agregado grueso requerido para lograr una estructura adecuada en el concreto.

Tabla 21

Volumen Agregado Grueso

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de finura del agregado fino				
	Módulo de Fineza del Agregado Fino				
	2.40	2.60	2.80	3.00	
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44	
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53	
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60	
1"	0.71	0.69	0.67	0.65	
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70	
2"	0.78	0.76	0.74	0.72	
3"	0.81	0.79	0.77	0.75	
6"	0.87	0.85	0.83	0.81	

Fuente: Adaptado de (López, 2020)

4.7 Ensayos Realizados Para El Diseño Piloto I

4.7.1 Asentamiento

La Tabla 22, presenta los ensayos realizados sobre una muestra de concreto, específicamente enfocándose en las propiedades físicas observadas en obra. El asentamiento tomado fue de 8.00 cm, lo cual indica que el concreto posee una consistencia plástica, adecuada para una buena trabajabilidad y fluidez en el proceso de colocación. La temperatura de la muestra se registró en 24.50 °C, una medida importante para controlar el tiempo de fraguado y asegurar que las propiedades del concreto no se vean afectadas por temperaturas excesivas.

Tabla 22

Ensayo de asentamientos de la prueba I

ENSAYOS			
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:	8.00	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :	24.50	°C	
PESO UNITARIO :	2290.04	kg/m ³	
Mm=	2605.00 g	Mm (Masa del molde)	
Mc=	9040.00 g	Mc (Masa del molde con el concreto)	
Vm=	2810.00 m ³	Vm (Volumen del molde)	

Fuente: elaboración propia

El peso unitario del concreto se determinó en 2290.04 kg/m³, un valor que se usa para verificar la densidad y evaluar si la mezcla tiene la cantidad adecuada de materiales y aire incorporado. Para calcular el peso unitario, se registraron las masas de distintos componentes: la masa del molde vacío (Mm) fue de 2605 g, mientras que la masa del molde con el concreto (Mc) fue de 9040 g. El volumen del molde (Vm) se estableció en 2810 cm³. Con estos datos, es posible calcular el peso unitario del concreto, lo que asegura que la mezcla sea uniforme y de calidad, de la siguiente manera:

Ecuación 8 Peso Unitario

$$\gamma = \frac{Mc - Mn}{Vm}$$

En donde

γ = peso unitario

M_m = masa del molde vacío

M_c = masa de molde con material

V_m = volumen del molde

4.7.2 Rotura de Cilindros

La siguiente tabla resume los ensayos de rotura de cilindros de concreto a diferentes edades. Estos ensayos permiten evaluar la resistencia a la compresión del concreto en sus etapas iniciales de endurecimiento, lo cual es crucial para asegurar que el material desarrolla la resistencia esperada según el diseño. Los ensayos se realizaron a 1, 3 y 7 días, registrando el esfuerzo máximo alcanzado en cada caso y el número de cilindros ensayados en cada etapa.

Tabla 23

Ensayos de Rotura de Cilindros de la prueba I

ROTURA CILINDROS				
EDAD	STRESS		UNIDADES	OBSERVACIONES
1	62.50		Kn	SE ENSAYO 1
3	123.50	122.80	Kn	SE ENSAYARON 2
7	150.50	149.70	Kn	SE ENSAYARON 2

Fuente: elaboración propia

De esta manera, la prueba de rotura de cilindros de concreto en diferentes edades indicando el esfuerzo (stress) en kilo newtons (Kn) aplicado en cada etapa de ensayo. A los 1, 3 y 7 días, se realizaron ensayos para evaluar la resistencia del concreto en distintas fases tempranas de curado, el esfuerzo a 1 día alcanzó los 62,50 Kn con un solo cilindro

ensayado, mientras que a los 3 días se alcanzaron valores de 123,50 Kn y 122,80 Kn con dos cilindros probados, a los 7 días, el esfuerzo aumentó a 150,50 Kn y 149,70 Kn, también evaluados en dos cilindros; estos resultados permiten observar el aumento progresivo de la resistencia del concreto con el tiempo, lo cual es sustancial para verificar que el material cumpla con los requisitos de diseño y desempeño estructural en sus primeras etapas de endurecimiento.

4.7.3 Registro De Resistencias

La tabla resume los resultados de la compresión del hormigón en diferentes edades (1, 3 y 7 días) obtenidos a partir de pruebas en cilindros de concreto. Se incluye la medida del estrés en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²) y el área de los cilindros utilizados en cada ensayo, así como el porcentaje de resistencia alcanzado en comparación con la resistencia final esperada.

Tabla 24:

Ensayos de Resistencia de la prueba I

REGISTRO DE RESISTENCIAS									
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA			
1	79.61	0.00	Kg/cm ²	8.01	cm ²	33.17	%	0.00	%
3	157.31	156.42	Kg/cm ²	8.01	cm ²	65.55	%	65.17	%
7	191.70	190.68	Kg/cm ²	8.01	cm ²	79.88	%	79.45	%

Fuente: elaboración propia

El hormigón muestra un incremento progresivo en su resistencia con el paso del tiempo. Al 1 día, la resistencia registrada es de 79,61 Kg/cm², alcanzando aproximadamente el 33,17% de su resistencia esperada, lo cual es común en las primeras etapas de curado. Para el tercer día, la resistencia aumenta considerablemente a 157,31 Kg/cm², lo que representa el 65,55% de la resistencia total, indicando un desarrollo acelerado. Finalmente, a los 7 días, la resistencia llega a 191,70 Kg/cm², alcanzando el 79,88% de su capacidad proyectada.

4.7.4 Curva de resistencia del hormigón ensayado

La figura a continuación, muestra la curva de resistencia del hormigón a una resistencia de diseño de 23.5 MPa (kg/cm²) a lo largo de un periodo de curado de 7 días. Este gráfico permite visualizar cómo la resistencia a compresión del hormigón incrementa con el tiempo, un aspecto fundamental en la evaluación de su desarrollo de resistencia en las primeras etapas.

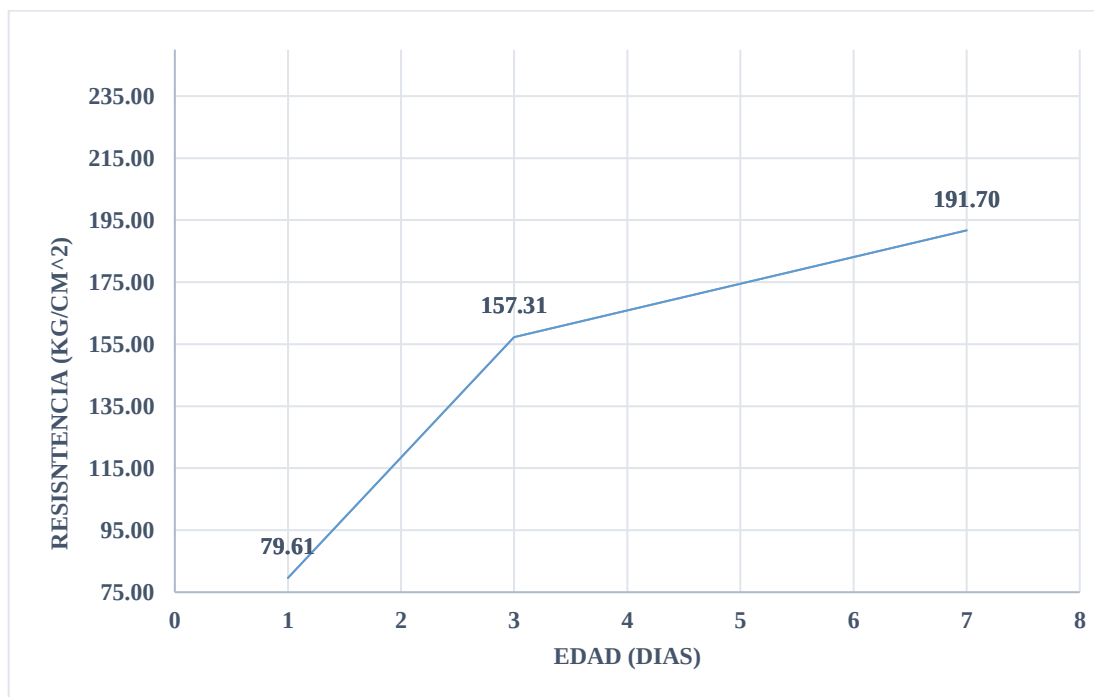


Figura 14 Curva de Resistencia del Hormigón prueba 1 23.5 MPa (kg/cm²)

Fuente: elaboración propia

En la figura se puede observar un crecimiento de la resistencia a medida que avanza el tiempo de curado. Al primer día, la resistencia registrada es de 79.61 kg/cm², lo cual representa aproximadamente un 33% de la resistencia esperada. En el tercer día, la resistencia aumenta significativamente a 157.31 kg/cm², alcanzando el 65.5% de la resistencia total. Finalmente, para el séptimo día, la resistencia se eleva a 191.70 kg/cm², lo cual equivale a casi el 80% de la resistencia especificada para el diseño. Estos datos confirman que el hormigón continúa desarrollando su resistencia a lo largo de los días.

iniciales, acercándose gradualmente al objetivo de diseño, y subraya la importancia del adecuado periodo de curado para garantizar el rendimiento óptimo del material en la estructura final.

4.7.5 Curva De Porcentajes De Resistencia Del Hormigón Ensayado

La grafica presenta la curva de porcentajes de resistencia del hormigón ensayado para la resistencia de diseño de 23.5 MPa, mostrando el desarrollo de esta característica en relación con el tiempo durante los primeros días de curado.

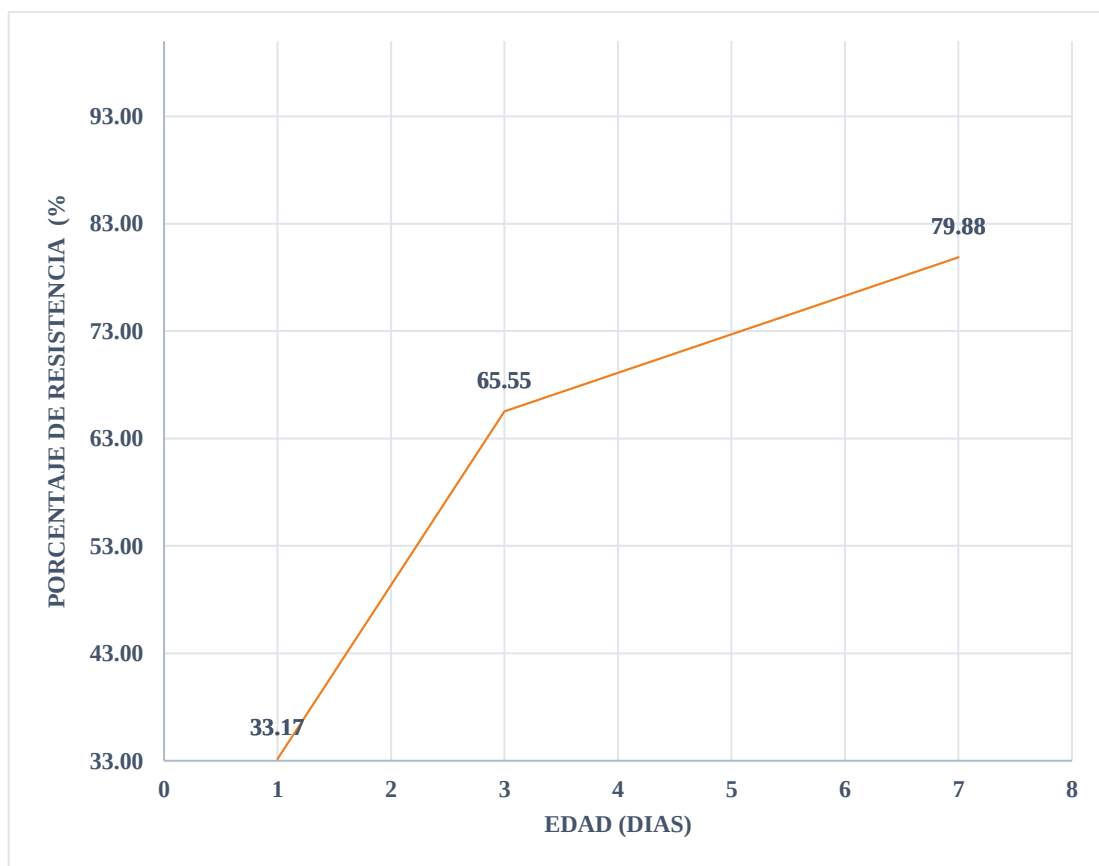


Figura 15 Curva De Resistencia del Hormigón prueba 1 23.5 MPA (kg/cm²)

Fuente: elaboración propia

En la curva de porcentajes de resistencia del hormigón, se observa un incremento progresivo en los valores de resistencia en función de la edad del concreto. Al primer día,

el hormigón alcanza un 33.17% de su resistencia total, reflejando un desarrollo inicial moderado. Para el tercer día, la resistencia aumenta significativamente, alcanzando un 66.85% de la resistencia final, lo cual es indicativo de un rápido avance en su capacidad estructural. Finalmente, al séptimo día, el hormigón logra un 79.88% de la resistencia esperada, lo que sugiere que ha alcanzado una parte considerable de su resistencia proyectada en una etapa temprana.

4.7.6 Observaciones y Recomendaciones para el Diseño Piloto 1

4.7.6.1 Observaciones

1. Se registró un incremento de 1 litro de agua en la mezcla de concreto.
2. En este diseño, se trabajó con un asentamiento plástico, que oscila entre 7 y 10 cm. Aunque cumple con los requisitos mínimos de asentamiento, el concreto resultante no presentó la trabajabilidad óptima para su uso.
3. La trabajabilidad del concreto fue limitada, mostrándose rígida, debido a la elevada proporción de agregado grueso en la mezcla. Por esta razón, se procedió a descartar la prueba.
4. Dado que los cilindros presentaron ratoneras (vacíos o espacios no deseados), se realizaron ensayos de resistencia únicamente hasta los 7 días, descartando los ensayos previstos para los 28 días.
5. Cabe mencionar que, en el diseño planteado para 8 cilindros, la cantidad de mezcla resultó insuficiente, faltando aproximadamente 1 litro de concreto para completar la totalidad de los cilindros.

4.7.6.2 Recomendaciones

1. Ajustar el diseño para optimizar la cantidad y el volumen del agregado grueso, para optimizar la trabajabilidad del concreto.

2. Modificar el tipo de asentamiento asumido, optando por un asentamiento fluido superior a 5 pulgadas, lo cual favorecería una mejor consistencia y manejo de la mezcla.

4.8 Diseño Piloto II

4.8.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados

La siguiente figura ilustra el pesaje de los recipientes y los agregados, tanto fino como grueso, secos. Este procedimiento es esencial para obtener datos precisos sobre el peso de agregado utilizado en la mezcla de concreto, garantizando la dosificación correcta y la uniformidad en la composición de los materiales.

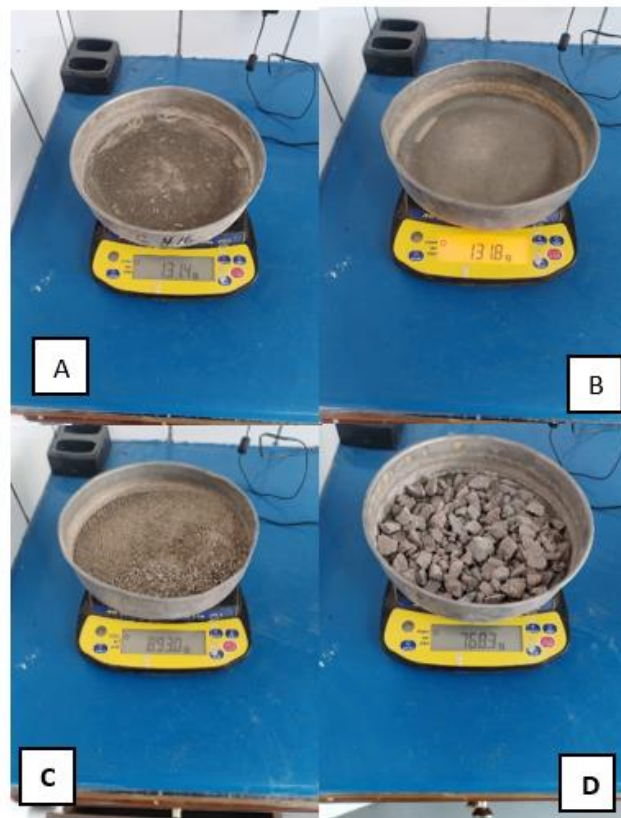


Figura 16 Recipientes y agregados fino y grueso secos de la prueba 2

Fuente: elaboración propia

En la figura, los literales A y B son destinados al pesaje de los recipientes de los agregados fino y grueso. Estas mediciones iniciales son necesarias para determinar con precisión el peso neto de cada tipo de agregado al realizar la resta con el peso total. En la imagen C, se observa el agregado fino en su estado seco, alcanzando un peso total de 8930 g, incluyendo el recipiente, lo que permitirá calcular el peso exacto del agregado

fino. De manera similar, en la imagen D, el agregado grueso seco dentro de su recipiente muestra un peso de 7683 g. Estas mediciones son cruciales para obtener datos precisos sobre la cantidad de agregados utilizados en la mezcla de concreto, garantizando una dosificación adecuada y ajustando la relación agua-agregado según el contenido de humedad registrado.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de humedad para los agregados fino y grueso que serán empleados en la mezcla de concreto del diseño piloto 2. También se incluyen los detalles de dosificación, los cuales se explicarán más adelante. La humedad de los agregados fue determinada utilizando el procedimiento estándar de medición de pesos antes y después del secado, lo cual proporciona datos esenciales para realizar, según sea necesario, en la cantidad de agua de la dosificación prevista.

Tabla 25

Registro del diseño Piloto 2 y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN				
PRUEBA N°=		DISEÑO PILOTO II		
DISEÑO=		240 kg/cm^2	=	23.54 Mpa
FECHA=		24/06/2024		
PERSONA ENCARG/		SAMUEL MENA		
DOSIFICACION				
DISEÑO PRUEBA II				
RECETA PARA 8 CILINDROS				
CEMENTO=	6.77	Kg	PARA MEZCLA	
AGREGADO FINO=	12.80	Kg		
AGREGADO GRUESO=	12.48	Kg		
AGUA=	3.46	Lt		
DISEÑO PRUEBA II				
M^3 NA	POR	DENSIDA	RECETA PARA M3	
451.33	20%	2367.07		
853.33	38%			
832.00	37%			
230.40	10%			
HUMEDADES				
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		DONDE:
W1=	131.80 g	W1=	131.40 g	PESO DEL RECIPIENTE
W2=	893.00 g	W2=	771.40 g	PESO DEL RECIPIENTE + MU
W3=	881.30 g	W3=	768.30 g	PESO DEL RECIPIENTE + MU
W=	1.54 %	W=	0.48 %	HUMEDAD

Fuente: elaboración propia

En la tabla se proporciona la información clave sobre la dosificación y los resultados de humedad para el Diseño Piloto II de una mezcla de concreto, con el objetivo

de alcanzar una resistencia de 240 kg/cm² (equivalente a 23,54 MPa). La receta para la elaboración de 8 cilindros de concreto incluye cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. En este diseño, se observa que el cemento representa el 20% de la mezcla, el agregado fino el 38%, el agregado grueso el 37%, y el agua el 10%. La proporción más alta de agregado fino en comparación con el agregado grueso puede incidir en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla.

El ensayo de humedad de los agregados se realizó de acuerdo con el procedimiento estándar de pesaje antes y después del secado. Los resultados obtenidos indican que el agregado fino tiene un contenido de humedad correspondiente al 1,54%, mientras que el agregado grueso tiene un contenido de humedad del 0,48%. Estos valores son cruciales para ajustar el agua incluida en la mezcla, ya que el agua adicional contenida en los agregados afecta directamente la relación agua/cemento, un factor esencial al momento de garantizar la resistencia y durabilidad del concreto.

4.8.2 Ensayos realizados para el Diseño Piloto II

4.8.2.1 Asentamiento

La tabla a continuación contiene los resultados de los ensayos correspondientes al Diseño Piloto II, los parámetros evaluados incluyen el asentamiento, la temperatura ambiente durante el ensayo, y el peso del concreto.

Tabla 26

Ensayo de asentamientos de la prueba 2

ENSAYOS			
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:		23.00	CM
TEMPERATURA :		24.60	C°
PESO UNITARIO :		2291.81	kg/m ³
Mm=	2600.00 g	Mm (Masa del molde)	
Mc=	9040.00 g	Mc (Masa del molde con el concreto)	
Vm=	2810.00 m ³	Vm (Volumen del molde)	

Fuente: elaboración propia

En los resultados presentados, el asentamiento obtenido en obra es de 23,00 cm, lo cual cumple con el diseño previsto y refleja una consistencia muy fluida en el concreto, facilitando su trabajabilidad y colocación en áreas de difícil acceso. La temperatura de la muestra durante el ensayo fue de 24,60 °C, un valor que se encuentra dentro del rango adecuado para evitar el fraguado prematuro y asegurar que las propiedades del concreto no se vean comprometidas por el calor.

El peso unitario registrado es de 2291,81 kg/m³, lo que indica la densidad alcanzada en la mezcla y permite evaluar la proporción de agregados y el contenido de aire. Para el cálculo del peso unitario, se midieron la masa del molde vacío (Mm) de 2600 g y la masa del molde con concreto (Mc) de 9040 g, en un volumen del molde (Vm) de 2810 cm³.

4.8.2.2 Rotura de cilindros

La tabla a continuación presenta los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados en cilindros de concreto a los 3, 7 y 14 días de edad. Estos ensayos son fundamentales para evaluar el desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo, lo que permite verificar si el material cumple con las especificaciones de diseño en sus etapas iniciales de endurecimiento.

Tabla 27

Ensayo de rotura de cilindros de la prueba 2

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
3	52.2	47.1	Kn
7	86.2	85.1	Kn
14	127.2	124.4	Kn

Fuente: elaboración propia

En los resultados obtenidos, se puede observar un incremento progresivo en la resistencia a compresión del concreto conforme avanza el tiempo. A los 3 días, los cilindros presentan una resistencia de 52,2 y 47,1 Kn, valores que indican el inicio del proceso de endurecimiento. Para los 7 días, la resistencia aumenta significativamente a 86,2 y 85,1 Kn, lo que representa un avance en la capacidad de carga del material. Finalmente, a los 14 días, los cilindros alcanzan resistencias de 127,2 y 124,4 Kn, acercándose al valor esperado para el concreto a los 28 días.

4.8.2.3 Registro de Resistencias

La tabla presentada muestra el registro de resistencias a compresión de cilindros de concreto ensayados a diversas edades: 3, 7 y 14 días. Estos datos son cruciales para monitorear el desarrollo de la resistencia del concreto en sus primeras etapas de endurecimiento y garantizar que el material cumpla con las condiciones necesarias para el diseño.

Tabla 28

Ensayos de Resistencia de la prueba 2

REGISTRO DE RESISTENCIAS									
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA			
3	66.49	59.99	Kg/cm^2	8.01	cm^2	27.70	%	25.00	%
7	109.80	108.40	Kg/cm^2	8.01	cm^2	45.75	%	45.17	%
14	162.02	158.46	Kg/cm^2	8.01	cm^2	67.51	%	66.02	%

Fuente: elaboración propia

Los resultados evidencian un aumento sostenido en la resistencia del concreto conforme avanza el tiempo. A los 3 días, los cilindros alcanzan una resistencia de 66,49 y 59,99 Kg/cm², correspondientes a un 27,70% y 25,00% de la resistencia final esperada. Para los 7 días, la resistencia aumenta a 109,80 y 108,40 Kg/cm², equivalentes a un 45,75% y 45,17% del total, lo que refleja un avance significativo en el endurecimiento. Finalmente, a los 14 días, se observa un incremento a 162,02 y 158,46 Kg/cm², correspondientes a un 67,51% y 66,02% de la resistencia deseada.

4.8.2.4 Curva de resistencia del Hormigón ensayado

La siguiente gráfica ilustra cómo aumenta la resistencia a la compresión del concreto a medida que pasa el tiempo, específicamente a los 3, 7 y 14 días de fraguado.

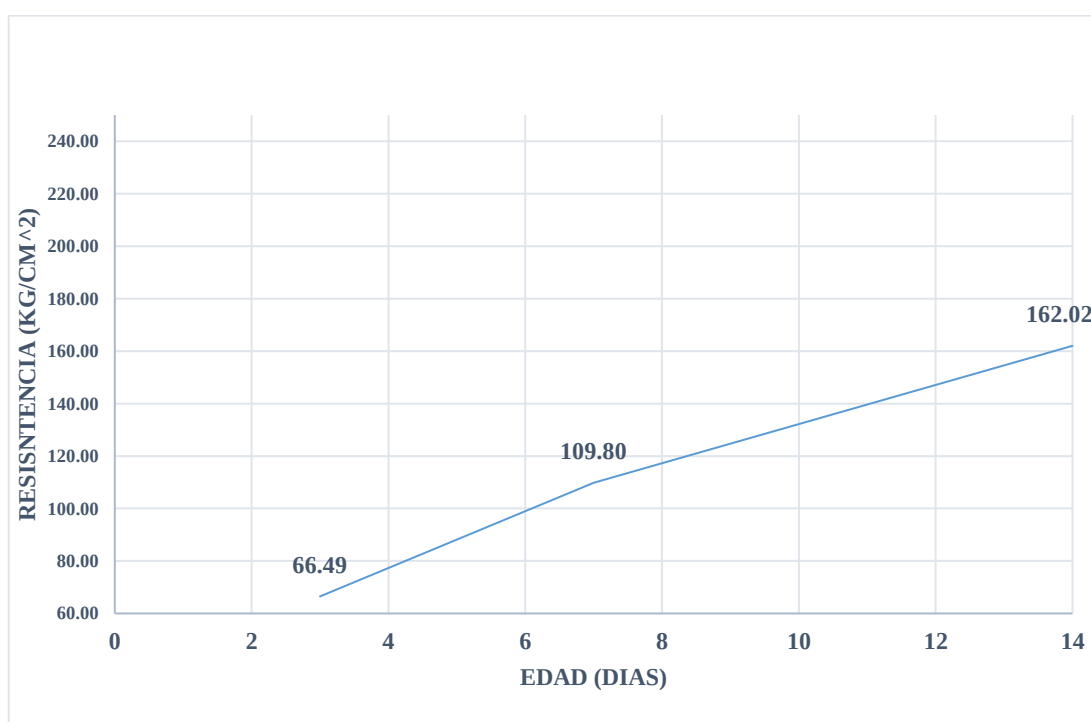


Figura 17 Curva de Resistencia del hormigón prueba 2 23.5 mpa

Fuente: elaboración propia

La gráfica muestra un aumento constante en la resistencia del concreto con el paso del tiempo. A los 3 días, la resistencia alcanzada es de 66,49 kg/cm², lo cual representa

el desarrollo inicial de la capacidad estructural. Para los 7 días, la resistencia incrementa significativamente hasta 109,80 kg/cm², indicando un avance notable en la etapa de curado temprano. Finalmente, a los 14 días, la resistencia llega a 162,02 kg/cm², mostrando una consolidación continua de la estructura del concreto.

4.8.2.5 Curva Porcentajes de resistencia del Hormigón Ensayado

La gráfica muestra la evolución porcentual de la resistencia a compresión del hormigón correspondiente a la prueba 2, con una resistencia de diseño de 23.5 MPa, durante los primeros 14 días de curado. Este análisis permite observar el desarrollo progresivo de la capacidad estructural del hormigón en términos de porcentaje respecto a su resistencia final esperada

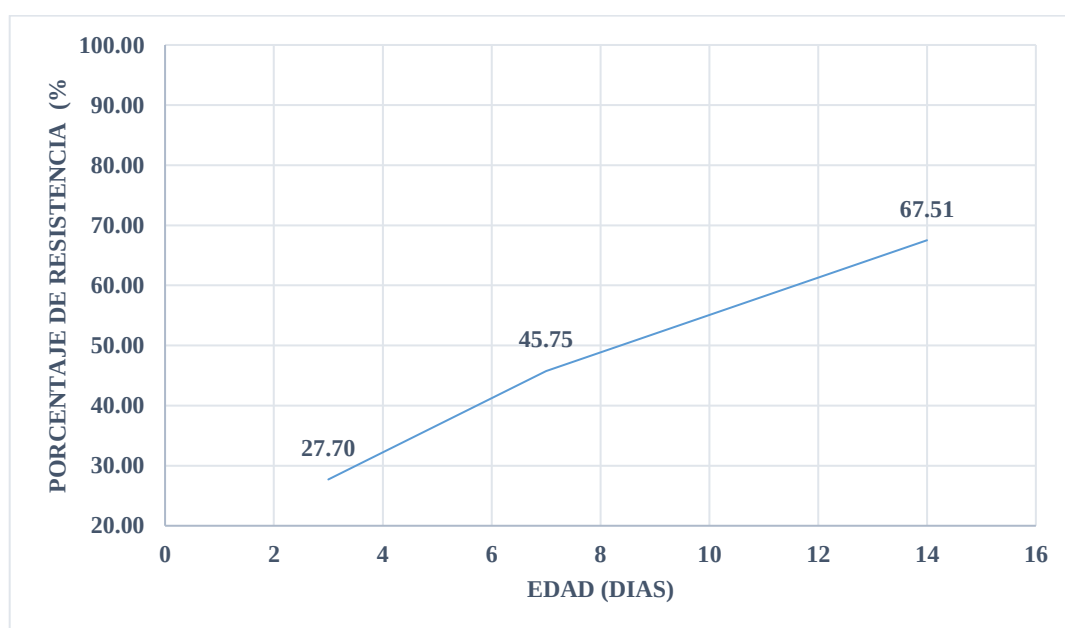


Figura 18 Curva Porcentajes de Resistencia del Hormigón Prueba 2 23.5 Mpa

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de resistencia del hormigón aumenta de manera progresiva con el tiempo. A los 3 días, ya ha alcanzado un 27,70% de su resistencia máxima, indicando un inicio moderado. A los 7 días, este valor incrementa a 45,75%, lo que indica un desarrollo

acelerado de resistencia durante esta etapa. Finalmente, a los 14 días, el hormigón logra un 67,51% de su resistencia proyectada, acercándose a su capacidad óptima. Este comportamiento es característico del proceso de endurecimiento del hormigón, en el que una mayor parte de la resistencia se alcanza en los primeros días, seguido de un aumento gradual hasta los 28 días

4.8 Observaciones y Recomendaciones para el diseño Piloto 2

4.8.1 Observaciones

1. Se registró un incremento de 1 litro de agua en la mezcla.
2. En este diseño se trabajó con un asentamiento elástico, es decir, mayor a 12.7 cm.
3. Se observó que la trabajabilidad del hormigón permaneció rígida debido a la elevada proporción de agregado grueso.
4. El diseño se estableció para una cantidad total de 16 litros, destinada a la producción de 8 cilindros.

4.8.2 Recomendaciones

1. Ajustar el diseño para optimizar la cantidad y el volumen de agregado grueso.
2. Modificar manualmente el diseño para equilibrar la proporción de agregado grueso, compensando con agregado fino y agua, a fin de mejorar la trabajabilidad y la calidad de la mezcla.

4.9 Diseño Prueba III

4.9.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados

La siguiente secuencia de imágenes presenta el proceso de pesaje de los materiales en la fabricación del concreto. La imagen A muestra el agregado fino en su estado seco, mientras que la imagen B corresponde al agregado grueso, también en condiciones secas. Ambos materiales se pesaron con precisión para garantizar una mezcla de concreto de alta calidad.



Figura 19 Recipientes y agregados fino y grueso de la prueba III

Fuente: elaboración propia

En la imagen A, el agregado fino se muestra con un peso registrado de 955.9 gramos. Este material, compuesto por partículas más pequeñas, es esencial para mejorar la cohesión y trabajabilidad del concreto, ayudando a llenar los espacios vacíos entre las partículas de agregado grueso. Por otro lado, en la imagen B, el agregado grueso también tiene un peso de 955.9 gramos y está compuesto de partículas más grandes, lo cual proporciona la resistencia estructural y la estabilidad necesarias en la mezcla.

La tabla a continuación, muestra los datos de identificación y dosificación correspondientes a la Prueba III para una mezcla de concreto con una resistencia de diseño de 240 kg/cm^2 (23,54 MPa). Esta prueba fue realizada el 24 de junio de 2024, bajo la supervisión de Samuel Mena. Se detalla la receta específica para preparar ocho

cilindros de concreto, incluyendo las proporciones de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, así como los valores de humedad medidos en los agregados

Tabla 29

Registro del diseño Piloto 3 y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN			
PRUEBA N°= PRUEBA III			
DISEÑO=	240 kg/cm^2	=	23.54 Mpa
FECHA=	24/06/2024		
PERSONA ENCARG/	SAMUEL MENA		
DOSIFICACION			
DISEÑO PRUEBA III			
RECETA PARA 8 CILINDROS			
CEMENTO=	7.62 Kg	PARA MEZCLA	
AGREGADO FINO=	15.81 Kg		
AGREGADO GRUES	12.65 Kg		
AGUA=	4.89 Lt		

DISEÑO PRUEBA III			
M^3 NA	POR	DENSIDA	RECETA PARA M3
476.47	21%	2560.76	
988.39	44%		
790.40	35%		
305.50	14%		

HUMEDADES					
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		DONDE:	
W1=	955.80 g	W1=	955.80 g	PESO DEL RECIPIENTE	
W2=	1455.80 g	W2=	1455.80 g	PESO DEL RECIPIENTE + MU	
W3=	1445.60 g	W3=	1454.60 g	PESO DEL RECIPIENTE + MU	
W=	2.04 %	W=	0.24 %	HUMEDAD	

Fuente: elaboración propia

Para la dosificación de la Prueba III, el cemento representa el 21% de la mezcla con una densidad de 2560,76 kg/m³, mientras que el agregado fino y el agregado grueso ocupan el 44% y 35% de la mezcla, respectivamente. El agua, que constituye el 14% de la mezcla con una densidad de 305,50 kg/m³, asegura una adecuada trabajabilidad y contribuye a la hidratación del cemento. En cuanto a la característica de humedad, el agregado fino presenta un 2,04%, mientras que el agregado grueso muestra una menor humedad del 0,24%.

4.10 Ensayos Realizados Para La Prueba III

4.10.1 Asentamiento

La tabla que se presenta a continuación contiene los datos obtenidos en los ensayos realizados en obra sobre una mezcla de concreto. Estos ensayos incluyen el

asentamiento, la temperatura ambiente, el peso unitario del concreto y las mediciones específicas de masa y volumen del molde utilizado para evaluar la densidad de la mezcla.

Tabla 30

Ensayo de asentamientos de la prueba III

ENSAYOS				
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:		17.00	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :		19.40	C°	
PESO UNITARIO :		2291.81	kg/m ³	
Mm=	2600.00	g	Mm (Masa del molde)	
Mc=	9040.00	g	Mc (Masa del molde con el concreto)	
Vm=	2810.00	m ³	Vm (Volumen del molde)	

Fuente: elaboración propia

El asentamiento de 17 cm indica una mezcla con buena trabajabilidad, adecuada para aplicaciones que requieren un concreto fluido y fácil de manejar. El peso unitario del concreto registrado es de 2291,81 kg/m³, lo que contribuye a evaluar la densidad y consistencia de la mezcla. La masa del molde vacío (Mm) fue de 2600 g, mientras que la masa del molde con el concreto (Mc) alcanzó los 9040 g, y el volumen del molde (Vm) fue de 2810 cm³. Con esta información, podemos determinar el peso específico del concreto, asegurando así que la mezcla cumple con los estándares de calidad y resistencia requeridos.

4.10.2 Rotura de Cilindros

La tabla presentada a continuación, contiene los resultados de los ensayos de rotura de cilindros de concreto a diferentes edades, específicamente a los 3, 7 y 14 días. Estos ensayos se realizan para evaluar el desarrollo de resistencia a la compresión del concreto en sus primeras etapas de curado, un aspecto fundamental para garantizar que el concreto cumple con los requisitos de diseño y con las expectativas de resistencia estructural en los tiempos establecidos.

Tabla 31

Ensayo de rotura de cilindros de la prueba III

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
3	56.30	55.80	Kn
7	93.30	93.20	Kn
14	132.80	130.70	Kn

Fuente: Elaboración propia

En el ensayo, se registraron incrementos progresivos en la resistencia a la compresión del concreto a medida que aumentaba su edad, a los 3 días, el concreto mostró una resistencia de 56,30 y 55,80 Kn, lo cual es un indicador positivo del desarrollo temprano de la resistencia, a los 7 días, esta resistencia aumentó a 93,30 y 93,20 Kn, y finalmente, a los 14 días, alcanzó valores de 132,80 y 130,70 Kn.

4.10.3 Registro de Resistencias

Los ensayos de resistencia a compresión se realizan para establecer la capacidad de soporte del concreto en sus primeras etapas de endurecimiento, lo cual es esencial para la verificación del cumplimiento de los parámetros de diseño especificados.

Tabla 32

Ensayos de Resistencia de la prueba III

REGISTRO DE RESISTENCIAS								
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA		
3	71.71	71.08	Kg/cm^2	8.01	cm^2	29.88	%	29.61 %
7	118.84	118.71	Kg/cm^2	8.01	cm^2	49.52	%	49.46 %
14	169.16	166.48	Kg/cm^2	8.01	cm^2	70.48	%	69.37 %

Fuente: elaboración propia

A lo largo del periodo de ensayo, se visualiza un incremento gradual en la resistencia del concreto, reflejando su desarrollo y maduración. A los 3 días, el concreto alcanza resistencias de 71,71 y 71,08 Kg/cm², representando aproximadamente el 29,88% y 29,61% de su resistencia total proyectada. A los 7 días, la resistencia se

incrementa a 118,84 y 118,71 Kg/cm², alcanzando el 49,52% y 49,46% de la resistencia esperada. A los 14 días, se logran resistencias de 169,16 y 166,48 Kg/cm², correspondientes al 70,48% y 69,37% de su resistencia máxima.

4.10.4 Curva de Resistencia Del Hormigón Ensayado

La ilustración siguiente presenta la curva de resistencia del hormigón para la prueba III, con una resistencia proyectada de 23.5 MPa. Este gráfico muestra la resistencia a la compresión del hormigón en función de su edad de curado, específicamente a los 3, 7 y 14 días. La resistencia se mide en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), proporcionando la representación visual del desarrollo progresivo de la capacidad estructural del hormigón en sus primeras etapas.

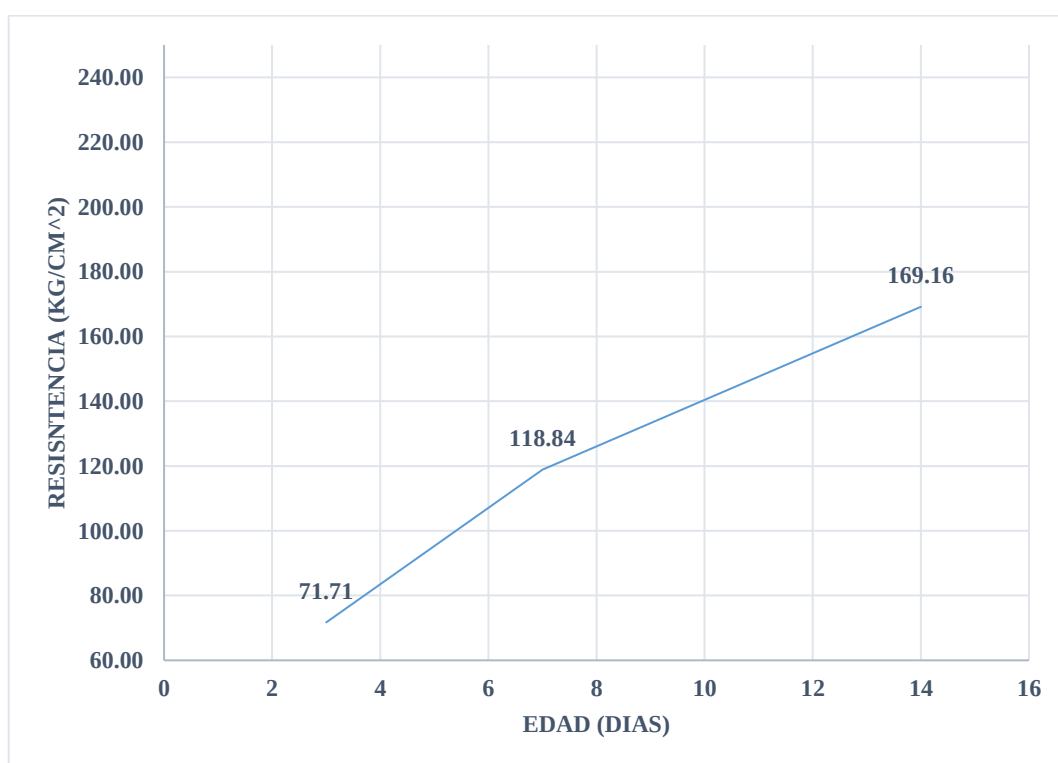


Figura 20 Curva de resistencia del hormigón prueba III 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

En la curva, se detalla un incremento constante de la resistencia a medida que transcurre el tiempo. A los 3 días, el hormigón alcanza una resistencia de 71,71 Kg/cm²,

indicando aproximadamente el 29,88% de la resistencia total esperada. A los 7 días, la resistencia sube a 118,84 Kg/cm², alcanzando cerca del 49,52% de la capacidad máxima proyectada. Finalmente, a los 14 días, el hormigón registra una resistencia de 169,16 Kg/cm², lo que representa alrededor del 70,48% de su resistencia proyectada.

4.10.5 Curva Porcentajes de Resistencia del Hormigón Ensayado

La ilustración muestra la curva de porcentajes de resistencia del hormigón para la prueba III, correspondiente a una resistencia de diseño de 23.5 MPa. En este gráfico se observa cómo la resistencia del hormigón evoluciona en términos porcentuales a lo largo de su periodo de curado, específicamente a los 3, 7 y 14 días.

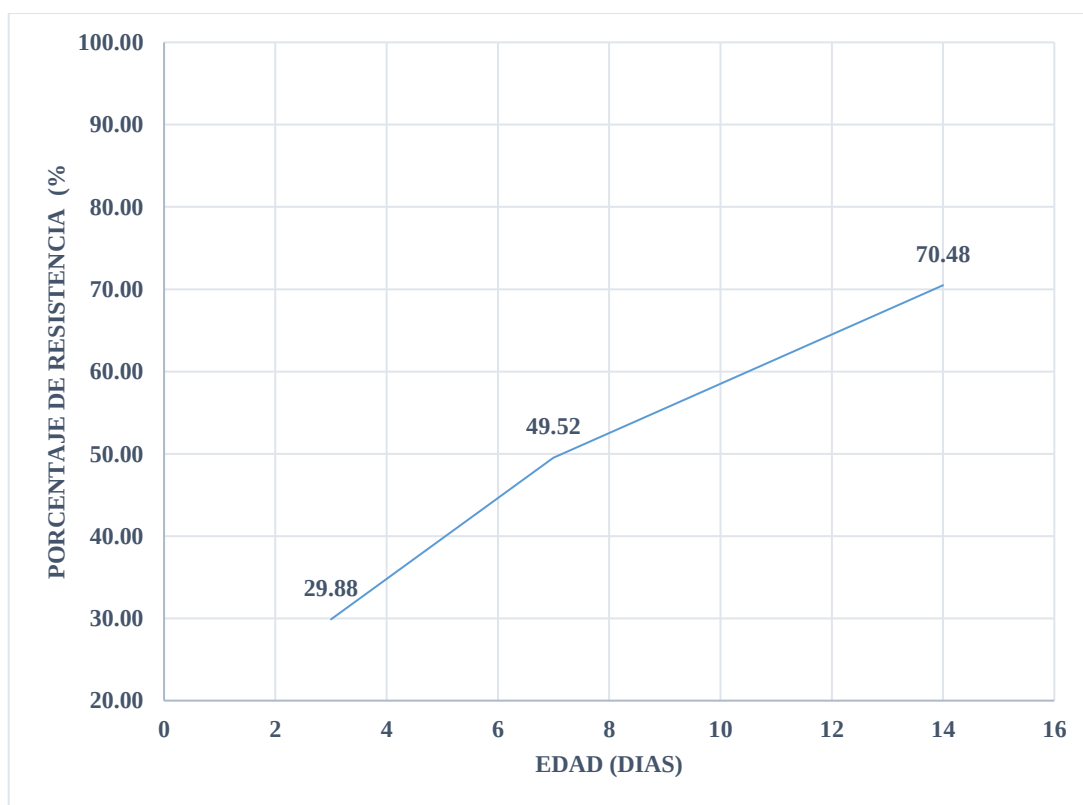


Figura 21 Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba III 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

A medida que el hormigón avanza en su proceso de curado, se evidencia un aumento progresivo en su resistencia. A los 3 días, el hormigón alcanza un 29.88% de su

resistencia proyectada, reflejando el proceso inicial de endurecimiento. A los 7 días, se registra un incremento significativo, alcanzando el 49.52% de la resistencia final esperada. Finalmente, a los 14 días, el hormigón alcanza el 70.48% de su resistencia objetivo.

4.10.6 Observaciones y recomendaciones para la prueba III

4.10.6.1 Observaciones

1. El asentamiento de 17 cm indica que la mezcla presenta una trabajabilidad adecuada, facilitando el manejo y colocación del concreto.
2. A lo largo de los días de curado (3, 7 y 14 días), se observa un incremento constante en la resistencia a la compresión del concreto, alcanzando el 70.48% de la resistencia proyectada a los 14 días.
3. El peso unitario del concreto, de 2291.81 kg/m³, sugiere que la mezcla tiene una densidad estable y uniforme.
4. Los resultados de humedad de los agregados indican que se deben realizar ajustes en la dosificación de agua para asegurar una mezcla óptima y evitar problemas de excesiva rigidez o fluidez en el concreto.
5. Los ensayos de rotura de cilindros muestran que el concreto desarrolla una buena resistencia inicial, alcanzando casi el 30% de la resistencia final esperada a los 3 días.

4.10.6.2 Recomendaciones

1. Considerar los niveles de humedad en los agregados para ajustar el agua agregada en la mezcla, asegurando así que se mantenga la relación agua-cemento adecuada

2. Seguir midiendo la resistencia a la compresión cada cierto tiempo hasta llegar a los 28 días, con el fin de asegurar que el concreto cumpla con la resistencia estructural especificada
3. Revisar la dosificación de los agregados para mantener una mezcla equilibrada que favorezca tanto la trabajabilidad como la resistencia a lo largo del tiempo.

4.11 Prueba IV

4.11.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados

La imagen a continuación, muestra cómo se pesaron los materiales para hacer el concreto de prueba, en la imagen etiquetada como A, se observan los agregados finos en estado seco, mientras que la imagen B presenta los agregados gruesos también en su estado seco. Estos materiales han sido previamente preparados y deshidratados para garantizar una dosificación precisa en la mezcla de concreto, aspecto crucial al momento de obtener las propiedades físicas deseadas.

Ilustración 1:



Figura 22 Agregados fino y grueso secos de la Prueba IV

Fuente: elaboración propia

En la imagen A, los agregados finos secos alcanzan un peso de 1794.3 gramos, estos agregados, caracterizados por su textura y tamaño reducido, son cruciales para las propiedades de cohesión y trabajabilidad a la mezcla de concreto y por otro lado, en la imagen B, los agregados gruesos secos registran un peso de 1791.7 gramos.

La tabla presentada a continuación, detalla los resultados de la Prueba IV de un diseño de mezcla de concreto con una resistencia proyectada de 240 kg/cm² (23,54 MPa). En esta prueba, se registran los valores correspondientes a la dosificación de materiales

y las mediciones de humedad en los agregados fino y grueso. Los datos incluyen la receta para preparar ocho cilindros de concreto y los valores ajustados para un metro cúbico de mezcla, destacando el peso de cemento, agregados y agua requeridos, además, se muestra la humedad medida en ambos tipos de agregados.

Tabla 33

Registro de la prueba IV y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN				
PRUEBA N°=		PRUEBA IV		
DISEÑO=		240 kg/cm^2	=	23.54 Mpa
FECHA=		19/08/2024		
PERSONA ENCARG/		SAMUEL MENA		
DOSIFICACION				
DISEÑO PRUEBA IV				
RECETA PARA 8 CILINDROS				
CEMENTO=	9.00	Kg	PARA MEZCLA	
AGREGADO FINO=	15.00	Kg		
AGREGADO GRUESO	16.19	Kg		
AGUA=	4.32	Lt		
DISEÑO PRUEBA IV				
M^3 NA	POR	DENSIDA	RECETA PARA M3	
450.00	20%	2225.69		
750.09	34%			
809.60	36%			
216.00	10%			
HUMEDADES				
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		DONDE:
W1=	956.10 g	W1=	956.00 g	PESO DEL RECIPIENTE
W2=	1801.50 g	W2=	1792.20 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA
W3=	1794.30 g	W3=	1791.70 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA
W=	0.85 %	W=	0.06 %	HUMEDAD

Fuente: elaboración propia

La dosificación para la Prueba IV establece una mezcla equilibrada con 20% de cemento, 34% de agregado fino, 36% de agregado grueso, y 10% de agua, alcanzando una densidad de 2225,69 kg/m³. Este diseño busca optimizar la resistencia y trabajabilidad del concreto, la humedad registrada en el agregado fino es de 0,85%, mientras que en el agregado grueso es de 0,06%. Estos valores indican que el agregado fino supera la retención de agua, lo cual es habitual debido a su mayor superficie específica en comparación con el agregado grueso.

4.11.2 Ensayos Realizados Para La Prueba IV

4.11.2.1 Asentamiento

La tabla que se muestra a continuación recoge los ensayos en obra de una muestra de concreto perteneciente a la Prueba IV. Los parámetros evaluados son el asentamiento, la temperatura, el peso unitario, así como la masa y el volumen del molde utilizado para la medición.

Tabla 34

Ensayo de asentamientos de la Prueba IV

ENSAYOS			
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:	17	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :	20.8	C°	
PESO UNITARIO :	2225.62	kg/m ³	
Mm=	2600.00 g	Mm (Masa del molde)	
Mc=	8854.00 g	Mc (Masa del molde con el concreto)	
Vm=	2810.00 m ³	Vm (Volumen del molde)	

Fuente: elaboración propia

El asentamiento registrado fue de 17 cm, indicando que el concreto posee una trabajabilidad adecuada para aplicaciones que requieren una mezcla fluida y manejable. La temperatura ambiente fue de 20,8 °C, un valor dentro del rango óptimo para el proceso de fraguado y curado del concreto, minimizando los riesgos de cambios indeseados en sus propiedades. El peso unitario del concreto alcanzó los 2225,62 kg/m³, lo cual confirma la densidad esperada para una mezcla bien compactada y uniforme. Al analizar las masas, se observó que el molde vacío tenía un peso de 2600 g, mientras que, con el concreto, llegó a 8854 g, en un molde de volumen de 2810 cm³.

4.11.2.2 Rotura de Cilindros

La tabla a continuación muestra los ensayos de rotura de cilindros de concreto realizados en distintas edades: 1, 3, 7, 14 y 28 días.

Tabla 35

Ensayo de rotura de cilindros de la Prueba IV

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
1	45.60	44.90	Kn
3	122.00	124.20	Kn
7	184.70	204.10	Kn
14	245.90	248.90	Kn
28	284.70	283.90	Kn

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran un incremento progresivo en la resistencia a la compresión del concreto a medida que avanza el tiempo. A los 1 día, el concreto alcanzó resistencias de 45,60 y 44,90 Kn, lo cual es un indicador inicial de su ganancia de resistencia. A los 3 días, la resistencia aumentó significativamente a 122,00 y 124,20 Kn, lo que representa un avance notable en su proceso de endurecimiento. A los 7 días, los valores de resistencia continuaron incrementándose, llegando a 184,70 y 204,10 Kn. A los 14 días, el concreto mostró resistencias de 245,90 y 248,90 Kn, acercándose a su resistencia final. Finalmente, a los 28 días, se alcanzaron valores de 284,70 y 283,90 Kn, confirmando que el concreto cumple con los requerimientos de diseño y presenta un desarrollo adecuado de su resistencia a largo plazo.

4.11.2.3 Registro de Resistencias

La tabla siguiente, muestra el registro de resistencias a la compresión del concreto en distintas edades (1, 3, 7, 14 y 28 días), expresadas en términos de esfuerzo (Kg/cm^2), área del cilindro y porcentaje de resistencia alcanzada con respecto a la resistencia objetivo. Estos datos son fundamentales para monitorear el desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo de su curado y para la verificación de que el material cumpla con las especificaciones de diseño estructural en el tiempo estimado.

Tabla 36

Ensayos de Resistencia prueba IV

REGISTRO DE RESISTENCIAS								
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA		
1	58.08	57.19	Kg/cm^2	8.01	cm^2	24.20	%	23.83 %
3	155.40	158.20	Kg/cm^2	8.01	cm^2	64.75	%	65.92 %
7	235.26	259.97	Kg/cm^2	8.01	cm^2	98.03	%	108.32 %
14	313.22	317.04	Kg/cm^2	8.01	cm^2	130.51	%	132.10 %
28	362.64	361.62	Kg/cm^2	8.01	cm^2	151.10	%	150.68 %

Fuente: elaboración propia

Se puede, por tanto, visualizar un incremento constante en la resistencia a la compresión a medida que transcurren los días. A los 1 días, el concreto alcanzó resistencias de 58,08 y 57,19 Kg/cm², lo que representa el 24,20% y el 23,83% de la resistencia esperada, indicando una ganancia inicial de resistencia. A los 3 días, los valores aumentaron a 155,40 y 158,20 Kg/cm², alcanzando el 64,75% y el 65,92%, respectivamente. En los 7 días, se registraron resistencias de 235,26 y 259,97 Kg/cm², correspondientes al 98,03% y 108,32% de la resistencia proyectada, mostrando un desarrollo robusto de la capacidad estructural. A los 14 días, el concreto alcanzó valores de 313,22 y 317,04 Kg/cm², logrando el 130,51% y 132,10% de la resistencia objetivo, lo cual supera las expectativas iniciales. Finalmente, a los 28 días, las resistencias de 362,64 y 361,62 Kg/cm², equivalentes al 151,10% y 150,68%, confirman que el concreto ha superado satisfactoriamente la resistencia de diseño, evidenciando un excelente desempeño en términos de durabilidad y capacidad de carga.

4.11.2.4 Curva de Resistencia del Hormigón Ensayado

La figura presenta la curva de resistencia del hormigón para la Prueba IV, diseñada con una resistencia de 23.5 MPa. Esta gráfica muestra el progreso de la resistencia a la compresión del hormigón a lo largo del tiempo, evaluada en intervalos de 1, 3, 7, 14 y 28 días. La resistencia está expresada en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), y el análisis de esta curva es de gran importancia para verificar que el hormigón

alcance los niveles de resistencia necesarios para cumplir con los requisitos estructurales del proyecto.

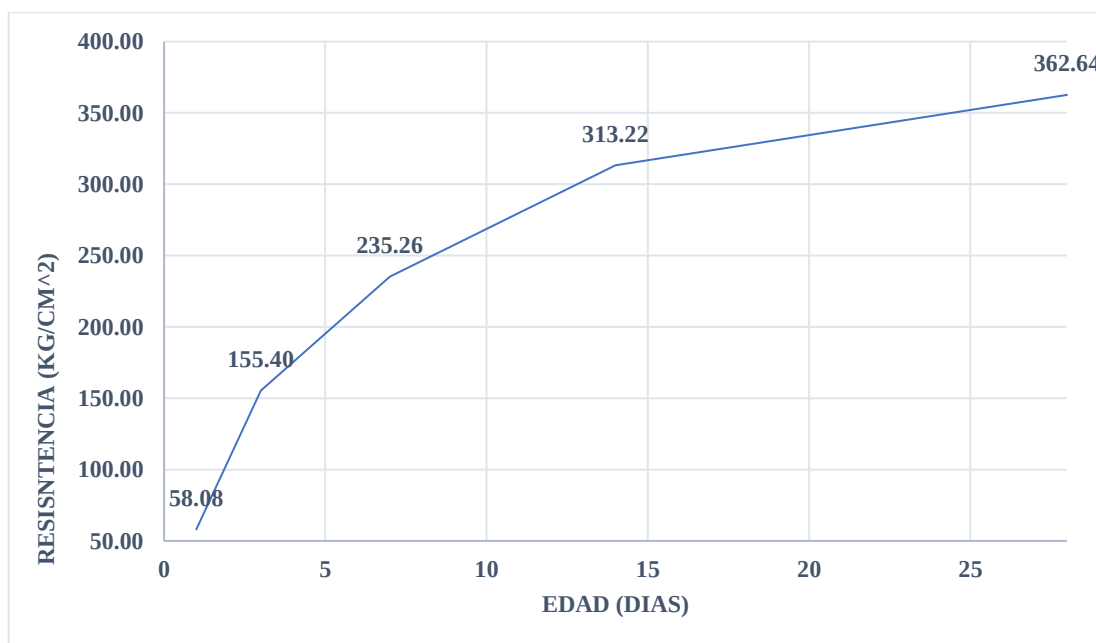


Figura 23 Curva De Resistencia Del Hormigón PRUEBA IV 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

En la curva de resistencia, se observa un incremento continuo de la capacidad de compresión del hormigón a medida que transcurre el tiempo de curado. A los 1 día, el hormigón alcanza una resistencia de 58,08 Kg/cm², lo que representa un inicio favorable en el desarrollo de su estructura interna. A los 3 días, la resistencia aumenta considerablemente a 155,40 Kg/cm², y a los 7 días llega a 235,26 Kg/cm², evidenciando un avance significativo hacia su resistencia objetivo. A los 14 días, la resistencia se sitúa en 313,22 Kg/cm², y finalmente, a los 28 días, el hormigón alcanza una resistencia de 362,64 Kg/cm², superando ampliamente la resistencia de diseño proyectada. Esta tendencia demuestra un comportamiento óptimo de la mezcla, indicando que el hormigón ha desarrollado una estructura sólida y confiable para su aplicación en obras de construcción.

4.11.2.5 Curva porcentajes de resistencia del Hormigón Ensayado

La siguiente figura se muestran los porcentajes de resistencia del hormigón correspondiente a la Prueba IV, con una resistencia de diseño de 23.5 MPa. Este gráfico detalla el progreso en términos porcentuales de la resistencia a la compresión del hormigón a lo largo de diferentes edades de curado: 1, 3, 7, 14 y 28 días.

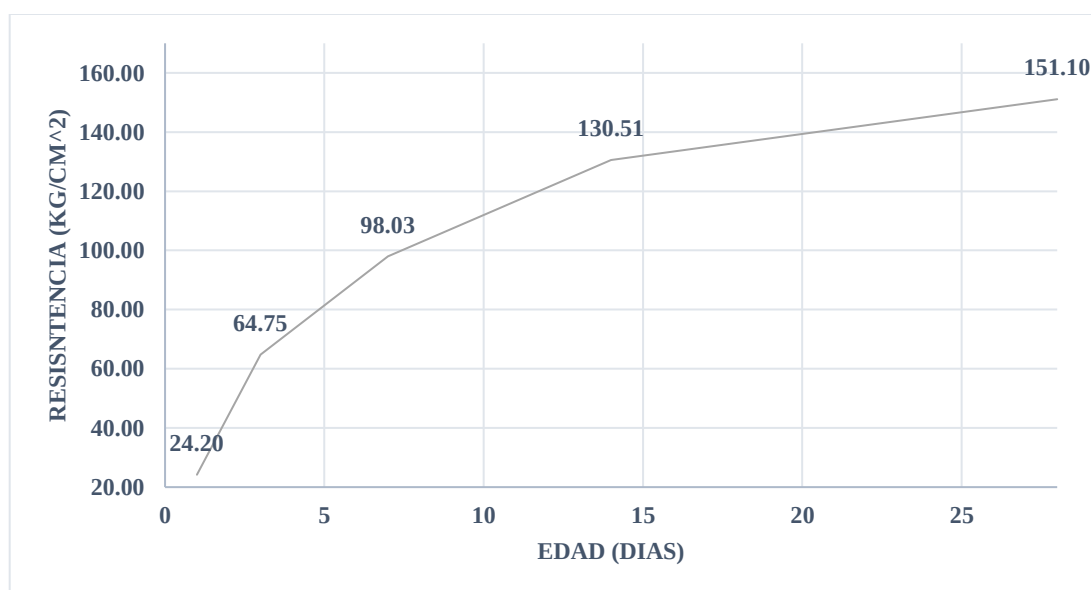


Figura 24 Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba IV 23.5 MPA

Fuente: Elaboración propia

La curva de porcentajes de resistencia revela un aumento gradual en la capacidad de compresión del hormigón a medida que avanza el tiempo de curado. A los 1 día, el hormigón alcanza un 24.20% de su resistencia final proyectada, mostrando un desarrollo inicial en su estructura. A los 3 días, este valor sube al 64.75%, evidenciando un crecimiento significativo en su resistencia. Para los 7 días, el hormigón ya ha alcanzado un 98.03% de su resistencia total, lo que indica una rápida ganancia de resistencia en esta etapa temprana. A los 14 días, el hormigón ha alcanzado el 130.51% y, finalmente, a los 28 días, se registra un valor de 151.10%, superando ampliamente la resistencia de diseño.

4.12 Observaciones y Recomendaciones para la prueba iv

4.12.1 Observaciones

1. El ensayo de asentamiento indica una trabajabilidad adecuada del concreto, con un valor de 17 cm, lo cual es ideal para aplicaciones que requieren una mezcla fluida y manejable.
2. La temperatura registrada durante el ensayo fue de 20.8 °C, dentro del rango óptimo para el proceso de fraguado y curado, minimizando los efectos negativos en las propiedades del concreto expuesto a temperaturas extremas.
3. Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión muestran un incremento progresivo y constante en la resistencia del concreto a medida que aumenta su edad de curado, alcanzando el 151.10% de la resistencia proyectada a los 28 días.
4. En el registro de resistencias, a los 7 días, el concreto ya había alcanzado el 98.03% y hasta un 108.32% de la resistencia esperada.
5. La curva de porcentajes de resistencia muestra que el concreto supera ampliamente la resistencia de diseño a los 28 días, alcanzando valores de hasta un 151.10% de su resistencia final proyectada.

4.12.2 Recomendaciones

1. Considerar posibles ajustes en la cantidad de agua para lograr una trabajabilidad aún más óptima, especialmente si el concreto se va a emplear en aplicaciones con requerimientos específicos de asentamiento y fluidez.

2. Evaluar la proporción de agregados fino y grueso en futuras mezclas, ya que un control preciso en esta proporción podría mejorar aún más la consistencia y densidad del concreto.
3. Realizar monitoreos adicionales en las etapas tempranas del curado (especialmente a los 3 y 7 días) para ajustar la mezcla en caso de que se detecten desviaciones en el desarrollo de la resistencia, garantizando que se cumpla siempre con los parámetros de diseño estructural.

4.13 Prueba V Incorporación del Plástico ABS Triturado en prueba I al 5%

4.13.1 Registro del Diseño y Humedades de los Agregados

La presente tabla documenta el diseño de mezcla para la Prueba V, en la cual se incorporó un 5% de plástico ABS triturado en el concreto. Este ensayo se realizó con el objeto de medir el impacto de la adición de plástico ABS en las características físicas y mecánicas del concreto. La dosificación incluye los componentes tradicionales del concreto, junto con una cantidad específica de ABS triturado. Los datos de humedad de los agregados también se han registrado, lo cual es fundamental para ajustar la dosificación de agua y asegurar la consistencia en la mezcla final.

Tabla 37

Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 5% y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN									
PRUEBA N°=		PRUEBA V							
DISEÑO=		240 kg/cm^2		=		23.54 Mpa			
FECHA=		14/09/2024		26/09/2024					
PERSONA ENCARG/		SAMUEL MENA							
DOSIFICACION									
DISEÑO PRUEBA I ABS AL 5%					DISEÑO PRUEBA I ABS AL 5%				
RECETA PARA 8 CILINDROS									
CEMENTO=		9.00 Kg		PARA MEZCLA		M^3 NA	POR	DENSIDA	RECETA PARA M3
AGREGADO FINO=		14.25 Kg				450.00	20%	2227.76	
AGREGADO GRUESO=		16.19 Kg				712.58	32%		
AGUA=		4.32 Lt				809.60	36%		
ABS=		1.98 Kg				216.00	10%		
				98.84	###				
HUMEDADES									
AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO			DONDE:			
W1=	952.50	g	W1=	952.50	g	PESO DEL RECIPIENTE			
W2=	1639.00	g	W2=	1742.90	g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA			
W3=	1631.00	g	W3=	1738.50	g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA			
W=	1.17	%	W=	0.56	%	HUMEDAD			

Fuente: elaboración propia

Los resultados indican una dosificación con un 4.42% de ABS en peso respecto a la mezcla total. La incorporación del plástico ABS junto con una cantidad balanceada

de agregados y cemento (20% de cemento, 32% de agregado fino, y 36% de agregado grueso) busca mantener la densidad y trabajabilidad de la mezcla. Las humedades de los agregados registraron valores de 1.17% para el agregado fino y 0.56% para el agregado grueso, lo que permitirá ajustar la cantidad de agua en la mezcla para garantizar la relación agua-cemento apropiada.

4.14 Ensayos Realizados Para la Prueba V

4.14.1 Asentamiento

La siguiente tabla presenta los datos obtenidos en los ensayos realizados en obra sobre una mezcla de concreto con incorporación de plástico ABS triturado. Los ensayos incluyen la cuantificación del asentamiento, temperatura, peso unitario del concreto y las masas relacionadas con el molde utilizado.

Tabla 38

Ensayo de asentamientos prueba V

ENSAYOS			
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:	17.50	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :	20.10	C°	
PESO UNITARIO :	2227.76	kg/m ³	
Mm=	2600.00 g	Mm (Masa del molde)	
Mc=	8860.00 g	Mc (Masa del molde con el concreto)	
Vm=	2810.00 m ³	Vm (Volumen del molde)	

Fuente: elaboración propia

El asentamiento de 17.5 cm indica una mezcla con buena trabajabilidad, adecuada para aplicaciones que requieren un concreto fluido y fácil de manejar. La temperatura ambiente de 20.1 °C es favorable para el proceso de curado, ya que se encuentra dentro del rango óptimo para evitar alteraciones en las propiedades del concreto. El peso unitario registrado de 2227.76 kg/m³ sugiere una mezcla uniforme y compacta, mientras que la diferencia de masa entre el molde vacío (2600 g) y con el concreto (8860 g) en un volumen de 2810 cm³ confirma una densidad adecuada.

4.14.2 Rotura de Cilindros

Los datos recopilados en los ensayos de resistencia del hormigón se resumen en la siguiente tabla de rotura de cilindros de concreto a distintas edades (1, 3, 7, 14 y 28 días).

Tabla 39

Ensayo de Rotura de cilindros prueba V

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
1	52.50	51.20	Kn
3	130.20	129.50	Kn
7	202.30	207.10	Kn
14	250.30	255.50	Kn
28	290.70	292.30	Kn

Fuente: elaboración propia

Los datos indican un aumento progresivo en la resistencia a la compresión del concreto al aumentar el tiempo de curado. A los 1 días, la resistencia alcanzada fue de 52.50 y 51.20 Kn, reflejando el inicio de la ganancia de resistencia. A los 3 días, la resistencia subió a 130.20 y 129.50 Kn, mostrando un avance significativo en su endurecimiento. A los 7 días, los valores se incrementaron a 202.30 y 207.10 Kn, indicando una mayor consolidación de la estructura del concreto. A los 14 días, el concreto presentó resistencias de 250.30 y 255.50 Kn, acercándose a su resistencia proyectada. Finalmente, a los 28 días, se registraron resistencias de 290.70 y 292.30 Kn, confirmando que el concreto ha alcanzado y superado los niveles de resistencia necesarios, lo cual es indicativo de un adecuado desempeño de la mezcla con la incorporación de ABS.

4.14.3 Registro de Resistencias

La siguiente tabla presenta el registro de resistencias a la compresión obtenidas en diferentes edades de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días) para la mezcla de concreto con la

adición de un 5% de plástico ABS triturado. Los datos incluyen los valores de esfuerzo (en Kg/cm²), el área del cilindro y el porcentaje de resistencia alcanzada en cada etapa con respecto a la resistencia proyectada.

Tabla 40

Ensayos de Resistencia prueba V

REGISTRO DE RESISTENCIAS									
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA			
1	66.87	65.22	Kg/cm^2	8.01	cm^2	27.86	%	27.17	%
3	165.84	164.95	Kg/cm^2	8.01	cm^2	69.10	%	68.73	%
7	257.68	263.80	Kg/cm^2	8.01	cm^2	107.37	%	109.91	%
14	318.82	325.45	Kg/cm^2	8.01	cm^2	132.84	%	135.60	%
28	370.28	372.32	Kg/cm^2	8.01	cm^2	154.28	%	155.13	%

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran un crecimiento constante en la resistencia a la compresión del concreto a lo largo del tiempo. Al primer día, el concreto alcanzó resistencias de 66.87 y 65.22 Kg/cm², representando el 27.86% y 27.17% de la resistencia final proyectada. A los 3 días, la resistencia aumentó significativamente a 165.84 y 164.95 Kg/cm², equivalentes al 69.10% y 68.73%. A los 7 días, se registraron resistencias de 257.68 y 263.80 Kg/cm², alcanzando el 107.37% y 109.91%, lo que sugiere una rápida ganancia de resistencia en esta etapa. A los 14 días, los valores subieron a 318.82 y 325.45 Kg/cm², logrando el 132.84% y 135.60%. A los 28 días, el concreto superó ampliamente la resistencia proyectada, alcanzando 370.28 y 372.32 Kg/cm², correspondientes al 154.28% y 155.13%. Estos resultados confirman que la mezcla con ABS triturado presenta un excelente desempeño estructural, incluso superando las expectativas iniciales de resistencia.

4.14.4 Comparativa de Crecimiento de Resistencia en Porcentaje

La tabla presenta una comparativa del crecimiento en porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto, tanto en una mezcla sin ABS como en una mezcla con la

incorporación de un 5% de plástico ABS triturado. Los datos analizan el desarrollo de la resistencia en diferentes etapas de curado, mostrando los incrementos en cada caso.

Tabla 41

Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 5%.

COMPARATIVA DE CRECIMIENTO DE RESISTENCIA EN PORCENTAJE											
PORCENTAJE RESISTENCIA SIN ABS				PORCENTAJE RESISTENCIA 5% ABS				INCREMENTO 1		INCREMENTO 2	
24.20	%	23.83	%	27.86	%	27.17	%	3.66	%	3.34	%
64.75	%	65.92	%	69.10	%	68.73	%	4.35	%	2.81	%
98.03	%	108.32	%	107.37	%	109.91	%	9.34	%	1.59	%
130.51	%	132.10	%	132.84	%	135.60	%	2.34	%	3.50	%
151.10	%	150.68	%	154.28	%	155.13	%	3.18	%	4.46	%

Fuente: elaboración propia

Los resultados indican que la mezcla con 5% de ABS muestra un aumento en el porcentaje de resistencia en todas las etapas de curado en comparación con la mezcla sin ABS. A los primeros días, se observan incrementos de 3.66% y 3.34% en la resistencia con ABS frente a la mezcla sin ABS. A los 7 días, el incremento alcanza un 9.34% en una de las mediciones, lo que sugiere que la adición de ABS contribuye a una mayor ganancia de resistencia en las etapas iniciales. Sin embargo, hacia los 14 y 28 días, los incrementos son menores, aunque aún positivos, con valores de 2.34% a 4.46%. Estos resultados sugieren que la adición de ABS favorece un incremento inicial en la resistencia, manteniendo una ventaja en las etapas posteriores de curado y, por lo tanto, podría ser una opción viable para optimizar las propiedades mecánicas del concreto.

4.14.5 Curva de Resistencia del Hormigón Ensayado

La grafica muestra la curva de resistencia a la compresión del hormigón correspondiente a la Prueba 5, diseñada para alcanzar una resistencia de 23.5 MPa. Este gráfico permite advertir el cambio en la resistencia del hormigón en función del tiempo de curado, con mediciones registradas a los 1, 3, 7, 14 y 28 días. La resistencia se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), lo que facilita el análisis del comportamiento mecánico del hormigón en sus primeras etapas de desarrollo estructural.

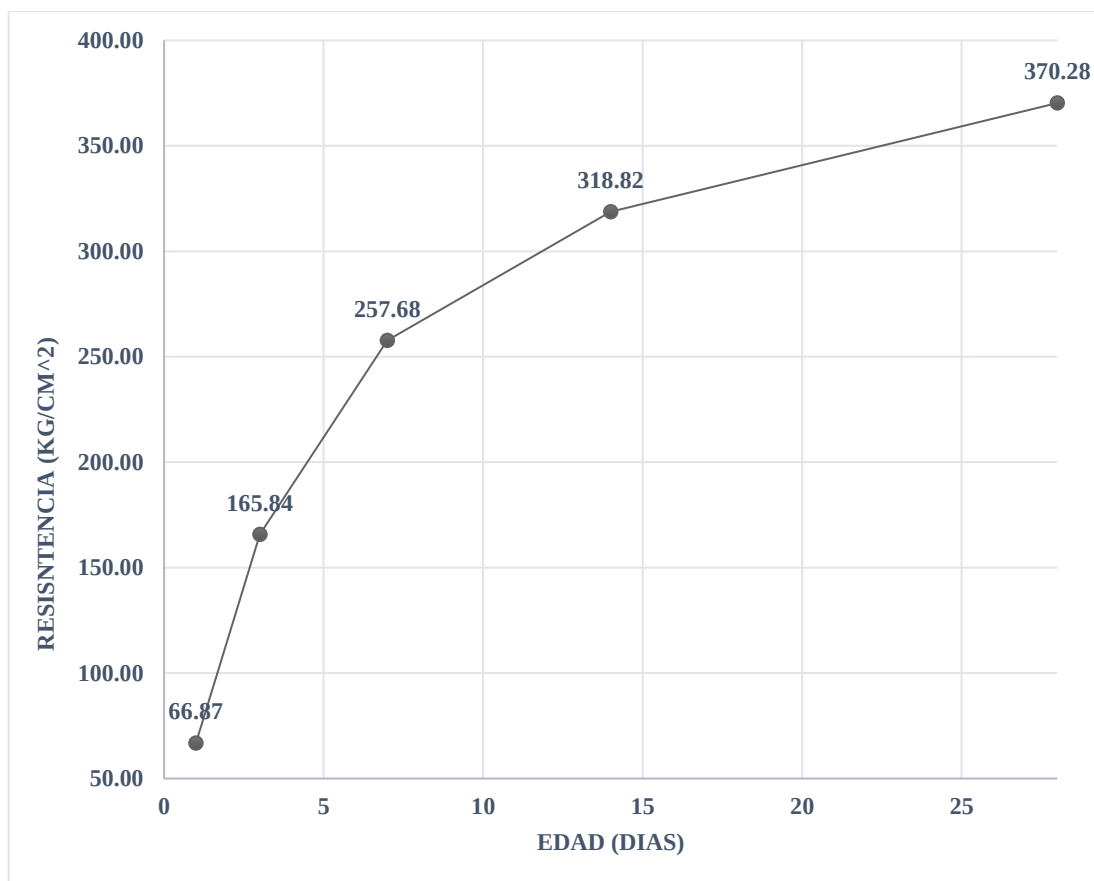


Figura 25 Curva de resistencia del hormigón prueba V 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

La curva indica un aumento progresivo en la resistencia a medida que el hormigón avanza en su proceso de curado. A los 3 días, el hormigón alcanza una resistencia de 165.84 Kg/cm², lo que representa un avance significativo respecto al valor inicial de 66.87 Kg/cm² al 1 día. Este rápido incremento inicial continúa hasta los 7 días, donde se registra una resistencia de 257.68 Kg/cm². A partir de este punto, el aumento en resistencia se vuelve más moderado, llegando a 318.82 Kg/cm² a los 14 días. Finalmente, a los 28 días, la resistencia alcanza los 370.28 Kg/cm², superando la resistencia de diseño inicial.

4.14.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado

La próxima gráfica presenta la curva de porcentajes de resistencia del hormigón para la Prueba 1, diseñada con una resistencia objetivo de 23.5 MPa. Este gráfico permite

observar el desarrollo de la resistencia a la compresión del hormigón en términos porcentuales a lo largo de diferentes edades de curado: 1, 3, 7, 14 y 28 días.

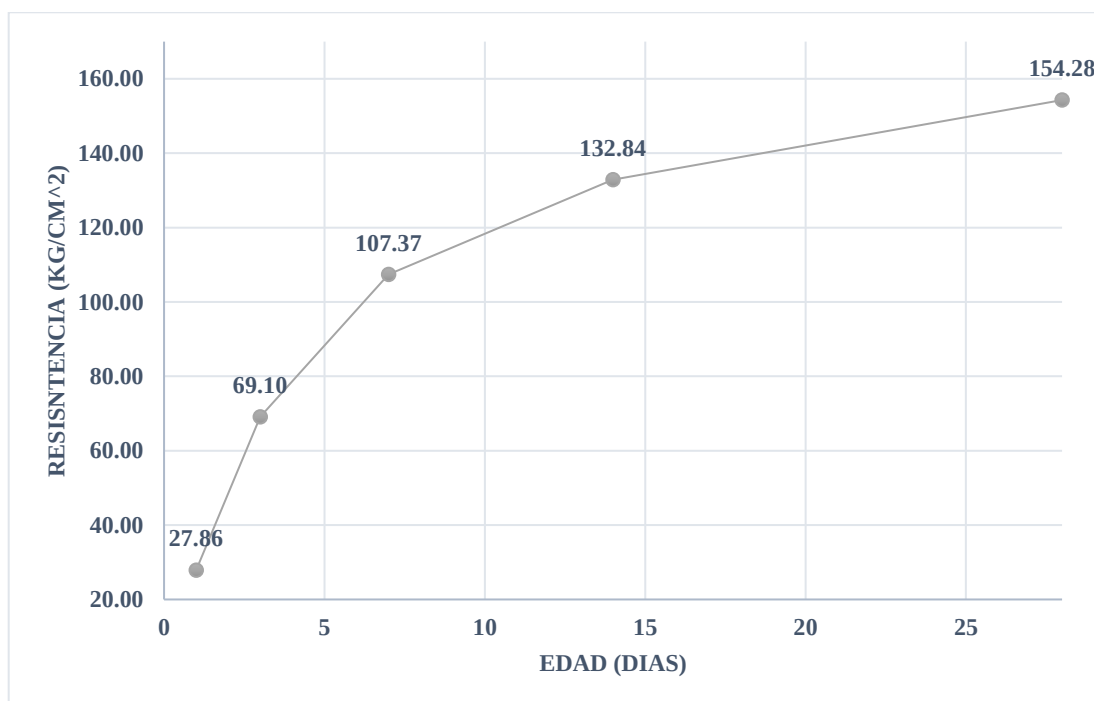


Figura 26 Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba 1 23.5 MPA
Fuente: elaboración propia

El comportamiento del hormigón a través de los días muestra un incremento progresivo en su resistencia. A los 3 días, se alcanza un 69.10% de la resistencia final esperada, lo cual evidencia un avance importante en esta etapa temprana. Para los 7 días, el porcentaje de resistencia incrementa hasta un 107.37%, siendo mayor a la resistencia proyectada en el diseño, lo que demuestra una rápida ganancia de resistencia en el primer tercio del tiempo de curado. A los 14 días, el hormigón alcanza el 132.84%, y finalmente, a los 28 días, logra el 154.28%.

4.14.7 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 5% en el hormigón

El Global Warming Potential (GWP) es un indicador clave para analizar el daño ambiental que causa la fabricación de materiales de construcción, como el hormigón. El GWP del hormigón se encuentra altamente influenciado por el uso de cemento, que es

uno de los materiales con mayor emisión de CO₂ durante su producción. Para mitigar este impacto, en este estudio se ha evaluado la inclusión de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) en la mezcla de hormigón, con el objetivo de reducir la demanda de cemento y, en consecuencia, disminuir el GWP.

4.14.8 Sustitución Parcial de Cemento Por ABS

El uso de 98.842 kg de ABS o 5% reemplazado con agregado fino por cada m³ de hormigón permite una reducción parcial del uso de agregado fino, cuya producción tiene un alto GWP por la maquinaria trituradora. El cemento GU utilizado en esta investigación tiene un GWP promedio de 541 kg CO₂-eq/m³. Al reducir el cemento utilizado gracias a la inclusión de ABS, se puede disminuir la huella de carbono total de la manufactura del hormigón.

4.14.9 impacto de la utilización de ABS en el GWP

El GWP del ABS utilizado en este proyecto ha sido evaluado en función de dos fuentes principales: Ecoinvent 3.8, que reporta un GWP de 0.8 kg CO₂-eq/kg, y GaBi SP40 2020, que lo estima en 0.7 kg CO₂-eq/kg. Tomando un valor promedio de 0.75 kg CO₂-eq/kg, y considerando que se emplean 98.842 kg de ABS por cada m³ de hormigón, el impacto ambiental del ABS en el GWP puede calcularse como:

Ecuación 9: Gwp ABS

$$GWP (abs) = 0.75 \text{Kg CO}_2 - \frac{eq}{kg} \times 98.842 \text{ Kg} = 74.13 \text{ Kg CO}_2 - eq$$

Por otro lado, el GWP del hormigón sin ABS se estima en 541 kg CO₂-eq/m³, por lo que el GWP total del material sería:

Ecuación 10 Gwp ABS + cemento tipo Gu

$$GWP (total) = 541 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 74.13 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} = 615.13 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

4.14.10 Consideración del impacto del transporte

El transporte de los materiales se realiza mediante una camioneta, con una capacidad de transporte de hasta 1 tonelada. Para este análisis, se asume que el hormigón y el ABS se transportan a una distancia de 40.9 km, generando emisiones adicionales. La huella de carbono asociada al transporte en una camioneta es de 0.27 kg CO₂-eq/km/tonelada. Por lo tanto, considerando la masa total transportada (1098.842 kg o 1.098842 toneladas), el GWP del transporte se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 11: GWP considerando transporte

$$GWP (transporte) = 0.27 \text{ Kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{km}} \times 40.9 \text{ km} \times 1.098842 \text{ ton} = 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

Sumando el impacto del transporte al GWP del material:

Ecuación 12: Gwp total

$$GWP (total) = 615.13 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} = 627.24 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

4.14.11 Justificación de la reducción del GWP mediante el uso de ABS

A pesar de que el GWP total del hormigón modificado con ABS puede parecer mayor que el del hormigón sin modificaciones, es imprescindible tomar en cuenta los factores a continuación que son los que justifican la reducción del impacto ambiental:

1. Uso de materiales reciclados: El ABS es un material que proviene de fuentes recicladas o de desecho industrial. Su inclusión en el hormigón representa una estrategia de economía circular, reutilizando materiales que de otro modo serían desperdiciados.

2. Mejora en la durabilidad: La inclusión de ABS puede optimizar la resistencia y durabilidad de hormigón, lo que reduce la necesidad de reparaciones y reemplazos. Esto significa en un menor consumo de recursos y, por ende, en una reducción del impacto ambiental a largo plazo.
3. El uso de 98.842 kg de ABS por cada m^3 de hormigón permite una reducción significativa del GWP logrando una mezcla más sostenible ambientalmente. A largo plazo, la disminución de la demanda de cemento y la reutilización de plásticos como el ABS contribuyen a una menor huella de carbono producida por la industria de la construcción.

4.14.12 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 5%

4.15 Costo del hormigón base (sin fibras):

El precio del saco de hormigón tipo GU (50 kg) es de \$8.44, lo que implica un costo base de \$75.96 para la producción de 1 m^3 de hormigón, utilizando aproximadamente 9 sacos (considerando un peso promedio del hormigón de 2400 kg/m^3).

4.16 Costo de las fibras de plástico ABS reciclado:

El plástico ABS se dosifica en un 5% del peso total del hormigón. Para un volumen de 1 m^3 , el peso del ABS requerido es de 120 kg, lo que representa un costo adicional de \$0.50/kg de ABS reciclado.

4.17 Costo total del hormigón con ABS reciclado:

Sumando el costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS, el costo total por 1 m^3 de hormigón con la adición del 5% de ABS es de \$

Tabla 42

Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS

CONCEPTO			COSTOS m ³
Costo del hormigón base	8.44	Dólares	75.96 \$
Costos de las fibras del ABS triturado	0.5	Dólares	60 \$
Costo total por m ³ =			\$135.96

Fuente: Realización personal

4.17.1 Justificación del uso de ABS reciclado:

Aunque el uso del ABS reciclado genera un incremento en el costo este incremento se justifica debido a las siguientes ventajas:

1. El ABS reciclado puede perfeccionar la resistencia al impacto, la durabilidad y la ductilidad del hormigón, haciéndolo más adecuado para aplicaciones de alta demanda estructural.

2. El uso de plásticos reciclados promueve la sostenibilidad reduciendo la cantidad de residuos plásticos en vertederos y minimizar la extracción de materiales vírgenes.

3. Estudios indican que la incorporación de plásticos reciclados en el hormigón mejoran la dispersión de las cargas, reduciendo el riesgo de micro fisuración y aumentando la vida útil de la estructura.

4.18 Observaciones y recomendaciones para la prueba v**4.18.1 Observaciones**

1. La mezcla de concreto con un 5% de incorporación de plástico ABS triturado muestra un buen comportamiento en términos de trabajabilidad, alcanzando un asentamiento de 17.5 cm

2. La resistencia a la compresión del concreto con ABS aumenta progresivamente en todas las etapas de curado, superando los niveles de resistencia de la mezcla sin ABS en cada medición, especialmente en las primeras fases.
3. Los datos obtenidos acerca de la resistencia indican que, a los 7 días, el concreto con ABS triturado ya supera la resistencia de diseño proyectada, alcanzando un 107.37% en comparación con la resistencia esperada.
4. A los 28 días, el concreto con ABS triturado alcanzó resistencias de hasta 370.28 Kg/cm², lo que representa un 154.28%
5. La comparativa de crecimiento de resistencia en porcentaje entre las mezclas con y sin ABS muestra incrementos adicionales en la resistencia de la mezcla con ABS en los primeros días de la etapa de curado.

4.18.2 Recomendaciones

1. Continuar investigando la incorporación de plástico ABS en la mezcla de concreto, dado que sus efectos en la resistencia a la compresión son positivos, especialmente en las primeras fases de curado.
2. Se sugiere estudiar la viabilidad de incrementar el porcentaje de ABS en la mezcla para observar sus efectos a mayor escala.
3. Implementar el uso de mezclas con ABS triturado en proyectos de construcción que necesiten una rápida ganancia de resistencia en el concreto en sus primeros días de curado, especialmente cuando la resistencia temprana sea crucial.
4. Realizar pruebas adicionales de durabilidad y resistencia a otros tipos de esfuerzos en mezclas con plástico ABS, con el fin de evaluar su

desempeño a largo plazo y validar su aplicación en proyectos estructurales de alta exigencia.

4.19 Prueba VI incorporación del plástico ABS triturado en prueba I al 10%

4.19.1 Registro del diseño y humedades de los agregados

La siguiente tabla presenta la identificación y los datos de dosificación correspondientes a la Prueba VI, en la cual se incorporó un 10% de plástico ABS triturado en la mezcla de concreto. Esta prueba fue diseñada con una resistencia objetivo de 240 kg/cm² (23.54 MPa), y los ensayos fueron llevados a cabo el 28 de septiembre de 2024 bajo la supervisión de Samuel Mena. Se incluye la receta utilizada para preparar ocho cilindros de concreto, detallando la cantidad de cada material en kilogramos por metro cúbico natural y su respectivo porcentaje. La mezcla contiene cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, y ABS triturado, con una densidad de 2348.754 kg/m³.

Tabla 43

Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 10% y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN				
PRUEBA N°=		PRUEBA VI		
DISEÑO=		240 kg/cm^2	=	23.54 Mpa
FECHA=		28/09/2024		
PERSONA ENCARG/ SAMUEL MENA				
DOSIFICACION				
DISEÑO PRUEBA I ABS AL 10%				
RECETA PARA 8 CILINDROS				
CEMENTO=	9.00 Kg	PARA MEZCLA		
AGREGADO FINO=	13.50 Kg			
AGREGADO GRUESO=	16.19 Kg			
AGUA=	4.32 Lt			
ABS=	3.95 Kg			
DISEÑO PRUEBA I ABS AL 10%				
M^3 NA	POR	DENSIDA		
450.00	20%	2348.754		
675.08	30%			
809.60	36%			
216.00	10%			
197.68	9%		RECETA PARA M3	
HUMEDADES				
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		DONDE:
W1=	952.50 g	W1=	956.10 g	PESO DEL RECIPIENTE
W2=	1702.30 g	W2=	1752.90 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA
W3=	1694.20 g	W3=	1748.50 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA
W=	1.08 %	W=	0.55 %	HUMEDAD

Fuente: elaboración propia

En cuanto a las humedades, los valores obtenidos en el ensayo muestran un contenido de humedad de 1.08% para el agregado fino y de 0.55% para el agregado grueso. Estos valores fueron calculados pesando los recipientes vacíos, luego con las

muestras húmedas y finalmente con las muestras secas. Los resultados de humedad son fundamentales para realizar ajustes precisos en la cantidad de agua de la mezcla, garantizando que se mantenga la relación agua-cemento adecuada y se logre la resistencia proyectada del concreto con ABS. La incorporación del 10% de plástico ABS en esta prueba permite evaluar el impacto de una mayor cantidad de este material en la densidad y trabajabilidad de la mezcla.

4.20 Ensayos realizados para la prueba vi

4.20.1 Asentamiento

La tabla muestra los resultados obtenidos en los ensayos realizados en obra para una mezcla de concreto que incorpora un porcentaje de plástico ABS triturado. Estos ensayos incluyen la medición del asentamiento, la temperatura, el peso unitario del concreto y las masas relacionadas con el molde. Los datos fueron registrados bajo condiciones de temperatura de 18,5 °C, un entorno favorable para evitar variaciones indeseadas en las propiedades del concreto durante su proceso de fraguado.

Tabla 44

Ensayo de asentamientos prueba VI

ENSAYOS				
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:		25	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :		18,5	C°	
PESO UNITARIO :		2348,75	kg/m ³	
Mm=	2600.00 g	Mm (Masa del molde)		
Mc=	9200.00 g	Mc (Masa del molde con el concreto)		
Vm=	2810.00 m ³	Vm (Volumen del molde)		

Fuente: elaboración propia

El asentamiento registrado de 25 cm indica una mezcla altamente trabajable y fluida, adecuada para aplicaciones que requieren un concreto de fácil manejo y colocación. El peso unitario alcanzado de 2348,75 kg/m³ es indicativo de una mezcla densa y bien compactada, lo cual es crucial para garantizar la resistencia estructural. La

masa del molde vacío fue de 2600 g, mientras que la masa del molde con el concreto llegó a 9200 g en un volumen de 2810 cm³.

4.20.2 Rotura de cilindros

La tabla presenta los resultados de los ensayos de rotura de cilindros de concreto a diferentes edades, específicamente a los 1, 3, 7, 14 y 28 días, para una mezcla de concreto con adición de plástico ABS triturado. Este tipo de ensayo permite evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión en las primeras etapas de curado del concreto

Tabla 45

Ensayo de Rotura de cilindros prueba VI

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
1	54.00	53.50	Kn
3	132.10	131.50	Kn
7	205.30	208.00	Kn
14	261.30	258.40	Kn
28	280.30	277.70	Kn

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran un incremento continuo en la resistencia a la compresión del concreto al avanzar el tiempo de curado. A los 1 días, el concreto alcanzó resistencias de 54,00 y 53,50 Kn, lo que representa un avance inicial en el desarrollo de su estructura. A los 3 días, la resistencia se incrementó a 132,10 y 131,50 Kn, reflejando un aumento significativo en su endurecimiento. A los 7 días, los valores de resistencia subieron a 205,30 y 208,00 Kn, consolidando aún más la estructura. A los 14 días, el concreto alcanzó resistencias de 261,30 y 258,40 Kn, acercándose a su resistencia máxima. Finalmente, a los 28 días, la resistencia se estabilizó en 280,30 y 277,70 Kn

4.20.3 Registro de resistencias

La tabla detalla el registro de resistencias a la compresión del concreto en diversas etapas de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días), correspondiente a una mezcla de concreto con

adición de plástico ABS triturado. Estos datos, expresados en términos de esfuerzo en Kg/cm², área del cilindro y porcentaje de resistencia alcanzada con respecto al valor objetivo.

Tabla 46

Ensayos de Resistencia prueba VI

REGISTRO DE RESISTENCIAS									
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA			
1	68.78	68.15	Kg/cm^2	8.01	cm^2	28.66	%	28.39	%
3	168.26	167.50	Kg/cm^2	8.01	cm^2	70.11	%	69.79	%
7	261.50	264.94	Kg/cm^2	8.01	cm^2	108.96	%	110.39	%
14	332.83	329.14	Kg/cm^2	8.01	cm^2	138.68	%	137.14	%
28	357.04	353.72	Kg/cm^2	8.01	cm^2	148.76	%	147.38	%

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran un crecimiento continuo en la resistencia a la compresión del concreto a medida que avanza el tiempo de curado. Al 1 día, el concreto alcanzó resistencias de 68,78 y 68,15 Kg/cm², lo que representa un 28,66% y 28,39% de la resistencia proyectada, evidenciando un desarrollo inicial positivo. A los 3 días, la resistencia aumentó significativamente a 168,26 y 167,50 Kg/cm², correspondientes al 70,11% y 69,79%. A los 7 días, se registraron valores de 261,50 y 264,94 Kg/cm², que superan la resistencia objetivo con un 108,96% y 110,39%, respectivamente, lo que demuestra una rápida ganancia de resistencia. Para los 14 días, el concreto alcanzó resistencias de 332,83 y 329,14 Kg/cm², logrando un 138,68% y 137,14%. Finalmente, a los 28 días, el concreto consolidó su resistencia en 357,04 y 353,72 Kg/cm², alcanzando el 148,76% y 147,38%.

4.20.4 Comparativa de crecimiento de resistencia en porcentaje

La tabla muestra una comparativa del crecimiento en porcentaje de la resistencia a la compresión entre una mezcla de concreto sin ABS y otra con un 10% de plástico ABS triturado. Los datos se presentan en diferentes etapas de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días) y permiten analizar cómo la incorporación de ABS afecta el desarrollo de

resistencia del concreto en cada intervalo. Además, se incluyen los incrementos porcentuales que evidencian la diferencia de resistencia entre ambas mezclas a lo largo del tiempo.

Tabla 47

Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 10%

COMPARATIVA DE CRECIMIENTO DE RESISTENCIA EN PORCENTAJE					
PORCENTAJE RESISTENCIA SIN ABS		PORCENTAJE RESISTENCIA 10% ABS		INCREMENTO 1	INCREMENTO 2
24.20 %	23.83 %	28.66 %	28.39 %	4.46 %	4.56 %
64.75 %	65.92 %	70.11 %	69.79 %	5.36 %	3.87 %
98.03 %	108.32 %	108.96 %	110.39 %	10.93 %	2.07 %
130.51 %	132.10 %	138.68 %	137.14 %	8.17 %	5.04 %
151.10 %	150.68 %	148.76 %	147.38 %	-2.34 %	-3.29 %

Fuente: elaboración propia

Los datos revelan que la adición de un 10% de ABS genera variaciones en el crecimiento de la resistencia del concreto. En las primeras etapas de curado, a los 1 y 3 días, la mezcla con ABS muestra un incremento en resistencia con respecto a la mezcla sin ABS, alcanzando un 4,46% y 5,36% de diferencia en incremento 1, y 4,56% y 3,87% en incremento 2. A los 7 y 14 días, el concreto con ABS continúa superando a la mezcla sin ABS en porcentaje de resistencia, con diferencias de 10,93% y 8,17% en incremento 1, y 2,07% y 5,04% en incremento 2, respectivamente. Sin embargo, a los 28 días, se observa una ligera disminución en el rendimiento de la mezcla con ABS, con un decremento de -2,34% y -3,29% en los incrementos 1 y 2. Estos datos sugieren que, si bien la adición de ABS favorece la ganancia de resistencia en etapas tempranas y medias, a largo plazo puede mostrar una leve disminución en comparación con el concreto sin ABS.

4.20.5 Curva de resistencia del hormigón ensayado

La ilustración muestra la curva de resistencia a la compresión del hormigón correspondiente a la prueba V, diseñada para alcanzar una resistencia de 23.5 MPa. Este

gráfico presenta la evolución de la resistencia del hormigón en función del tiempo de curado, con mediciones registradas a los 1, 3, 7, 14 y 28 días. La resistencia está expresada en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2), lo cual permite analizar el comportamiento mecánico del hormigón en sus etapas iniciales de endurecimiento.

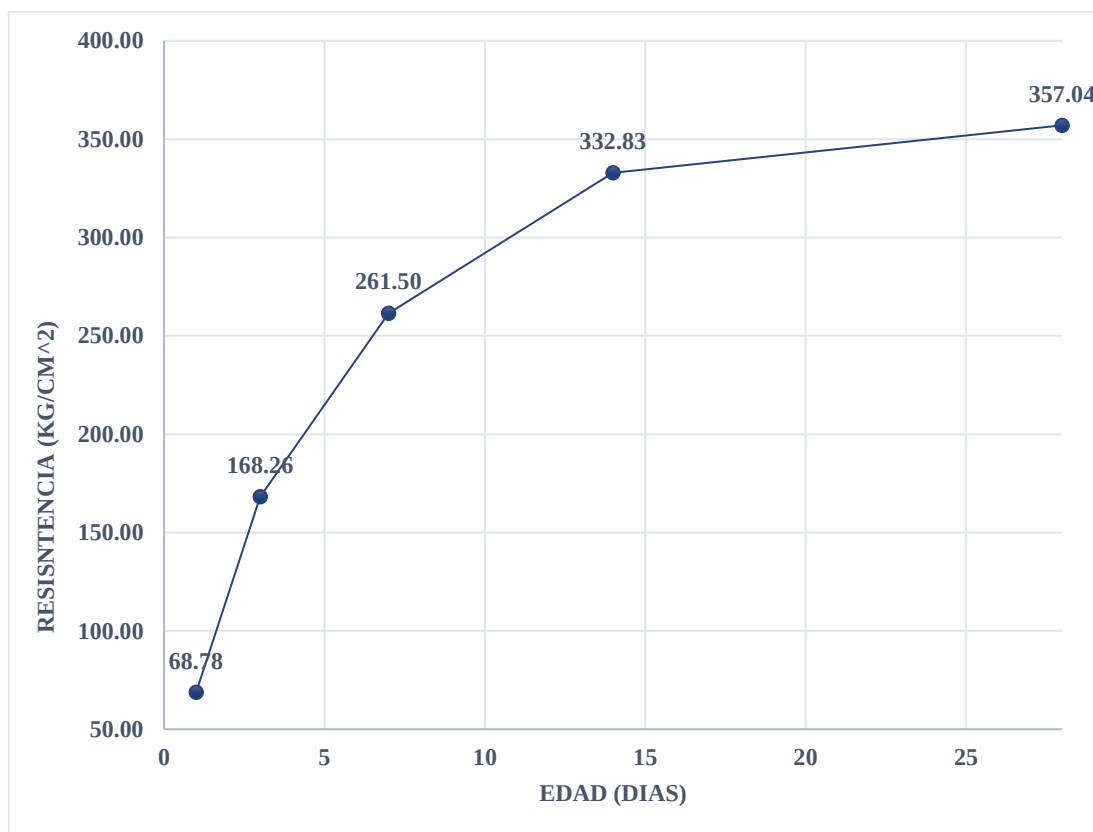


Figura 27 Curva de resistencia del hormigón prueba V 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

La curva revela un incremento continuo en la resistencia del hormigón conforme avanza el tiempo de curado. Al 1 día, la resistencia inicial registrada es de 68.78 Kg/cm^2 . Esta aumenta rápidamente a 168.26 Kg/cm^2 a los 3 días, evidenciando un desarrollo significativo en la etapa temprana de endurecimiento. A los 7 días, la resistencia alcanza 261.50 Kg/cm^2 , representando un progreso considerable hacia la resistencia objetivo. A los 14 días, el valor asciende a 332.83 Kg/cm^2 , y finalmente, a los 28 días, la resistencia culmina en 357.04 Kg/cm^2 .

4.20.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado

La siguiente figura muestra la curva de porcentaje de resistencia a la compresión del hormigón correspondiente a la prueba VI, diseñada para alcanzar una resistencia de 23.5 MPa. Esta gráfica representa el desarrollo de la resistencia del hormigón en términos porcentuales a lo largo de diferentes etapas de curado, con mediciones a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

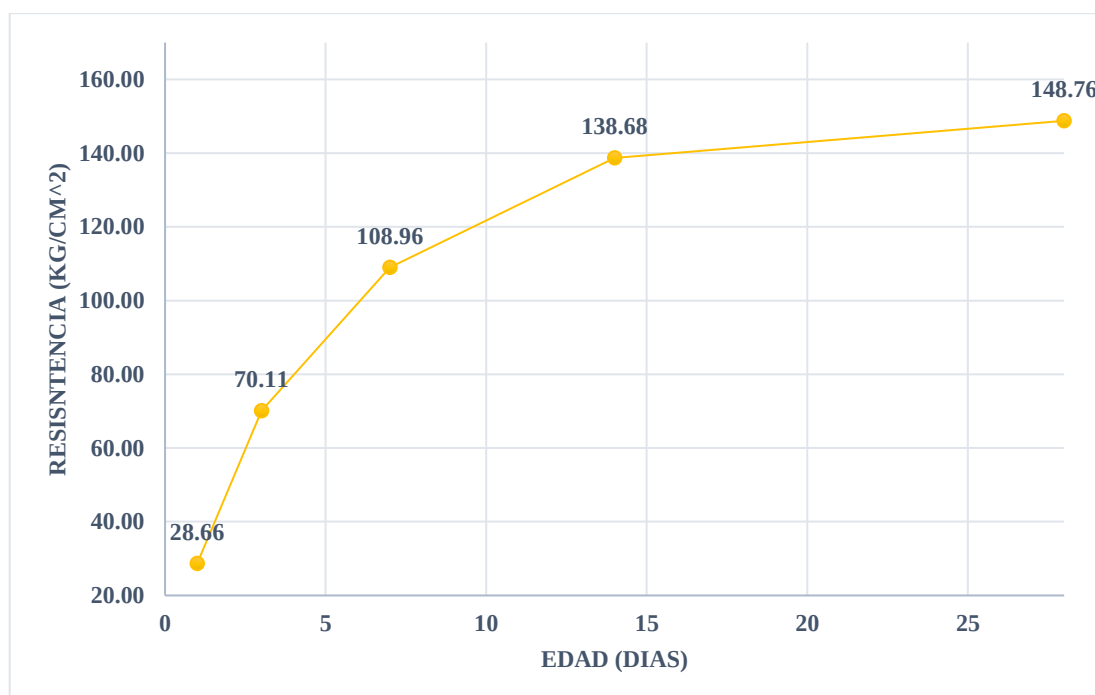


Figura 28 Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba VI 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

La curva de los porcentajes de resistencia evidencia un crecimiento constante en la capacidad de compresión del hormigón a medida que se incrementa el tiempo de curado. A los 1 días, el hormigón alcanza el 28.66% de su resistencia final proyectada, reflejando un inicio positivo en el proceso de endurecimiento. A los 3 días, el porcentaje de resistencia sube al 70.11%, mostrando una significativa ganancia de resistencia. Para los 7 días, el hormigón ha superado su resistencia proyectada inicial, alcanzando el

108.96%. A los 14 días, el porcentaje llega al 138.68%, y finalmente, a los 28 días, el hormigón logra un 148.76% de la resistencia objetivo.

4.20.7 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 10% en el hormigón

4.21 Sustitución parcial de cemento por ABS

El uso de 197.68 kg de ABS o 10% reemplazado con agregado fino por cada m³ de hormigón permite una reducción parcial del uso de agregado fino, cuya producción tiene un alto GWP por la maquinaria trituradora. El cemento GU utilizado en esta investigación tiene un GWP promedio de 541 kg CO₂-eq/m³. Al reducir la cantidad de cemento gracias a la inclusión de ABS, se puede disminuir la huella de carbono total de la producción de hormigón.

4.22 Impacto de la utilización de ABS en el gwp

El GWP del ABS utilizado en este proyecto ha sido evaluado en función de dos fuentes principales: Ecoinvent 3.8, que reporta un GWP de 0.8 kg CO₂-eq/kg, y GaBi SP40 2020, que lo estima en 0.7 kg CO₂-eq/kg. Tomando un valor promedio de 0.75 kg CO₂-eq/kg, y considerando que se emplean 197.68 kg de ABS por cada m³ de hormigón, el impacto ambiental del ABS en el GWP puede calcularse como:

Ecuación 13 GWP ABS

$$GWP (abs) = 0.75 \text{Kg CO}_2 - \frac{eq}{kg} \times 197.68 \text{ Kg} = 148.26 \text{ Kg CO}_2 - eq$$

Por otro lado, el GWP del hormigón sin ABS se estima en 541 kg CO₂-eq/m³, por lo que el GWP total del material sería:

Ecuación 14: GWP ABS + cemento tipo Gu

$$GWP (total) = 541 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 148.26 \text{ Kg CO}_2 - eq = 689.26 \text{ Kg CO}_2 - eq$$

4.23 Consideración del impacto del transporte

El transporte de los materiales se realiza mediante una camioneta, con una capacidad de transporte de hasta 1 tonelada. Para este análisis, se asume que el hormigón y el ABS se transportan a una distancia de 40.9 km, generando emisiones adicionales. La huella de carbono asociada al transporte en una camioneta es de 0.27 kg CO₂-eq/km/tonelada. Por lo tanto, considerando la masa total transportada (1098.842 kg o 1.098842 toneladas), el GWP del transporte se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 15 GWP considerando transporte

$$\begin{aligned} GWP (\text{transporte}) &= 0.27 \text{ Kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{km}} \times 40.9 \text{ km} \times 1.098842 \text{ ton} \\ &= 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} \end{aligned}$$

Sumando el impacto del transporte al GWP del material:

Ecuación 16 GWP total

$$GWP (\text{total}) = 689.26 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} = 701.37 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

4.24 Justificación de la reducción del GWP mediante el uso de ABS

El uso de 197.68 kg de ABS por cada m³ de hormigón permite una reducción significativa del GWP logrando una mezcla más sostenible desde el punto de vista ambiental. A largo plazo, la disminución de la demanda de cemento y la reutilización de plásticos como el ABS contribuyen a una menor huella de carbono en la industria de la construcción.

4.25 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 10%

4.25.1 Costo del hormigón base (sin fibras):

El precio del saco de hormigón tipo GU (50 kg) es de \$8.44, lo que implica un costo base de \$75.96 para la producción de 1 m³ de hormigón, utilizando aproximadamente 9 sacos (considerando un peso promedio del hormigón de 2400 kg/m³).

4.25.2 Costo de las fibras de plástico ABS reciclado:

El plástico ABS se dosifica en un 10% del peso total del hormigón. Para un volumen de 1 m³, el peso del ABS requerido es de 240 kg, lo que representa un costo adicional de \$0.50/kg de ABS reciclado.

4.25.3 Costo total del hormigón con ABS reciclado:

Sumando el costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS, el costo total por 1 m³ de hormigón con la adición del 10% de ABS es de \$195.96

Tabla 48

Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS

CONCEPTO	COSTOS m ³		
Costo del hormigón base	8.44	Dólares	75.96 \$
Costos de las fibras del ABS triturado	0.5	Dólares	\$ 120
Costo total por m ³ =			\$ 195.96

Fuente: elaboración personal

4.26 Observaciones y Recomendaciones para la prueba VI

4.26.1 Observaciones

1. La incorporación del 10% de plástico ABS triturado en la mezcla de concreto ha demostrado mejorar la resistencia en etapas tempranas de curado, superando el rendimiento de la mezcla sin ABS hasta los 14 días.
2. El asentamiento de 25 cm indica una alta trabajabilidad de la mezcla con ABS, lo que la hace apta para aplicaciones que requieren un concreto fluido y fácil de manejar.
3. A lo largo de los 28 días de curado, el concreto con ABS muestra un incremento constante en su resistencia, alcanzando un valor que supera significativamente la resistencia objetivo de 23.5 MPa.
4. En las últimas etapas de curado, la mezcla con ABS presenta una ligera disminución en el crecimiento de la resistencia en comparación con la mezcla sin ABS.
5. El análisis de humedades de los agregados revela que el contenido de humedad fue bajo (1.08% en el agregado fino y 0.55% en el grueso).

4.26.2 Recomendaciones

1. Considerar la reducción del porcentaje de ABS en la mezcla para investigar si una menor cantidad de este material sigue proporcionando los beneficios de resistencia inicial sin afectar el desempeño a largo plazo.
2. Realizar estudios complementarios sobre la durabilidad y comportamiento del concreto con ABS en condiciones ambientales adversas para asegurar su aplicabilidad en diferentes contextos.

4.27 Prueba VII Incorporación del plástico ABS triturado en prueba I al 15%

4.27.1 Registro del Diseño y Humedades de los agregados

La tabla presentada muestra la identificación y los datos de dosificación de la Prueba VII, en la cual se incorpora un 15% de plástico ABS triturado en la mezcla de concreto. El presente diseño se planteó con una resistencia objetivo de 240 kg/cm² (equivalente a 23.54 MPa), y los ensayos se realizaron el 28 de septiembre de 2024 bajo la supervisión de Samuel Mena. La dosificación para ocho cilindros de concreto se detalla en términos de cantidad de materiales por metro cúbico natural y su porcentaje relativo en la mezcla. Los componentes incluyen cemento, agregados finos y gruesos, agua, y un 15% de ABS triturado, lo que resulta en una densidad total de 2426.85 kg/m³.

Tabla 49

Registro del diseño con incorporación de plástico ABS en prueba I al 15% y resultados de humedades de los agregados

IDENTIFICACIÓN				
PRUEBA N°=	PRUEBA VII			
DISEÑO=	240 kg/cm^2	=	23.54 Mpa	
FECHA=	28/09/2024			
PERSONA ENCARGO=	SAMUEL MENA			

DOSIFICACION				
DISEÑO PRUEBA I ABS AL 15%				
RECETA PARA 8 CILINDROS				
CEMENTO=	9.00 Kg	PARA MEZCLA	RECETA PARA M3	
AGREGADO FINO=	15.00 Kg			
AGREGADO GRUESO=	13.76 Kg			
AGUA=	4.32 Lt			
ABS=	6.45 Kg			

DISEÑO PRUEBA I ABS AL 15%				
M^3 NAT	POR	DENSIDAD	RECETA PARA M3	
450.00	20%	2426.85		
750.09	34%			
688.16	31%			
216.00	10%			
322.61	14%			

HUMEDADES					
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO		DONDE:	
W1=	951.00 g	W1=	952.50 g	PESO DEL RECIPIENTE	
W2=	1540.00 g	W2=	1755.50 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA	
W3=	1535.90 g	W3=	1749.90 g	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	
W=	0.70 %	W=	0.70 %	HUMEDAD	

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los ensayos de humedad de los agregados, se obtuvo un contenido de humedad del 0.70% tanto para el agregado fino como para el grueso. Estos valores fueron

calculados midiendo el peso del recipiente vacío, luego con la muestra húmeda y finalmente con la muestra seca, permitiendo así un control preciso sobre la cantidad de agua en la mezcla. La baja humedad en los agregados contribuye a mantener una relación agua-cemento adecuada, que es esencial para lograr la resistencia proyectada en el concreto con ABS. La inclusión del 15% de ABS busca analizar si un mayor contenido de este material puede influir en las propiedades mecánicas y de durabilidad de la mezcla, manteniendo una buena trabajabilidad y desempeño estructural.

4.28 Ensayos realizados para la prueba VII

4.28.1 Asentamiento

La tabla de ensayos muestra los resultados obtenidos para una mezcla de concreto que incorpora un 15% de plástico ABS triturado. Los parámetros evaluados en obra incluyen el asentamiento, la temperatura ambiente, el peso unitario del concreto y las masas correspondientes al molde utilizado en la prueba. Estos datos son fundamentales para que la mezcla cumpla con los requisitos de diseño. En esta prueba, el asentamiento medido fue de 19.5 cm, en un entorno de temperatura de 18.5 °C.

Tabla 50

ENSAYOS					
ASENTAMIENTO TOMADO EN OBRA:			19.5	CM	CUMPLE DISEÑO
TEMPERATURA :			18.5	C°	
PESO UNITARIO :			2391.46	kg/m^3	
Mm=	2600.00	g	Mm (Masa del molde)		
Mc=	9320.00	g	Mc (Masa del molde con el concreto)		
Vm=	2810.00	m^3	Vm (Volumen del molde)		

Ensayo de asentamientos prueba VII

Fuente: elaboración propia

El asentamiento de 19.5 cm refleja una mezcla con buena trabajabilidad, ideal para aplicaciones que demandan un concreto fácil de manipular y colocar. El peso unitario registrado de 2391.46 kg/m³ sugiere una mezcla densa y compacta, lo que es

crucial para garantizar la resistencia estructural deseada. En términos de masa, el molde vacío tenía un peso de 2600 g, mientras que con el concreto alcanzó los 9320 g, en un volumen de 2810 cm³. Estos resultados confirman que la mezcla ha mantenido una relación adecuada de materiales, asegurando su desempeño estructural en función de los objetivos de diseño.

4.28.2 Rotura de cilindros

La tabla presenta los resultados de los ensayos de rotura de cilindros de concreto realizados a diferentes edades (1, 3, 7, 14 y 28 días) para la evaluación de la resistencia a la compresión en una mezcla que incorpora un 15% de plástico ABS triturado. Este tipo de ensayo es crucial para analizar el desarrollo de la resistencia del concreto en las primeras etapas de curado.

Tabla 51

Ensayo de Rotura de cilindros prueba VII

ROTURA CILINDROS			
EDAD	STRESS		UNIDADES
1	45.50	44.30	Kn
3	121.20	120.30	Kn
7	160.20	157.90	Kn
14	180.30	183.00	Kn
28	200.70	198.70	Kn

Fuente: elaboración propia

Los resultados demuestran un aumento constante en la resistencia a la compresión del concreto conforme avanza el tiempo de curado. A los 1 días, el concreto registró resistencias de 45.50 y 44.30 Kn, reflejando un desarrollo inicial adecuado. Para los 3 días, la resistencia aumentó significativamente a 121.20 y 120.30 Kn, indicando un rápido endurecimiento en esta fase temprana. A los 7 días, las resistencias alcanzaron 160.20 y 157.90 Kn, consolidando aún más la estructura del concreto. A los 14 días, el concreto alcanzó valores de 180.30 y 183.00 Kn, acercándose a la resistencia proyectada.

Finalmente, a los 28 días, las resistencias se estabilizaron en 200.70 y 198.70 Kn, confirmando que la mezcla con ABS triturado mantiene un desarrollo estructural adecuado, aunque ligeramente inferior a lo esperado para una mezcla convencional.

4.28.3 Registro de resistencias

La tabla muestra el registro de resistencias a la compresión del concreto en diferentes etapas de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días) para una mezcla que incorpora un 15% de plástico ABS triturado. Los valores de esfuerzo en Kg/cm² y el área del cilindro se presentan junto con el porcentaje de resistencia alcanzado en cada fase de curado.

Tabla 52

Ensayos de Resistencia prueba VII

REGISTRO DE RESISTENCIAS									
EDAD	STRESS		UNIDADES	AREA DEL CILINDRO		PORCENTAJE RESISTENCIA			
1	57.96	56.43	Kg/cm ²	8.01	cm ²	24.15	%	23.51	%
3	154.38	153.23	Kg/cm ²	8.01	cm ²	64.32	%	63.85	%
7	204.06	201.13	Kg/cm ²	8.01	cm ²	85.02	%	83.80	%
14	229.66	233.10	Kg/cm ²	8.01	cm ²	95.69	%	97.12	%
28	255.64	253.10	Kg/cm ²	8.01	cm ²	106.52	%	105.46	%

Fuente: elaboración propia

Los resultados evidencian un incremento constante en la resistencia a la compresión a medida que avanza el proceso de curado del concreto. A los 1 días, el concreto alcanzó resistencias de 57.96 y 56.43 Kg/cm², representando el 24.15% y 23.51% de la resistencia final proyectada, lo cual indica un desarrollo inicial moderado. A los 3 días, la resistencia aumentó a 154.38 y 153.23 Kg/cm², alcanzando el 64.32% y 63.85%, respectivamente. A los 7 días, los valores de resistencia subieron a 204.06 y 201.13 Kg/cm², equivalentes al 85.02% y 83.80%, evidenciando una consolidación significativa en esta etapa. Para los 14 días, el concreto alcanzó resistencias de 229.66 y 233.10 Kg/cm², logrando un 95.69% y 97.12% de la resistencia proyectada. Finalmente,

a los 28 días, el concreto superó la resistencia de diseño con valores de 255.64 y 253.10 Kg/cm², correspondientes al 106.52% y 105.46%.

4.28.4 Comparativa de crecimiento de resistencia en porcentaje

La tabla compara el crecimiento en porcentaje de la resistencia a la compresión entre una mezcla de concreto sin ABS y una con un 15% de plástico ABS triturado, en diferentes etapas de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días). Los valores se expresan en porcentaje de resistencia alcanzada.

Tabla 53

Comparación de porcentajes de resistencia en mezcla sin ABS y con ABS prueba I al 15%

COMPARATIVA DE CRECIMIENTO DE RESISTENCIA EN PORCENTAJE			
PORCENTAJE RESISTENCIA SIN ABS		PORCENTAJE RESISTENCIA 15% ABS	
24.20 %	23.83 %	24.15 %	23.51 %
64.75 %	65.92 %	64.32 %	63.85 %
98.03 %	108.32 %	85.02 %	83.80 %
130.51 %	132.10 %	95.69 %	97.12 %
151.10 %	150.68 %	106.52 %	105.46 %

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que en las etapas iniciales de curado, el porcentaje de resistencia del concreto con 15% de ABS es ligeramente inferior al de la mezcla sin ABS. A los 1 días, el concreto con ABS alcanzó el 24.15% y 23.51% de la resistencia final, frente al 24.20% y 23.83% del concreto sin ABS. A los 3 días, los valores fueron similares, con la mezcla con ABS logrando un 64.32% y 63.85%, comparado con el 64.75% y 65.92% de la mezcla sin ABS. Sin embargo, a los 7 días, la diferencia se hace más notable: el concreto con ABS alcanzó el 85.02% y 83.80%, mientras que la mezcla sin ABS superó estos valores con un 98.03% y 108.32%. A los 14 días, la resistencia de la mezcla con ABS subió a 95.69% y 97.12%, todavía por debajo del 130.51% y 132.10% del concreto sin ABS. A los 28 días, ambos tipos de mezcla alcanzaron la resistencia de diseño, con la mezcla con ABS logrando el 106.52% y 105.46%, mientras que la mezcla

sin ABS presentó valores de 151.10% y 150.68%. De acuerdo con estos resultados la incorporación de 15% de ABS tiende a reducir la velocidad de ganancia de resistencia, aunque al final del periodo de curado logra cumplir con la resistencia proyectada.

4.28.5 Curva de resistencia del hormigón ensayado

La figura muestra la curva de resistencia a la compresión del hormigón en la Prueba VII, diseñada para alcanzar una resistencia de 23.5 MPa, con una mezcla que incorpora un 15% de plástico ABS triturado. La curva refleja el comportamiento del hormigón en diferentes edades de curado (1, 3, 7, 14 y 28 días), expresado en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²).

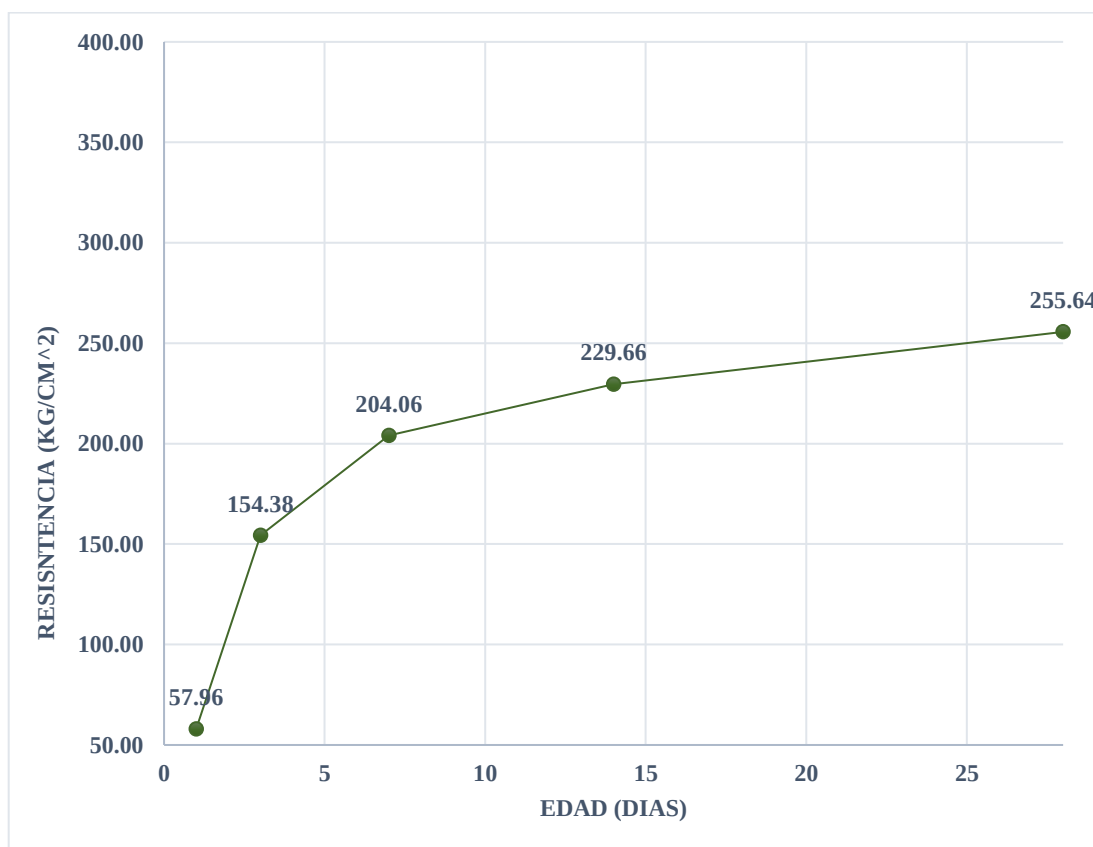


Figura 29 Curva de resistencia del hormigón prueba VII 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

La curva revela un aumento progresivo en la resistencia del hormigón con el pasar del tiempo de curado, aunque a una tasa más moderada comparada con las mezclas sin ABS. A los 1 días, el hormigón alcanzó una resistencia de 57.96 Kg/cm², lo cual

representa un desarrollo inicial positivo. Esta resistencia incrementó significativamente a 154.38 Kg/cm² a los 3 días, evidenciando un avance importante en la fase inicial de curado. Para los 7 días, la resistencia se situó en 204.06 Kg/cm², y a los 14 días alcanzó los 229.66 Kg/cm², mostrando una tendencia de crecimiento más lenta. Finalmente, a los 28 días, la resistencia llegó a 255.64 Kg/cm², confirmando que, aunque la mezcla con 15% de ABS triturado logra cumplir con la resistencia de diseño, presenta un ritmo de ganancia de resistencia más conservador en comparación con otras mezclas.

4.28.6 Curva porcentajes de resistencia del hormigón ensayado

El porcentaje de resistencia del hormigón correspondiente a la Prueba V, diseñada con una resistencia objetivo de 23.5 MPa y los resultados se muestran a continuación, representando la evolución en función del tiempo de curado, medido a intervalos de 1, 3, 7, 14 y 28 días.

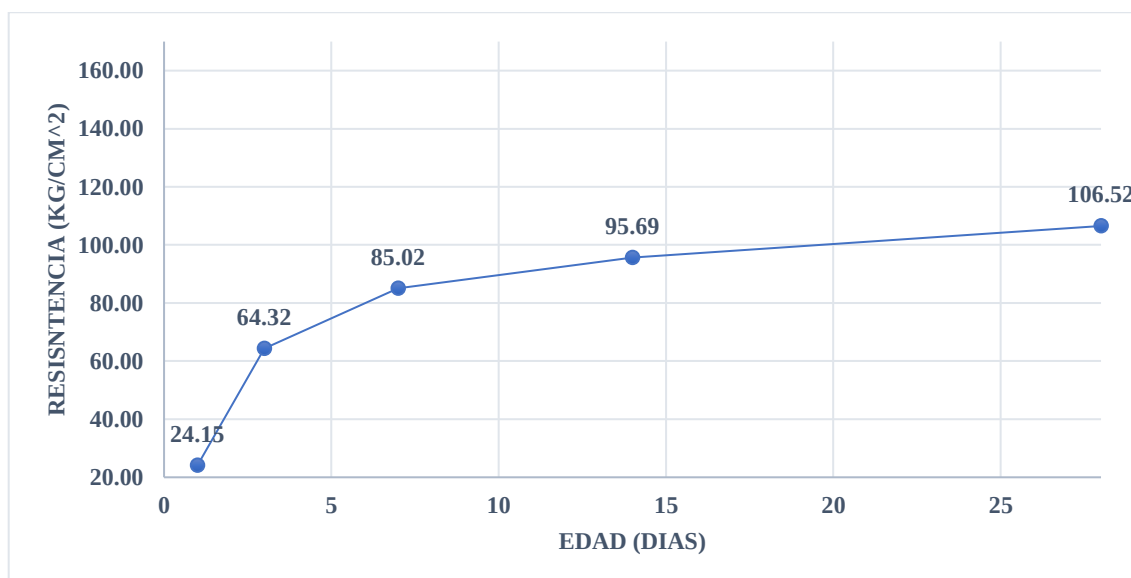


Figura 30 Curva porcentajes de resistencia del hormigón prueba VII 23.5 MPA

Fuente: elaboración propia

La curva revela que, aunque el hormigón con 15% de ABS triturado presenta un desarrollo constante de resistencia, su ritmo de ganancia es más lento en comparación con otras mezclas sin ABS. A los 1 días, el hormigón alcanzó el 24.15% de su resistencia proyectada, mostrando un inicio moderado en su proceso de endurecimiento. A los 3 días,

la resistencia aumentó al 64.32%, y a los 7 días, alcanzó el 85.02%, lo cual indica un crecimiento continuo, aunque a un ritmo más lento. A los 14 días, el porcentaje de resistencia se incrementó a 95.69%, y finalmente, a los 28 días, se alcanzó el 106.52% de la resistencia objetivo. Los datos analizados sugieren que, el incremento de ABS reduce ligeramente la velocidad de ganancia de resistencia, aunque permite que la mezcla cumpla con la resistencia de diseño a los 28 días.

4.29 Reducción del GWP mediante la inclusión de ABS al 15% en el hormigón

4.29.1 Sustitución parcial de cemento por ABS

El uso de 322.61 kg de ABS o 15% reemplazado con agregado fino por cada m³ de hormigón permite una reducción parcial del uso de agregado fino, cuya producción tiene un alto GWP por la maquinaria trituradora. El cemento GU utilizado en esta investigación tiene un GWP promedio de 541 kg CO₂-eq/m³. Al reducir la cantidad de cemento gracias a la inclusión de ABS, disminuiría la huella de carbono total de la producción de hormigón.

4.29.2 Impacto de la utilización de ABS en el GWP

El GWP del ABS utilizado en este proyecto ha sido evaluado en función de dos fuentes principales: Ecoinvent 3.8, que reporta un GWP de 0.8 kg CO₂-eq/kg, y GaBi SP40 2020, que lo estima en 0.7 kg CO₂-eq/kg. Tomando un valor promedio de 0.75 kg CO₂-eq/kg, y considerando que se emplean 322.61 kg de ABS por cada m³ de hormigón, el impacto ambiental del ABS en el GWP puede calcularse como:

Ecuación 17GWP ABS

$$GWP (abs) = 0.75Kg \text{ CO}_2 - \frac{eq}{kg} \times 323.36 \text{ Kg} = \text{Kg CO}_2 - eq$$

Por otro lado, el GWP del hormigón sin ABS se estima en 541 kg CO₂-eq/m³, por lo que el GWP total del material sería:

Ecuación 18: GWP ABS + cemento tipo Gu

$$GWP (total) = 541 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 323.36 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} = 864.36 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

El transporte de los materiales se realiza mediante una camioneta, con una capacidad de transporte de hasta 1 tonelada. Para este análisis, se asume que el hormigón y el ABS se transportan a una distancia de 40.9 km, generando emisiones adicionales. La huella de carbono asociada al transporte en una camioneta es de 0.27 kg CO₂-eq/km/tonelada. Por lo tanto, considerando la masa total transportada (1098.842 kg o 1.098842 toneladas), el GWP del transporte se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 19: GWP considerando transporte

$$\begin{aligned} GWP (transporte) &= 0.27 \text{ Kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{km}} \times 40.9 \text{ km} \times 1.098842 \text{ ton} \\ &= 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} \end{aligned}$$

Sumando el impacto del transporte al GWP del material:

Ecuación 20 GWP total

$$GWP (total) = 864.36 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} + 12.11 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq} = 876.47 \text{ Kg CO}_2 - \text{eq}$$

Justificación de la reducción del GWP mediante el uso de ABS

El uso de 322.61 kg de ABS por cada m³ de hormigón permite una reducción significativa del GWP logrando una mezcla más sostenible ambientalmente. A largo plazo, la disminución de la demanda de cemento y la reutilización de plásticos como el ABS contribuyen a una menor huella de carbono en la industria de la construcción.

4.30 Cálculo de los costos de hormigón con y sin inclusión de fibras de plástico ABS reciclado al 15%

4.30.1 Costo del hormigón base (sin fibras):

El precio del saco de hormigón tipo GU (50 kg) es de \$8.44, lo que implica un costo base de \$75.96 para la producción de 1 m³ de hormigón, utilizando aproximadamente 9 sacos (considerando un peso promedio del hormigón de 2400 kg/m³).

4.30.2 Costo de las fibras de plástico ABS reciclado:

El plástico ABS se dosifica en un 15% del peso total del hormigón. Para un volumen de 1 m³, el peso del ABS requerido es de 3.6 kg, lo que representa un costo adicional de \$0.6 (a \$0.50/kg de ABS reciclado).

4.30.3 Costo total del hormigón con ABS reciclado:

Sumando el costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS, el costo total por 1 m³ de hormigón con la adición del 15% de ABS es de \$255.96

Tabla 54

Costo del hormigón base y el costo de las fibras de ABS

CONCEPTO			COSTOS m ³
Costo del hormigón base	8.44	Dólares	\$75.96
Costos de las fibras del ABS triturado	0.5	Dólares	\$ 180
Costo total por m ³ =			\$ 255.96

Fuente: Elaboración personal

4.31 Observaciones y recomendaciones para la prueba vii

4.31.1 Observaciones

1. La incorporación de un 15% de plástico ABS triturado en la mezcla de concreto muestra una densidad total de 2426.85 kg/m³, lo cual es

ligeramente mayor que en mezclas sin ABS, sugiriendo que el ABS contribuye a un incremento de la densidad de la mezcla.

2. La humedad contenida en los agregados fino y grueso es bajo (0.70%), lo que facilita el control preciso de la relación agua-cemento en la mezcla. Esto es esencial para mantener las propiedades de resistencia y trabajabilidad deseadas en el concreto.
3. La mezcla con 15% de ABS alcanzó un asentamiento de 19.5 cm, indicando una buena trabajabilidad, adecuada para aplicaciones donde se requiere una colocación fluida y manejable del concreto.
4. Los ensayos de resistencia a la compresión muestran que, aunque el concreto con ABS cumple con la resistencia de diseño a los 28 días, su desarrollo de resistencia en etapas iniciales (1, 3 y 7 días) es inferior al de las mezclas sin ABS, lo que sugiere una ganancia de resistencia más lenta.
5. La comparativa de crecimiento en porcentaje de resistencia evidencia que la mezcla con ABS alcanza su resistencia proyectada pero no supera el rendimiento de la mezcla sin ABS en las etapas de curado, indicando que la adición de ABS puede tener un impacto en la ganancia temprana de resistencia.

4.31.2 Recomendaciones

1. Considerar una menor cantidad de ABS (por ejemplo, 5% o 10%) si se requiere una mayor ganancia de resistencia en las etapas iniciales de curado, ya que el 15% de ABS parece ralentizar la velocidad de desarrollo de resistencia en las primeras fases.
2. Evaluar el comportamiento del concreto con 15% de ABS en condiciones de carga sostenida o exposición a ambientes agresivos a largo plazo, para

determinar si este tipo de mezcla conserva su resistencia y durabilidad en el tiempo.

3. Realizar pruebas adicionales para realizar ajustes en la dosificación de agua en mezclas con ABS, ya que la relación agua-cemento para optimizar el desempeño mecánico sin comprometer la trabajabilidad del concreto.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión mostraron que la adición de plástico ABS reciclado afecta el desarrollo de resistencia en el concreto, dependiendo del porcentaje incorporado y del tiempo de fraguado. En mezclas con porcentajes bajos y moderados de ABS, como el 5% y 10% de reemplazo de agregados finos, se evidenció una mejora en la resistencia inicial y a mediano plazo en comparación con las muestras de referencia sin ABS. Específicamente, el valor inicial de resistencia a compresión para el concreto de referencia sin ABS fue de 66.87 kg/cm² al primer día, mientras que con el 5% y 10% de ABS alcanzó 68.78 kg/cm² y 70.11 kg/cm², representando incrementos del 2.85% y 4.84%, respectivamente. A los 28 días, la resistencia máxima del concreto sin ABS fue de 362.64 kg/cm², mientras que las mezclas con 5% y 10% de ABS lograron 370.28 kg/cm² y 372.32 kg/cm², con aumentos del 2.11% y 2.67%, respectivamente, mostrando así una mejora significativa en la capacidad de carga.

Sin embargo, la adición de ABS en porcentajes más altos, especialmente al 15% y como reemplazo del agregado grueso, produjo una disminución en la resistencia final, lo que sugiere que el uso de ABS debe limitarse a cantidades moderadas para mantener un desempeño mecánico adecuado a largo plazo. En concreto, el valor inicial de resistencia a compresión para el concreto de referencia sin ABS fue de 66.87 kg/cm² a los 1 días, mientras que con el 15% de ABS alcanzó 57.96 kg/cm², lo que representa una disminución del 13.31%. A los 28 días, la resistencia máxima del concreto sin ABS fue de 362.64 kg/cm², mientras que la mezcla con 15% de ABS logró 255.64 kg/cm², evidenciando una reducción del 29.49% en su capacidad de carga final. Estos resultados

confirman que el uso de ABS en altos porcentajes afecta significativamente la resistencia a compresión del concreto.

Los resultados del análisis de resistencia a la compresión muestran que la incorporación de ABS en proporciones del 5% y 10% como sustituto parcial del agregado fino permite alcanzar valores de resistencia cercanos a los 240 kg/cm², adecuados para aplicaciones estructurales de carga moderada. Sin embargo, al aumentar la proporción de ABS al 15% como sustituto del agregado grueso, la resistencia disminuye significativamente, quedando por debajo del umbral estructural mínimo de 210 kg/cm². Estos datos cuantitativos indican que el cemento tipo GU, en combinación con hasta un 10% de ABS, proporciona una mezcla compatible y resistente, mientras que proporciones mayores pueden afectar negativamente la capacidad de soporte del concreto, limitando su aplicabilidad en estructuras de alta carga.

Los resultados también sugieren que la incorporación de ABS influye en la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo. En los reemplazos del 5% y 10% de agregado fino, se observó un incremento gradual de la resistencia conforme avanzaban las edades de prueba. En el caso del 5% de ABS, la resistencia a los 28 días aumentó de 362.64 kg/cm² (concreto sin ABS) a 370.28 kg/cm², lo que representa un incremento del 2.11%. Para el 10% de ABS, la resistencia alcanzó 357.04 kg/cm², lo que, aunque ligeramente inferior al concreto sin ABS, mostró una capacidad adecuada para soportar cargas estructurales. Este comportamiento evidencia que el ABS puede contribuir a un desarrollo constante de resistencia en las etapas iniciales y medias, particularmente en proporciones moderadas, optimizando la mezcla sin comprometer significativamente su desempeño mecánico.

En contraste, cuando se reemplazó el 15% del agregado grueso, la resistencia a la compresión mostró una disminución significativa en edades posteriores. A los 28 días, la resistencia pasó de 362.64 kg/cm² (concreto sin ABS) a 255.64 kg/cm², lo que representa una reducción del 29.51% en la capacidad de carga. Este comportamiento indica una clara limitación en el desarrollo de resistencia a largo plazo en mezclas con altos porcentajes de ABS, sugiriendo que este nivel de incorporación afecta negativamente la estructura interna del concreto y compromete su desempeño mecánico para aplicaciones estructurales.

La inclusión de ABS reciclado en el concreto representa una opción sostenible para reducir los desechos plásticos y disminuir el consumo de recursos naturales en la construcción. Los resultados muestran que, en proporciones adecuadas, el ABS puede mejorar ciertas propiedades mecánicas del concreto, promoviendo una construcción más sostenible sin comprometer la resistencia del material. Esto abre posibilidades para el uso de plástico reciclado en mezclas de concreto, contribuyendo a la economía circular en el sector de la construcción.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar ensayos adicionales de compresión empleando ABS como sustituto parcial del agregado grueso, pero utilizando diferentes granulometrías del plástico. Esto permitiría evaluar cómo la variación en el tamaño y forma del ABS afecta la resistencia a compresión del concreto. Ajustes en la granulometría del ABS podrían optimizar la distribución de las cargas internas y mejorar el desempeño estructural de la mezcla.

Es aconsejable experimentar con una gama más amplia de porcentajes de incorporación de ABS para identificar un punto óptimo que maximice las propiedades mecánicas sin comprometer la integridad estructural del concreto. Este análisis ayudaría

a determinar el porcentaje de ABS más adecuado para obtener beneficios en resistencia, sin afectar negativamente la estabilidad del material.

Para futuras investigaciones, sería beneficioso expandir el análisis a otros parámetros importantes del concreto con ABS, como la durabilidad, resistencia a la flexión y el comportamiento bajo ciclos de congelación y deshielo. Estos estudios proporcionarían una visión más completa de la viabilidad del uso de plásticos reciclados en concreto, especialmente en aplicaciones que requieren resistencia frente a condiciones ambientales extremas y demandas mecánicas específicas.

Dado que la sostenibilidad es un aspecto fundamental en el uso de materiales reciclados, se recomienda analizar todo el ciclo de vida del ABS empleado en concreto. Evaluar el impacto ambiental desde la producción hasta el procesamiento y disposición final del ABS permitiría comprender mejor los beneficios netos del uso de este material reciclado en la construcción y contribuiría a una toma de decisiones informada en el contexto de construcción sostenible.

Se sugiere investigar el efecto de distintos tipos de tratamiento superficial para el ABS antes de su incorporación en el concreto, como la aplicación de recubrimientos o el texturizado de la superficie plástica. Estos tratamientos podrían optimizar la adherencia entre el ABS y la matriz de cemento, reduciendo posibles debilidades en la estructura interna y mejorando la transferencia de esfuerzos en la mezcla.

Se recomienda analizar el comportamiento del concreto con ABS bajo distintas condiciones de carga, como la carga cíclica o de impacto, para comprender mejor cómo responde el material a diferentes tipos de esfuerzo. Este tipo de pruebas permitiría evaluar si el ABS tiene un efecto en la resistencia del concreto frente a cargas variables y si es adecuado para aplicaciones estructurales específicas.

Finalmente, para ampliar la aplicabilidad de este tipo de concreto en proyectos reales, sería conveniente realizar pruebas de resistencia a largo plazo, de al menos un año, evaluando cómo la adición de ABS afecta la resistencia y durabilidad del concreto con el tiempo. Esto incluiría la resistencia frente a condiciones de exposición ambiental, como humedad, temperatura y agentes químicos, permitiendo determinar si el concreto con ABS es viable para aplicaciones en exteriores o ambientes agresivos.

5.3 Referencias:

García, J., Pérez, L., y Martínez, E. (2019). Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón mediante la adición de aditivos plásticos. *Revista de Ingeniería Civil*, 25(2), 45-58.

Espinales, V., Lago, B., y Mera, J. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(11), 600-613.

Malavé, M., y Jativa, A. (2023). *Estudio de materiales sostenibles y sustentables para la construcción de edificaciones ecoamigables en la provincia de Santa Elena*.

Pin, J. (2024). *Potencialidades de los residuos de poliestireno expandido para la elaboración de bloques huecos de hormigón*.

Muñoz, J., y Rafael, J. (2024). Porcentaje de agregado grueso reciclado sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad en concreto estructural, Trujillo, 2023.

Romero, S. (2022). *Reutilización y reciclaje de elementos o materiales de plástico en arquitectura: buenas prácticas en España*.

Jovel, M., y Pérez, L. (2011). *Ecodiseño, creación de propuestas de bolsas reutilizables y biodegradables para el desarrollo sostenible*.

Baldoceda, J. y Quezada, K. (2024). Efecto de fibras plásticas de polipropileno, acero y concreto reutilizado en las propiedades mecánicas del concreto para muros pantalla, Lima 2024.

Gamboa, J. (2021). Evaluación comparativa de mezclas asfálticas con polímeros ABS y tradicional para mejorar las propiedades mecánicas en pavimentos flexibles, Trujillo.

Molina, J. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3d con cinco mallados internos diferentes*.

Lara, J. (2024). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto para muros portantes con plástico de residuos electrónicos.

Arroyo, Y. (2020). *Análisis y estudio de las islas de basura oceánicas*

Sánchez, D. (2010). Aproximación a la relación existente entre la economía de materiales y el daño medioambiental, como estrategia de sensibilización frente a la contaminación.

Plasticoceans.org (2021). *Conceptos básicos sobre 7 tipos comunes de plástico*Oceans. <https://plasticoceans.org/7-tipos-de-plastico-mas-comunes/>

Castillo, J. (2020) Discusión sobre la biodegradación de empaques para alimentos como herramienta para el desarrollo de la competencia argumentativa científica.

Pérez-Belis, V., Bovea, M., Gómez, A., y Ruiz, A. (2012). Caracterización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en su categoría 7 (juguetes).

Ínfer, Á. (2023). Estado actual del uso de bioplásticos con aplicaciones industriales.

Meiver, P. (2022). *Análisis De Los Tiempos De Degradación De Productos Alternativos A Los Plásticos De Un Solo Uso En Medio Terrestre*

Zarate, F. (2021) *Diseño de una máquina trituradora para termoplásticos*

Díaz, C., Ipuz, J. y Garces, J. (2023). Aprovechamiento de residuos plásticos termoestables para la producción de hormigón modificado.

INEC. (2016). *Según la última estadística de información ambiental, cada ecuatoriano produce 0.58 kilogramos de residuos sólidos al día*. Ecuador en Cifras.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/#:~:text=El%20Instituto%20Nacional%20de%20Estad%C3%ADstica,Municipales%2C%20correspondiente%20al%20a%C3%B1o%202016.>

Zabala, J. (2018). La industria del reciclaje en la ciudad de Quito, propuesta de modelo

de negocio para la industria de reciclaje de plástico PET.

de Souza Machado, A., Horton, A., Davis, T., y Maaß, S. (2020). Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system. *Microplastics in terrestrial environments: emerging contaminants and major challenges*, 199-222.

Samaniego, J., Rondón, E., Herrera, J., y Santori, S. (2022). Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe.

Organización de las Naciones Unidas. (2019, 31 de julio). *Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos?*. Noticias de la ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041>

Pereiras, M. (2019). Contaminación marina por plásticos.

Elías, R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar.

Ortuño, M. (2022). El papel de los Grupos de Acción Local Pesquera (GALP) en la sostenibilidad ambiental de la costa española.

Ávila-Cuevas, W., y Carillo-Silva, G. (2022). El reciclaje: oportunidad de negocio en UPZ 89.

Galindo, C., Melo, J., y Pérez, M. (2021). Petico y el mundo de plástico: propuesta para promover la formación medioambiental enfocada al manejo adecuado de residuos plásticos Pet a niños de educación primaria en Bogotá, por medio del trabajo docente desde el diseño digital y multimedia.

León, R., Isidro, B., y Quintero, W. (2021). Diseño de una máquina de termoconformados para la fabricación de filamento ABS y PLA. *Informador técnico*, 85(1), 34-51.

Dalberg Advisors. (2019). *Solución al plástico: Contaminación asumiendo responsabilidades*. WWF International. <https://www.panda.org>

Vargas, M. (2021). *Nanocompuestos Híbridos Via Polimerización En Emulsión: Influencia Del Tipo De Nanopartícula Y Método De Polimerización*.

Jiménez, E. (2022). *Estudio de prefactibilidad técnica de una planta procesadora de polímeros reciclables en la ciudad de Machala*

Cabeza, D. (2024). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Marge books.

RT Reciclart. (2022). *Servicios*. RT Reciclart. <https://rtreciclart.com/servicios/#4>

Aleaga Ulloa, Y. P. (2023). *Evaluación de propiedades mecánicas de materiales compuestos fabricados a partir de envases plásticos reciclados y goma de neumáticos pulverizados* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica).

Polo, B. (2024). *Ingeniero De Materiales* (Tesis Doctoral, Universidad Nacional De Trujillo).

Abt, A. C. (2024). *La evaluación de las tecnologías sanitarias y los Objetivos del Desarrollo Sostenible vinculados al cambio climático*.

Palsa, Materiales de Construcción. (s.f.). *Ficha técnica ABS* [Ficha técnica]. https://www.e-palsa.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=81

Perles, P. (2003). *Hormigón armado*. Nobuko.

De Hoz, J., Ramos, L., y Cossío, F. (2003). *Diccionario de construcción tradicional: tierra*. Editorial Nerea.

Moreno, F., Galindo, N., Bayona, F., y Ruiz, J. (2023). *Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia*. *Revista Boletín Redipe*, 12(1), 101-114.

Holcim España. (2017). *El hormigón y sus propiedades más desconocidas*. Construir un Mundo Nuevo. <https://construirunmundonuevo.com/sostenibilidad-recuperacioncanteras/el-hormigon-y-sus-propiedades-mas-desconocidas/>

Pinargote, A., Gutierrez, A., y Mera, J. (2024). Características de dos agregados finos que influyen en la resistividad del hormigón. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 9(1), 1813-1829.

García-Moreta, L., Morrillo-García, V., y Guerra-Mera, J. (2023). Características de dos agregados gruesos triturados que influyen en la porosidad del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11 Ed. esp.), 16-28.

Santamaría, J., Adame, B., y Bermeo, C. (2021). Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(1), 91-101.

Cajamarca, F. (2023). Comportamiento mecánico del hormigón de F'C 240 kg/cm² reforzado con fibras de coco.

Castro, E. y Vásquez, K. (2024). Influencia del porcentaje de agregado de concreto reciclado con plastificante y método de curado sobre la resistencia a la Compresión y Peso unitario en un concreto estructural. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, 10(1), 7-16. <https://core.ac.uk/reader/153563620>

Moscote, J., y Torregroza, E. (2024). Reacción álcalis agregados en los concretos hidráulicos: una aproximación con materiales de la Región Caribe Colombiana.

Taus, V. (2003). Determinación De La Absorción Capilar En Hormigones elaborados Con Agregados Naturales Y Reciclados.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2024, 30 de mayo). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>

Holcim Ecuador. (2024). *Cemento Holcim Fuerte Ecoplanet Tipo GU*. <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>

Guillén, L. y Llerena, I. (2020). Influencia de forma, tamaño y textura de los agregados gruesos en las propiedades mecánicas del concreto.

Yam, J., Carcaño, R., y Moreno, É. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39-46.

Miranda, C., y Rado, M. (2019). Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac.

Esparza, F. (2024). Estudio del comportamiento a tracción de concretos UHPC con elevado contenido de vidrio reciclado y reforzado con fibras recicladas y comerciales.

Loayza, K. (2023). *Estudio comparativo del uso del hormigón de cal mediante el análisis del ciclo de vida (ACV)* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Gayo Martín-Nieto, I. (2003). Características técnicas y aplicaciones con hormigón ligero. *Hormigón y Acero*, 54(228).

Rubio Aranda, A. (2007). Los aditivos del mundo del hormigón.

eddy.h. (2011, abril). *Granulometría del agregado fino*. Notas de Concretos. <https://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/granulometria-del-agregado-fino.html>

Holcim Ecuador. (2021). *Cemento Holcim Fuerte, Tipo GU*. Holcim Ecuador.

ABM Composite. (2024). *Technical products y sustainability*. <https://abmcomposite.com/technical-products-sustainability/>

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., y Van, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Banco Mundial.

Cárdenas, L., y Sánchez, K. Optimización Del Potencial De Calentamiento Global Generado Por El Concreto En Pórticos Resistentes A Momento.

INEN. (2011). *NTE INEN 696:2011 - Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

PlasticsEurope. (2018). Plastics – the Facts 2018. Disponible en <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/474830-El-informe-Plastics-The-Facts-2022-disponible-en-castellano.html>

Torres, L. (2019). *Propuesta de diseño de mezcla para la elaboración del hormigón en la Unidad Básica de Servicios de Hormigón* (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Técnicas).

Pin Molina, J. J. (2023). *Gestión sostenible de plantas productoras de hormigón y su influencia en el desarrollo de cantones de la zona sureste de la provincia del Guayas* (Master's thesis, Guayaquil: ULVR, 2023).

López, J. (2020). *Diseño de mezclas de concreto ACI 211* [Presentación de diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/diseo-de-mezclas-de-concreto-aci-211-pdf-ingenieroscivileswebcom/218905382>

Anexo A: Fotos de las mezclas y ensayos in situ



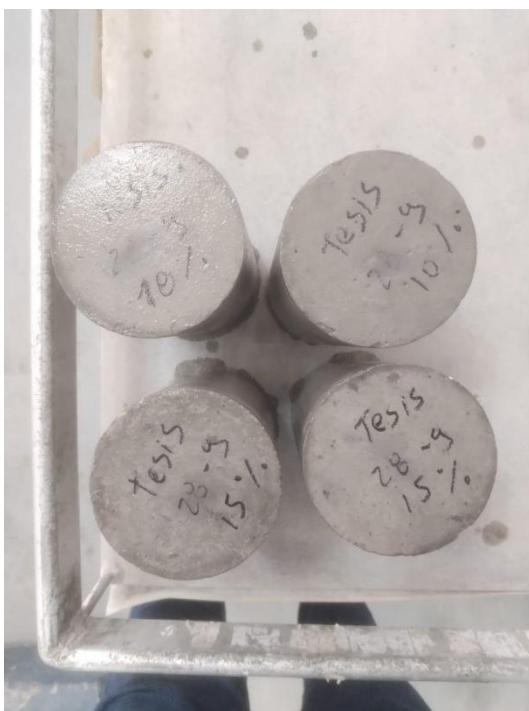










Anexo B: Cilindros de Pruebas





Anexo C: Pesajes de muestras







Anexo D: Pesaje de ABS



Anexo E: Calidad y comportamiento de las mezclas





