

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y
del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS HDPE COMO
REEMPLAZO PARCIAL DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO PARA
RESISTENCIAS $f'c = 210$ y 280 kg/cm^2 , EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Calcina Paredes, Mauricio Rene

Delgado Medina, Carlos Armando

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Ugarte Calderón, Enrique Alfonso

Arequipa – Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS HDPE
COMO REEMPLAZO PARCIAL DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO PARA
RESISTENCIAS $f_c = 210$ y 280 kg/cm^2 , EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

CALCINA PAREDES, MAURICIO RENÉ

DELGADO MEDINA, CARLOS ARMANDO

Nuestro DICTAMEN es:

APROBATORIO

OBSERVACIONES:

Arequipa, 24 de Octubre

del 2019



COD 7361



COD 1949



2778
ASESOR

DEDICATORIA

Dios

Por haber sido el forjador de mi camino, brindándome salud y vida además de permitirme llegar hasta este momento.

Mis padres

Rubén y Nila, por haberme brindado valores y educación académica. Sobre todo, por su esfuerzo, confianza y su apoyo incondicional. Este trabajo les dedico a ustedes, con amor, respeto y admiración.

Mi familia

Mi abuela Goyita, sus canas fueron sinónimo de sabiduría que me llevaron hacía el buen sendero. Y a toda mi familia por su apoyo y constante motivación en lo largo de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

A dios por guiarme en este camino y permitirme dar un paso más en el escalón de mi formación académica, a mis padres por siempre creer en mí, por su apoyo en cumplir mis metas.

A mis padres por impulsarme a conseguir mis objetivos, aportando con su sabiduría a elegir el sendero correcto, gracias.

A mi alma mater, Universidad Católica de Santa María por permitirme estar en sus aulas, laboratorios y otros. Por contribuir en el camino de mi aprendizaje y camino profesional.

Al Ing. Enrique Ugarte Calderón, mi asesor, por su dedicación y ayuda para la realización de esta tesis.

Carlos Armando Delgado Medina

DEDICATORIA

Dios

Por haber puesto en mi camino a todas esas maravillosas personas que me acompañaron y apoyaron hasta la realización de este proyecto.

Mis padres

Cecilia y Rene, por ser los pilares de mi vida y estar siempre ahí y en todo momento. Por nunca dejar de confiar en mí e inspirarme a luchar contra todos los inconvenientes que se presentaron.

Mi familia

A toda mi familia y amigos que siempre estuvieron apoyándome y creyendo en el camino que escogí.

AGRADECIMIENTO

A dios por guiarme en el buen sendero y permitirme alcanzar mis objetivos.

A mis padres por ser el impulso y mi mayor inspiración, que, con su paciencia y afecto, me ayudaron a trazar mi camino. Prometo no defraudarlos.

A mi alma mater, Universidad Católica de Santa María y a todas las autoridades, por brindarme todos los valores y herramientas que harán de mí una mejor persona y un mejor profesional.

Al Ing. Enrique Ugarte Calderón, guía y apoyo como asesor y maestro durante todo el tiempo que duro esta investigación.

Mauricio Rene Calcina Paredes

RESUMEN

La presente investigación que tiene como título “ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS HDPE COMO REEMPLAZO PARCIAL DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO PARA RESISTENCIAS $f'_c = 210$ Y 280 kg/cm^2 , EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”, plantea como objetivo principal determinar la influencia en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido para resistencias de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$; utilizando residuos plásticos HDPE como sustituto parcial de los agregados pétreos, en la ciudad de Arequipa.

Los materiales utilizados para la elaboración del concreto son: cemento portland tipo IP de Yura, agregados pétreos de la cantera La Ponderosa. El polietileno de alta densidad (HDPE) fue transformado en dos subproductos: uno fue obtenido por trituración y otro por extrusión.

Para elaborar los diseños de mezclas se utilizó el método y tablas de diseño proporcionadas por el comité ACI 211. Como requisitos fue necesario determinar las propiedades físicas de los agregados pétreos y plásticos utilizados, además de elaborar dosificaciones para reemplazos de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de plástico por volumen de agregado fino y grueso. Se realizó el vaciado de probetas y muestras cúbicas de concreto con reemplazo de HDPE, además se determinaron las propiedades para el estado fresco y endurecido, basándonos en la norma técnica actual.

Finalmente, con el propósito de encontrar la viabilidad de los diseños presentados, se realizó el análisis de costo beneficio en cada propuesta teniendo como factores el nivel de reemplazo y la incidencia que tiene este en las propiedades resultantes.

La totalidad de ensayos para esta investigación fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, y la obtención del HDPE triturado y extruido, en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de San Agustín.

Palabras clave: polietileno de alta densidad, agregados, concreto

ABSTRACT

The present investigation, entitled “ANALYSIS OF THE USE OF PLASTIC WASTE HDPE AS A PARTIAL REPLACEMENT OF THE COMPONENTS OF THE CONCRETE FOR RESISTORS $f'_c = 210$ AND 280 kg/cm^2 , IN THE CITY OF AREQUIPA”, sets as main objective to determine the influence on the properties of concrete in the fresh and hardened state for strengths of $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ and $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$; using HDPE plastic waste as a partial substitute for stone aggregates, in the city of Arequipa.

The materials used for the elaboration of concrete are: portland cement type IP of Yura, stone aggregates of the La Ponderosa quarry. High density polyethylene (HDPE) was transformed into two by-products: one was obtained by crushing and the other by extrusion.

The method and design tables provided by the ACI 211 committee were used to prepare the mix designs, as requirements it was necessary to determine the physical properties of the stone and plastic aggregates used, in addition to developing dosages for replacements of 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% plastic by volume of fine and coarse aggregate. The emptying of specimens and cubic samples of concrete with replacement of HDPE was carried out, in addition the properties for the fresh and hardened state were determined, based on the current technical standard.

Finally, in order to find the feasibility of the designs presented, the cost-benefit analysis was carried out in each approach, taking as factors the level of replacement and the incidence that this has on the resulting properties.

All the tests for this research were carried out in the Civil Engineering Laboratory of the Catholic University of Santa María, and the obtaining of the crushed and extruded HDPE, in the Materials Engineering laboratory of the National University of San Agustín.

Keywords: high density polyethylene, aggregates, concrete

INTRODUCCIÓN

Un importante acontecimiento en la época en la que transcurrimos es la Globalización. Este suceso, que caracteriza al actual mundo, afecta a los diferentes sectores como tecnológicos, económicos y sociales; y a pesar de que se vive con entusiasmo dicho acontecimiento, está logrando que la humanidad se dirija a un punto de no retorno.

Producto del acelerado crecimiento de las urbes, es imperativo la producción de gigantescas cantidades de materiales que satisfagan las demandas de las grandes concentraciones de personas en diferentes puntos demográficos. Entre los materiales que más se consumen cada segundo en todo el mundo; se encuentran el concreto y el polietileno, comúnmente conocido como plástico. Del plástico actualmente se tiene una amplia difusión con respecto a su producción, en especial negativa; ya que su uso se ha propagado a tal nivel que los desperdicios generados, han ocasionado una alerta en cada rincón del mundo por el grado de contaminación a la tierra, el agua y el aire que este produce.

Del concreto, sin embargo, no se tiene una gran difusión con respecto a los desperdicios que este genera; pero debido a la atención concentrada en la contaminación del planeta, y el desarrollo de nuevas tecnologías es que en muchos países desarrollados la demanda de concreto amigable con el medio ambiente ya es una realidad.

Producto de un plan integral que se viene llevando en diferentes lugares con sus propios factores y problemáticas, es que se está tratando de incluir desperdicios para la elaboración de materiales de construcción, unidades de albañilería y entre otros.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2. DESARROLLO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. ALCANCE	3
1.5. VARIABLES	4
1.5.1. Variables independientes.....	4
1.5.2. Variables dependientes.....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN	5
1.7. LIMITANTES	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. COMPONENTES DEL CONCRETO CONVENCIONAL	7
2.1.1. Cemento.....	7
2.1.2. Agregados.....	8
2.1.3. Agua.....	10
2.2. MÉTODO PARA DISEÑO DE MEZCLAS	11
2.2.1. MÉTODO ACI	11
2.3. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)	11
2.3.1. Usos del HDPE	13
2.3.2. Datos técnicos del HDPE	14
2.3.3. Reciclado del HDPE.....	14
2.4. EQUIPO EMPLEADO EN LA OBTENCIÓN DE HDPE COMO AGREGADO	16
2.4.1. Obtención del HDPE	16
2.4.2. Lavado del HDPE.....	17
2.4.3. Agregado HDPE triturado.....	18

2.4.4. Agregado HDPE extruido.....	20
2.4.4.1. Extrusora de HDPE.....	20
CAPÍTULO III.....	27
3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	28
3.1. OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS.....	28
3.1.1. Agregados pétreos.....	28
3.1.2. Agregados reciclados de HDPE.....	28
3.2. PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO.....	29
3.2.1. Granulometría.....	29
3.2.2. Peso unitario suelto y compactado.....	31
3.2.3. Peso específico y absorción.....	33
3.2.4. Contenido de humedad.....	36
3.3. PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO.....	37
3.3.1. Granulometría.....	37
3.3.2. Peso unitario suelto y compactado.....	39
3.3.3. Peso específico y absorción.....	41
3.3.4. Contenido de humedad.....	43
3.3.5. Resistencia a la abrasión.....	44
3.4. PROPIEDADES DEL AGREGADO HDPE TRITURADO.....	45
3.4.1. Granulometría.....	45
3.4.2. Peso unitario suelto y compactado.....	46
3.4.3. Determinación de impurezas orgánicas en el HDPE.....	47
3.5. PROPIEDADES DEL AGREGADO HDPE EXTRUIDO.....	49
3.5.1. Granulometría.....	49
3.5.2. Peso unitario suelto y compactado.....	50
3.5.3. Peso específico.....	51
3.5.4. Resistencia a la abrasión.....	52
CAPÍTULO IV.....	53
4. DISEÑO DE MEZCLAS.....	54
4.1. DISEÑO ACI DE MECLA PATRÓN POR MÉTODO ACI.....	58
4.1.1. Diseño patrón para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	58
4.1.2. Diseño patrón para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	59
4.2. DISEÑO ACI DE MEZCLA CON REEMPLAZO DE PLÁSTICO.....	60
4.2.1. Diseños con reemplazo de agregado fino para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	60
4.2.2. Diseños con reemplazo de agregado fino para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	66
4.2.3. Diseños con reemplazo de agregado grueso para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	72

4.2.4. Diseños con reemplazo de agregado grueso para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	78
CAPÍTULO V	85
5. ENSAYOS EN EL CONCRETO	86
5.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO	86
5.1.1. Peso unitario y rendimiento	86
5.1.2. Asentamiento	88
5.1.3. Temperatura	90
5.1.4. Contenido de Aire	92
5.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO	94
5.2.1. Densidad del concreto endurecido	94
5.2.2. Resistencia a la Compresión	96
5.2.3. Resistencia a la Tracción indirecta	130
5.2.4. Resistencia a la Abrasión	142
5.2.5. Predicción de resistencia a la flexión	145
CAPÍTULO VI	150
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	151
6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	151
6.1.1. Granulometría	151
6.1.2. Peso unitario suelto y compactado	152
6.1.3. Peso específico y absorción	153
6.1.4. Contenido de humedad	154
6.1.5. Abrasión	154
6.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	154
6.2.1. Peso unitario	155
6.2.2. Asentamiento	156
6.2.3. Temperatura	158
6.2.4. Contenido de Aire	160
6.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	163
6.3.1. Densidad del Concreto Endurecido	163
6.3.2. Resistencia a la compresión	165
6.3.3. Resistencia a la tracción indirecta	176
6.3.4. Resistencia a la abrasión	180
6.3.5. Predicción de resistencia a la flexión	183
CAPÍTULO VII	186
7. ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO PARA UN CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADOS Y UN CONCRETO CONVENCIONAL	187

7.1. Análisis de costos unitarios con HDPE triturado	188
7.1.1. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	188
7.1.2. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	189
7.2. Análisis de costos unitarios con HDPE extruido	190
7.2.1. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	190
7.2.2. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	191
7.3. Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE triturado	192
7.4. Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE extruido	192
7.5. Análisis Costo-Beneficio de concreto con reemplazo parcia de HDPE triturado	193
7.5.1. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	193
7.5.2. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	194
7.6. Análisis Costo-Beneficio de concreto con reemplazo parcia de HDPE extruido	195
7.6.1. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	195
7.6.2. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	196
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	205
ANEXOS	208



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables independientes.....	4
Tabla 2 Variables dependientes	4
Tabla 3 Compuestos Principales del Cemento Portland	7
Tabla 4 Propiedades del HDPE	14
Tabla 5 Granulometría del agregado fino	30
Tabla 6 Peso unitario suelto del agregado fino.....	32
Tabla 7 Peso unitario compactado del agregado fino.....	33
Tabla 8 Peso específico y absorción del agregado fino.....	35
Tabla 9 Contenido de humedad del agregado fino.....	37
Tabla 10 Cantidad de muestra mínima para ensayo de granulometría del agregado grueso	37
Tabla 11 Granulometría del agregado grueso	38
Tabla 12 Peso unitario suelto del agregado grueso.....	40
Tabla 13 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	41
Tabla 14 Cantidad de muestra mínima para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	41
Tabla 15 Peso específico y absorción del agregado grueso	43
Tabla 16 Cantidad de muestra mínima para ensayo de contenido de humedad para agregado grueso ...	43
Tabla 17 Contenido de humedad del agregado grueso.....	44
Tabla 18 Resistencia a la abrasión del agregado grueso	45
Tabla 19 Granulometría del agregado HDPE triturado	46
Tabla 20 Peso unitario suelto del agregado HDPE triturado	47
Tabla 21 Peso unitario compactado del agregado HDPE triturado	47
Tabla 22 Tabla de equivalencias entre colores de la placa orgánica y colores estándar Gardner	48
Tabla 23 Granulometría del agregado HDPE extruido	49
Tabla 24 Peso unitario suelto del agregado HDPE extruido.....	50
Tabla 25 Peso unitario compactado del agregado HDPE extruido.....	51
Tabla 26 Peso específico del agregado HDPE extruido	51
Tabla 27 Resistencia a la abrasión del agregado HDPE extruido	52
Tabla 28 Caso 2 de la resistencia promedio.....	54
Tabla 29 Caso 3 de la resistencia promedio.....	54
Tabla 30 Selección de volumen unitario del agua	55
Tabla 31 Selección del contenido de aire atrapado	55
Tabla 32 Selección de la relación agua/cemento	56
Tabla 33 Determinación en peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	57
Tabla 34 Diseño de mezcla patrón para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	58
Tabla 35 Diseño de mezcla patrón para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	59
Tabla 36 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	60
Tabla 37 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	61
Tabla 38 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	62
Tabla 39 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	63
Tabla 40 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	64
Tabla 41 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	65
Tabla 42 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	66
Tabla 43 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	67
Tabla 44 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	68

Tabla 45	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	69
Tabla 46	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	70
Tabla 47	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	71
Tabla 48	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	72
Tabla 49	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	73
Tabla 50	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	74
Tabla 51	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	75
Tabla 52	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	76
Tabla 53	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	77
Tabla 54	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	78
Tabla 55	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	79
Tabla 56	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	80
Tabla 57	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	81
Tabla 58	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	82
Tabla 59	Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	83
Tabla 60	Tabla resumen de los diseños de mezclas	84
Tabla 61	Peso Unitario promedio de diseños patrón	87
Tabla 62	Peso Unitario promedio de diseños con HDPE triturado	88
Tabla 63	Peso Unitario promedio de diseños con HDPE extruido.....	88
Tabla 64	Asentamiento promedio de mezclas de diseños patrón	89
Tabla 65	Asentamiento promedio de diseños con HDPE triturado.....	90
Tabla 66	Asentamiento promedio de diseños con HDPE extruido	90
Tabla 67	Temperatura promedio de mezclas de diseños patrón.....	91
Tabla 68	Temperatura promedio de diseños con HDPE triturado	92
Tabla 69	Temperatura promedio de diseños con HDPE extruido.....	92
Tabla 70	Contenido de Aire promedio de diseños patrón.....	93
Tabla 71	Contenido de Aire promedio de diseños con HDPE triturado	94
Tabla 72	Contenido de Aire promedio de diseños con HDPE extruido.....	94
Tabla 73	Densidad de concreto endurecido para diseño patrón	95
Tabla 74	Densidad de concreto endurecido de diseños con HDPE triturado	95
Tabla 75	Densidad de concreto endurecido de diseños con HDPE extruido.....	96
Tabla 76	Tolerancia Permisible para rotura de probetas	97
Tabla 77	Resistencias a la compresión para un concreto de diseño patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	98
Tabla 78	Resistencias a la compresión para un concreto de diseño patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	99
Tabla 79	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	100
Tabla 80	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	101
Tabla 81	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	102
Tabla 82	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	103
Tabla 83	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	104
Tabla 84	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	105
Tabla 85	Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	106

Tabla 86 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	107
Tabla 87 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	108
Tabla 88 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	109
Tabla 89 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	110
Tabla 90 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	111
Tabla 91 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	112
Tabla 92 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	113
Tabla 93 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	114
Tabla 94 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	115
Tabla 95 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	116
Tabla 96 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	117
Tabla 97 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	118
Tabla 98 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	119
Tabla 99 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	120
Tabla 100 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	121
Tabla 101 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	122
Tabla 102 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	123
Tabla 103 Resistencias a la compresión para un concreto con diseño patrón sometido a incremento de temperatura	125
Tabla 104 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura.....	126
Tabla 105 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura	127
Tabla 106 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura	128
Tabla 107 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura.....	129
Tabla 108 Resistencias a la tracción para diseños patrón.....	131
Tabla 109 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino y $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	132

Tabla 110 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	133
Tabla 111 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso y $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	134
Tabla 112 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	135
Tabla 113 Resistencias a la tracción para un concreto con diseño patrón sometido a incremento de temperatura	137
Tabla 114 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura	138
Tabla 115 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura	139
Tabla 116 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura.....	140
Tabla 117 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura.....	141
Tabla 118 Resistencias al desgaste por abrasión para un concreto patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	143
Tabla 119 Resistencias al desgaste por abrasión para concretos con reemplazo parcial en agregado fino para resistencias $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	143
Tabla 120 Resistencias al desgaste por abrasión para concretos con reemplazo parcial en agregado grueso para resistencias $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	143
Tabla 121 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para un concreto patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	144
Tabla 122 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para concretos con reemplazo parcial en agregado fino para resistencias $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	144
Tabla 123 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para concretos con reemplazo parcial en agregado grueso para resistencias $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	145
Tabla 124 Predicción del Módulo de Rotura	149
Tabla 125 Resumen de las propiedades de los agregados.....	151
Tabla 126 Resumen de las propiedades del concreto fresco	154
Tabla 127 Resumen del concreto endurecido	163
Tabla 128 Costo total de elaboración de la extrusora (S/)......	187
Tabla 129 Análisis de precios unitarios para la obtención de HDPE extruido	187
Tabla 130 Costo Unitario para diseños con reemplazo parcial de agregado fino en $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	188
Tabla 131 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado fino en $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	189
Tabla 132 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado grueso en $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$..	190
Tabla 133 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado grueso en $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$...	191
Tabla 134 Beneficio para diseños con reemplazos parciales de agregado fino en $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	192
Tabla 135 Beneficio para diseño con reemplazos parciales de agregado grueso en $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Polietileno de alta densidad nuevo o virgen	12
Figura 2 Símbolo del polietileno de alta densidad	12
Figura 3 Procesos de transformado del HDPE	13
Figura 4 Residuos plásticos en recicladora	17
Figura 5 Lavado del HDPE	17
Figura 6 Lavado del HDPE	18
Figura 7 Secado del HDPE	18
Figura 8 Molino triturador de plástico	19
Figura 9 Tamiz para el plástico	19
Figura 10 Tamizado de HDPE	20
Figura 11 Agregado de HDPE triturado	20
Figura 12 Esquema típico de una extrusora simple	21
Figura 13 Idealización de la extrusora construida	21
Figura 14 Husillo o tornillo	22
Figura 15 Mesa con el motor de 2HP	22
Figura 16 Fibra cerámica como aislante de calor	23
Figura 17 Contactor LS accionado por los termostatos	23
Figura 18 Horno y molde cilíndrico acoplado a la boca de la extrusora	24
Figura 19 Ingreso al barril de la extrusora	25
Figura 20 Boquilla que conecta con la cizalla	25
Figura 21 Proceso de corte del plástico extruido	26
Figura 22 Agregado de HDPE extruido	26
Figura 23 HDPE triturado como agregado fino	28
Figura 24 HDPE extruido como agregado grueso	29
Figura 25 Curva granulométrica del agregado fino	31
Figura 26 Curva granulométrica del agregado grueso	38
Figura 27 Curva granulométrica del agregado HDPE triturado	46
Figura 28 Determinación de impurezas en HDPE triturado	48
Figura 29 Curva granulométrica del agregado HDPE extruido	50
Figura 30 Molde utilizado para hacer las muestras de HDPE extruido	51
Figura 31 Muestra cilíndrica de HDPE extruido	52
Figura 32 Abanico Módulo de rotura vs Resistencia a compresión	146
Figura 33 Ecuaciones Resistencia a flexión y compresión	147
Figura 34 Representación de fuerzas flectoras vs tracción indirecta	148
Figura 35 Comparación de curvas granulométricas agregado pétreo fino y HDPE triturado	151
Figura 36 Comparación de curvas granulométricas agregado pétreo grueso y HDPE extruido	152
Figura 37 Comparación de peso unitario suelto y compactado para los agregados	153
Figura 38 Comparación del peso específico de los agregados	153
Figura 39 Comparación de Peso Unitario en ambos reemplazos, para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	155
Figura 40 Comparación de Peso Unitario en ambos reemplazos, para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	156
Figura 41 Comparación de Asentamiento en ambos reemplazos, para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	157
Figura 42 Comparación de Asentamiento en ambos reemplazos, para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	158
Figura 43 Comparación de Temperatura de ambos reemplazos, para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	159
Figura 44 Comparación de Temperatura de ambos reemplazos, para $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	160
Figura 45 Comparación de Contenido de aire de ambos reemplazos, para $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	161

Figura 46 Comparación de Contenido de aire de ambos reemplazos, para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	162
Figura 47 Comparación de Densidad en Concreto Endurecido de ambos reemplazos, para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	164
Figura 48 Comparación de Densidad en Concreto Endurecido de ambos reemplazos, para una resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	165
Figura 49 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	166
Figura 50 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	166
Figura 51 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 14 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	167
Figura 52 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 14 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	167
Figura 53 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 21 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	168
Figura 54 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 21 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	168
Figura 55 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	169
Figura 56 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	169
Figura 57 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Fino.	170
Figura 58 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Fino.	171
Figura 59 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso.....	172
Figura 60 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso.....	173
Figura 61 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones normales y sometidos a temperatura.....	174
Figura 62 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones normales y sometidos a temperatura.....	174
Figura 63 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura	175
Figura 64 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura	175
Figura 65 Comparación de Resistencias a la Tracción Indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino	176
Figura 66 Comparación de Resistencias a la Tracción Indirecta con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino	177
Figura 67 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura.....	178
Figura 68 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura.....	178
Figura 69 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura	179

Figura 70 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura	179
Figura 71 Comparación de Resistencias a la abrasión con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	180
Figura 72 Comparación de Resistencias a la abrasión alterna con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino	180
Figura 73 Comparación de Resistencias a la abrasión con $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino.....	181
Figura 74 Comparación de Resistencias a la abrasión alterna con $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino	182
Figura 75 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Fino	183
Figura 76 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Fino	184
Figura 77 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Grueso	184
Figura 78 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Grueso	185
Figura 79 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino	193
Figura 80 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino	194
Figura 81 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso.....	195
Figura 82 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso.....	196

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Peso unitario suelto del agregado fino	32
Ecuación 2 Peso unitario compactado del agregado fino	33
Ecuación 3 Peso específico de masa del agregado fino.....	34
Ecuación 4 Peso específico SSS del agregado fino	34
Ecuación 5 Peso específico aparente del agregado fino	35
Ecuación 6 Porcentaje de absorción del agregado fino	35
Ecuación 7 Contenido de humedad del agregado fino	36
Ecuación 8 Peso unitario suelto del agregado grueso	39
Ecuación 9 Peso unitario suelto del agregado grueso	40
Ecuación 10 Peso específico de masa del agregado grueso	42
Ecuación 11 Peso específico SSS del agregado grueso	42
Ecuación 12 Peso específico aparente del agregado grueso	42
Ecuación 13 Porcentaje de absorción del agregado grueso.....	42
Ecuación 14 Contenido de humedad del agregado grueso	44
Ecuación 15 Resistencia a la abrasión del agregado grueso	45
Ecuación 16 Resistencia a la compresión	97
Ecuación 17 Resistencia a la tracción indirecta	130
Ecuación 18 Porcentaje de desgaste.....	142
Ecuación 19 Módulo de rotura - ACI 363	145
Ecuación 20 Módulo de rotura – Selim	147
Ecuación 21 Módulo de rotura – Mohd. Ahmed.....	147
Ecuación 22 Módulo de rotura – Balbo	148
Ecuación 23 Módulo de rotura - Ababio.....	149

A large, faint watermark of the Universidad Católica de Santa María logo is centered in the background. It features a shield with a cross, a book, and a lamp, surrounded by a banner and a crown. The text 'UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA' and the year '1961' are visible on the watermark.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El uso del concreto para la construcción en la ciudad de Arequipa y en todo el Perú viene desarrollándose de forma acelerada estos últimos años, incrementando de manera exponencial la demanda de los materiales que lo constituyen, de los cuales la mayoría son extraídos de la misma naturaleza. Es por lo cual el término de medio ambiente y su relación a la construcción ha ido tomado mayor relevancia.

Así mismo, una de las mayores problemáticas que afronta la civilización moderna, es la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente. Tal es el grado de preocupación actual que varias naciones plantean diferentes formas de reciclar y reaprovechar dichos residuos. En Arequipa, esta problemática no nos es ajena por lo que es necesario investigar y promover maneras de implementar y aprovechar estos residuos en el área a la que nos avocamos. En el rubro de la construcción de nuestra ciudad, no se tienen suficientes investigaciones que aporten a lograr lo expuesto anteriormente.

1.1.2. DESARROLLO DEL PROBLEMA

El plástico por una parte es considerado uno de los materiales más usados en todo el mundo, pero esto a su vez acarrea el hecho de que también es uno de los que más se desecha a diario. Si bien se está tratando de disminuir los efectos negativos del uso de este material mediante el reciclaje, estos superan ampliamente a la capacidad de poder procesarlos.

Entre los tipos de plásticos más abundantes se encuentra el HDPE (polietileno de alta densidad) ya que tiene muchas aplicaciones en la industria actual. Más de la mitad de su uso es para la fabricación de recipientes, tapas y cierres; otro gran volumen se moldea para utensilios domésticos y juguetes; un uso también importante que tiene es para tuberías y conductos. A diferencia de los plásticos de baja densidad presenta mayor rigidez, mayor dureza, excelente resistencia térmica y química entre otros.

Es por ello la necesidad de encontrar alternativas para combatir la acumulación de este material que se viene generando en nuestra ciudad. De allí surge la idea de incorporar

residuos plásticos HDPE triturados y/o procesados a las mezclas de concreto, evaluar su comportamiento en diferentes etapas y finalmente determinar su utilidad como agregado.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la utilización de residuos plásticos HDPE en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido para resistencias $f'c = 210$ y $f'c = 280$ kg/cm², en la ciudad de Arequipa.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Recolectar, seleccionar y procesar los residuos plásticos HDPE que utilizaremos.
- ii. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y los residuos plásticos HDPE a utilizar en el diseño y elaboración del concreto.
- iii. Realizar el diseño de mezclas para las diferentes resistencias y proporciones de reemplazo de agregado fino y grueso por residuos plásticos HDPE triturados y extruidos respectivamente.
- iv. Elaborar las mezclas de concreto y determinar sus propiedades en estado fresco.
- v. Ensayar las probetas de concreto en estado endurecido a pruebas de compresión, tracción y abrasión.
- vi. Someter las probetas a un incremento de temperatura y ensayarlas a pruebas de compresión y tracción (para probetas con 28 días de curado).
- vii. Realizar el análisis de costos unitarios y el beneficio para la elaboración de concreto con reemplazo.
- viii. Elaborar gráficos comparativos con todos los resultados obtenidos del reemplazo de plástico HDPE y de diseños patrón.

1.3.HIPÓTESIS

La utilización de residuos plásticos HDPE para la elaboración de concreto de diferentes resistencias y proporciones de reemplazo, podría dar resultados óptimos y convenientes con respecto a diseños de mezclas estándar.

1.4.ALCANCE

El alcance de la presente investigación comprende desde la elaboración y validación de diseños de mezcla con la utilización de residuos de plástico HDPE en reemplazo del agregado fino en porcentajes 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%; y del agregado grueso en porcentajes 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, para la producción de concreto de resistencias $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, hasta encontrar la elaboración óptima del mismo.

Para obtener resultados más amplios con respecto al uso de plástico como agregado, también se someterán probetas con 28 días de curado a un incremento de su temperatura y ensayarlas a compresión y tracción, con la finalidad de poder compararlas con probetas a temperatura ambiente.

Como resultado se obtendrán cuadros comparativos y diagramas que evidencien las ventajas y también desventajas que representa el aprovechamiento de residuos plásticos en la elaboración de concreto, y obtener un diseño que se adecue a los requerimientos básicos para los diferentes elementos constructivos aplicados en la ciudad de Arequipa.

1.5. VARIABLES

1.5.1. Variables independientes

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Residuos HDPE	Estado inicial del plástico	Evaluación del plástico
	Propiedades físicas y mecánicas del plástico como agregado	Granulometría Peso unitario suelto y compactado Peso específico Abrasión
Porcentaje de reemplazo de residuos HDPE	Diseño de mezclas con diferentes niveles de reemplazo de agregado convencional por residuos plásticos	Volúmenes y proporciones de dosificación
Temperatura de ensayo del concreto endurecido	Propiedades del concreto sometidas a una temperatura mayor	Variación en las propiedades mecánicas del concreto

*Tabla 1 Variables independientes
(Fuente propia)*

1.5.2. Variables dependientes

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Concreto en estado fresco	Propiedades del concreto fresco	Consistencia Peso unitario Aire atrapado Temperatura
Concreto en estado endurecido	Propiedades del concreto endurecido	Resistencia a la compresión Resistencia a la tracción Resistencia a la abrasión y el impacto

*Tabla 2 Variables dependientes
(Fuente propia)*

1.6.JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, muchas de las industrias peruanas generan productos plásticos que después de haber cumplido con una determinada utilidad son desechados y terminan casi en su totalidad en los famosos botaderos. En Arequipa se estima la producción de 82 toneladas de residuos plástico diariamente, donde solo 5 toneladas son recicladas.

El plástico en el cual nos enfocaremos es el HDPE, y en nuestra ciudad es utilizado mayormente como envases de alimentos, bebidas, detergentes, productos de limpieza, cosméticos, tuberías, etc. Debido a la naturaleza de los diferentes compuestos al cual está destinado almacenar o contener, el plástico HDPE debería recibir un tratamiento especial con la finalidad de no atentar directa e indirectamente con la calidad de vida de las personas y demás seres vivos.

Producto de estos alarmantes datos, se origina la idea de utilizar residuos plásticos HDPE triturados en la elaboración de concreto. De esta forma se estima contribuir a la reducción de basura que acaban contaminando suelos y ríos; y donde no solo se buscará dar una finalidad alternativa a dichos residuos, sino que también reducir costos en la construcción, aportar conocimiento nuevo y contribuir al medio ambiente.

1.7.LIMITANTES

De manera negativa, en nuestro país no se ha adquirido la costumbre del reciclaje, según el Ministerio del Ambiente de las 12 mil botellas de plástico que se consumen por minuto solo se recupera el 36%, y esta cifra gracias a los recicladores que en su mayoría realizan dichos trabajos de manera minoritaria e informal. Esto genera que el reciclaje del HDPE en nuestro país sea mínimo y casi pase desapercibido.

Como limitante del material empleado, considerando el HDPE como la mayoría de plásticos tiene una baja resistencia a temperaturas elevadas, por lo que este material no puede ser usado en ambientes con presencia de calor excesivo como hornos, ya que puede sufrir alteraciones en sus propiedades físicas y mecánicas.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. COMPONENTES DEL CONCRETO CONVENCIONAL

2.1.1. Cemento

El cemento hidráulico o resistente al agua consiste básicamente en cemento Portland y sus diferentes modificaciones. Éste al entrar en contacto con agua y arena reacciona químicamente para formar el llamado mortero, añadiendo a esta combinación agregado grueso, se forma la pasta de concreto dando así propiedades y características para el desarrollo del mismo.

2.1.1.1. Composición Química

Determinar exactamente la composición del cemento resulta complicado ya que en este elemento intervienen diversos componentes, no obstante, se puede identificar aproximadamente en un 90% de la composición del cemento.

COMPUESTO	COMPOSICIÓN	COLOR	PORCENTAJE (%)
Silicato tricálcico	C_3S	Blanco	50
Silicato dicálcico	C_2S	Belite	25
Aluminato tricálcico	C_3A	n/a	12
Ferroaluminato Tetracálcico	C_4AF	Ferrito	8

Tabla 3 Compuestos Principales del Cemento Portland¹

2.1.1.2. Clasificación ASTM

Es necesario ver como se clasifica el cemento Portland según los estándares de la ASTM. Según el ASTM, el cemento se clasifica como Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V y otros tipos menores como Tipo IS, Tipo IP.

TIPO I

Para uso en construcción de concreto general, no requiere propiedades específicas.

TIPO II

Para uso en construcciones de concreto en general que sean expuestas a una acción moderada de sulfato, o donde se requiere calor moderado de hidratación.

¹ (Advanced Concrete Technology 2011)

TIPO III

Para uso cuando se requiere alta resistencia temprana (cemento de endurecimiento rápido).

TIPO IV

Para uso cuando se requiere bajo calor de hidratación (cemento de bajo calor).

TIPO V

Para uso cuando se requiere alta resistencia a sulfatos, este cemento contiene una uniforme mezcla de cemento Portland tipo I y escoria granulada fina, el contenido de escoria está entre el 25 y 70 por ciento del peso del cemento de escoria de alto horno Portland.

TIPO IP

Consiste en una mezcla uniforme de cemento Portland y una fina puzolana en la que el contenido de puzolana varía entre 15 y 40 por ciento del peso del cemento total.

2.1.2. Agregados

Los agregados constituyen el esqueleto del concreto, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de un concreto convencional está constituido por agregados. El agregado usualmente se ve como una dispersión inerte en la pasta de cemento, sin embargo, estrictamente hablando, el agregado no es verdaderamente inerte, esto debido a sus características físicas, térmicas y, a veces, por sus propiedades químicas que pueden influir en el rendimiento del concreto (Neville and Brooks, 1990).²

Clasificaremos los agregados de acuerdo a diferentes criterios:

2.1.2.1. Según su tamaño**2.1.2.1.1. Agregado Fino**

Son los agregados que pasan a través de un tamiz N° 4 (4.75 mm) y predominante retenidos en un tamiz N° 200 (75 μ m). La arena de río es el agregado fino más

² (Neville & Brooks, 1990, pág. 55)

utilizado, también puede ser utilizado los finos de rocas trituradas, sin embargo, este último no tiene un acabado tan bueno como la arena de río.

2.1.2.1.2. Agregado Grueso

Son los agregados retenidos predominantemente en un tamiz N° 4 (4.75 mm), e general el tamaño del agregado grueso varía de 5 a 150 mm, en un concreto común ya sea el caso el caso de uso para vigas, columnas, el tamaño máximo del agregado grueso es de aproximadamente 25 mm, en el caso que sea utilizado concreto en masa para represas o cimientos profundos, el tamaño máximo puede ser de hasta 150 mm.³

2.1.2.2. Según su origen

2.1.2.2.1. Agregado Natural

La mayoría de agregados naturales provienen de rocas de lecho, dentro el cual hay 3 tipos de rocas las cuales son, ígneas, sedimentarias y metamórficas. Esta clasificación proviene de la formación de las rocas. Se puede recordar que las rocas ígneas se forman por el enfriamiento de magma fundido. Las rocas sedimentarias se forman originalmente debajo del lecho marino y posteriormente se levantan. Las rocas metamórficas son originalmente rocas ígneas, que sufren ajustes estructurales y mineralógicos bajo ciertos agentes del metamorfismo.

2.1.2.2.2. Agregado Fabricado

Este tipo de agregado es fabricado por el hombre, resultante de productos de la industria. Un claro ejemplo y ya empleado es la escoria de alto horno, para el presente caso de estudio se presenta el uso de polietileno de alta densidad en diferentes formas.

2.1.2.3. Según su peso

2.1.2.3.1. Agregado Ultraligero

El peso unitario de este agregado es inferior a 500 kg/m³, el concreto fabricado con agregado ultraligero tiene una densidad aparente que varía entre 800 a 1100 kg/m³. Este concreto puede ser usado como miembros no estructurales, como tabiques.

³ (Zongjin Li, 2011, pág. 17)

2.1.2.3.2. Agregado Liviano

El peso unitario de este agregado varía entre 500 y 1120 kg/m³. Los ejemplos de agregados livianos incluyen ceniza, escoria de alto horno, piedra pómez volcánica y arcilla expandida., para el caso de la presente investigación se utilizará un reemplazo parcial de agregado de peso normal por agregado de polietileno de alta densidad que está incluido dentro de esta clasificación. El concreto hecho de agregado liviano tiene una densidad aparente entre 1200 y 1800 kg/m³. Dicho miembro puede ser un miembro estructural o miembro no estructural, dependiendo del tipo de agregado que se use.

2.1.2.3.3. Agregado de Peso Normal

El peso unitario de este agregado varía entre 1520 y 1680 kg/m³, se clasifica como agregado de peso normal. La arena, roca triturada, la grava pertenecen a esta categoría y son las más utilizadas. El concreto hecho con este tipo de agregado tiene una densidad aparente que varía entre 2300 y 2400 kg/m³. El concreto que es realizado con este agregado es empleado para producir importantes elementos estructurales.

2.1.2.3.4. Agregado de Peso Pesado

El peso unitario de este agregado es mayor a 2100 kg/m³, los materiales utilizados como agregados pesados son el hierro mineral, piezas de acero estrellado y limonita de magnésita. La densidad aparente del concreto que emplea este agregado es mayor a 3200 kg/m³ y puede alcanzar los 4000 kg/m³. Este concreto tiene un uso especial, como es son los escudos de radiación en centrales nucleares, hospitales y laboratorios, en ocasiones también usado como material de blindaje acústico.

2.1.3. Agua

El agua es considerada un elemento importante en la mezcla de concreto, usualmente con 15 a 25% de agua por volumen, brinda la trabajabilidad deseada en el concreto fresco como también la durabilidad y resistencias requeridas para el concreto endurecido. Los roles del agua dentro del concreto son la hidratación y trabajabilidad. En el área de calidad del concreto los factores más críticos son la cantidad total de agua en el concreto y la relación de agua/cemento.

Demasiada agua reduce la resistencia del concreto, en cambio muy poca hace que este no funcione. Es por ello se requiere una selección cuidadosa de la proporción de agua/cemento.

2.2.MÉTODO PARA DISEÑO DE MEZCLAS

2.2.1. MÉTODO ACI

Este método de dosificación del concreto fue publicado por primera vez en 1944, por el comité 613 del ACI. Casi todas las principales represas de concreto de usos múltiples en la India construidas durante 1950, se han diseñado utilizando este método, es por ello que prevaleció hasta ahora.

Este método tiene la ventaja de la simplicidad que aplica, con un procedimiento similar al de agregados redondeados o angulares, a los agregados de peso regular o liviano y a los hormigones incorporados de aire o sin aire incorporado. Este método ha sido comprobado por experimentos de campo de grandes obras.

En particular este método fue usado para la presente investigación por la razón de que trabaja independiente la corrección por absorción y humedad, dado que el reemplazo parcial (polietileno de alta densidad) en los agregados no contiene contenido de humedad ni absorción.

2.3.POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)

El polietileno es uno de los plásticos más populares; es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translucido.



Figura 1 Polietileno de alta densidad nuevo o virgen ⁴

Los diversos tipos de polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación durante la reacción de polimerización. Así, se tienen los tipos polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de baja densidad lineal, polietileno de ultra alto peso molecular, polietileno de media densidad, entre otros.

El tipo al que nos enfocaremos en esta investigación será el polietileno de alta densidad:

Nombre: Polietileno de alta densidad (en inglés, high density polyethylene).

Abreviaturas: PE-HD (según la norma ISO-1043-1), HD-PE, PE-AD, HDPE, PEAD.

Familia: Poliolefinas.

Símbolo:



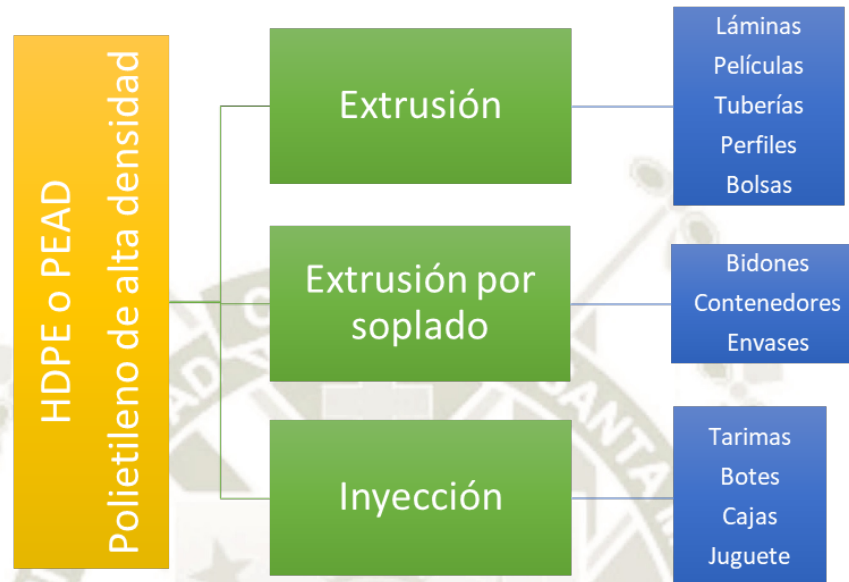
Figura 2 Símbolo del polietileno de alta densidad ⁵

⁴ (www.recimex.com)

⁵ (ASTM - D7611)

2.3.1. Usos del HDPE

El polietileno de alta densidad (HDPE) debido a sus características y propiedades que los diferencian de otros materiales, es utilizado en diferentes tipos de industria.



*Figura 3 Procesos de transformado del HDPE
(Fuente Propia)*

Entre los muchos usos y aplicaciones del HDPE tenemos, por ejemplo:

- Tuberías
- Tapices y recubrimientos para muros
- Envases de usos industriales
- Envases para productos alimenticios
- Envases para farmacéuticos
- Etiquetas
- Batas especiales para laboratorio
- Juguetes

2.3.2. Datos técnicos del HDPE

PROPIEDADES DEL HDPE	
Densidad (g/cm ³)	0.95
Modulo Elástico E (Nmm ²)	1000
Coefficiente de fricción	0.29
Módulo de Tracción (GPa)	0.5 – 1.2
Relación de Poisson	0.46
Resistencia a Tracción (MPa)	15 – 40
Esfuerzo de Rotura (Nmm ²)	20 – 30
Elongación a Ruptura (%)	12
Temperatura máxima de utilización(°C)	55 – 120
Temperatura de reblandecimiento (°C)	140
Temperatura de cristalización (°C)	130 – 135
Resistencia a los ácidos –concentrados	Buena – Aceptable
Resistencia a los ácidos –diluidos	Buena
Resistencia – Álcalis	Buena
Resistencia a los Alcoholes	Buena
Resistencia a las Cetonas	Buena – Aceptable
Resistencia a las Grasas y Aceites	Buena - Aceptable

Tabla 4 Propiedades del HDPE ⁶

2.3.3. Reciclado del HDPE

El reciclaje es una metodología de gestión de los residuos sólidos. Un proceso para la gestión de los residuos sólidos igual de útil que el vertido o la incineración, pero ambientalmente, más beneficioso a largo plazo.

En América Latina, Estados Unidos y Europa existen diversos modelos de política legislativa que regulan la gestión de los residuos sólidos.

A nivel nacional, la Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del 21 de julio del 2000) establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos,

⁶ (James Shackelford, Ciencia de materiales)

sanitarios y ambientalmente adecuados, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.⁷

El impacto ambiental generado por los plásticos es muy importante debido a:

- Su resistencia a la degradación, circunstancia que motiva su acumulación en los vertederos.
- Los plásticos contienen usualmente una variedad de aditivos como estabilizadores, agentes reforzantes, plastificantes, etc, los cuales pueden generar sus propios efectos ambientales. Por ejemplo, es relativamente frecuente el cadmio, cuyas sales son altamente tóxicas.
- Su baja densidad es causa de un mayor impacto visual y una elevación en el coste de su recolección y transporte. Así para obtener una tonelada de plástico es necesario recoger 20,000 botellas. La separación de los objetos de plástico de los residuos municipales resulta costosa.

A continuación, se menciona el proceso típico para el proceso de reciclaje del plástico:

Separación y selección

Se debe hacer la separación por el proceso con el que se fabricó la pieza (inyección, extrusión, etc.), por el tipo de producto, por el color (al menos en color natural y multicolor) y en la selección se debe retirar todo aquello que se considere un contaminante del material.

Molienda

El PE-HD es un material muy noble en la molienda ya que es relativamente suave y poco abrasivo.

Lavado y secado

Existen dos tipos de lavado: en frío y en caliente. El primero produce material limpio, pero todavía con residuos de contaminantes, mientras que en el segundo se obtiene una

⁷ (UDEP Reciclaje de plástico, 2003)

materia prima sin contaminantes y, por tanto, de mejor calidad y mayor precio en el mercado.

Dependiendo de la aplicación a la que se destine el PE-HD reciclado es el tipo de lavado que debe hacerse, siendo el más común el lavado en frío.

En cualquiera de los dos casos se pueden utilizar detergentes para mejorar la calidad del lavado.

Peletizado

El PE-HD en hojuelas limpias y secas tiene un amplio mercado y muchos compradores lo utilizan así, pero hay un mercado también importante para los pellets o granos que además tiene mayor precio en el mercado.

Las ventajas de los granos son: tamaño más regular (los pellets tienen un mismo tamaño), material más limpio (porque pasa por los filtros de la extrusora donde se retienen contaminantes) y una mezcla más homogénea de PE-HD (al fundirse y mezclarse todas las hojuelas).

La máquina utilizada es una extrusora estándar con relación largo/diámetro (L/D) de alrededor de 30 para polietileno con sistema de peletizado por filamentos o por corte a la cabeza en baño de agua.

2.4.EQUIPO EMPLEADO EN LA OBTENCION DE HDPE COMO AGREGADO

El acopio del plástico para su procesamiento fue realizado con la ayuda de recolectores e intervención propia, logrando acumular las cantidades necesarias para nuestra investigación (alrededor de 200 kg). Para esta investigación se utilizó residuos provenientes de material virgen o que no hayan sido reciclado antes (tales como las botellas de yogurt y otros envases). Luego se prosiguió con la limpieza superficial de las unidades de plástico como el retiro de etiquetas, retiro de líquidos sobrantes, etc.

2.4.1. Obtención del HDPE

Otra parte del material HDPE, fue obtenido de las recicladoras del distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa. Particularmente el material adquirido fue de envases

de color lechoso (yogurt, medicamento entre otros), ya que estos se encuentran catalogados como material con menor procesos de reutilización.



*Figura 4 Residuos plásticos en recicladora
(Fuente propia)*

2.4.2. Lavado del HDPE

Al conocer la procedencia del HDPE, se realizaron varios procedimientos con el fin de eliminar materia orgánica e inorgánica que pueda contaminar los derivados que obtengamos del HDPE.

1. Se realiza un lavado y retiro de material contaminante grande inicial con agua, para luego ser lavado con detergente común:



*Figura 5 Lavado del HDPE
(Fuente propia)*

2. Se ingresa el HDPE en hidróxido de sodio (soda cáustica) mezclado con agua



Figura 6 Lavado del HDPE
(Fuente propia)

3. Como último paso de lavado el HDPE es extendido para su secado



Figura 7 Secado del HDPE
(Fuente propia)

2.4.3. Agregado HDPE triturado

Este material será elaborado en base al reciclado de HDPE, logrando un reciclaje del 100% de dicho producto.

Para la realización de este proceso es necesario el uso de un molino triturador de plástico, este se encarga de cortar y triturar los retazos de plástico que son introducidos, esta máquina posee un rendimiento registrado entre 25-30 kg/h.



*Figura 8 Molino triturador de plástico
(Fuente propia)*

Al tener la consideración que este material al igual que el agregado grueso de HDPE extruido debe tener graduación necesaria y similar a los agregados pétreos. Dado que es necesario el llenado de espacios del concreto y producir una mezcla más compacta, se fabrica un tamiz que pueda ayudarnos a obtener estos objetivos.



*Figura 9 Tamiz para el plástico
(Fuente propia)*

Con la finalidad de obtener una muestra que pueda imitar las características físicas de la arena gruesa se tamizaba el plástico procesado por una malla de aproximadamente 4.8 mm de abertura (tamiz N° 4) y todo lo retenido se volvía a ingresar a la máquina para que vuelva a ser picado y se consigan tamaños inferiores a dicha abertura.



*Figura 10 Tamizado de HDPE
(Fuente propia)*

El material pasante se encuentra apto para poder ser utilizado en la presente investigación.



*Figura 11 Agregado de HDPE triturado
(Fuente propia)*

2.4.4. Agregado HDPE extruido

2.4.4.1. Extrusora de HDPE

Ya obtenido un HDPE libre de impurezas orgánicas e inorgánicas, y para que este material obtenga la semejanza y pueda ser utilizado como reemplazo del agregado grueso pétreo natural, se optó por realizar la fabricación de una extrusora.

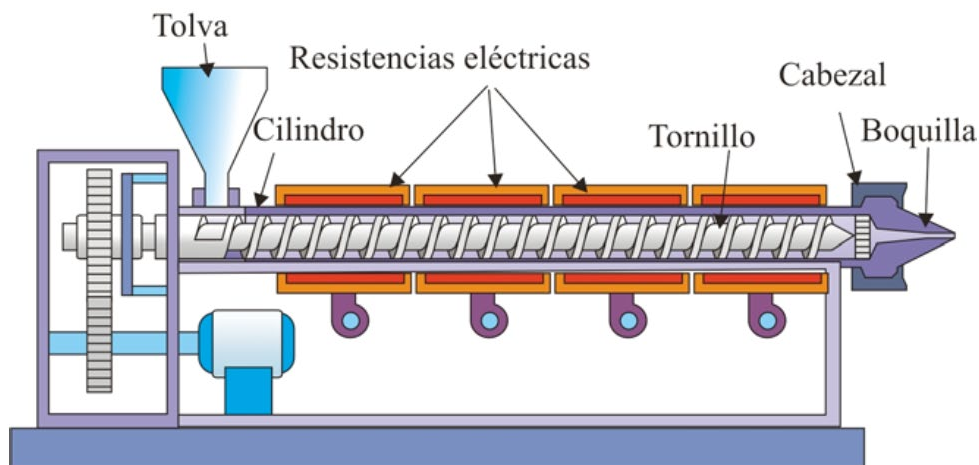


Figura 12 Esquema típico de una extrusora simple ⁸

Conociendo las limitaciones a la hora de fabricar un sistema extrusor se optó por una simplificación y de acuerdo a nuestras necesidades se elaboró un esquema similar que serviría de guía para la fabricación la extrusora.

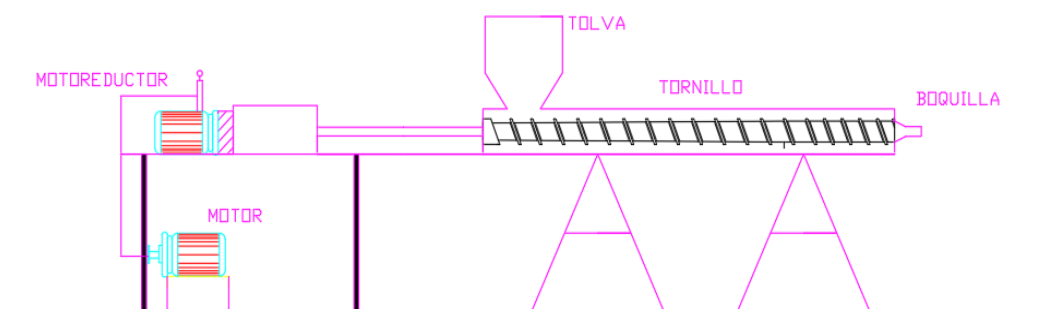


Figura 13 Idealización de la extrusora construida
(Fuente propia)

A continuación, se describe de forma sencilla el proceso de cómo se elaboró dicha extrusora:

- El tornillo es el encargado del transporte del plástico a través de todo el cilindro y abarca desde la zona de alimentación, transición y dosificación final. Para la obtención de este elemento, se realizó a partir de un tubo de acero negro y soldado al interior de un muelle alargado con calor, lo llamaremos tornillo extrusor.

⁸ (Beltrán & Marcilla, 2012, pág. 104)

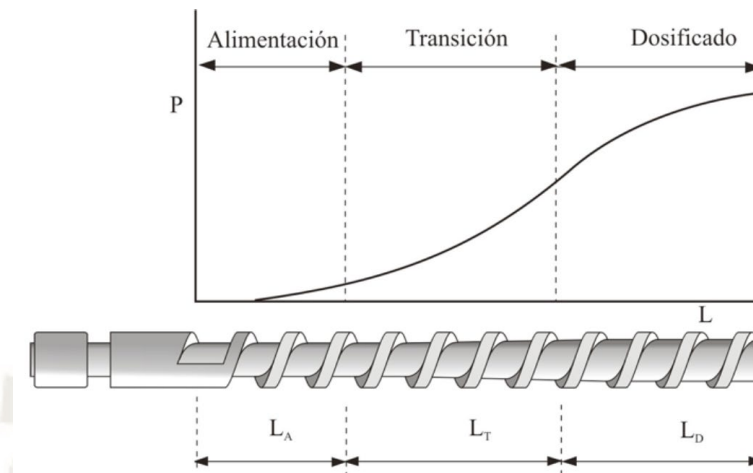


Figura 14 Husillo o tornillo⁹

- Como impulsor de torque para el tornillo, se usó un banco con un mecanismo giratorio impulsado por un motor de 2hp. Este motor fue conectado al eje del tornillo extrusor.



Figura 15 Mesa con el motor de 2HP
(Fuente propia)

- El tornillo extrusor fue soldado con una brida de acero negro y una boquilla que finalmente sería por donde se extraería el HDPE extruido. Alrededor del eje del tornillo extrusor, se instaló un tubo dentro del cual gire el tornillo extrusor.
- Se usó resistencias eléctricas para horno de 220 V, este elemento fue colocado alrededor del tubo de extrusión de tal forma que se tenga una temperatura uniforme

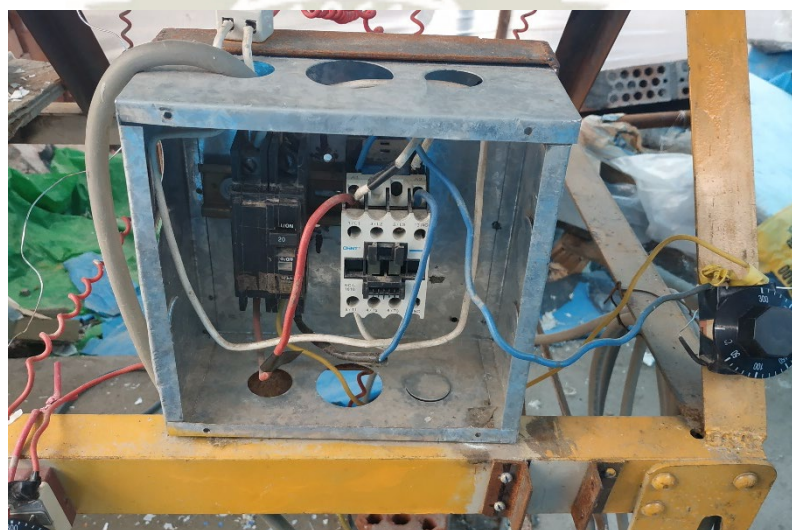
⁹ (Beltrán & Marcilla, 2012, pág. 106)

alrededor de todo el eje. Adicionalmente sobre las resistencias se colocó fibra de cerámica, elemento que aísla el calor de la extrusora del exterior.



*Figura 16 Fibra cerámica como aislante de calor
(Fuente propia)*

- Para tener una temperatura constante a través de todo el eje de extrusión se utilizó termostatos que controlaban la temperatura en 3 puntos equidistantes en el barril de la extrusora.
- En la base que fue instalada, se añadió un contactor LS (este elemento bajo un funcionamiento on-off), permitía que las resistencias estén en funcionamiento o no dependiendo del termostato.
- El contactor LS fue unido mediante cableado hacía los termostatos para que la temperatura sea constante, según se indique en los termostatos, para caso de la extrusora fabricada (130-135 °C).



*Figura 17 Contactor LS accionado por los termostatos
(Fuente propia)*

- Adicionalmente para efectos de realizar el peso específico del HDPE se hizo el acople de un horno eléctrico con la extrusora para que un molde (probeta cilíndrica) con medidas establecidas mantenga la temperatura del HDPE que tiene en su interior mientras este se va llenando.



*Figura 18 Horno y molde cilíndrico acoplado a la boca de la extrusora.
(Fuente propia)*

2.4.4.2. Obtención HDPE extruido

La presente investigación pretende determinar la posibilidad de usar HDPE extruido como reemplazo parcial de agregado grueso en el concreto, aportar de manera positiva al medio ambiente, vinculando este proceso directamente a la construcción.

Al tener un agregado grueso pétreo de tamaño de 3/4", el HDPE extruido también deberá tener esta consideración en su granulometría.

El proceso que se realizó con la extrusora tuvo los siguientes puntos:

- Introducir HDPE triturado y previamente libre de impurezas orgánicas e inorgánicas en la parte inicial del tornillo extrusor.
- Regular el termostato de la extrusora en 130 °C, para poder obtener HDPE extruido de forma cilíndrica.



*Figura 19 Ingreso al barril de la extrusora
(Fuente propia)*

- Generalmente las extrusoras o peletizadoras tienen al final de la boquilla un dado que se encarga de dar la forma al perfil decesado, sin embargo, en esta investigación no fue requerido tener una forma exacta puesto que se buscaba imitar la forma irregular del agregado grueso pétreo.



*Figura 20 Boquilla que conecta con la cizalla
(Fuente propia)*

- Luego se cortaron en trozos el HDPE extruido con la ayuda de una cizalla, para que el plástico caiga en agua y adapte su forma rápidamente.



*Figura 21 Proceso de corte del plástico extruido
(Fuente propia)*

- Finalmente obtenemos el HDPE extruido endurecido y apto para poder ser utilizado en la realización de esta investigación.



*Figura 22 Agregado de HDPE extruido
(Fuente propia)*

CAPÍTULO III: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

3.1.OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS

3.1.1. Agregados pétreos

3.1.1.1.Agregado fino

Para esta investigación, como agregado fino se utilizó arena gruesa proveniente de la cantera “La Poderosa”.

3.1.1.2.Agregado grueso

Para esta investigación, como agregado grueso se utilizó piedra chancada de $\frac{3}{4}$ ” proveniente de la cantera “La Poderosa”.

3.1.2. Agregados reciclados de HDPE

3.1.2.1.Agregado HDPE Triturado

Con respecto al agregado HDPE triturado, el cual se usó como reemplazo parcial del agregado fino, se obtuvo mediante el procedimiento de triturado – picado.

Con la ayuda de una picadora de plástico estándar, las botellas procedentes del acopio, fueron introducidas en porciones más pequeñas para facilitar el proceso. Con la finalidad de obtener una muestra que pueda imitar las características físicas de la arena gruesa se tamizaba el plástico procesado por una malla de aproximadamente 4.8 mm de abertura (tamiz N° 4) y todo lo retenido se volvía a ingresar a la máquina para que vuelva a ser picado y se consigan tamaños inferiores a dicha abertura.



*Figura 23 HDPE triturado como agregado fino
(Fuente propia)*

3.1.2.2. Agregado HDPE extruido

El agregado HDPE extruido que fue usado como reemplazo parcial del agregado grueso, se obtuvo mediante el proceso de extrusión.

Para conseguir que el plástico pueda adquirir propiedades físicas similares a las de la piedra chancada, se fabricó una extrusora con funciones y características definidas. Como resultado se obtuvo plástico extruido de formas irregulares con tamaños máximos de $\frac{3}{4}$ ".



*Figura 24 HDPE extruido como agregado grueso
(Fuente propia)*

3.2. PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

3.2.1. Granulometría

El análisis granulométrico según la NTP 400.012, es un método utilizado para determinar la distribución por tamaños de partículas del agregado fino mediante el tamizado de las muestras.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado fino para el ensayo.
- En un horno adecuado, secar la muestra manteniendo una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cantidad de muestra requerida luego del secado para el agregado fino será de 300 g como mínimo.
- Seleccionar y colocar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo, y luego colocar la cantidad de muestra sobre el tamiz

superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo de tiempo suficiente.

- Separar y pesar la cantidad de muestra retenida en cada tamiz. ¹⁰

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA 1 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 2 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 3 (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.80	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.05	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.70	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.53	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
#4	4.76	3	3.5	2.5	9	0.444	0.444	99.556
#8	2.38	85	86	82	253	12.469	12.913	87.087
#16	1.19	143.5	149.5	150	443	21.833	34.746	65.254
#30	0.59	150	149	161	460	22.671	57.417	42.583
#50	0.30	133.5	128	141	402.5	19.837	77.255	22.745
#100	0.15	81.5	77	84	242.5	11.952	89.207	10.793
#200	0.07	47	36.5	40	123.5	6.087	95.293	4.707
Fondo		24.5	32	39	95.5	4.707	100.000	0.000
TOTAL		668	661.5	699.5	2029	100.000	MÓDULO DE FINEZA	2.720

Tabla 5 Granulometría del agregado fino
(Fuente propia)

¹⁰ (Norma Técnica Peruana 400.012, 2001, pág 7)

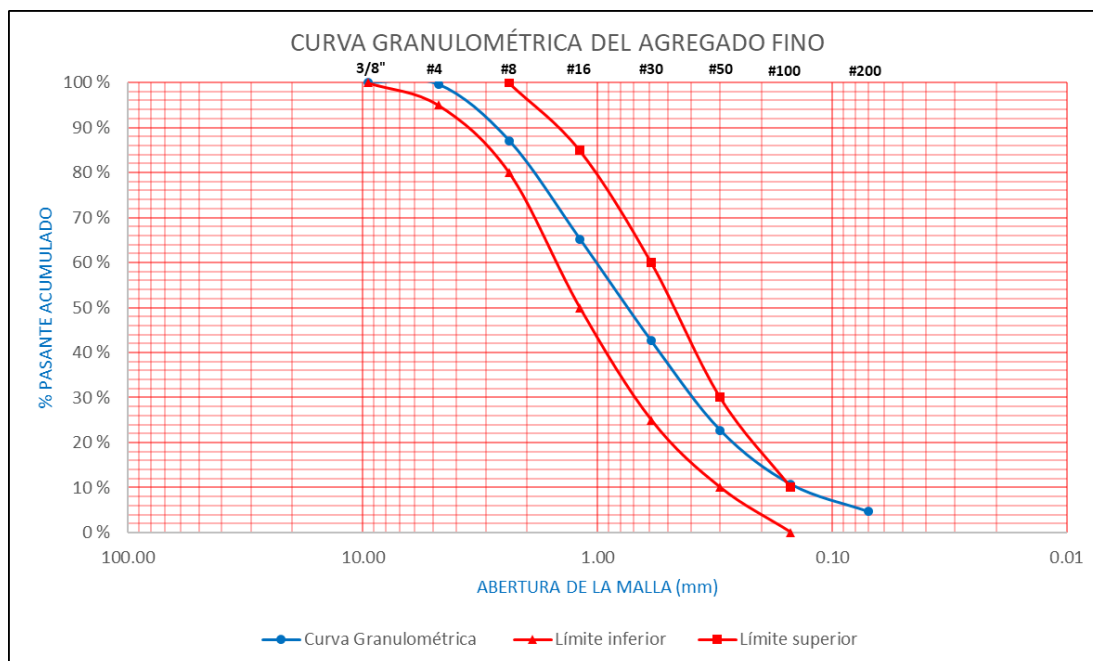


Figura 25 Curva granulométrica del agregado fino
(Fuente propia)

3.2.2. Peso unitario suelto y compactado

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana 400.017, cubre la determinación del peso unitario suelto y comparado del agregado fino con un tamaño máximo nominal de 150 mm.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

PESO UNITARIO SUELTO

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado fino para el ensayo.
- Rellenar el recipiente de medida con un cucharón o una pala desde una altura no mayor a 50 mm por encima de la parte superior del recipiente. El material sobrante se eliminará con una regla.
- Pesar el recipiente de medida más su contenido con una aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).
- Se calcula el peso unitario suelto mediante la siguiente fórmula:

$$PuS = \frac{(Ps - Pr)}{Vr}$$

Ecuación 1 Peso unitario suelto del agregado fino¹¹

Donde:

PuS: Peso unitario suelto (g/cm³)

Ps: Peso del recipiente + muestra en estado suelto (g)

Pr: Peso del recipiente (g)

Vr: Volumen del recipiente de medida (cm³)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	6005	6137	6132
Peso del recipiente	g	1726	1726	1726
Peso de la muestra	g	4279	4411	4406
Volúmen del recipiente	cm ³	2830	2830	2830
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.512	1.559	1.557
Promedio del P.U. Suelto	g/cm ³	<u>1.543</u>		

*Tabla 6 Peso unitario suelto del agregado fino
(Fuente propia)*

PESO UNITARIO COMPACTADO

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado fino para el ensayo.
- Se llena el recipiente de medida hasta 1/3 de su capacidad y se nivela la superficie, para luego mediante una barra compactadora apisonar con 25 golpes distribuidos uniformemente. Procurar que la barra no atravesase por completo la capa y golpee el fondo del recipiente.
- Se repite el procedimiento anterior cada tercio del recipiente respetando el número de golpes hasta llenarlo completamente. De igual manera, emplear la fuerza suficiente para que la barra no penetre la capa que se esté compactando. El material sobrante se enrasa con la misma barra compactadora.
- Pesar el recipiente de medida más su contenido con una aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).

¹¹ (Norma Técnica Peruana 400.17)

- Se realiza los cálculos respectivos mediante la siguiente fórmula:

$$PuC = \frac{(Pc - Pr)}{Vr}$$

Ecuación 2 Peso unitario compactado del agregado fino¹²

Donde:

PuC: Peso unitario compactado (g/cm³)

Pc: Peso del recipiente + muestra en estado compacto (g)

Pr: Peso del recipiente (g)

Vr: Volumen del recipiente de medida (cm³)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	6445	6469	6495
Peso del recipiente	g	1726	1726	1726
Peso de la muestra	g	4719	4743	4769
Volúmen del recipiente	cm ³	2830	2830	2830
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.667	1.676	1.685
Promedio del P.U. Compactado	g/cm ³	<u>1.676</u>		

*Tabla 7 Peso unitario compactado del agregado fino
(Fuente propia)*

3.2.3. Peso específico y absorción

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana 400.022, tiene por objeto establecer un procedimiento para determinar el peso específico de masa, peso específico de masa saturado superficialmente seco, peso específico aparente y la absorción para agregado fino.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado fino para el ensayo.
- Secar la muestra en una estufa a temperatura constante 110 °C ± 5 °C y esperar a que se enfríe, luego cubrir con agua, ya sea por inmersión o por adición, y dejar reposar por 24 h ± 4 h.

¹² (Norma Técnica Peruana 400.017)

- Eliminar el exceso de agua cuidadosamente procurando evitar la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente suave de aire caliente y mover con frecuencia hasta lograr el estado saturado superficialmente seco.
- Para determinar que se haya alcanzado el estado de superficie seca, se realiza la prueba de humedad superficial. Colocar el molde cónico con el diámetro mayor hacia abajo y rellenar con una porción del agregado fino parcialmente seco, después con la ayuda de una barra compactadora apisonar ligeramente con 25 golpes permitiendo que la barra caiga libremente con una altura de 5 mm por encima de la superficie de la muestra, finalmente levantar el molde verticalmente. Si la muestra moldeada presenta una ligera caída indica que se alcanzó el estado de superficie seca.
- Llenar parcialmente el picnómetro con agua e introducir 500 g ± 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco, y llenar de agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad. Agitar manualmente el picnómetro hasta eliminar las burbujas de aire visibles.
- Determinar el peso total del picnómetro, la muestra y el agua.
- Retirar el agregado fino del picnómetro, secar en el horno a una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C, dejar que enfríe a temperatura ambiente y determinar el peso.
- Se realizan los cálculos respectivos mediante las siguientes fórmulas:

$$PeM = \frac{A}{B + S - C}$$

Ecuación 3 Peso específico de masa del agregado fino¹³

$$PeSS = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 4 Peso específico SSS del agregado fino¹⁴

¹³ (Norma Técnica Peruana 400.022)

¹⁴ (Norma Técnica Peruana 400.022)

$$PeA = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 5 Peso específico aparente del agregado fino¹⁵

$$\%Abs = 100 * \frac{S - A}{A}$$

Ecuación 6 Porcentaje de absorción del agregado fino¹⁶

Donde:

PeM: Peso específico de masa (g/cm³)

PeSS: Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm³)

PeA: Peso específico aparente (g/cm³)

%Abs: Porcentaje de absorción (%)

A: peso de la muestra seca al horno (g)

B: peso del picnómetro lleno de agua (g)

C: peso del picnómetro lleno de la muestra y agua (g)

S: peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco (g)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra saturada superficialmente seca	g	519.9	539.6	542
Peso muestra SSS + Peso probeta + Peso agua	g	998.2	1006	1008.4
Peso de picnómetro lleno de agua	g	680	680	680
Peso de muestra secada al horno	g	505.8	529.2	530.6
Peso específico de masa	g/cm ³	2.508	2.478	2.484
Peso específico de masa SSS	g/cm ³	2.578	2.526	2.537
Peso específico aparente	g/cm ³	2.696	2.604	2.624
Porcentaje de absorcion	%	2.788	1.965	2.149
Peso específico de masa	g/cm ³	<u>2.490</u>		
Peso específico de masa SSS	g/cm ³	<u>2.547</u>		
Peso específico aparente	g/cm ³	<u>2.642</u>		
Porcentaje de absorcion	%	<u>2.300</u>		

*Tabla 8 Peso específico y absorción del agregado fino
(Fuente propia)*

¹⁵ (Norma Técnica Peruana 400.022)

¹⁶ (Norma Técnica Peruana 400.022)

3.2.4. Contenido de humedad

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana NTP 339.185, tiene por finalidad determinar el porcentaje total de humedad evaporable de una muestra de agregado fino mediante el secado.

- A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:
- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado fino para el ensayo.
- Determinar el peso de la muestra obtenida (un mínimo de 0.5 kg).
- Secar la muestra completamente en el recipiente haciendo uso de una fuente de calor a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener peso constante. Tener cuidado en la manipulación, tanto para evitar quemaduras como perder partículas de la muestra.
- Una vez que la muestra seca pueda ser manipulada, determinar el peso con una precisión de 0.1%.
- Se realiza los cálculos respectivos mediante la siguiente fórmula:

$$\%W = 100 * \frac{(P_i - P_f)}{P_f}$$

Ecuación 7 Contenido de humedad del agregado fino¹⁷

Donde:

%W: Porcentaje del contenido de humedad

P_i: Peso inicial de la muestra (g)

P_f: Peso de la muestra luego del secado (g)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

¹⁷ (Norma Técnica Peruana 339.185)

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso de muestra al ambiente	g	618	641	657.8
Peso de muestra secado al horno	g	617.3	640.4	656.9
Peso de agua perdida	g	0.7	0.6	0.9
Contenido de humedad	%	0.113	0.094	0.137
Promedio del contenido de humedad	%	0.115		

Tabla 9 Contenido de humedad del agregado fino
(Fuente propia)

3.3. PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

3.3.1. Granulometría

El análisis granulométrico según la NTP 400.012, es un método utilizado para determinar la distribución por tamaños de partículas del agregado grueso mediante el tamizado de las muestras.

- A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:
- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado para el ensayo.
- En un horno adecuado, secar la muestra manteniendo una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La cantidad de muestra requerida luego del secado para el agregado grueso será:

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (in)	Cantidad de la Muestra de Ensayo Mínimo kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	12 (33)

Tabla 10 Cantidad de muestra mínima para ensayo de granulometría del agregado grueso¹⁸

- Seleccionar y colocar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo, y luego colocar la cantidad de muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo de tiempo suficiente.

¹⁸ (Norma Técnica Peruana 400.012, 2001, pág. 5)

- Separar y pesar la cantidad de muestra retenida en cada tamiz.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA 1 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 2 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 3 (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.80	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.05	281.5	424	367.5	1073	6.887	6.887	93.113
1/2"	12.70	2302	2004.5	1906	6212.5	39.875	46.762	53.238
3/8"	9.53	898	797.5	759	2454.5	15.754	62.516	37.484
1/4"	6.35	990	1009	1217	3216	20.642	83.158	16.842
#4	4.76	435.5	540.5	651.5	1627.5	10.446	93.604	6.396
#8	2.38	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
#16	1.19	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
#30	0.59	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
#50	0.30	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
#100	0.15	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
#200	0.07	0	0	0	0	0.000	93.604	6.396
Fondo		193	460	343.5	996.5	6.396	100.000	0.000
TOTAL		5100	5235.5	5244.5	15580	100.000	MÓDULO DE FINEZA	6.310

Tabla 11 Granulometría del agregado grueso
(Fuente propia)

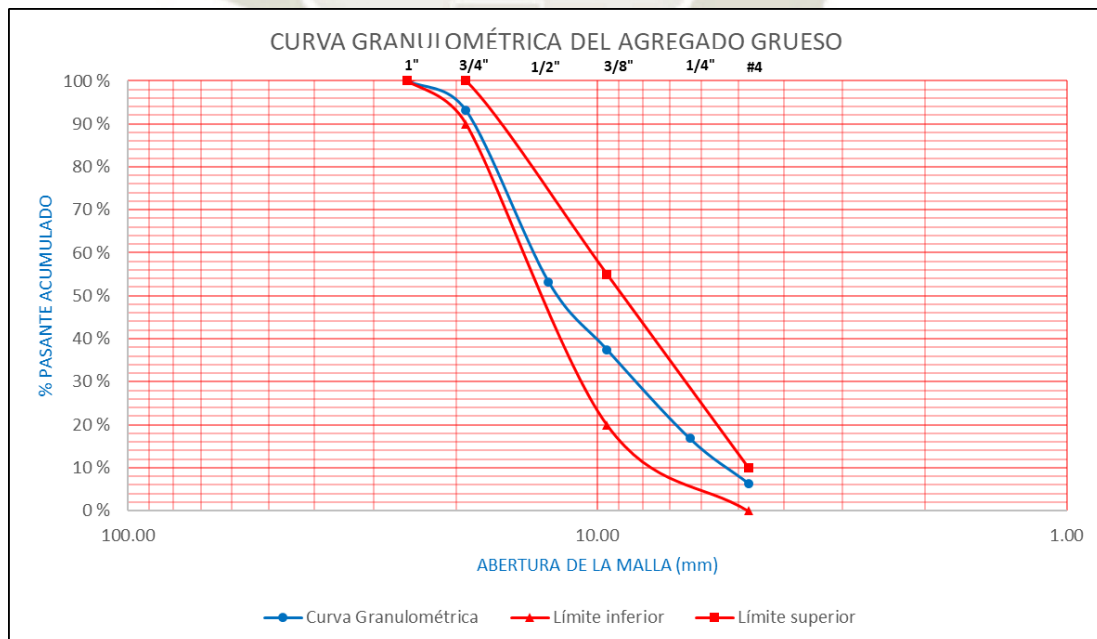


Figura 26 Curva granulométrica del agregado grueso
(Fuente propia)

3.3.2. Peso unitario suelto y compactado

Este método de ensayo según la NTP 400.017, cubre la determinación del peso unitario suelto y comparado del agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 150 mm.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

PESO UNITARIO SUELTO

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado grueso para el ensayo.
- Rellenar el recipiente de medida con un cucharón o una pala desde una altura no mayor a 50 mm por encima de la parte superior del recipiente. El material sobrante se eliminará con una regla.
- Pesar el recipiente de medida más su contenido con una aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).
- Se calcula el peso unitario suelto mediante la siguiente fórmula:

$$PuS = \frac{(Ps - Pr)}{Vr}$$

Ecuación 8 Peso unitario suelto del agregado grueso¹⁹

Donde:

PuS: Peso unitario suelto (g/cm³)

Pt: Peso del recipiente + muestra en estado suelto (g)

Pr: Peso del recipiente (g)

Vr: Volumen del recipiente de medida (cm³)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

¹⁹ (Norma Técnica Peruana 400.017)

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	19291	19429	19339
Peso del recipiente	g	4818	4818	4818
Peso de la muestra	g	14473	14611	14521
Volúmen del reciente	cm ³	9439	9439	9439
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.533	1.548	1.538
<u>Promedio del P.U. Suelto</u>	g/cm ³	<u>1.540</u>		

*Tabla 12 Peso unitario suelto del agregado grueso
(Fuente propia)*

PESO UNITARIO COMPACTADO

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado grueso para el ensayo.
- Se llena el recipiente de medida hasta 1/3 de su capacidad y se nivela la superficie, para luego mediante una barra compactadora apisonar con 25 golpes distribuidos uniformemente. Procurar que la barra no atravesase por completo la capa y golpee el fondo del recipiente.
- Se repite el procedimiento anterior cada tercio del recipiente respetando el número de golpes hasta llenarlo completamente. De igual manera, emplear la fuerza suficiente para que la barra no penetre la capa que se esté compactando. El material sobrante se enrasa con la misma barra compactadora.
- Pesar el recipiente de medida más su contenido con una aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).
- Se realiza los cálculos respectivos mediante la siguiente fórmula:

$$PuC = \frac{(Pc - Pr)}{Vr}$$

Ecuación 9 Peso unitario suelto del agregado grueso²⁰

Donde:

PuC: Peso unitario compactado (g/cm³)

Pt: Peso del recipiente + muestra en estado compacto (g)

Pr: Peso del recipiente (g)

Vr: Volumen del recipiente de medida (cm³)

²⁰ (Norma Técnica Peruana 400.017)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	20187	20297	20260
Peso del recipiente	g	4818	4818	4818
Peso de la muestra	g	15369	15479	15442
Volúmen del reciente	cm ³	9439	9439	9439
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.628	1.640	1.636
Promedio del P.U. Compactado	g/cm ³	<u>1.635</u>		

Tabla 13 Peso unitario compactado del agregado grueso
(Fuente propia)

3.3.3. Peso específico y absorción

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana 400.021, tiene por objeto establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado grueso para el ensayo.
- La cantidad mínima de muestra requerida está dada por la siguiente tabla:

Tamaño Máximo Nominal mm (in)	Peso mínimo de la muestra kg (lb)
12.5 (1/2)	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)

Tabla 14 Cantidad de muestra mínima para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso²¹

- Secar la muestra obtenida a una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C, ventilar y esperar a que sea manipulable e inmediatamente sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 h ± 4 h.

²¹ (Norma Técnica Peruana 400.021)

- Retirar la muestra saturada del agua y hacerla rodar sobre un paño absorbente de manera que la película de agua visible en la superficie del agregado desaparezca. Asegurarse de evitar la pérdida de humedad por evaporación. Calcular el peso bajo la condición de saturación con superficie seca.
- A continuación, colocar la muestra anterior en una cesta de alambre y determinar su peso sumergido en agua a temperatura ambiente. Tener cuidado de remover todo el aire que pueda quedar atrapado antes del pesado.
- Secar la muestra luego de pesarla a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener peso constante, dejar enfriar y finalmente pesar.

$$\text{PeM} = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 10 Peso específico de masa del agregado grueso²²

$$\text{PeSS} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 11 Peso específico SSS del agregado grueso²³

$$\text{PeA} = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 12 Peso específico aparente del agregado grueso²⁴

$$\% \text{Abs} = 100 * \frac{B - A}{A}$$

Ecuación 13 Porcentaje de absorción del agregado grueso²⁵

Donde:

PeM: peso específico de masa (g/cm^3)

PeSS: peso específico saturado superficialmente seco (g/cm^3)

PeA: peso específico aparente (g/cm^3)

%Abs: porcentaje de absorción (%)

A: peso de la muestra seca al horno (g)

B: peso de la muestra saturada (g)

C: peso sumergido de la muestra (g)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

²² (Norma Técnica Peruana 400.021)

²³ (Norma Técnica Peruana 400.021)

²⁴ (Norma Técnica Peruana 400.021)

²⁵ (Norma Técnica Peruana 400.021)

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra saturada superficialmente seca	g	3204	3107	3157
Peso muestra saturada en agua + peso de canastilla	g	2915	2851	2885.5
Peso de canastilla	g	883	883	883
Peso de muestra saturada en agua	g	2032	1968	2002.5
Peso de muestra secada al horno	g	3182.2	3082.4	3133.5
Peso específico de masa	g/cm ³	2.715	2.706	2.714
Peso específico de masa SSS	g/cm ³	2.734	2.728	2.735
Peso específico aparente	g/cm ³	2.767	2.766	2.771
Porcentaje de absorción	%	0.685	0.798	0.750
<u>Peso específico de masa</u>	g/cm ³	<u>2.712</u>		
<u>Peso específico de masa SSS</u>	g/cm ³	<u>2.732</u>		
<u>Peso específico aparente</u>	g/cm ³	<u>2.768</u>		
<u>Porcentaje de absorción</u>	%	<u>0.744</u>		

Tabla 15 Peso específico y absorción del agregado grueso
(Fuente propia)

3.3.4. Contenido de humedad

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana NTP 339.185, tiene por finalidad determinar el porcentaje total de humedad evaporable de una muestra de agregado grueso mediante el secado.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado grueso para el ensayo.
- Determinar el peso de la muestra obtenida, la cantidad mínima requerida está dada por la siguiente tabla:

Tamaño Máximo Nominal mm (in)	Peso mínimo de la muestra kg
4.75 (0.187) (N° 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.0 (1)	4.0
37.5 (1 ½)	6.0

Tabla 16 Cantidad de muestra mínima para ensayo de contenido de humedad para agregado grueso ²⁶

²⁶ (Norma Técnica Peruana 339.185)

- Secar la muestra completamente en el recipiente haciendo uso de una fuente de calor a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener peso constante. Tener cuidado en la manipulación, tanto para evitar quemaduras como perder partículas de la muestra.
- Una vez que la muestra seca pueda ser manipulada, determinar el peso con una precisión de 0.1%.
- Se realiza los cálculos respectivos mediante la siguiente fórmula:

$$\%W = 100 * \frac{(P_i - P_f)}{P_f}$$

Ecuación 14 Contenido de humedad del agregado grueso²⁷

Donde:

%W: porcentaje del contenido de humedad

Pi: peso inicial de la muestra (g)

Pf: peso de la muestra luego del secado (g)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso de muestra al ambiente	g	3033	3069.5	3004.5
Peso de muestra secado al horno	g	3029.7	3064	3000
Peso de agua perdida	g	3.3	5.5	4.5
Contenido de humedad	%	0.109	0.180	0.150
<u>Promedio del contenido de humedad</u>	%	<u>0.146</u>		

*Tabla 17 Contenido de humedad del agregado grueso
(Fuente propia)*

3.3.5. Resistencia a la abrasión

Este método de ensayo según la Norma Técnica Peruana NTP 400.019, establece el procedimiento para determinar la resistencia a la abrasión del agregado grueso.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Cuartear el material hasta obtener la cantidad requerida de muestra de agregado grueso para el ensayo.

²⁷ (Norma Técnica Peruana 400.019)

- Introducir la muestra y las cargas abrasivas en la máquina Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm por con un total de 500 revoluciones. Tamizar la muestra a través de la malla normalizada N° 12 y separar las partículas retenidas. Lavar el material obtenido y secar a temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se realiza los cálculos respectivos mediante la siguiente fórmula:

$$\%A = 100 * \frac{P_i - P_f}{P_i}$$

Ecuación 15 Resistencia a la abrasión del agregado grueso²⁸

Donde:

%A: porcentaje de desgaste

Pi: peso inicial de la muestra (g)

Pf: peso seco de la muestra retenida en la malla N° 12 (g)

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso de agregado limpio y seco	g	5000	5000	5000
Peso de agregado retenido en tamiz #12	g	4228.5	4199.2	4213
Porcentaje de desgaste	%	15.430	16.016	15.740
Promedio del porcentaje de desgaste	%	<u>15.729</u>		

*Tabla 18 Resistencia a la abrasión del agregado grueso
(Fuente propia)*

3.4.PROPIEDADES DEL AGREGADO HDPE TRITURADO

3.4.1. Granulometría

El procedimiento para determinar el análisis granulométrico fue realizado basándonos en la NTP 400.012.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

²⁸ (Norma Técnica Peruana 400.019)

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA 1 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 2 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 3 (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.80	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.05	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1/2"	12.70	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.53	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
#4	4.76	5.9	4.3	3.3	13.5	1.737	1.737	98.263
#8	2.38	122.1	101.4	84.9	308.4	39.676	41.413	58.587
#16	1.19	105.7	99.3	89.6	294.6	37.900	79.313	20.687
#30	0.59	31.2	28.8	29.7	89.7	11.540	90.853	9.147
#50	0.30	19.1	14.3	15.5	48.9	6.291	97.144	2.856
#100	0.15	6.9	5.9	5.8	18.6	2.393	99.537	0.463
#200	0.07	1.4	1.6	0.6	3.6	0.463	100.000	0.000
Fondo		0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
TOTAL		292.3	255.6	229.4	777.3	100.000	MÓDULO DE FINEZA	4.100

Tabla 19 Granulometría del agregado HDPE triturado (Fuente propia)

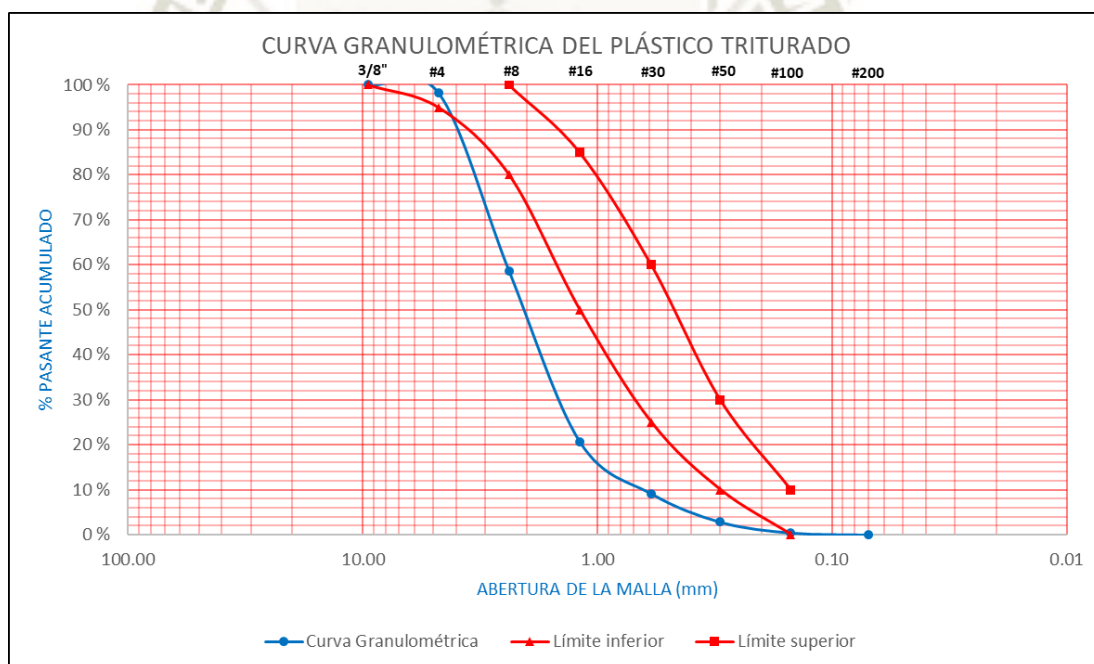


Figura 27 Curva granulométrica del agregado HDPE triturado (Fuente propia)

3.4.2. Peso unitario suelto y compactado

El procedimiento para determinar el peso unitario suelto y compactado fue realizado basándonos en la NTP 400.017.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

PESO UNITARIO SUELTO

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	2658	2638	2625
Peso del recipiente	g	1646	1646	1646
Peso de la muestra	g	1012	992	979
Volúmen del recipiente	cm ³	2830	2830	2830
Peso unitario suelto	g/cm ³	0.358	0.351	0.346
<u>Promedio del P.U. Suelto</u>	g/cm ³	<u>0.351</u>		

*Tabla 20 Peso unitario suelto del agregado HDPE triturado
(Fuente propia)*

PESO UNITARIO COMPACTADO

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	2786	2788	2794
Peso del recipiente	g	1646	1646	1646
Peso de la muestra	g	1140	1142	1148
Volúmen del recipiente	cm ³	2830	2830	2830
Peso unitario suelto	g/cm ³	0.403	0.404	0.406
<u>Promedio del P.U. Compactado</u>	g/cm ³	<u>0.404</u>		

*Tabla 21 Peso unitario compactado del agregado HDPE triturado
(Fuente propia)*

3.4.3. Determinación de impurezas orgánicas en el HDPE

En muchas ocasiones y dependiendo de la procedencia de los agregados existe la presencia de impurezas orgánicas, el cual tiene incidencia en la hidratación del cemento y por consecuencia la resistencia del concreto es afectada. El ensayo para detectar el contenido de impurezas orgánicas en los agregados es bastante simple de realizar mediante una prueba colorimétrica con hidróxido de sodio.

Con la finalidad de descartar dichas impurezas en el HDPE triturado, se utilizaron diferentes métodos como la observación de efervescencia con peróxido de hidrógeno.

Así mismo este ensayo sirvió de referencia para determinar esta característica y, de esta manera verificar si el material se encuentra en apropiadas condiciones para poder ser empleado en una mezcla de concreto.

El procedimiento utilizado como referencia se encuentra en la norma NTP 400.024 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Seleccionar envases de vidrio que se encuentren limpios, dentro de esta llenar con agregado a un nivel de 130 ml.
- Añadir al envase de vidrio, hidróxido de sodio (con una solución de 3%) hasta que el volumen de agregado y líquido sea aproximadamente 200 ml, posteriormente agitar.
- Tapar el envase y agitar, dejar reposar durante 24 h.
- Pasado las 24 horas de reposo el color del líquido es comparado contra una placa orgánica de colores estándar.

Nº De color en placa orgánica	Color estándar Gardner N°
1	5
2	8
3(estándar)	11
4	14
5	16

Tabla 22 Tabla de equivalencias entre colores de la placa orgánica y colores estándar Gardner ²⁹

Del procedimiento, se obtuvo la siguiente figura:

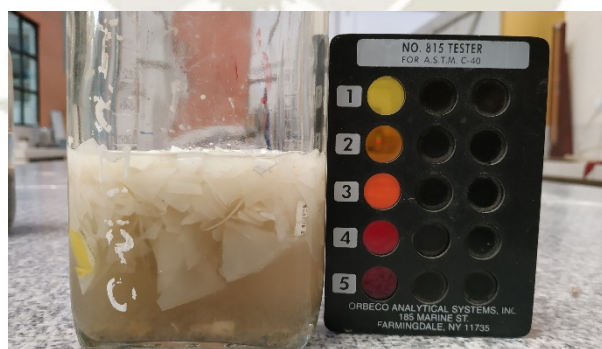


Figura 28 Determinación de impurezas en HDPE triturado
(Fuente propia)

²⁹ (Norma Técnica Peruana 400.024)

3.5. PROPIEDADES DEL AGREGADO HDPE EXTRUIDO

3.5.1. Granulometría

El procedimiento para determinar el análisis granulométrico fue realizado basándonos en la NTP 400.012.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA 1 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 2 (g)	PESO RETENIDO MUESTRA 3 (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
2 1/2"	63.50	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
2"	50.80	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
1"	25.40	0	0	0	0	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.05	14.91	9.4	4.25	28.56	1.961	1.961	98.039
1/2"	12.70	428.2	310.64	315.21	1054.05	72.382	74.343	25.657
3/8"	9.53	63.57	72.83	147.3	283.7	19.482	93.825	6.175
1/4"	6.35	21.25	14.29	52.76	88.3	6.064	99.888	0.112
#4	4.76	0.39	0.41	0.83	1.63	0.112	100.000	0.000
#8	2.38	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
#16	1.19	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
#30	0.59	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
#50	0.30	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
#100	0.15	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
#200	0.07	0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
Fondo		0	0	0	0	0.000	100.000	0.000
TOTAL		528.32	407.57	520.35	1456.24	100.000	MÓDULO DE FINEZA	6.958

Tabla 23 Granulometría del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)

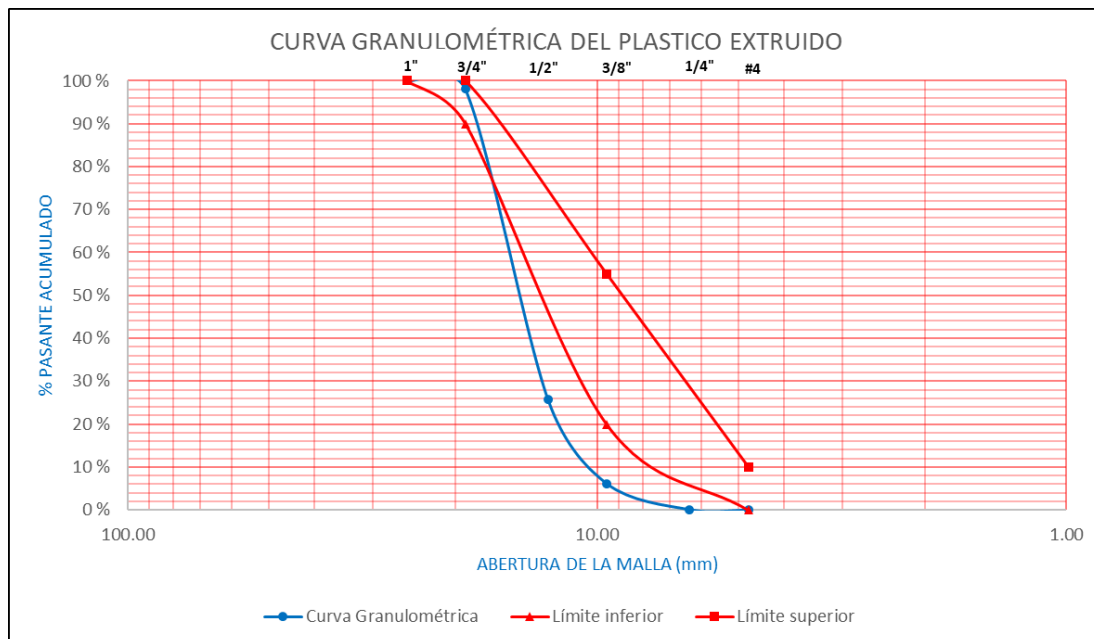


Figura 29 Curva granulométrica del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)

3.5.2. Peso unitario suelto y compactado

El procedimiento para determinar el peso unitario suelto y compactado fue realizado basándonos en la NTP 400.017.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

PESO UNITARIO SUELTO

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	8685.5	8698.5	8705
Peso del recipiente	g	4818	4818	4818
Peso de la muestra	g	3867.5	3880.5	3887
Volúmen del recipiente	cm ³	9439	9439	9439
Peso unitario suelto	g/cm ³	0.410	0.411	0.412
Promedio del P.U. Suelto	g/cm ³	<u>0.411</u>		

Tabla 24 Peso unitario suelto del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)

PESO UNITARIO COMPACTADO

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso muestra + Recipiente	g	8986.5	9097	9058.5
Peso del recipiente	g	4818	4818	4818
Peso de la muestra	g	4168.5	4279	4240.5
Volúmen del reciente	cm ³	9439	9439	9439
Peso unitario suelto	g/cm ³	0.442	0.453	0.449
Promedio del P.U. Compactado	g/cm ³	0.448		

Tabla 25 Peso unitario compactado del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)

3.5.3. Peso específico

El procedimiento para determinar el peso por unidad de volumen del plástico extruido fue realizando muestras cilíndricas extruidas, esto con el fin de mantener y representar de la manera más exacta posible las características que tendría el plástico luego de ser extruido. Los resultados fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso de muestra	g	155.46	145.67	150.81
Volumen de la muestra	cm ³	163.81	156.47	160.09
Peso específico	g/cm ³	0.949	0.931	0.942
Promedio de Peso específico	g/cm ³	0.941		

Tabla 26 Peso específico del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)

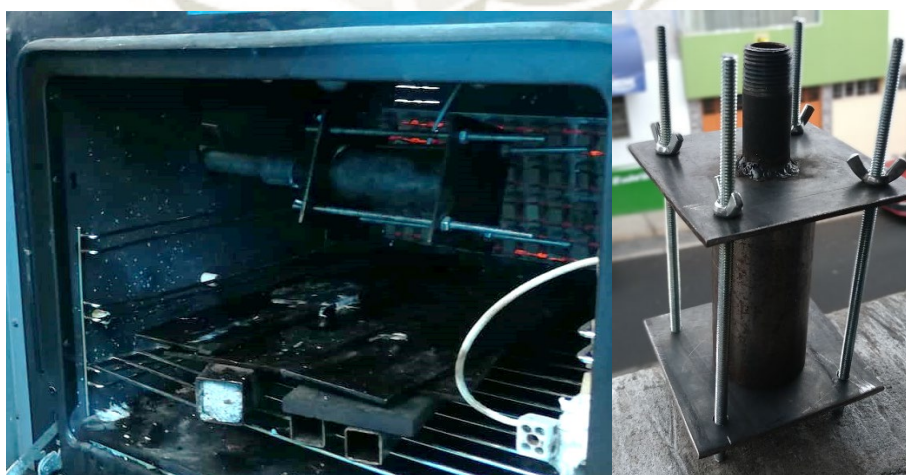


Figura 30 Molde utilizado para hacer las muestras de HDPE extruido
(Fuente propia)



Figura 31 Muestra cilíndrica de HDPE extruido
(Fuente propia)


3.5.4. Resistencia a la abrasión

El procedimiento para determinar la resistencia a la abrasión fue realizado basándonos en la NTP 400.019.

Del procedimiento, se obtuvieron los siguientes datos para cada una de las muestras ensayadas:

DESCRIPCIÓN	UND	M1	M2	M3
Peso de agregado limpio y seco	g	5026	5004	5060
Peso de agregado retenido en tamiz #12	g	4963.5	4941	4996.5
Porcentaje de desgaste	%	1.244	1.259	1.255
Promedio del porcentaje de desgaste	%	1.252		

Tabla 27 Resistencia a la abrasión del agregado HDPE extruido
(Fuente propia)



CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS

4. DISEÑO DE MEZCLAS

El método de diseño de mezclas de concreto que indica el comité ACI 211, consiste en determinar las cantidades relativas de cada material que se dosifican en la mezcla, una de las razones por cual se optó por usar este método, es que se trabajó con reemplazos parciales de agregado fino y grueso.

SECUENCIA DE DISEÑO

Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia especificada

Existe 3 casos, de estos 3, 2 requieren de datos estadísticos. Es por ello que para la presente investigación se utiliza el Caso 3.

CASO 1 (Existe datos estadísticos)

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(Ds.)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(Ds.) - 35 \quad \dots \text{Se toma el mayor resultado}$$

Donde:

Ds: Desviación estándar

CASO 2 (No se tiene los suficientes datos estadísticos)

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(\infty Ds.)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(\infty Ds.) - 35 \quad \dots \text{Se toma el mayor resultado}$$

Donde:

Ds: Desviación estándar

∞ : factor de incremento

Número de ensayos	∞
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1

Tabla 28 Caso 2 de la resistencia promedio³⁰

CASO 3 (No se tiene datos)

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

Tabla 29 Caso 3 de la resistencia promedio³¹

³⁰ (Lopez Rivva, 1999, pág. 55)

³¹ (Lopez Rivva, 1999, pág. 57)

Selección del Tamaño Máximo Nominal

TMN: 3/4"

Selección del asentamiento

El concreto se dosificará por una consistencia plástica con un asentamiento entre 3" y 4", si la consolidación es por vibración. Para la presente investigación escogeremos un asentamiento de 3".

Selección del volumen unitario de agua

Se refiere a la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcla, por unidad cúbica; para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está en estado seco. Posteriormente la cantidad de agua es corregida por el porcentaje de absorción y contenido de humedad del agregado.

CANTIDADES APROXIMADAS DE AGUA DE AMASADO EN KILOGRAMOS O LITROS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO EN FUNCION DEL SLUMP Y EL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO							
Slump	Tamaño Maximo del Agregado (in)						
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160

Tabla 30 Selección de volumen unitario del agua³²

Selección del contenido de aire

En el concreto existe un porcentaje de aire atrapado, este depende de los materiales, las condiciones de operación, la granulometría y el tamaño máximo del agregado. Estas burbujas se caracterizan por tener un diámetro cercano a 1 mm y tener perfil irregular.

Tamaño Máximo Nominal	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%
6"	0.2%

Tabla 31 Selección del contenido de aire atrapado³³

³² (Lopez Rivva, 1999, pág. 78)

³³ (Lopez Rivva, 1999, pág. 82)

Selección de la relación agua/cemento por resistencia

Esta relación se selecciona por una tabla, a través de la resistencia promedio. Se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco

f _{cr} (28 días)	Relación Agua/Cemento de diseño en peso	
	Sin Aire Incorporado	Con Aire Incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Tabla 32 Selección de la relación agua/cemento³⁴

Para obtener valores que no se encuentren específicamente como los dados, se procede a realizar interpolación.

Cálculo del contenido de cemento

Conocido el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto, y también la relación de agua/cemento, se puede determinar el factor de cemento por unidad cúbica de concreto. El resultado será el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto

Selección del contenido de agregado grueso

La siguiente tabla fue elaborada por el comité 211 del ACI, está en función del TMN del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino.

El reemplazo parcial de HDPE por agregado grueso se realizó por volumen.

³⁴ (Lopez Rivva, 1999, pág. 91)

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO COMPACTADO EN SECO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO VS MÓDULO DE FINEZA DE LA ARENA				
TMN (agregado grueso)	Modulo de Fineza de la Arena			
	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
4"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 33 Determinación en peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto³⁵

Cálculo de volúmenes absolutos

Con los pesos del cemento, agua, agregado grueso, HDPE y volumen de aire conocidos, se procede a calcular la suma de volúmenes absolutos de estos materiales.

Contenido de agregado fino

El volumen absoluto de agregado fino, será la diferencia entre la unidad y la suma de volúmenes absoluto ya calculado previamente.

En el caso de reemplazo parcial de HDPE por agregado fino, se realiza por volumen. El peso del agregado fino, será igual a su volumen multiplicado por su peso específico.

Cálculo del reemplazo volumétrico con HDPE

Para incluir el agregado HDPE triturado y extruido en la mezcla, se realizó mediante el reemplazo del volumen absoluto respectivo en cada agregado (reemplazo volumétrico).

Corrección por humedad del agregado

Los agregados no se encuentran totalmente secos, estos contienen humedad. En el caso de la presente investigación el aporte de humedad y absorción del HDPE es nula, por lo cual solo se realiza corrección por parte de los agregados pétreos.

Finalmente se obtiene los pesos de todos los componentes del concreto para esta investigación.

³⁵ (Lopez Rivva, 1999)

4.1. DISEÑO ACI DE MECLA PATRÓN POR MÉTODO ACI

4.1.1. Diseño patrón para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m3)	PU suelto (kg/m3)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	0%	(patrón)	a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	20.69	225.69	0.61	7.090	7.090
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.379	1026.78	1.0015	1028.28	2.80	20.977	32.304

1.000

*Tabla 34 Diseño de mezcla patrón para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.1.2. Diseño patrón para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m3)	PU suelto (kg/m3)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	0%	(patrón)	a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	19.31	224.31	0.51	7.047	7.047
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.379	1026.78	1.0015	1028.28	2.34	20.977	32.304
	1.000						

*Tabla 35 Diseño de mezcla patrón para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2. DISEÑO ACI DE MEZCLA CON REEMPLAZO DE PLÁSTICO

4.2.1. Diseños con reemplazo de agregado fino para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

4.2.1.1. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²		Vol agua:	205	litros	
% reemplazo HDPE:	5%			a/c:	0.558		
Asentamiento:	3	in		aire:	2%		

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	20.11	225.11	0.61	7.072	7.072
Agregado Fino	0.258	642.58	1.0012	643.32	1.75	13.098	20.211
Agregado Grueso	0.374	1015.50	1.0015	1016.98	2.77	20.746	31.949
Plastico triturado	0.014	12.90	-	12.90	0.035	1.155	0.405
	1.000						

Tabla 36 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

4.2.1.2. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	10%		a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	19.51	224.51	0.61	7.053	7.053
Agregado Fino	0.248	618.08	1.0012	618.79	1.68	12.599	19.440
Agregado Grueso	0.370	1004.22	1.0015	1005.68	2.74	20.516	31.594
Plastico triturado	0.028	26.20	-	26.20	0.071	2.345	0.823
	1.000						

*Tabla 37 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.1.3. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	15%		a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	18.88	223.88	0.61	7.034	7.034
Agregado Fino	0.238	592.55	1.0012	593.23	1.61	12.078	18.637
Agregado Grueso	0.366	992.94	1.0015	994.39	2.71	20.285	31.240
Plastico triturado	0.042	39.90	-	39.90	0.109	3.571	1.253
	1.000						

*Tabla 38 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.1.4. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 20% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	20%		a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	18.24	223.24	0.61	7.013	7.013
Agregado Fino	0.227	565.98	1.0012	566.63	1.54	11.537	17.801
Agregado Grueso	0.362	981.65	1.0015	983.09	2.68	20.055	30.885
Plastico triturado	0.057	53.98	-	53.98	0.147	4.832	1.696
	1.000						

*Tabla 39 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.1.5. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 25% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	25%		a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	17.57	222.57	0.61	6.992	6.992
Agregado Fino	0.216	538.38	1.0012	538.99	1.47	10.974	16.933
Agregado Grueso	0.358	970.37	1.0015	971.79	2.65	19.824	30.530
Plastico triturado	0.072	68.47	-	68.47	0.186	6.128	2.151
	1.000						

*Tabla 40 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.1.6. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 30% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO					
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol agua:	205	litros
% reemplazo HDPE:	30%		a/c:	0.558	
Asentamiento:	3	in	aire:	2%	

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	16.87	221.87	0.60	6.970	6.970
Agregado Fino	0.205	509.73	1.0012	510.32	1.39	10.390	16.032
Agregado Grueso	0.354	959.09	1.0015	960.49	2.61	19.594	30.175
Plastico triturado	0.088	83.35	-	83.35	0.227	7.460	2.618
	1.000						

*Tabla 41 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2. Diseños con reemplazo de agregado fino para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

4.2.2.1. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	5%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	18.80	223.80	0.51	7.031	7.031
Agregado Fino	0.234	582.38	1.0012	583.05	1.33	11.871	18.317
Agregado Grueso	0.374	1015.50	1.0015	1016.98	2.31	20.746	31.949
Plastico triturado	0.012	11.69	-	11.69	0.027	1.047	0.367
	1.000						

*Tabla 42 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2.2. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	10%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	18.26	223.26	0.51	7.014	7.014
Agregado Fino	0.225	561.05	1.0012	561.70	1.28	11.436	17.646
Agregado Grueso	0.370	1004.22	1.0015	1005.68	2.29	20.516	31.594
Plastico triturado	0.025	23.78	-	23.78	0.054	2.129	0.747
	1.000						

*Tabla 43 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2.3. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	15%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	17.71	222.71	0.51	6.997	6.997
Agregado Fino	0.216	538.69	1.0012	539.31	1.23	10.980	16.943
Agregado Grueso	0.366	992.94	1.0015	994.39	2.26	20.285	31.240
Plastico triturado	0.038	36.27	-	36.27	0.082	3.246	1.139
	1.000						

*Tabla 44 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2.4. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 20% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	20%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	17.13	222.13	0.50	6.978	6.978
Agregado Fino	0.207	515.29	1.0012	515.88	1.17	10.503	16.207
Agregado Grueso	0.362	981.65	1.0015	983.09	2.23	20.055	30.885
Plastico triturado	0.052	49.15	-	49.15	0.112	4.399	1.544
	1.000						

*Tabla 45 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2.5. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 25% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	25%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	16.53	221.53	0.50	6.960	6.960
Agregado Fino	0.197	490.85	1.0012	491.41	1.12	10.005	15.438
Agregado Grueso	0.358	970.37	1.0015	971.79	2.21	19.824	30.530
Plastico triturado	0.066	62.42	-	62.42	0.142	5.587	1.961
	1.000						

*Tabla 46 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.2.6. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 30% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE triturado	950	351	404			4.1	

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	30%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO FINO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	15.90	220.90	0.50	6.940	6.940
Agregado Fino	0.187	465.38	1.0012	465.91	1.06	9.486	14.637
Agregado Grueso	0.354	959.09	1.0015	960.49	2.18	19.594	30.175
Plastico triturado	0.080	76.09	-	76.09	0.173	6.811	2.391
	1.000						

*Tabla 47 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3. Diseños con reemplazo de agregado grueso para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

4.2.3.1. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	5%		a/c: 0.558
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	20.39	225.39	0.61	7.081	7.081
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.360	975.44	1.0015	976.87	2.66	19.928	30.689
Plastico extruido	0.019	17.81	-	17.81	0.048	1.362	0.560
	1.000						

*Tabla 48 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3.2. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	10%		a/c:	0.558			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	20.08	225.08	0.61	7.071	7.071
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.341	924.10	1.0015	925.45	2.52	18.879	29.074
Plastico extruido	0.038	35.63	-	35.63	0.097	2.723	1.119
	1.000						

*Tabla 49 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3.3. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	15%		a/c:	0.558			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	19.77	224.77	0.61	7.061	7.061
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.322	872.76	1.0015	874.04	2.38	17.830	27.459
Plastico extruido	0.057	53.44	-	53.44	0.145	4.085	1.679
	1.000						

*Tabla 50 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3.4. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 20% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	20%		a/c:	0.558			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	19.47	224.47	0.61	7.052	7.052
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.303	821.42	1.0015	822.62	2.24	16.781	25.843
Plastico extruido	0.076	71.25	-	71.25	0.194	5.446	2.239
	1.000						

*Tabla 51 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3.5. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 25% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	25%		a/c:	0.558			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	19.16	224.16	0.61	7.042	7.042
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.284	770.09	1.0015	771.21	2.10	15.733	24.228
Plastico extruido	0.095	89.07	-	89.07	0.242	6.808	2.798
	1.000						

*Tabla 52 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.3.6. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 30% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	210	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	30%		a/c:	0.558			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.129	367.38	-	367.38	1	4.050	11.542
Agua	0.205	205	18.85	223.85	0.61	7.032	7.032
Agregado Fino	0.267	666.04	1.0012	666.81	1.82	13.576	20.948
Agregado Grueso	0.265	718.75	1.0015	719.80	1.96	14.684	22.613
Plastico extruido	0.114	106.88	-	106.88	0.291	8.170	3.358
	1.000						

*Tabla 53 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4. Diseños con reemplazo de agregado grueso para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

4.2.4.1. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO			
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua: 205 litros
% reemplazo HDPE:	5%		a/c: 0.466
Asentamiento:	3	in	aire: 2%

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	19.00	224.00	0.51	7.037	7.037
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.360	975.44	1.0015	976.87	2.22	19.928	30.689
Plastico extruido	0.019	17.81	-	17.81	0.040	1.362	0.560
	1.000						

*Tabla 54 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4.2. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	10%		a/c:	0.466			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	18.69	223.69	0.51	7.028	7.028
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.341	924.10	1.0015	925.45	2.10	18.879	29.074
Plastico extruido	0.038	35.63	-	35.63	0.081	2.723	1.119
	1.000						

*Tabla 55 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4.3. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	15%		a/c:	0.466			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	18.39	223.39	0.51	7.018	7.018
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.322	872.76	1.0015	874.04	1.99	17.830	27.459
Plastico extruido	0.057	53.44	-	53.44	0.121	4.085	1.679
	1.000						

*Tabla 56 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4.4. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 20% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	20%		a/c:	0.466			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	18.08	223.08	0.51	7.008	7.008
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.303	821.42	1.0015	822.62	1.87	16.781	25.843
Plastico extruido	0.076	71.25	-	71.25	0.162	5.446	2.239
	1.000						

*Tabla 57 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4.5. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 25% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	25%		a/c:	0.466			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	17.77	222.77	0.51	6.999	6.999
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.284	770.09	1.0015	771.21	1.75	15.733	24.228
Plastico extruido	0.095	89.07	-	89.07	0.202	6.808	2.798
	1.000						

*Tabla 58 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

4.2.4.6. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 30% de reemplazo

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES							
Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado	% humedad	% absorción	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115%	2.300%	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146%	0.744%	6.31	3/4
HDPE extruido	941	411	448				

DATOS DE DISEÑO							
Resistencia $f'c$:	280	kg/cm ²	Vol. Agua:	205	litros		
% reemplazo HDPE:	30%		a/c:	0.466			
Asentamiento:	3	in	aire:	2%			

TABLA DE DOSIFICACIÓN CON REEMPLAZO VOLUMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO							
Materiales	Volumenes Absolutos	Peso por 1m ³			Relacion de pesos	Dosificación por tanda	
		Seco	Corrección	Húmedo		Vol (l)	Peso (kg)
Cemento	0.154	439.91	-	439.91	1	4.849	13.820
Agua	0.205	205	17.47	222.47	0.51	6.989	6.989
Agregado Fino	0.242	602.67	1.0012	603.37	1.37	12.285	18.955
Agregado Grueso	0.265	718.75	1.0015	719.80	1.64	14.684	22.613
Plastico extruido	0.114	106.88	-	106.88	0.243	8.170	3.358
	1.000						

*Tabla 59 Diseño de mezcla con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)*

De los diseños anteriores, se presenta una tabla resumen con los pesos corregidos para los diferentes tipos de mezclas patrón y con reemplazo:

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	PESOS PARA DISEÑO CORREGIDO POR 1M ³					
			Cemento	Agua	Agregado Fino	Agregado Grueso	HDPE triturado	HDPE extruido
PATRÓN	210	0%	367.38	225.69	666.81	1028.28	-	-
	280	0%	439.91	224.31	603.37	1028.28	-	-
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	367.38	225.11	643.32	1016.98	12.90	-
		10%	367.38	224.51	618.79	1005.68	26.20	-
		15%	367.38	223.88	593.23	994.39	39.90	-
		20%	367.38	223.24	566.63	983.09	53.98	-
		25%	367.38	222.57	538.99	971.79	68.47	-
		30%	367.38	221.87	510.32	960.49	83.35	-
	280	5%	439.91	223.80	583.05	1016.98	11.69	-
		10%	439.91	223.26	561.70	1005.68	23.78	-
		15%	439.91	222.71	539.31	994.39	36.27	-
		20%	439.91	222.13	515.88	983.09	49.15	-
		25%	439.91	221.53	491.41	971.79	62.42	-
		30%	439.91	220.90	465.91	960.49	76.09	-
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	367.38	225.39	666.81	976.87	-	17.81
		10%	367.38	225.08	666.81	925.45	-	35.63
		15%	367.38	224.77	666.81	874.04	-	53.44
		20%	367.38	224.47	666.81	822.62	-	71.25
		25%	367.38	224.16	666.81	771.21	-	89.07
		30%	367.38	223.85	666.81	719.80	-	106.88
	280	5%	439.91	224.00	603.37	976.87	-	17.81
		10%	439.91	223.69	603.37	925.45	-	35.63
		15%	439.91	223.39	603.37	874.04	-	53.44
		20%	439.91	223.08	603.37	822.62	-	71.25
		25%	439.91	222.77	603.37	771.21	-	89.07
		30%	439.91	222.47	603.37	719.80	-	106.88

Tabla 60 Tabla resumen de los diseños de mezclas
(Fuente propia)



CAPÍTULO V: ENSAYOS EN EL CONCRETO

5. ENSAYOS EN EL CONCRETO

5.1. PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

5.1.1. Peso unitario y rendimiento

El peso unitario del concreto es definido como la cantidad de masa por unidad de volumen, tiene un intervalo que va desde 2.2 a 2.4 kg/m³, lo cual depende de la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y de la cantidad de agua y cemento contenidas. En el caso de la presente tesis se tiene reemplazo parcial de agregados por HDPE el cual reduce considerablemente el peso, por lo tanto, puede que el peso unitario sea menor al que comúnmente se observa.

Las normas que se emplearon fueron las siguientes:

NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)

ASTM C138 Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Se selecciona un recipiente de medición del cual se conoce su volumen y se pesa.
- Humedecer los elementos que estén en contacto con la mezcla representativa de concreto
- Se agrega concreto en el recipiente en tres partes con la ayuda de una cuchara. Para realizar el apisonado de cada capa se realizará con una barra lisa de punta semiesférica con 25 golpes, teniendo en cuenta de golpear ligeramente con un martillo de goma entre 10 a 15 veces los costados del molde después de cada apisonado para cerrar los vacíos dejados por la varilla. En la última capa se realizará el enrasado de la superficie hasta que la mezcla y la superficie sea uniforme

- Se realiza una limpieza de los bordes del recipiente como también del material adherido a este, seguidamente se pesa el recipiente con mezcla.
- Se realizan los cálculos respectivos con las siguientes fórmulas:

$$P_u = \frac{(M_c - M_m)}{V_m}$$

Donde:

P_u : Peso unitario (g/cm^3)

M_c : Masa del recipiente lleno de concreto (g)

M_m : Masa del recipiente (g)

V_m : Volumen del recipiente (cm^3)

El Rendimiento relativo es la relación entre el volumen real de concreto al volumen de diseño para la mezcla. Se emplea la siguiente fórmula:

$$R_y = \frac{Y}{Y_d}$$

Donde:

R_y : rendimiento relativo

Y : rendimiento, volumen de concreto producido por tanda (m^3)

Y_d : volumen de diseño de concreto por tanda (m^3)

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm^2)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Volumen Recipiente (cm^3)	Peso Mezcla (g)	Peso Unitario (g/cm^3)	Peso Unitario Teórico (g/cm^3)	Rendimiento relativo
PATRÓN	210	0%	2830	6605	2.334	2.288	1.020
	280	0%	2830	6647	2.349	2.296	1.023

Tabla 61 Peso Unitario promedio de diseños patrón
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso Mezcla (g)	Peso Unitario (g/cm ³)	Peso Unitario Teórico (g/cm ³)	Rendimiento relativo
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	2830	6496	2.295	2.266	1.013
		10%	2830	6442	2.276	2.243	1.015
		15%	2830	6215	2.196	2.219	0.990
		20%	2830	6210	2.194	2.194	1.000
		25%	2830	6050	2.138	2.169	0.986
		30%	2830	5957	2.105	2.143	0.982
	280	5%	2830	6568	2.321	2.275	1.020
		10%	2830	6471	2.287	2.254	1.014
		15%	2830	6320	2.233	2.233	1.000
		20%	2830	6291	2.223	2.210	1.006
		25%	2830	6178	2.183	2.187	0.998
		30%	2830	5920	2.092	2.163	0.967

Tabla 62 Peso Unitario promedio de diseños con HDPE triturado (Fuente propia)

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso Mezcla (g)	Peso Unitario (g/cm ³)	Peso Unitario Teórico (g/cm ³)	Rendimiento relativo
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	2830	6510	2.300	2.254	1.020
		10%	2830	6334	2.238	2.220	1.008
		15%	2830	6256	2.211	2.186	1.011
		20%	2830	6173	2.181	2.153	1.013
		25%	2830	6099	2.155	2.119	1.017
		30%	2830	5971	2.110	2.085	1.012
	280	5%	2830	6500	2.297	2.262	1.015
		10%	2830	6376	2.253	2.228	1.011
		15%	2830	6157	2.176	2.194	0.992
		20%	2830	6112	2.160	2.160	1.000
		25%	2830	5979	2.113	2.126	0.994
		30%	2830	5751	2.032	2.092	0.971

Tabla 63 Peso Unitario promedio de diseños con HDPE extruido (Fuente propia)

5.1.2. Asentamiento

El asentamiento o SLUMP está definido como un indicador de la consistencia o fluidez de una mezcla fresca de concreto. Está relacionada con la manejabilidad, es decir, con la facilidad para colocar, consolidar y terminar dentro de una estructura, pero se debe tener en cuenta que no es una medida directa de ésta.

La norma que fue guía para realizar el presente ensayo fue:

NTP 339.035 HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Humedecer los elementos que estén en contacto con la mezcla representativa de concreto.
- Para realizar el llenado, se sujeta bien el molde sobre una superficie plana no absorbente y rígida y se vierte la mezcla de concreto en 3 partes (cada una de ellas la 1/3 parte aproximada del volumen total del cono)
- Para realizar el apisonado en cada 1/3 parte, se utiliza una varilla lisa de acero de 16mm de diámetro de punta redondeada y una altura aproximada de 60 cm. Cada capa se apisona 25 veces de tal manera que penetre ligeramente 2.5 cm, esto en diferentes sitios con la finalidad que la compactación se distribuya uniformemente sobre la sección transversal. En la última capa suele pasar que la altura del concreto se encuentra por debajo del borde superior del cono, en este caso se completa con más mezcla de tal modo que al tener concreto sobrante sobre la superficie del cono, este sea enrazado con la ayuda de una regla. Finalmente se levanta verticalmente el cono de Abrams con un tiempo estimado de 5 ± 2 segundos, por lo cual el concreto se asentará, de ahí el nombre del ensayo.
- Se mide la diferencia de altura del molde y la altura medida sobre el centro promedio del concreto asentado

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Slump (in)
PATRÓN	210	0%	3.2
	280	0%	3.1

*Tabla 64 Asentamiento promedio de mezclas de diseños patrón
(Fuente propia)*

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Slump (in)
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	3.0
		10%	2.8
		15%	2.5
		20%	2.0
		25%	1.8
		30%	1.5
	280	5%	2.4
		10%	2.3
		15%	2.1
		20%	1.5
		25%	1.5
		30%	1.2

Tabla 65 Asentamiento promedio de diseños con HDPE triturado
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Slump (in)
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	4.2
		10%	4.0
		15%	3.0
		20%	3.0
		25%	2.7
		30%	3.2
	280	5%	2.7
		10%	3.2
		15%	2.5
		20%	1.9
		25%	2.5
		30%	2.8

Tabla 66 Asentamiento promedio de diseños con HDPE extruido
(Fuente propia)

5.1.3. Temperatura

La temperatura del concreto fresco afecta las propiedades del concreto en estado plástico, específicamente la trabajabilidad y el contenido de aire, en el caso de tener una temperatura elevada en el concreto, este requiere una mayor cantidad de agua para mantener un determinado asentamiento y si fuera el caso algún aditivo para producir el contenido de aire requerido.

Esta propiedad del concreto fresco depende del aporte calorífico de cada componente, ya que cada uno de estos influyen con su calor específico de su masa y de su temperatura.

La norma que fue guía para realizar el presente ensayo fue:

NTP 339.184 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto)

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Humedecer los elementos que estarán en contacto con la mezcla representativa de concreto.
- Se realiza el llenado de 3 capas de concreto en un recipiente, el apisonado de cada capa será de 25 golpes con una pulgada libre en la parte superior del recipiente.
- Al tener lleno el recipiente se procede a sumergir el termómetro al menos en 3 pulgadas de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición durante un periodo mínimo de 2 minutos.

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Temperatura (°C)
PATRÓN	210	0%	21.5
	280	0%	21.7

*Tabla 67 Temperatura promedio de mezclas de diseños patrón
(Fuente propia)*

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Temperatura (°C)
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	21.7
		10%	21.9
		15%	21.0
		20%	20.9
		25%	22.0
		30%	21.4
	280	5%	20.9
		10%	21.3
		15%	19.7
		20%	20.2
		25%	20.4
		30%	21.0

Tabla 68 Temperatura promedio de diseños con HDPE triturado
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Temperatura (°C)
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	20.8
		10%	21.4
		15%	21.3
		20%	20.0
		25%	21.0
		30%	20.9
	280	5%	21.0
		10%	21.7
		15%	21.2
		20%	21.3
		25%	20.0
		30%	20.9

Tabla 69 Temperatura promedio de diseños con HDPE extruido
(Fuente propia)

5.1.4. Contenido de Aire

El contenido de aire en concretos de peso normal, totalmente compactado es menos al 2% en volumen, el aire atrapado se muestra en el concreto como vacíos dispersos que en tamaño es comparable a los granos más grandes de arena (mayores a 1 mm).

Estos vacíos provocan que la mezcla sea trabajable, tensión superficial y el agente superficialmente activo absorbido en la frontera de vacíos provoca cohesividad en la pasta.

Usualmente el contenido de aire requerido es menor cuando se utiliza agregados grandes, ya que el contenido de pasta es menor, se requiere menor aire (2 o 3%) cuando se desea mejorar la trabajabilidad y la cohesión, en casos que se requiera alta resistencia o un peso unitario alto, queda prohibido el uso de aire incluido.

La norma que fue guía para realizar el ensayo fue:

NTP 339.083 HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Humedecer los elementos que estarán en contacto con la mezcla representativa de concreto.
- Se agrega la mezcla representativa en 3 capas sobre la olla de Washington, compactando cada capa de estas con una barra lisa de punta redondeada con 25 golpes y, 15 golpes con un mazo de goma, con la finalidad de eliminar los vacíos. En la última capa enrasar con una regla con la finalidad que el tope sea uniforme.
- Se coloca la tapa en la olla de Washington, ajustando esta por sus 4 seguros hasta lograr un cierre hermético.
- Entre la olla de Washington y la cámara de aire existe una válvula, la cual es cerrada, seguidamente se abre las dos llaves de desagüe, vertiendo agua por un lado hasta que salga por el otro lado de desagüe
- Se procede a cerrar la válvula de escape de la cámara, para bombear aire hasta que el manómetro llegue a cero.
- Se abre la válvula de aire que se encuentra entre la olla de Washington y la cámara y se cierra las llaves de desagüe, se procede a leer el porcentaje de aire.

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Contenido de Aire (%)
PATRÓN	210	0%	1.4	1.6	1.6	1.53
	280	0%	1.3	1.5	1.4	1.40

Tabla 70 Contenido de Aire promedio de diseños patrón
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Contenido de Aire (%)
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	1.7	1.6	1.7	1.67
		10%	1.7	1.8	1.6	1.70
		15%	1.9	2	1.9	1.93
		20%	2.2	2.1	2.2	2.17
		25%	2.7	2.4	2.5	2.53
		30%	2.9	3.3	2.9	3.03
	280	5%	1.5	1.6	1.6	1.57
		10%	1.6	1.7	1.8	1.70
		15%	1.9	1.7	1.9	1.83
		20%	2.2	2.4	2.3	2.30
		25%	2.2	2.5	2.5	2.40
		30%	2.7	2.5	2.8	2.67

Tabla 71 Contenido de Aire promedio de diseños con HDPE triturado
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Contenido de Aire (%)
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	1.7	1.6	1.5	1.60
		10%	1.5	1.6	1.8	1.63
		15%	1.7	1.7	1.6	1.67
		20%	1.6	1.9	1.7	1.73
		25%	1.7	1.9	1.9	1.83
		30%	2.1	1.8	2.0	1.97
	280	5%	1.6	1.7	1.2	1.50
		10%	1.5	1.5	1.3	1.43
		15%	1.4	1.8	1.6	1.60
		20%	1.5	1.8	1.4	1.57
		25%	1.8	2.0	1.9	1.90
		30%	2.0	2.0	1.7	1.90

Tabla 72 Contenido de Aire promedio de diseños con HDPE extruido
(Fuente propia)

5.2. PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

5.2.1. Densidad del concreto endurecido

El cálculo del peso de la mezcla en estado endurecido por m³ se conoce como densidad o peso unitario. Su valor oscila entre 2.35 y 2.55 g/cm³ para hormigones convencionales. El cálculo de la densidad se encuentra descrito en las normas que regulan los procedimientos para el ensayo de resistencia a la compresión.

PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda de una balanza se pesará cada probeta antes de ser ensayada a compresión
- Al haber obtenido el diámetro y longitud promedio de cada probeta antes de su rotura, se podrá calcular su volumen aproximado.

CALCULO

$$D = \frac{Pm}{Vm}$$

Dónde:

D: Peso unitario de la mezcla en estado endurecido (g/cm^3)

Pm: Peso de la probeta de concreto en estado endurecido (g)

Vm: Volumen de la probeta de concreto (cm^3)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm^2)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso (g)	Volumen (cm^3)	Densidad (g/cm^3)
PATRÓN	210	0%	28	3847.8	1621.72	2.373
	280	0%	28	3865.9	1620.77	2.385

Tabla 73 Densidad de concreto endurecido para diseño patrón
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm^2)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso (g)	Volumen (cm^3)	Densidad (g/cm^3)
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	3803.3	1620.76	2.347
		10%		3689.3	1624.00	2.272
		15%		3655.6	1632.04	2.240
		20%		3632.4	1638.34	2.217
		25%		3523.3	1627.04	2.165
		30%		3411.7	1615.58	2.112
	280	5%	28	3807.5	1619.73	2.351
		10%		3784.5	1626.37	2.327
		15%		3719.1	1612.79	2.306
		20%		3680.3	1619.85	2.272
		25%		3622.3	1635.23	2.215
		30%		3524.9	1624.38	2.170

Tabla 74 Densidad de concreto endurecido de diseños con HDPE triturado
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	3744.4	1619.70	2.312
		10%		3628.3	1623.71	2.235
		15%		3587.4	1638.34	2.190
		20%		3547.6	1646.51	2.155
		25%		3420.6	1630.10	2.098
		30%		3315.4	1642.43	2.019
	280	5%	28	3735.3	1617.67	2.309
		10%		3658.6	1623.07	2.254
		15%		3619.5	1628.02	2.223
		20%		3579.6	1630.42	2.196
		25%		3524.7	1646.51	2.141
		30%		3419.2	1650.60	2.071

Tabla 75 Densidad de concreto endurecido de diseños con HDPE extruido (Fuente propia)

5.2.2. Resistencia a la Compresión

Se entiende por resistencia a la compresión como una característica principal del concreto, generalmente es expresada en unidades de kg/cm², en algunos casos en libras por pulgada cuadrado (psi) y en otros casos es expresado en Mega-Pascales (MPa). La forma de obtener esta propiedad se realiza mediante pruebas mecánicas las cuales pueden ser destructivas como no destructivas, en el caso de la presente tesis se utilizó la primera mediante probetas cilíndricas.

El ensayo de probetas comprende de moldes que en este caso fueron de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, las cuales fueron sometidas a una carga axial constante.

La norma que fue guía para realizar el presente ensayo fue:

NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Una vez identificada la probeta correspondiendo la fecha de rotura, se procede a ser retirada de la poza de curado con un tiempo permisible siguiente:

EDAD DE ENSAYO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 h	±0.5 h ó 2.1%
3 d	±2 h ó 2.8%
7 d	±6 h ó 3.6%
28 d	±20 h ó 3.0%
90 d	±48 h ó 2.2%

Tabla 76 Tolerancia Permisible para rotura de probetas³⁶

- Las probetas caras exteriores de las probetas serán limpiadas con un trapo, para que estas sean medidas, en su diámetro y altura con una aproximación de 0.1 mm mediante el uso de vernier.
- Cada probeta será colocada en la parte central de la prensa hidráulica con almohadillas de neopreno, la velocidad de esfuerzo es de 0.25 ± 0.05 MPa/s.
- Se realizan los cálculos respectivos con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P}{A}$$

Ecuación 16 Resistencia a la compresión³⁷

Donde:

C: resistencia a la compresión (kg/cm^2)

P: carga máxima total (kg)

A: área de la sección transversal (cm^2)

³⁶ (Norma Técnica Peruana 339.034)

³⁷ (Norma Técnica Peruana 339.034)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
PATRÓN (SIN REEMPLAZO)	210	0%	7	10.15	10.10	10.13	80.52	15398	191.24	193.60	4.67	2.41
				10.00	10.00	10.00	78.54	14940	190.22			
				10.15	10.20	10.18	81.31	15643	192.38			
				10.20	10.20	10.20	81.71	16490	201.81			
				10.15	10.20	10.18	81.31	15641	192.36			
			14	10.15	10.05	10.10	80.12	17884	223.22	213.83	11.32	5.29
				10.10	10.05	10.08	79.72	16437	206.18			
				10.10	10.20	10.15	80.91	18466	228.22			
				10.10	10.00	10.05	79.33	16024	202.00			
				10.15	10.00	10.08	79.72	16705	209.54			
			21	10.05	10.15	10.10	80.12	20130	251.25	251.07	9.29	3.70
				10.10	10.10	10.10	80.12	19082	238.17			
				10.05	10.10	10.08	79.72	21079	264.41			
				10.00	10.10	10.05	79.33	19950	251.49			
				10.05	10.20	10.13	80.52	20130	250.01			
			28	10.10	10.10	10.10	80.12	21965	274.16	278.99	6.60	2.37
				10.00	10.05	10.03	78.93	22924	290.43			
				10.10	10.00	10.05	79.33	22091	278.48			
				10.20	10.15	10.18	81.31	22507	276.79			
				10.05	10.05	10.05	79.33	21822	275.09			

Tabla 77 Resistencias a la compresión para un concreto de diseño patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
PATRÓN (SIN REEMPLAZO)	280	0%	7	10.05	10.05	10.05	79.33	19488	245.67	234.22	10.17	4.34
				10.20	10.20	10.20	81.71	18735	229.28			
				10.20	10.05	10.13	80.52	18649	231.62			
				10.15	10.00	10.08	79.72	19398	243.32			
				10.05	10.05	10.05	79.33	17549	221.22			
			14	10.10	10.20	10.15	80.91	21884	270.47	272.31	11.46	4.21
				10.15	10.05	10.10	80.12	21301	265.87			
				10.10	10.20	10.15	80.91	20913	258.47			
				10.05	10.20	10.13	80.52	22442	278.73			
				10.10	10.00	10.05	79.33	22849	288.03			
			21	10.20	10.10	10.15	80.91	23964	296.17	294.71	7.36	2.50
				10.05	10.05	10.05	79.33	23823	300.31			
				10.00	10.10	10.05	79.33	22513	283.80			
				10.05	10.00	10.03	78.93	23836	301.97			
				10.20	10.00	10.10	80.12	23338	291.29			
			28	10.15	10.05	10.10	80.12	27737	346.20	347.33	10.05	2.89
				10.20	10.15	10.18	81.31	27186	334.34			
				10.10	10.20	10.15	80.91	29210	361.00			
				10.10	10.00	10.05	79.33	27185	342.70			
				10.15	10.15	10.15	80.91	28515	352.42			

Tabla 78 Resistencias a la compresión para un concreto de diseño patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	7	10.05	10.10	10.08	79.72	14559	182.62	176.87	6.69	3.78
				10.05	10.20	10.13	80.52	14726	182.90			
				10.15	10.00	10.08	79.72	13604	170.64			
				10.20	10.20	10.20	81.71	13796	168.83			
				10.05	10.00	10.03	78.93	14157	179.36			
			14	10.00	10.15	10.08	79.72	14726	184.71	191.47	6.38	3.33
				10.20	10.10	10.15	80.91	15598	192.77			
				10.10	10.00	10.05	79.33	15913	200.60			
				10.05	10.15	10.10	80.12	15478	193.19			
				10.15	10.15	10.15	80.91	15057	186.09			
			21	10.05	10.00	10.03	78.93	18094	229.23	243.16	9.55	3.93
				10.00	10.00	10.00	78.54	19957	254.11			
				10.20	10.10	10.15	80.91	19396	239.71			
				10.00	10.20	10.10	80.12	19983	249.42			
				10.05	10.10	10.08	79.72	19400	243.35			
			28	10.00	10.20	10.10	80.12	21701	270.87	271.59	12.95	4.77
				10.10	10.00	10.05	79.33	21976	277.03			
				10.10	10.05	10.08	79.72	19950	250.25			
				10.05	10.10	10.08	79.72	22699	284.73			
				10.15	10.10	10.13	80.52	22149	275.09			

Tabla 79 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	10%	7	10.05	10.15	10.10	80.12	13688	170.84	163.89	7.67	4.68
				10.00	10.20	10.10	80.12	12311	153.66			
				10.20	10.10	10.15	80.91	13739	169.80			
				10.00	10.05	10.03	78.93	13202	167.25			
				10.20	10.15	10.18	81.31	12840	157.91			
			14	10.00	10.05	10.03	78.93	15353	194.51	179.35	12.81	7.14
				10.10	10.10	10.10	80.12	13604	169.79			
				10.05	10.00	10.03	78.93	13920	176.35			
				10.00	10.10	10.05	79.33	13116	165.34			
				10.20	10.05	10.13	80.52	15358	190.75			
			21	10.00	10.15	10.08	79.72	15623	195.96	208.44	8.55	4.10
				10.10	10.10	10.10	80.12	16608	207.29			
				10.00	10.10	10.05	79.33	17433	219.76			
				10.15	10.10	10.13	80.52	17002	211.16			
				10.10	10.10	10.10	80.12	16665	208.01			
			28	10.10	10.00	10.05	79.33	17847	224.98	228.47	6.53	2.86
				10.20	10.05	10.13	80.52	18496	229.71			
				10.15	10.15	10.15	80.91	18554	229.31			
				10.05	10.15	10.10	80.12	17657	220.38			
				10.00	10.05	10.03	78.93	18785	237.98			

Tabla 80 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para f'c = 210 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	15%	7	10.10	10.05	10.08	79.72	12131	152.17	144.38	14.40	9.97
				10.20	10.05	10.13	80.52	12802	159.00			
				10.20	10.15	10.18	81.31	11384	140.00			
				10.20	10.15	10.18	81.31	9896	121.71			
				10.05	10.05	10.05	79.33	11822	149.03			
			14	10.00	10.00	10.00	78.54	14076	179.23	181.45	5.49	3.03
				10.05	10.00	10.03	78.93	14501	183.72			
				10.00	10.10	10.05	79.33	14775	186.26			
				10.05	10.20	10.13	80.52	14909	185.18			
				10.00	10.20	10.10	80.12	13851	172.88			
			21	10.00	10.00	10.00	78.54	16118	205.23	202.80	3.68	1.81
				10.10	10.10	10.10	80.12	16248	202.80			
				10.05	10.20	10.13	80.52	15975	198.41			
				10.00	10.15	10.08	79.72	15953	200.11			
				10.05	10.10	10.08	79.72	16539	207.46			
			28	10.10	10.00	10.05	79.33	17334	218.51	225.12	8.80	3.91
				10.10	10.05	10.08	79.72	18397	230.76			
				10.05	10.10	10.08	79.72	18445	231.37			
				10.10	10.15	10.13	80.52	17146	212.95			
				10.10	10.00	10.05	79.33	18404	232.00			

Tabla 81 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	20%	7	10.15	10.20	10.18	81.31	11705	143.96	146.72	8.35	5.69
				10.15	10.00	10.08	79.72	10864	136.27			
				10.15	10.00	10.08	79.72	12436	155.99			
				10.10	10.10	10.10	80.12	12382	154.54			
				10.15	10.10	10.13	80.52	11503	142.86			
			14	10.05	10.10	10.08	79.72	13512	169.49	172.93	7.57	4.38
				10.15	10.05	10.10	80.12	14719	183.72			
				10.20	10.05	10.13	80.52	14064	174.68			
				10.15	10.20	10.18	81.31	13259	163.06			
				10.05	10.20	10.13	80.52	13985	173.69			
			21	10.15	10.10	10.13	80.52	14480	179.84	188.81	10.04	5.32
				10.00	10.15	10.08	79.72	16393	205.63			
				10.15	10.20	10.18	81.31	14854	182.68			
				10.10	10.05	10.08	79.72	15038	188.63			
				10.15	10.15	10.15	80.91	15155	187.30			
			28	10.05	10.10	10.08	79.72	17013	213.40	202.74	9.20	4.54
				10.00	10.10	10.05	79.33	16263	205.01			
				10.10	10.00	10.05	79.33	15167	191.19			
				10.10	10.00	10.05	79.33	15509	195.50			
				10.15	10.10	10.13	80.52	16795	208.59			

Tabla 82 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	25%	7	10.20	10.05	10.13	80.52	9618	119.45	132.42	11.06	8.35
				10.10	10.05	10.08	79.72	11709	146.88			
				10.05	10.10	10.08	79.72	9884	123.98			
				10.05	10.20	10.13	80.52	11174	138.78			
				10.05	10.10	10.08	79.72	10603	133.00			
			14	10.00	10.20	10.10	80.12	12505	156.08	153.76	7.07	4.60
				10.05	10.05	10.05	79.33	12754	160.77			
				10.10	10.20	10.15	80.91	12418	153.48			
				10.15	10.05	10.10	80.12	11378	142.01			
				10.15	10.05	10.10	80.12	12534	156.45			
			21	10.05	10.15	10.10	80.12	14437	180.20	177.46	6.60	3.72
				10.15	10.10	10.13	80.52	13863	172.17			
				10.20	10.20	10.20	81.71	14998	183.54			
				10.15	10.00	10.08	79.72	13455	168.77			
				10.15	10.15	10.15	80.91	14774	182.59			
			28	10.20	10.20	10.20	81.71	16571	202.80	197.24	10.51	5.33
				10.15	10.00	10.08	79.72	15561	195.19			
				10.10	10.05	10.08	79.72	16052	201.36			
				10.10	10.05	10.08	79.72	14350	180.00			
				10.05	10.05	10.05	79.33	16409	206.85			

Tabla 83 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	30%	7	10.00	10.05	10.03	78.93	10860	137.59	125.49	7.25	5.78
				10.10	10.15	10.13	80.52	9817	121.93			
				10.05	10.20	10.13	80.52	10205	126.75			
				10.10	10.00	10.05	79.33	9488	119.61			
				10.20	10.00	10.10	80.12	9742	121.60			
			14	10.05	10.05	10.05	79.33	12182	153.57	147.62	10.41	7.05
				10.05	10.15	10.10	80.12	11820	147.53			
				10.05	10.20	10.13	80.52	11122	138.14			
				10.00	10.05	10.03	78.93	10827	137.16			
				10.15	10.15	10.15	80.91	13085	161.72			
			21	10.10	10.15	10.13	80.52	13910	172.76	174.25	6.78	3.89
				10.20	10.00	10.10	80.12	13782	172.03			
				10.20	10.05	10.13	80.52	14474	179.76			
				10.10	10.05	10.08	79.72	13141	164.84			
				10.05	10.15	10.10	80.12	14569	181.85			
			28	10.05	10.05	10.05	79.33	15028	189.44	190.88	10.85	5.68
				10.20	10.10	10.15	80.91	13989	172.89			
				10.10	10.05	10.08	79.72	15816	198.39			
				10.05	10.15	10.10	80.12	15530	193.84			
				10.10	10.05	10.08	79.72	15929	199.80			

Tabla 84 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	5%	7	10.15	10.10	10.13	80.52	17321	215.12	225.80	8.08	3.58
				10.20	10.00	10.10	80.12	18777	234.37			
				10.05	10.10	10.08	79.72	18526	232.38			
				10.05	10.00	10.03	78.93	17900	226.77			
				10.00	10.10	10.05	79.33	17482	220.38			
			14	10.20	10.15	10.18	81.31	22098	271.77	281.52	6.54	2.32
				10.15	10.05	10.10	80.12	22589	281.94			
				10.10	10.20	10.15	80.91	22924	283.32			
				10.20	10.05	10.13	80.52	23349	289.99			
				10.15	10.00	10.08	79.72	22370	280.60			
			21	10.20	10.15	10.18	81.31	26401	324.68	326.28	10.14	3.11
				10.10	10.10	10.10	80.12	25005	312.10			
				10.05	10.05	10.05	79.33	27003	340.40			
				10.00	10.15	10.08	79.72	26229	329.00			
				10.20	10.10	10.15	80.91	26316	325.23			
			28	10.00	10.15	10.08	79.72	27080	339.67	347.44	8.98	2.58
				10.20	10.00	10.10	80.12	28809	359.58			
				10.15	10.00	10.08	79.72	28194	353.65			
				10.10	10.00	10.05	79.33	27393	345.31			
				10.00	10.15	10.08	79.72	27024	338.97			

Tabla 85 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	10%	7	10.15	10.05	10.10	80.12	19394	242.07	235.46	8.76	3.72
				10.10	10.15	10.13	80.52	19556	242.88			
				10.00	10.10	10.05	79.33	18227	229.77			
				10.10	10.00	10.05	79.33	17681	222.89			
				10.10	10.20	10.15	80.91	19396	239.71			
			14	10.00	10.00	10.00	78.54	22737	289.49	277.11	8.72	3.15
				10.05	10.15	10.10	80.12	21872	273.00			
				10.15	10.10	10.13	80.52	21397	265.75			
				10.05	10.00	10.03	78.93	22000	278.72			
				10.20	10.05	10.13	80.52	22429	278.56			
			21	10.05	10.20	10.13	80.52	24812	308.17	303.80	7.27	2.39
				10.15	10.00	10.08	79.72	24208	303.66			
				10.20	10.20	10.20	81.71	23871	292.14			
				10.20	10.20	10.20	81.71	24819	303.73			
				10.20	10.10	10.15	80.91	25189	311.31			
			28	10.10	10.10	10.10	80.12	27207	339.59	349.06	6.53	1.87
				10.10	10.05	10.08	79.72	27743	348.00			
				10.05	10.20	10.13	80.52	28569	354.82			
				10.20	10.05	10.13	80.52	27958	347.24			
				10.00	10.10	10.05	79.33	28211	355.63			

Tabla 86 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	15%	7	10.05	10.00	10.03	78.93	17238	218.39	218.07	5.61	2.57
				10.05	10.05	10.05	79.33	16626	209.58			
				10.10	10.10	10.10	80.12	17882	223.19			
				10.00	10.20	10.10	80.12	17321	216.19			
				10.10	10.00	10.05	79.33	17689	222.98			
			14	10.20	10.05	10.13	80.52	19353	240.37	253.12	11.63	4.60
				10.20	10.20	10.20	81.71	20187	247.04			
				10.10	10.15	10.13	80.52	21857	271.46			
				10.10	10.10	10.10	80.12	20170	251.75			
				10.10	10.15	10.13	80.52	20531	254.99			
			21	10.05	10.20	10.13	80.52	24300	301.80	297.26	10.37	3.49
				10.05	10.20	10.13	80.52	23197	288.10			
				10.00	10.00	10.00	78.54	23776	302.72			
				10.05	10.20	10.13	80.52	22921	284.68			
				10.00	10.00	10.00	78.54	24268	308.99			
			28	10.10	10.20	10.15	80.91	26786	331.04	332.00	8.68	2.62
				10.10	10.05	10.08	79.72	25439	319.09			
				10.00	10.00	10.00	78.54	26349	335.48			
				10.10	10.20	10.15	80.91	26812	331.36			
				10.00	10.15	10.08	79.72	27347	343.03			

Tabla 87 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	20%	7	10.10	10.05	10.08	79.72	17435	218.69	208.62	7.24	3.47
				10.10	10.05	10.08	79.72	16918	212.21			
				10.00	10.15	10.08	79.72	16497	206.93			
				10.05	10.00	10.03	78.93	16248	205.85			
				10.15	10.05	10.10	80.12	15977	199.41			
			14	10.20	10.05	10.13	80.52	20632	256.25	254.00	6.99	2.75
				10.20	10.20	10.20	81.71	21587	264.18			
				10.10	10.15	10.13	80.52	20170	250.50			
				10.10	10.10	10.10	80.12	19658	245.37			
				10.15	10.10	10.13	80.52	20426	253.69			
			21	10.00	10.15	10.08	79.72	22926	287.57	281.86	10.16	3.60
				10.10	10.00	10.05	79.33	21916	276.27			
				10.00	10.00	10.00	78.54	23322	296.95			
				10.15	10.00	10.08	79.72	22002	275.99			
				10.20	10.05	10.13	80.52	21943	272.54			
			28	10.15	10.20	10.18	81.31	24518	301.53	318.24	9.53	2.99
				10.20	10.10	10.15	80.91	26046	321.89			
				10.20	10.10	10.15	80.91	25930	320.46			
				10.20	10.05	10.13	80.52	25913	321.84			
				10.10	10.05	10.08	79.72	25948	325.48			

Tabla 88 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	25%	7	10.00	10.10	10.05	79.33	16328	205.83	201.63	7.76	3.85
				10.20	10.15	10.18	81.31	16775	206.30			
				10.10	10.10	10.10	80.12	15057	187.94			
				10.10	10.00	10.05	79.33	16103	203.00			
				10.10	10.20	10.15	80.91	16592	205.06			
			14	10.10	10.10	10.10	80.12	18179	226.90	229.53	15.86	6.91
				10.05	10.20	10.13	80.52	17033	211.54			
				10.20	10.05	10.13	80.52	18857	234.20			
				10.00	10.10	10.05	79.33	17552	221.27			
				10.10	10.00	10.05	79.33	20128	253.73			
			21	10.15	10.10	10.13	80.52	21244	263.84	265.88	12.19	4.58
				10.15	10.00	10.08	79.72	22647	284.08			
				10.15	10.05	10.10	80.12	20089	250.74			
				10.20	10.05	10.13	80.52	21675	269.20			
				10.10	10.15	10.13	80.52	21058	261.54			
			28	10.15	10.20	10.18	81.31	22926	281.94	293.35	8.42	2.87
				10.00	10.20	10.10	80.12	23625	294.87			
				10.05	10.00	10.03	78.93	23848	302.13			
				10.00	10.00	10.00	78.54	23558	299.94			
				10.15	10.05	10.10	80.12	23061	287.84			

Tabla 89 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	30%	7	10.15	10.05	10.10	80.12	15303	191.00	185.76	13.75	7.40
				10.20	10.10	10.15	80.91	14469	178.82			
				10.00	10.05	10.03	78.93	13378	169.49			
				10.00	10.00	10.00	78.54	16181	206.03			
				10.20	10.05	10.13	80.52	14771	183.46			
			14	10.20	10.15	10.18	81.31	14265	175.43	188.19	9.40	5.00
				10.10	10.00	10.05	79.33	15929	200.80			
				10.15	10.15	10.15	80.91	15515	191.75			
				10.20	10.00	10.10	80.12	14734	183.90			
				10.05	10.00	10.03	78.93	14925	189.08			
			21	10.10	10.00	10.05	79.33	18318	230.92	229.43	4.36	1.90
				10.10	10.10	10.10	80.12	18623	232.45			
				10.20	10.20	10.20	81.71	18742	229.36			
				10.00	10.15	10.08	79.72	17696	221.97			
				10.10	10.00	10.05	79.33	18441	232.46			
			28	10.00	10.10	10.05	79.33	22352	281.77	265.53	10.66	4.02
				10.20	10.10	10.15	80.91	20797	257.02			
				10.05	10.10	10.08	79.72	20728	260.00			
				10.15	10.05	10.10	80.12	21708	270.95			
				10.10	10.10	10.10	80.12	20662	257.89			

Tabla 90 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	7	10.20	10.15	10.18	81.31	16620	204.40	193.64	8.56	4.42
				10.20	10.15	10.18	81.31	15818	194.53			
				10.05	10.00	10.03	78.93	15673	198.57			
				10.10	10.05	10.08	79.72	14559	182.62			
				10.15	10.05	10.10	80.12	15068	188.07			
			14	10.10	10.15	10.13	80.52	18187	225.88	221.67	12.89	5.81
				10.05	10.00	10.03	78.93	18735	237.35			
				10.10	10.10	10.10	80.12	18232	227.56			
				10.10	10.00	10.05	79.33	16884	212.84			
				10.15	10.15	10.15	80.91	16563	204.70			
			21	10.10	10.00	10.05	79.33	20835	262.65	247.53	9.25	3.74
				10.20	10.15	10.18	81.31	19928	245.08			
				10.00	10.20	10.10	80.12	19013	237.31			
				10.20	10.00	10.10	80.12	19689	245.75			
				10.15	10.05	10.10	80.12	19781	246.89			
			28	10.15	10.00	10.08	79.72	22411	281.11	277.03	7.93	2.86
				10.10	10.10	10.10	80.12	21692	270.75			
				10.15	10.00	10.08	79.72	21916	274.91			
				10.00	10.05	10.03	78.93	22790	288.73			
				10.15	10.05	10.10	80.12	21605	269.66			

Tabla 91 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	10%	7	10.20	10.00	10.10	80.12	15132	188.87	195.02	5.45	2.80
				10.00	10.20	10.10	80.12	15263	190.50			
				10.20	10.20	10.20	81.71	16467	201.53			
				10.10	10.20	10.15	80.91	15771	194.91			
				10.10	10.10	10.10	80.12	15969	199.31			
			14	10.05	10.05	10.05	79.33	19362	244.08	235.84	6.93	2.94
				10.05	10.15	10.10	80.12	18871	235.54			
				10.05	10.05	10.05	79.33	19023	239.80			
				10.00	10.05	10.03	78.93	18489	234.23			
				10.10	10.10	10.10	80.12	18071	225.55			
			21	10.05	10.05	10.05	79.33	19369	244.17	250.96	8.47	3.37
				10.05	10.15	10.10	80.12	19575	244.33			
				10.15	10.15	10.15	80.91	20409	252.23			
				10.15	10.05	10.10	80.12	21217	264.83			
				10.05	10.00	10.03	78.93	19672	249.22			
			28	10.00	10.10	10.05	79.33	22482	283.40	279.98	10.78	3.85
				10.00	10.20	10.10	80.12	23002	287.10			
				10.05	10.15	10.10	80.12	21712	271.00			
				10.15	10.05	10.10	80.12	23384	291.86			
				10.10	10.20	10.15	80.91	21568	266.55			

Tabla 92 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	15%	7	10.15	10.00	10.08	79.72	14895	186.84	190.62	8.04	4.22
				10.00	10.20	10.10	80.12	15801	197.22			
				10.05	10.20	10.13	80.52	16197	201.17			
				10.10	10.20	10.15	80.91	14881	183.91			
				10.05	10.00	10.03	78.93	14521	183.97			
			14	10.05	10.10	10.08	79.72	17882	224.31	208.93	9.22	4.41
				10.10	10.15	10.13	80.52	16903	209.94			
				10.00	10.20	10.10	80.12	16067	200.54			
				10.00	10.10	10.05	79.33	16234	204.65			
				10.15	10.05	10.10	80.12	16441	205.21			
			21	10.15	10.10	10.13	80.52	20023	248.68	251.69	9.17	3.65
				10.15	10.05	10.10	80.12	19623	244.93			
				10.15	10.00	10.08	79.72	21183	265.71			
				10.20	10.10	10.15	80.91	20694	255.75			
				10.15	10.20	10.18	81.31	19791	243.39			
			28	10.15	10.05	10.10	80.12	21297	265.81	281.27	11.50	4.09
				10.10	10.05	10.08	79.72	22013	276.12			
				10.05	10.00	10.03	78.93	22338	283.00			
				10.15	10.00	10.08	79.72	22661	284.24			
				10.00	10.00	10.00	78.54	23338	297.15			

Tabla 93 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	20%	7	10.10	10.05	10.08	79.72	14336	179.82	179.83	5.91	3.29
				10.15	10.05	10.10	80.12	14978	186.95			
				10.20	10.00	10.10	80.12	13872	173.14			
				10.20	10.20	10.20	81.71	14293	174.92			
				10.20	10.10	10.15	80.91	14914	184.31			
			14	10.15	10.10	10.13	80.52	15394	191.19	197.10	8.31	4.22
				10.10	10.10	10.10	80.12	15721	196.22			
				10.10	10.20	10.15	80.91	16782	207.41			
				10.15	10.10	10.13	80.52	15082	187.32			
				10.05	10.00	10.03	78.93	16050	203.34			
			21	10.20	10.10	10.15	80.91	17006	210.17	215.11	3.80	1.77
				10.15	10.00	10.08	79.72	16930	212.36			
				10.05	10.10	10.08	79.72	17306	217.08			
				10.00	10.20	10.10	80.12	17598	219.65			
				10.00	10.10	10.05	79.33	17157	216.29			
			28	10.10	10.05	10.08	79.72	19941	250.13	243.49	6.75	2.77
				10.10	10.20	10.15	80.91	18786	232.17			
				10.10	10.10	10.10	80.12	19648	245.24			
				10.20	10.00	10.10	80.12	19716	246.09			
				10.00	10.05	10.03	78.93	19243	243.79			

Tabla 94 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	25%	7	10.05	10.15	10.10	80.12	12680	158.26	157.59	4.41	2.80
				10.15	10.20	10.18	81.31	12380	152.25			
				10.15	10.15	10.15	80.91	13287	164.21			
				10.00	10.05	10.03	78.93	12461	157.86			
				10.15	10.00	10.08	79.72	12387	155.38			
			14	10.10	10.20	10.15	80.91	13823	170.84	170.13	3.90	2.30
				10.00	10.00	10.00	78.54	13274	169.01			
				10.15	10.10	10.13	80.52	13993	173.79			
				10.10	10.20	10.15	80.91	13998	173.00			
				10.05	10.15	10.10	80.12	13139	164.00			
			21	10.05	10.05	10.05	79.33	15341	193.38	209.40	11.01	5.26
				10.00	10.20	10.10	80.12	16734	208.86			
				10.00	10.15	10.08	79.72	17337	217.46			
				10.00	10.15	10.08	79.72	17668	221.62			
				10.20	10.20	10.20	81.71	16805	205.66			
			28	10.00	10.05	10.03	78.93	17866	226.35	225.61	7.20	3.19
				10.00	10.00	10.00	78.54	17354	220.95			
				10.15	10.15	10.15	80.91	17477	216.00			
				10.05	10.00	10.03	78.93	18277	231.56			
				10.20	10.00	10.10	80.12	18684	233.20			

Tabla 95 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	30%	7	10.10	10.15	10.13	80.52	11894	147.73	139.85	11.35	8.12
				10.05	10.10	10.08	79.72	12327	154.62			
				10.10	10.10	10.10	80.12	10446	130.38			
				10.20	10.15	10.18	81.31	11276	138.67			
				10.10	10.05	10.08	79.72	10193	127.85			
			14	10.15	10.00	10.08	79.72	12161	152.54	158.73	8.03	5.06
				10.15	10.05	10.10	80.12	12989	162.12			
				10.15	10.20	10.18	81.31	12314	151.45			
				10.15	10.20	10.18	81.31	13905	171.00			
				10.15	10.20	10.18	81.31	12730	156.56			
			21	10.05	10.10	10.08	79.72	13500	169.34	177.24	10.26	5.79
				10.20	10.15	10.18	81.31	14387	176.93			
				10.05	10.15	10.10	80.12	15003	187.26			
				10.15	10.05	10.10	80.12	13221	165.02			
				10.15	10.10	10.13	80.52	15109	187.66			
			28	10.00	10.10	10.05	79.33	15950	201.06	200.88	4.06	2.02
				10.10	10.00	10.05	79.33	15832	199.58			
				10.20	10.10	10.15	80.91	15837	195.72			
				10.15	10.15	10.15	80.91	16264	201.00			
				10.05	10.15	10.10	80.12	16586	207.02			

Tabla 96 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	5%	7	10.00	10.10	10.05	79.33	20430	257.54	251.52	7.89	3.14
				10.15	10.20	10.18	81.31	19652	241.69			
				10.15	10.10	10.13	80.52	20451	254.00			
				10.05	10.10	10.08	79.72	19515	244.79			
				10.05	10.10	10.08	79.72	20694	259.58			
			14	10.00	10.05	10.03	78.93	23466	297.30	292.80	7.88	2.69
				10.20	10.15	10.18	81.31	23197	285.28			
				10.00	10.05	10.03	78.93	23838	302.00			
				10.10	10.10	10.10	80.12	22744	283.88			
				10.00	10.05	10.03	78.93	23326	295.52			
			21	10.05	10.05	10.05	79.33	25798	325.21	330.58	8.43	2.55
				10.20	10.10	10.15	80.91	25811	319.00			
				10.10	10.05	10.08	79.72	26867	337.00			
				10.00	10.05	10.03	78.93	26232	332.33			
				10.05	10.05	10.05	79.33	26919	339.35			
			28	10.15	10.00	10.08	79.72	28162	353.25	353.39	8.26	2.34
				10.00	10.10	10.05	79.33	28558	360.00			
				10.05	10.05	10.05	79.33	28781	362.81			
				10.15	10.15	10.15	80.91	27737	342.80			
				10.05	10.15	10.10	80.12	27890	348.11			

Tabla 97 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 5% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	10%	7	10.05	10.10	10.08	79.72	19539	245.08	244.80	10.47	4.28
				10.05	10.10	10.08	79.72	20410	256.01			
				10.15	10.10	10.13	80.52	18531	230.15			
				10.00	10.10	10.05	79.33	20084	253.18			
				10.00	10.05	10.03	78.93	18908	239.54			
			14	10.00	10.10	10.05	79.33	22062	278.12	281.00	6.49	2.31
				10.05	10.10	10.08	79.72	21749	272.81			
				10.15	10.20	10.18	81.31	23141	284.60			
				10.10	10.00	10.05	79.33	22182	279.63			
				10.00	10.10	10.05	79.33	22994	289.86			
			21	10.15	10.10	10.13	80.52	25230	313.35	318.71	7.24	2.27
				10.05	10.15	10.10	80.12	25287	315.62			
				10.05	10.00	10.03	78.93	25750	326.23			
				10.15	10.20	10.18	81.31	25338	311.61			
				10.05	10.10	10.08	79.72	26048	326.73			
			28	10.15	10.05	10.10	80.12	28427	354.82	355.77	8.42	2.37
				10.05	10.00	10.03	78.93	28939	366.62			
				10.15	10.10	10.13	80.52	28442	353.25			
				10.10	10.05	10.08	79.72	27422	343.97			
				10.10	10.00	10.05	79.33	28574	360.20			

Tabla 98 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 10% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	15%	7	10.00	10.15	10.08	79.72	19257	241.56	243.07	10.19	4.19
				10.20	10.20	10.20	81.71	19057	233.22			
				10.10	10.20	10.15	80.91	19319	238.76			
				10.20	10.00	10.10	80.12	19352	241.55			
				10.00	10.05	10.03	78.93	20543	260.26			
			14	10.05	10.00	10.03	78.93	21354	270.54	276.47	9.01	3.26
				10.05	10.00	10.03	78.93	22994	291.31			
				10.15	10.10	10.13	80.52	21598	268.25			
				10.05	10.00	10.03	78.93	21856	276.89			
				10.15	10.05	10.10	80.12	22061	275.36			
			21	10.15	10.20	10.18	81.31	24997	307.42	305.54	4.20	1.37
				10.05	10.05	10.05	79.33	24652	310.76			
				10.00	10.05	10.03	78.93	24122	305.60			
				10.10	10.20	10.15	80.91	24219	299.32			
				10.15	10.20	10.18	81.31	24769	304.61			
			28	10.00	10.15	10.08	79.72	27402	343.72	343.45	2.34	0.68
				10.20	10.00	10.10	80.12	27639	344.97			
				10.05	10.05	10.05	79.33	26920	339.35			
				10.00	10.15	10.08	79.72	27489	344.81			
				10.10	10.10	10.10	80.12	27591	344.37			

Tabla 99 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 15% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	20%	7	10.00	10.10	10.05	79.33	20229	255.01	256.83	4.65	1.81
				10.15	10.05	10.10	80.12	20327	253.71			
				10.10	10.15	10.13	80.52	20876	259.28			
				10.20	10.05	10.13	80.52	21235	263.74			
				10.15	10.15	10.15	80.91	20423	252.41			
			14	10.05	10.20	10.13	80.52	22672	281.58	274.77	7.78	2.83
				10.20	10.10	10.15	80.91	21592	266.85			
				10.05	10.10	10.08	79.72	21327	267.51			
				10.05	10.15	10.10	80.12	22731	283.72			
				10.15	10.20	10.18	81.31	22295	274.19			
			21	10.20	10.15	10.18	81.31	22824	280.69	300.15	11.57	3.86
				10.00	10.00	10.00	78.54	23523	299.50			
				10.15	10.10	10.13	80.52	24412	303.20			
				10.15	10.05	10.10	80.12	24800	309.55			
				10.15	10.00	10.08	79.72	24541	307.83			
			28	10.10	10.15	10.13	80.52	25503	316.74	327.52	7.62	2.33
				10.05	10.15	10.10	80.12	25933	323.68			
				10.00	10.05	10.03	78.93	26390	334.33			
				10.05	10.15	10.10	80.12	26274	327.94			
				10.00	10.10	10.05	79.33	26568	334.92			

Tabla 100 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 20% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	25%	7	10.10	10.15	10.13	80.52	20208	250.99	244.97	8.10	3.31
				10.15	10.10	10.13	80.52	19265	239.27			
				10.15	10.05	10.10	80.12	20248	252.73			
				10.05	10.00	10.03	78.93	18456	233.82			
				10.05	10.15	10.10	80.12	19871	248.01			
			14	10.00	10.20	10.10	80.12	22163	276.63	263.82	7.75	2.94
				10.15	10.20	10.18	81.31	20842	256.32			
				10.15	10.05	10.10	80.12	20922	261.13			
				10.00	10.05	10.03	78.93	20895	264.71			
				10.05	10.15	10.10	80.12	20856	260.32			
			21	10.20	10.20	10.20	81.71	22186	271.51	281.37	8.84	3.14
				10.00	10.15	10.08	79.72	22178	278.20			
				10.10	10.00	10.05	79.33	23453	295.65			
				10.20	10.15	10.18	81.31	22790	280.28			
				10.15	10.00	10.08	79.72	22419	281.22			
			28	10.05	10.10	10.08	79.72	24800	311.08	303.42	12.25	4.04
				10.20	10.10	10.15	80.91	24439	302.04			
				10.05	10.00	10.03	78.93	25262	320.05			
				10.20	10.05	10.13	80.52	23495	291.80			
				10.05	10.10	10.08	79.72	23288	292.12			

Tabla 101 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 25% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	30%	7	10.05	10.05	10.05	79.33	15204	191.66	206.29	9.99	4.84
				10.20	10.00	10.10	80.12	17174	214.36			
				10.20	10.10	10.15	80.91	16989	209.96			
				10.10	10.00	10.05	79.33	15913	200.60			
				10.10	10.20	10.15	80.91	17388	214.89			
			14	10.00	10.05	10.03	78.93	19064	241.52	233.58	8.52	3.65
				10.10	10.00	10.05	79.33	18897	238.21			
				10.10	10.10	10.10	80.12	18197	227.12			
				10.05	10.05	10.05	79.33	17611	222.00			
				10.05	10.20	10.13	80.52	19247	239.05			
			21	10.10	10.00	10.05	79.33	19474	245.49	252.96	8.26	3.26
				10.10	10.05	10.08	79.72	20572	258.05			
				10.20	10.20	10.20	81.71	20009	244.87			
				10.00	10.00	10.00	78.54	20746	264.14			
				10.10	10.05	10.08	79.72	20109	252.24			
			28	10.00	10.10	10.05	79.33	21159	266.73	270.06	10.85	4.02
				10.05	10.20	10.13	80.52	21418	266.01			
				10.20	10.00	10.10	80.12	22619	282.32			
				10.05	10.15	10.10	80.12	22391	279.47			
				10.10	10.05	10.08	79.72	20389	255.75			

Tabla 102 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de 30% para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

PROBETAS SOMETIDAS A UN INCREMENTO DE TEMPERATURA Y COMPRESIÓN

Los elementos de construcción que son normalmente expuestos a temperaturas elevadas, han de seguir presentando un comportamiento satisfactorio, sin embargo, en esta investigación se reemplaza parcialmente los agregados por HDPE, material que no es resistente o recomendado para trabajos con altas temperatura.

Con el fin de encontrar la influencia de la temperatura sobre la resistencia a la compresión del concreto se realizó este ensayo sobre probetas de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, los cuales fueron sometidas a una carga axial. A continuación, se describe el procedimiento realizado:

- Una vez identificada la probeta correspondiendo la fecha de rotura, se procede a ser retirada de la poza de curado (28 días).
- Las probetas son ingresadas a un horno con temperatura de 60 °C durante 2 horas.
- Se verifica la temperatura con un termómetro infrarrojo y se procede a realizar el ensayo de compresión normado.



Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
PATRÓN (SIN REEMPLAZO)	210	0%	28	10.10	10.00	10.05	79.33	21599	272.28	271.53	1.85	0.68
				10.10	10.20	10.15	80.91	21954	271.33			
				10.05	10.20	10.13	80.52	21768	270.36			
				10.00	10.05	10.03	78.93	21646	274.23			
				10.10	10.20	10.15	80.91	21801	269.43			
	280	0%	28	10.20	10.10	10.15	80.91	27076	334.63	337.47	3.37	1.00
				10.10	10.00	10.05	79.33	26946	339.69			
				10.05	10.10	10.08	79.72	26617	333.88			
				10.05	10.20	10.13	80.52	27158	337.31			
				10.05	10.20	10.13	80.52	27526	341.87			

Tabla 103 Resistencias a la compresión para un concreto con diseño patrón sometido a incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	10.20	10.05	10.13	80.52	19519	242.43	237.19	3.17	1.34
				10.15	10.00	10.08	79.72	18665	234.13			
				10.20	10.05	10.13	80.52	19114	237.40			
				10.15	10.10	10.13	80.52	19045	236.53			
				10.05	10.05	10.05	79.33	18679	235.47			
		10%	28	10.15	10.00	10.08	79.72	16942	212.51	204.71	5.58	2.73
				10.20	10.05	10.13	80.52	16587	206.01			
				10.00	10.20	10.10	80.12	16263	202.98			
				10.05	10.10	10.08	79.72	15707	197.02			
				10.10	10.15	10.13	80.52	16506	205.01			
		15%	28	10.00	10.10	10.05	79.33	15197	191.57	200.41	5.19	2.59
				10.15	10.05	10.10	80.12	16431	205.09			
				10.15	10.00	10.08	79.72	16135	202.40			
				10.15	10.20	10.18	81.31	16312	200.61			
				10.05	10.00	10.03	78.93	15975	202.39			
		20%	28	10.20	10.20	10.20	81.71	13553	165.86	157.03	7.77	4.95
				10.10	10.15	10.13	80.52	13137	163.16			
				10.05	10.20	10.13	80.52	12125	150.59			
				10.10	10.05	10.08	79.72	11787	147.85			
				10.10	10.05	10.08	79.72	12573	157.71			
		25%	28	10.10	10.05	10.08	79.72	12082	151.55	155.14	4.77	3.08
				10.10	10.20	10.15	80.91	13142	162.42			
				10.15	10.10	10.13	80.52	12688	157.59			
				10.05	10.00	10.03	78.93	11970	151.65			
				10.20	10.15	10.18	81.31	12400	152.49			
		30%	28	10.00	10.15	10.08	79.72	12671	158.94	154.92	6.41	4.14
				10.00	10.15	10.08	79.72	12490	156.67			
				10.20	10.00	10.10	80.12	11514	143.71			
10.05	10.15			10.10	80.12	12504	156.07					
10.05	10.05			10.05	79.33	12628	159.19					

Tabla 104 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	5%	28	10.20	10.00	10.10	80.12	25498	318.26	317.42	3.97	1.25
				10.20	10.15	10.18	81.31	26260	322.95			
				10.05	10.15	10.10	80.12	25237	315.00			
				10.20	10.00	10.10	80.12	25033	312.45			
				10.00	10.15	10.08	79.72	25388	318.46			
		10%	28	10.20	10.00	10.10	80.12	26363	329.05	334.62	6.74	2.01
				10.05	10.15	10.10	80.12	26675	332.95			
				10.00	10.15	10.08	79.72	27241	341.70			
				10.20	10.20	10.20	81.71	26778	327.71			
				10.00	10.15	10.08	79.72	27241	341.69			
		15%	28	10.05	10.05	10.05	79.33	25280	318.68	316.59	8.99	2.84
				10.10	10.05	10.08	79.72	24914	312.51			
				10.10	10.00	10.05	79.33	25776	324.93			
				10.05	10.05	10.05	79.33	25679	323.71			
				10.15	10.15	10.15	80.91	24525	303.10			
		20%	28	10.10	10.15	10.13	80.52	21894	271.92	272.34	11.35	4.17
				10.10	10.20	10.15	80.91	21858	270.14			
				10.15	10.10	10.13	80.52	22899	284.40			
				10.20	10.15	10.18	81.31	20732	254.97			
				10.05	10.20	10.13	80.52	22567	280.28			
		25%	28	10.20	10.10	10.15	80.91	22278	275.33	272.63	10.63	3.90
				10.10	10.00	10.05	79.33	22236	280.31			
				10.15	10.00	10.08	79.72	20996	263.37			
				10.10	10.15	10.13	80.52	20922	259.84			
10.05	10.00			10.03	78.93	22442	284.32					
30%	28	10.15	10.15	10.15	80.91	19889	245.81	245.62	7.39	3.01		
		10.10	10.20	10.15	80.91	19871	245.59					
		10.00	10.15	10.08	79.72	19536	245.05					
		10.05	10.00	10.03	78.93	20227	256.26					
		10.00	10.15	10.08	79.72	18765	235.38					

Tabla 105 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	10.00	10.15	10.08	79.72	20248	253.99	255.89	6.63	2.59
				10.10	10.05	10.08	79.72	20687	259.48			
				10.20	10.00	10.10	80.12	20929	261.22			
				10.10	10.10	10.10	80.12	20804	259.67			
				10.10	10.15	10.13	80.52	19733	245.09			
		10%	28	10.10	10.10	10.10	80.12	20732	258.77	253.49	7.16	2.83
				10.10	10.20	10.15	80.91	20108	248.51			
				10.00	10.20	10.10	80.12	20451	255.26			
				10.20	10.15	10.18	81.31	19830	243.87			
				10.00	10.05	10.03	78.93	20605	261.04			
		15%	28	10.00	10.10	10.05	79.33	20718	261.17	250.88	10.41	4.15
				10.00	10.20	10.10	80.12	19752	246.54			
				10.20	10.05	10.13	80.52	20023	248.68			
				10.10	10.10	10.10	80.12	18974	236.82			
				10.20	10.10	10.15	80.91	21134	261.19			
		20%	28	10.15	10.10	10.13	80.52	15597	193.71	195.18	6.53	3.34
				10.15	10.00	10.08	79.72	15383	192.95			
				10.15	10.15	10.15	80.91	15333	189.50			
				10.00	10.00	10.00	78.54	16216	206.46			
				10.05	10.10	10.08	79.72	15409	193.28			
		25%	28	10.05	10.15	10.10	80.12	14795	184.66	187.84	10.05	5.35
				10.00	10.20	10.10	80.12	14222	177.51			
				10.20	10.05	10.13	80.52	16392	203.59			
				10.10	10.10	10.10	80.12	15302	190.99			
				10.20	10.05	10.13	80.52	14690	182.45			
		30%	28	10.00	10.00	10.00	78.54	14646	186.48	184.47	4.34	2.35
				10.05	10.15	10.10	80.12	15117	188.68			
				10.05	10.20	10.13	80.52	15092	187.44			
10.00	10.20			10.10	80.12	14498	180.95					
10.05	10.15			10.10	80.12	14323	178.77					

Tabla 106 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	5%	28	10.20	10.00	10.10	80.12	26627	332.35	330.51	7.73	2.34
				10.00	10.05	10.03	78.93	26307	333.28			
				10.15	10.00	10.08	79.72	25926	325.20			
				10.20	10.10	10.15	80.91	25961	320.85			
				10.05	10.15	10.10	80.12	27308	340.84			
		10%	28	10.15	10.05	10.10	80.12	25401	317.04	321.26	12.12	3.77
				10.15	10.05	10.10	80.12	25574	319.20			
				10.20	10.05	10.13	80.52	27481	341.31			
				10.15	10.10	10.13	80.52	25784	320.23			
				10.00	10.10	10.05	79.33	24475	308.53			
		15%	28	10.00	10.00	10.00	78.54	24988	318.16	320.72	4.16	1.30
				10.15	10.00	10.08	79.72	25740	322.86			
				10.05	10.10	10.08	79.72	25680	322.12			
				10.10	10.10	10.10	80.12	25233	314.95			
				10.15	10.20	10.18	81.31	26467	325.49			
		20%	28	10.15	10.20	10.18	81.31	22046	271.13	265.38	6.12	2.31
				10.05	10.00	10.03	78.93	20490	259.59			
				10.20	10.15	10.18	81.31	21075	259.19			
				10.05	10.20	10.13	80.52	21333	264.96			
				10.10	10.05	10.08	79.72	21689	272.06			
		25%	28	10.00	10.00	10.00	78.54	21225	270.24	264.76	4.27	1.61
				10.20	10.05	10.13	80.52	20855	259.01			
				10.20	10.05	10.13	80.52	21448	266.39			
				10.00	10.15	10.08	79.72	21196	265.88			
				10.10	10.20	10.15	80.91	21223	262.29			
		30%	28	10.05	10.20	10.13	80.52	18945	235.30	240.49	11.02	4.58
				10.05	10.10	10.08	79.72	18526	232.38			
				10.20	10.15	10.18	81.31	18880	232.19			
10.05	10.05			10.05	79.33	19398	244.53					
10.15	10.05			10.10	80.12	20673	258.03					

Tabla 107 Resistencias a la compresión para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

5.2.3. Resistencia a la Tracción indirecta

Este ensayo de tracción indirecta fue desarrollado en Brasil por L. Carneiro y A. Bercellos, también llamado ensayo brasileiro en honor a ellos. El presente método es determinado aplicando a compresión un cilindro de concreto, en el caso del presente estudio de 100 mm x 200 mm a lo largo de dos líneas diametralmente opuestas.

De acuerdo a algunas investigaciones este valor de resistencia es aproximadamente 15% más alta que la determinada por ensayos de tracción directa. Se usó la NTP 339.084. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Las probetas para el presente ensayos son de 28 días de curado, para lo cual como primer paso se mide el diámetro y altura de cada probeta.
- Colocar una lámina inferior en la base de los dos soportes que se encuentren diametralmente opuestos, seguidamente colocar la probeta de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases este concentrada sobre la lámina de apoyo, por último, colocar la segunda lámina encima de la probeta.
- Se ingresa los datos en la máquina, en este caso la velocidad de rotura fue de 0.05 MPa/s.
- Se realizan los cálculos respectivos con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi * L * D}$$

Ecuación 17 Resistencia a la tracción indirecta³⁸

Donde:

T: resistencia a la tracción indirecta (kg/cm²)

P: carga máxima de aplicación (kg)

L: longitud del cilindro (cm)

D: diámetro del cilindro (cm)

³⁸ (Norma Técnica Peruana 339.084)



Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
PATRÓN (SIN REEMPLAZO)	210	0%	28	20.10	20.00	20.05	10.10	10.00	10.05	8354	26.39	25.89	0.43	1.68
				20.25	20.20	20.23	10.05	10.20	10.13	8250	25.65			
				20.20	20.10	20.15	10.10	10.00	10.05	8154	25.63			
	280	0%	28	20.15	20.05	20.10	10.00	10.10	10.05	10426	32.86	31.25	1.50	4.80
				20.15	20.05	20.10	10.05	10.15	10.10	9530	29.89			
				20.10	20.00	20.05	10.00	10.20	10.10	9862	31.00			

Tabla 108 Resistencias a la tracción para diseños patrón
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	20.10	20.05	20.08	10.15	10.00	10.08	10426	32.82	31.20	1.58	5.06
				20.25	20.15	20.20	10.15	10.10	10.13	9530	29.66			
				20.10	20.05	20.08	10.10	10.00	10.05	9862	31.12			
		10%	28	20.15	20.10	20.13	10.15	10.05	10.10	9556	29.93	29.18	0.78	2.67
				20.25	20.20	20.23	10.05	10.20	10.13	9127	28.37			
				20.20	20.20	20.20	10.05	10.10	10.08	9347	29.24			
		15%	28	20.10	20.05	20.08	10.10	10.15	10.13	8595	26.92	27.84	0.80	2.89
				20.20	20.15	20.18	10.05	10.05	10.05	9051	28.42			
				20.10	20.05	20.08	10.20	10.20	10.20	9063	28.18			
		20%	28	20.20	20.10	20.15	10.05	10.20	10.13	7464	23.29	23.33	0.13	0.54
				20.25	20.25	20.25	10.20	10.10	10.15	7500	23.23			
				20.25	20.20	20.23	10.10	10.10	10.10	7532	23.47			
		25%	28	20.10	20.10	20.10	10.10	10.20	10.15	7104	22.17	22.71	0.50	2.22
				20.05	19.95	20.00	10.15	10.20	10.18	7405	23.17			
				20.25	20.20	20.23	10.10	10.20	10.15	7348	22.79			
		30%	28	20.15	20.10	20.13	10.20	10.00	10.10	6994	21.91	21.86	0.24	1.11
				20.15	20.10	20.13	10.15	10.05	10.10	7049	22.08			
				20.25	20.20	20.23	10.00	10.10	10.05	6896	21.60			

Tabla 109 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	5%	28	20.25	20.20	20.23	10.15	10.10	10.13	11711	36.41	35.09	1.17	3.33
				20.25	20.15	20.20	10.20	10.10	10.15	11012	34.19			
				20.15	20.10	20.13	10.20	10.10	10.15	11120	34.66			
		10%	28	20.25	20.20	20.23	10.15	10.10	10.13	12186	37.88	37.08	0.80	2.17
				20.10	20.05	20.08	10.00	10.20	10.10	11812	37.09			
				20.25	20.15	20.20	10.20	10.05	10.13	11654	36.28			
		15%	28	20.10	20.00	20.05	10.15	10.05	10.10	10461	32.89	33.70	0.88	2.62
				20.10	20.05	20.08	10.10	10.20	10.15	11088	34.64			
				20.15	20.10	20.13	10.20	10.00	10.10	10723	33.58			
		20%	28	20.10	20.00	20.05	10.00	10.15	10.08	10125	31.91	31.86	0.59	1.84
				20.15	20.10	20.13	10.05	10.05	10.05	9929	31.25			
				20.15	20.05	20.10	10.05	10.10	10.08	10313	32.42			
		25%	28	20.25	20.25	20.25	10.00	10.15	10.08	9319	29.08	29.82	0.66	2.21
				20.10	20.00	20.05	10.10	10.00	10.05	9598	30.32			
				20.20	20.10	20.15	10.00	10.05	10.03	9542	30.07			
		30%	28	20.20	20.20	20.20	10.20	10.15	10.18	9854	30.52	29.78	1.02	3.43
				20.10	20.05	20.08	10.10	10.10	10.10	9617	30.20			
				20.20	20.10	20.15	10.05	10.05	10.05	9101	28.61			

Tabla 110 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	20.10	20.10	20.10	10.05	10.20	10.13	9786	30.61	31.68	0.99	3.13
				20.10	20.05	20.08	10.15	10.00	10.08	10122	31.86			
				20.20	20.15	20.18	10.05	10.20	10.13	10451	32.57			
		10%	28	20.15	20.10	20.13	10.05	10.20	10.13	9699	30.30	30.73	0.48	1.55
				20.15	20.05	20.10	10.10	10.05	10.08	9750	30.65			
				20.10	20.05	20.08	10.00	10.10	10.05	9902	31.25			
		15%	28	20.25	20.25	20.25	10.00	10.10	10.05	8909	27.87	28.72	0.75	2.62
				20.15	20.05	20.10	10.05	10.20	10.13	9263	28.98			
				20.20	20.10	20.15	10.20	10.00	10.10	9368	29.30			
		20%	28	20.20	20.10	20.15	10.00	10.15	10.08	8171	25.62	24.37	1.18	4.83
				20.20	20.15	20.18	10.20	10.10	10.15	7786	24.21			
				20.25	20.20	20.23	10.05	10.00	10.03	7416	23.29			
		25%	28	20.25	20.15	20.20	10.00	10.05	10.03	7443	23.40	24.09	1.03	4.26
				20.25	20.15	20.20	10.10	10.10	10.10	8099	25.27			
				20.05	20.00	20.03	10.20	10.15	10.18	7557	23.61			
		30%	28	20.20	20.15	20.18	10.05	10.00	10.03	7648	24.07	23.46	0.57	2.43
				20.10	20.10	20.10	10.10	10.00	10.05	7283	22.95			
				20.15	20.10	20.13	10.10	10.05	10.08	7434	23.34			

Tabla 111 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	5%	28	20.15	20.05	20.10	10.05	10.00	10.03	11417	36.07	36.92	0.83	2.26
				20.10	20.00	20.05	10.00	10.20	10.10	11752	36.95			
				20.05	20.00	20.03	10.05	10.05	10.05	11929	37.74			
		10%	28	20.20	20.15	20.18	10.05	10.20	10.13	12111	37.74	38.11	1.64	4.30
				20.25	20.15	20.20	10.10	10.05	10.08	11729	36.69			
				20.25	20.15	20.20	10.20	10.20	10.20	12914	39.90			
		15%	28	20.15	20.05	20.10	10.05	10.00	10.03	11665	36.85	37.19	1.13	3.05
				20.15	20.05	20.10	10.15	10.00	10.08	12231	38.45			
				20.25	20.15	20.20	10.10	10.00	10.05	11562	36.26			
		20%	28	20.15	20.10	20.13	10.00	10.10	10.05	10766	33.89	33.97	0.95	2.81
				20.15	20.10	20.13	10.00	10.15	10.08	11133	34.96			
				20.20	20.20	20.20	10.05	10.00	10.03	10514	33.05			
		25%	28	20.20	20.15	20.18	10.15	10.00	10.08	10275	32.18	31.06	1.31	4.21
				20.10	20.00	20.05	10.15	10.20	10.18	9494	29.63			
				20.15	20.05	20.10	10.00	10.00	10.00	9907	31.38			
		30%	28	20.25	20.15	20.20	10.10	10.10	10.10	9979	31.14	30.71	0.43	1.41
				20.05	19.95	20.00	10.05	10.00	10.03	9534	30.27			
				20.25	20.20	20.23	10.10	10.00	10.05	9812	30.73			

Tabla 112 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

PROBETAS SOMETIDAS A UN INCREMENTO DE TEMPERATURA Y TRACCIÓN INDIRECTA

Con el fin de encontrar la influencia de la temperatura (60 °C) sobre la resistencia a la tracción del concreto se realizó este ensayo sobre probetas de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, este ensayo también llamados brasilero en honor a sus creadores determinan la tracción mediante la aplicación de fuerza axial sobre una de las caras de la probeta, mientras que el otro extremo permanece apoyado.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Una vez identificada la probeta correspondiendo la fecha de rotura, se procede a ser retirada de la poza de curado (28 días) y medir el diámetro y altura de cada probeta.
- Las probetas son ingresadas a un horno con temperatura de 60 °C durante 2 horas.
- Se verifica la temperatura con un termómetro infrarrojo y se procede a realizar el ensayo normado.

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
PATRÓN (SIN REEMPLAZO)	210	0%	28	20.10	20.00	20.05	10.15	10.20	10.18	8485	26.48	25.26	1.19	4.72
				20.10	20.05	20.08	10.05	10.20	10.13	8050	25.21			
				20.25	20.20	20.23	10.15	10.05	10.10	7732	24.10			
	280	0%	28	20.10	20.00	20.05	10.15	10.20	10.18	9643	30.09	30.23	0.65	2.16
				20.10	20.00	20.05	10.20	10.00	10.10	9432	29.65			
				20.10	20.00	20.05	10.15	10.05	10.10	9841	30.94			

Tabla 113 Resistencias a la tracción para un concreto con diseño patrón sometido a incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	20.10	20.10	20.10	10.15	10.20	10.18	8100	25.21	26.17	1.06	4.04
				20.05	19.95	20.00	10.20	10.20	10.20	8332	26.00			
				20.20	20.15	20.18	10.10	10.10	10.10	8741	27.31			
		10%	28	20.10	20.05	20.08	10.10	10.00	10.05	7604	23.99	24.12	0.97	4.02
				20.10	20.05	20.08	10.10	10.15	10.13	8028	25.14			
				20.15	20.05	20.10	10.10	10.00	10.05	7367	23.22			
		15%	28	20.25	20.15	20.20	10.10	10.05	10.08	7121	22.28	22.23	0.37	1.67
				20.25	20.20	20.23	10.15	10.00	10.08	6990	21.84			
				20.25	20.25	20.25	10.00	10.20	10.10	7253	22.58			
		20%	28	20.20	20.15	20.18	10.10	10.15	10.13	6941	21.63	21.28	0.31	1.47
				20.20	20.15	20.18	10.20	10.10	10.15	6762	21.02			
				20.25	20.15	20.20	10.10	10.20	10.15	6827	21.20			
		25%	28	20.25	20.20	20.23	10.20	10.10	10.15	7043	21.84	20.92	0.81	3.85
				20.25	20.20	20.23	10.20	10.15	10.18	6645	20.56			
				20.10	20.05	20.08	10.10	10.20	10.15	6516	20.36			
		30%	28	20.25	20.15	20.20	10.10	10.15	10.13	5807	18.08	17.82	0.38	2.16
				20.25	20.20	20.23	10.15	10.15	10.15	5604	17.38			
				20.25	20.15	20.20	10.00	10.00	10.00	5714	18.01			

Tabla 114 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	5%	28	20.15	20.05	20.10	10.05	10.05	10.05	10128	31.92	31.15	0.94	3.03
				20.10	20.10	20.10	10.20	10.05	10.13	9622	30.10			
				20.20	20.10	20.15	10.05	10.00	10.03	9977	31.44			
		10%	28	20.20	20.10	20.15	10.00	10.15	10.08	9748	30.57	29.70	0.92	3.09
				20.15	20.10	20.13	10.10	10.00	10.05	9468	29.80			
				20.10	20.00	20.05	10.10	10.00	10.05	9097	28.74			
		15%	28	20.15	20.05	20.10	10.20	10.10	10.15	8260	25.77	26.66	0.99	3.73
				20.15	20.10	20.13	10.05	10.00	10.03	8789	27.73			
				20.15	20.15	20.15	10.20	10.10	10.15	8502	26.46			
		20%	28	20.10	20.05	20.08	10.15	10.10	10.13	8478	26.55	25.10	1.32	5.26
				20.25	20.15	20.20	10.00	10.05	10.03	7625	23.97			
				20.05	19.95	20.00	10.15	10.10	10.13	7881	24.78			
		25%	28	20.20	20.15	20.18	10.15	10.00	10.08	8203	25.69	24.90	0.79	3.19
				20.20	20.10	20.15	10.05	10.15	10.10	7960	24.90			
				20.15	20.05	20.10	10.05	10.00	10.03	7629	24.10			
		30%	28	20.25	20.15	20.20	10.05	10.15	10.10	8114	25.32	23.91	1.25	5.21
				20.10	20.05	20.08	10.15	10.00	10.08	7294	22.96			
				20.25	20.25	20.25	10.10	10.00	10.05	7496	23.45			

Tabla 115 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado fino de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	20.25	20.20	20.23	10.00	10.00	10.00	9284	29.22	28.39	0.88	3.10
				20.15	20.10	20.13	10.20	10.00	10.10	9095	28.49			
				20.20	20.10	20.15	10.10	10.05	10.08	8760	27.47			
		10%	28	20.10	20.05	20.08	10.00	10.15	10.08	8253	25.98	26.11	0.33	1.28
				20.10	20.00	20.05	10.20	10.10	10.15	8468	26.49			
				20.20	20.10	20.15	10.20	10.10	10.15	8309	25.86			
		15%	28	20.25	20.20	20.23	10.00	10.00	10.00	7738	24.36	24.95	0.52	2.07
				20.10	20.00	20.05	10.15	10.15	10.15	8075	25.26			
				20.10	20.00	20.05	10.05	10.05	10.05	7990	25.24			
		20%	28	20.25	20.20	20.23	10.15	10.15	10.15	6735	20.89	21.89	1.11	5.08
				20.10	20.00	20.05	10.15	10.00	10.08	7325	23.08			
				20.10	20.10	20.10	10.10	10.20	10.15	6955	21.70			
		25%	28	20.25	20.20	20.23	10.20	10.20	10.20	6342	19.57	19.97	0.39	1.97
				20.05	19.95	20.00	10.15	10.15	10.15	6371	19.98			
				20.25	20.20	20.23	10.15	10.05	10.10	6532	20.36			
		30%	28	20.25	20.15	20.20	10.10	10.00	10.05	6070	19.03	18.98	0.17	0.88
				20.25	20.15	20.20	10.20	10.10	10.15	6054	18.80			
				20.10	20.00	20.05	10.20	10.15	10.18	6127	19.12			

Tabla 116 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L prom (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D prom (cm)	Fuerza (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción prom (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. Varación
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	5%	28	20.10	20.10	20.10	10.15	10.00	10.08	10399	32.69	32.21	0.91	2.82
				20.15	20.10	20.13	10.05	10.20	10.13	9973	31.16			
				20.15	20.05	20.10	10.20	10.20	10.20	10552	32.77			
		10%	28	20.10	20.00	20.05	10.15	10.00	10.08	10664	33.61	32.60	0.88	2.69
				20.15	20.10	20.13	10.10	10.15	10.13	10287	32.14			
				20.20	20.20	20.20	10.20	10.20	10.20	10370	32.04			
		15%	28	20.15	20.05	20.10	10.05	10.05	10.05	9334	29.42	30.08	1.04	3.45
				20.20	20.15	20.18	10.10	10.05	10.08	9436	29.55			
				20.15	20.10	20.13	10.20	10.05	10.13	10012	31.28			
		20%	28	20.25	20.15	20.20	10.20	10.15	10.18	8648	26.79	27.15	0.35	1.30
				20.25	20.15	20.20	10.05	10.15	10.10	8713	27.19			
				20.20	20.15	20.18	10.20	10.20	10.20	8886	27.49			
		25%	28	20.15	20.10	20.13	10.15	10.10	10.13	7788	24.33	26.35	2.13	8.09
				20.20	20.15	20.18	10.10	10.15	10.13	9171	28.58			
				20.15	20.05	20.10	10.10	10.05	10.08	8316	26.14			
		30%	28	20.15	20.10	20.13	10.05	10.00	10.03	6934	21.88	22.67	0.69	3.03
				20.10	20.10	20.10	10.10	10.20	10.15	7379	23.03			
				20.15	20.05	20.10	10.10	10.20	10.15	7406	23.11			

Tabla 117 Resistencias a la tracción para un concreto con reemplazo parcial de agregado grueso de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y sometido a un incremento de temperatura
(Fuente propia)

5.2.4. Resistencia a la Abrasión

La resistencia a la abrasión del concreto es definida como la habilidad de la superficie para resistir al desgaste producido por fricción, frotamiento, raspaduras o percusiones.

Este valor es difícil de valorar, ya que la acción perjudicial varía según sea la causa exacta del daño sin embargo se optó por realizar el ensayo mediante el uso de la Máquina de los Ángeles, bajo el procedimiento propuesto en la tesis (Carpio Fernández & Peña Sánchez, 2017).

A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el ensayo:

- Se elaboraron cubos con medidas de 5.0 x 5.0 cm.
- Con la finalidad de obtener un peso constante, los cubos son secados en el horno a una temperatura de 40 °C.
- Previamente a realizar el ensayo se anota el peso de la muestra.
- Se coloca la muestra en la máquina de los Ángeles, con una cantidad de 1000 revoluciones.
- Tamizamos con el tamiz N° 12 la porción más fina.
- Pesamos la muestra retenida por el tamiz N° 12.
- Se realizan los cálculos respectivos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desgaste} = 100 * \frac{[P1 - P2]}{P1}$$

Ecuación 18 Porcentaje de desgaste

Dónde:

P1: peso inicial (g)

P2: peso final (g)

Del ensayo se obtuvieron los siguientes datos y cálculos:

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso retenido # 12 (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
PATRÓN	210	0%	28	2724.5	1233.5	1491.0	54.73%
	280	0%	28	2717.0	1348.0	1369.0	50.39%

Tabla 118 Resistencias al desgaste por abrasión para un concreto patrón f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso retenido # 12 (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	2581.0	1154.5	1426.5	55.27%
		10%	28	2506.5	1052.5	1454.0	58.01%
		15%	28	2482.0	1015.0	1467.0	59.11%
		20%	28	2482.0	1017.0	1465.0	59.02%
		25%	28	2510.0	1252.0	1258.0	50.12%
		30%	28	2355.5	1148.0	1207.5	51.26%
	280	5%	28	2627.0	1560.0	1067.0	40.62%
		10%	28	2597.0	1585.5	1011.5	38.95%
		15%	28	2606.5	1674.0	932.5	35.78%
		20%	28	2628.0	1564.0	1064.0	40.49%
		25%	28	2412.0	1195.0	1217.0	50.46%
		30%	28	2432.5	1222.0	1210.5	49.76%

Tabla 119 Resistencias al desgaste por abrasión para concretos con reemplazo parcial en agregado fino para resistencias f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso retenido # 12 (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	2554.0	1295.0	1259.0	49.30%
		10%	28	2681.0	1522.0	1159.0	43.23%
		15%	28	2533.0	1407.5	1125.5	44.43%
		20%	28	2434.5	1543.0	891.5	36.62%
		25%	28	2492.5	1709.5	783.0	31.41%
		30%	28	2478.5	1716.0	762.5	30.76%
	280	5%	28	2672.5	1649.5	1023.0	38.28%
		10%	28	2570.5	1719.5	851.0	33.11%
		15%	28	2646.5	1979.5	667.0	25.20%
		20%	28	2466.5	1855.5	611.0	24.77%
		25%	28	2355.0	1813.0	542.0	23.01%
		30%	28	2459.5	1823.0	636.5	25.88%

Tabla 120 Resistencias al desgaste por abrasión para concretos con reemplazo parcial en agregado grueso para resistencias f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Como se explicó en el procedimiento, el ensayo calcula el porcentaje de material desprendido de las muestras por acción del desgaste de la maquina Los Ángeles. Sin embargo, este material desprendido solo es discriminado si pasa por la malla N° 12 por lo que el agregado grueso desprendido pero mayor a este diámetro no es considerado, si no que al contrario aporta a la masa que no se desgasto. Con la finalidad de concluir en un mejor análisis, se consideró en un ensayo alternativo como muestra resultante del ensayo solamente los componentes que se mantenían como una unidad (partículas grandes), descartando todos los materiales que se desprendieron (piedra, arena y/o plástico).

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso particulas grandes (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
PATRÓN	210	0%	28	2724.5	697.0	2027.5	74.42%
	280	0%	28	2717.0	816.5	1900.5	69.95%

Tabla 121 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para un concreto patrón f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso particulas grandes (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	28	2581.0	755.5	1825.5	70.73%
		10%	28	2506.5	764.5	1742.0	69.50%
		15%	28	2482.0	853.0	1629.0	65.63%
		20%	28	2482.0	869.5	1612.5	64.97%
		25%	28	2510.0	1078.0	1432.0	57.05%
		30%	28	2355.5	1011.0	1344.5	57.08%
	280	5%	28	2627.0	1158.0	1469.0	55.92%
		10%	28	2597.0	1387.0	1210.0	46.59%
		15%	28	2606.5	1505.5	1101.0	42.24%
		20%	28	2628.0	1493.0	1135.0	43.19%
		25%	28	2412.0	1134.0	1278.0	52.99%
		30%	28	2432.5	1123.5	1309.0	53.81%

Tabla 122 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para concretos con reemplazo parcial en agregado fino para resistencias f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm²
(Fuente propia)

Tipo de Mezcla	f'c diseño (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Edad (días)	Peso muestra inicial (g)	Peso partículas grandes (g)	Variación en el peso (g)	% de Desgaste
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	28	2554.0	1064.0	1490.0	58.34%
		10%	28	2681.0	1428.0	1253.0	46.74%
		15%	28	2533.0	1304.0	1229.0	48.52%
		20%	28	2434.5	1453.5	981.0	40.30%
		25%	28	2492.5	1671.0	821.5	32.96%
		30%	28	2478.5	1674.5	804.0	32.44%
	280	5%	28	2672.5	1511.5	1161.0	43.44%
		10%	28	2570.5	1606.5	964.0	37.50%
		15%	28	2646.5	1938.0	708.5	26.77%
		20%	28	2466.5	1806.5	660.0	26.76%
		25%	28	2355.0	1706.5	648.5	27.54%
		30%	28	2459.5	1783.5	676.0	27.49%

Tabla 123 Resistencias al desgaste por abrasión alternativo para concretos con reemplazo parcial en agregado grueso para resistencias f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm² (Fuente propia)

5.2.5. Predicción de resistencia a la flexión

Con la finalidad de complementar la información obtenida en esta investigación hasta ahora sobre las propiedades mecánicas del concreto con reemplazo parcial de agregados hechos a base de HDPE reciclado, se realizó una recopilación de fórmulas de regresión y correlaciones teóricas entre propiedades como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta y el módulo de rotura.

5.2.5.1. Comité ACI 363 (1997)

En este informe del ACI, en el capítulo que abarca el estudio de las propiedades del concreto se realiza un análisis del módulo de rotura. Esta característica estudiada por múltiples investigadores, tanto para concretos de peso ligero y normal, resulta que se encuentra de manera reiterada dentro del rango de $7.5\sqrt{f'c}$ y $12\sqrt{f'c}$ (psi).

Este informe recomienda usar la siguiente fórmula para la predicción del módulo de rotura a partir del ensayo de resistencia a la compresión:

$$\text{Módulo de rotura} = 0.94 * \sqrt{f'c} \text{ [Mpa]}$$

Ecuación 19 Módulo de rotura - ACI 363

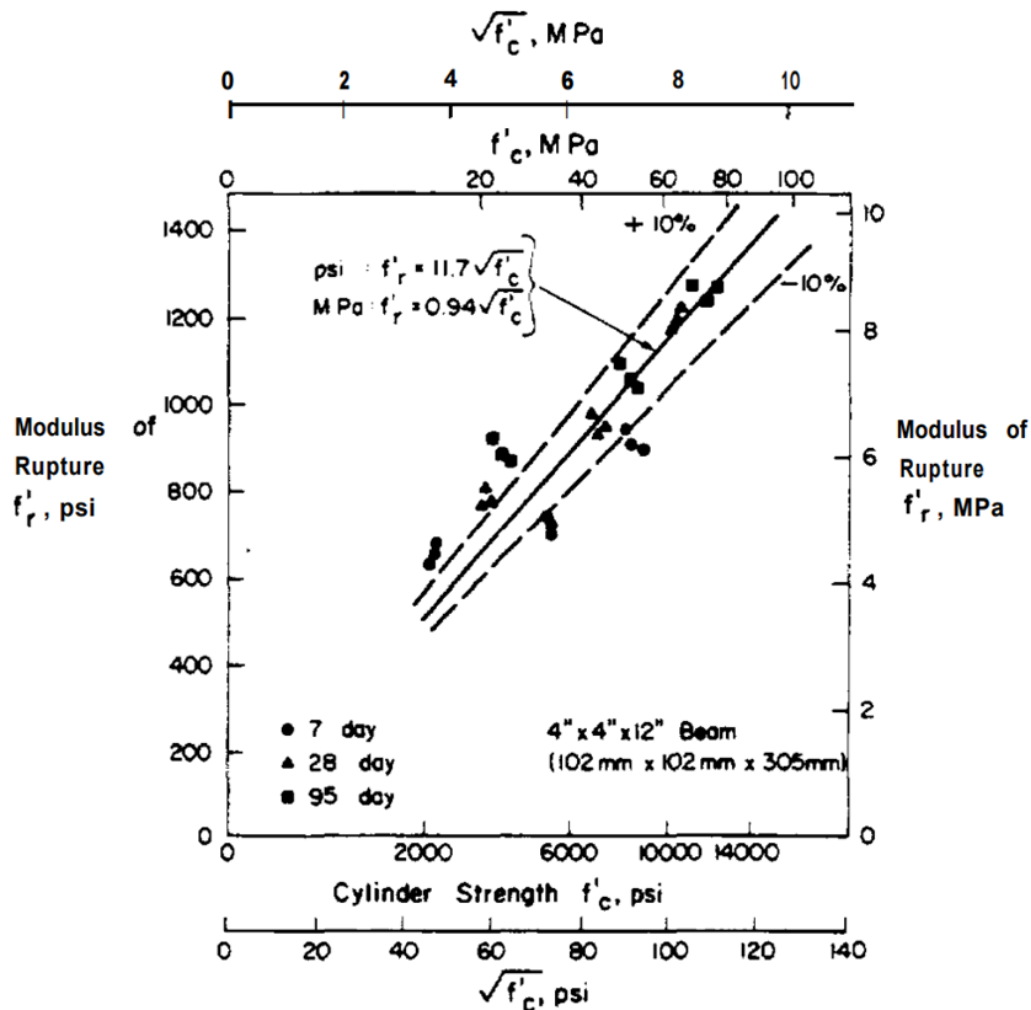


Figura 32 Abanico Módulo de rotura vs Resistencia a compresión³⁹

5.2.5.2. Selim (2008)

Este autor realizó ensayos para calcular la resistencia a la flexión utilizando vigas de dimensiones 100×100×400 mm. Utilizó una configuración de carga de tres puntos, con un tramo de haz de 350 mm, para las pruebas de flexión. Las muestras y el ensayo se analizaron de acuerdo con las normas ASTM pertinentes.

En esta investigación se determinó como parte del ensayo experimental que cuando la resistencia a la compresión aumenta, la resistencia a la flexión aumenta más que la tracción uniaxial.

³⁹ (Comité ACI 363, 1997)

Se concluye que existe una relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión como sugiere la siguiente fórmula:

$$\text{Módulo de rotúra} = 0.0034 * f'c^{1.286} [Mpa]$$

Ecuación 20 Módulo de rotura – Selim

5.2.5.3. Mohd. Ahmed (2009)

La investigación es presentada en un paper en la universidad de King Khalid, donde se obtiene relaciones entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, utilizando el software estadístico SPSS.

Resultado del análisis y comparación entre múltiples métodos y ecuaciones de regresión, es que obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de rotúra} = 0.045 * f'c^{0.67} [Mpa]$$

Ecuación 21 Módulo de rotura – Mohd. Ahmed

En la siguiente gráfica, se plasma la formula presentada con el nombre de “Proposed Equ 2” que marca la tendencia del estudio experimental realizado por el autor. Además, se acompañan otras ecuaciones y líneas de tendencia postuladas por otras fuentes de investigación para contrastarse entre sí.

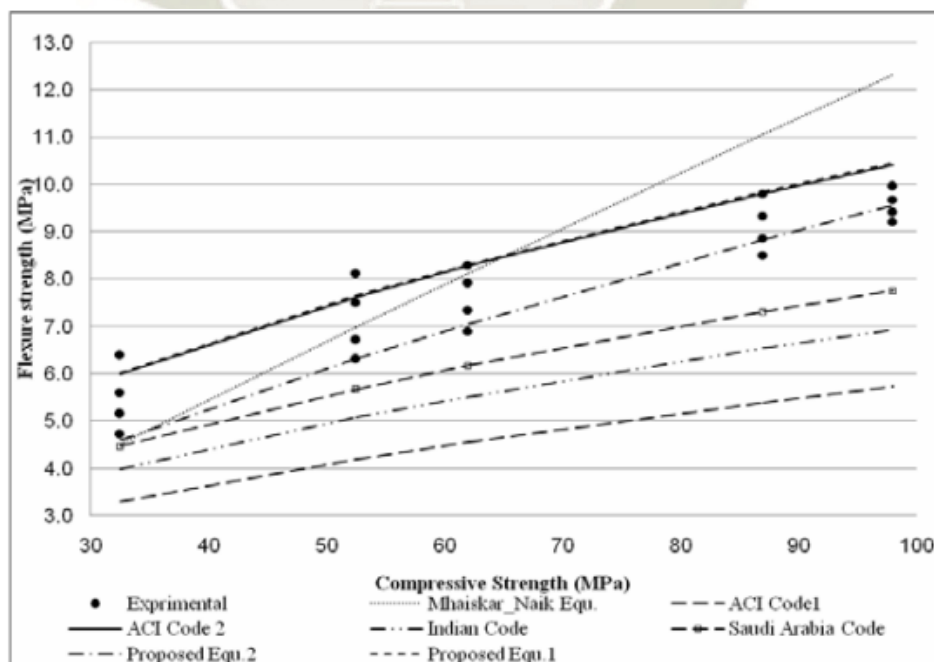


Figura 33 Ecuaciones Resistencia a flexión y compresión⁴⁰

⁴⁰ (Mohd, 2009)

5.2.5.4. J. T. Balbo (2013)

El autor en un artículo presenta el desarrollo de la relación que existe entre la resistencia a tracción indirecta y las fuerzas de flexión en concreto seco y plástico.

Con el ensayo de múltiples muestras con diferentes particularidades como el tipo y la procedencia del agregado usado, así como los días de curado, obtiene una gráfica que compara la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión, dando como resultado una ecuación de regresión que comprende los resultados obtenidos a continuación:

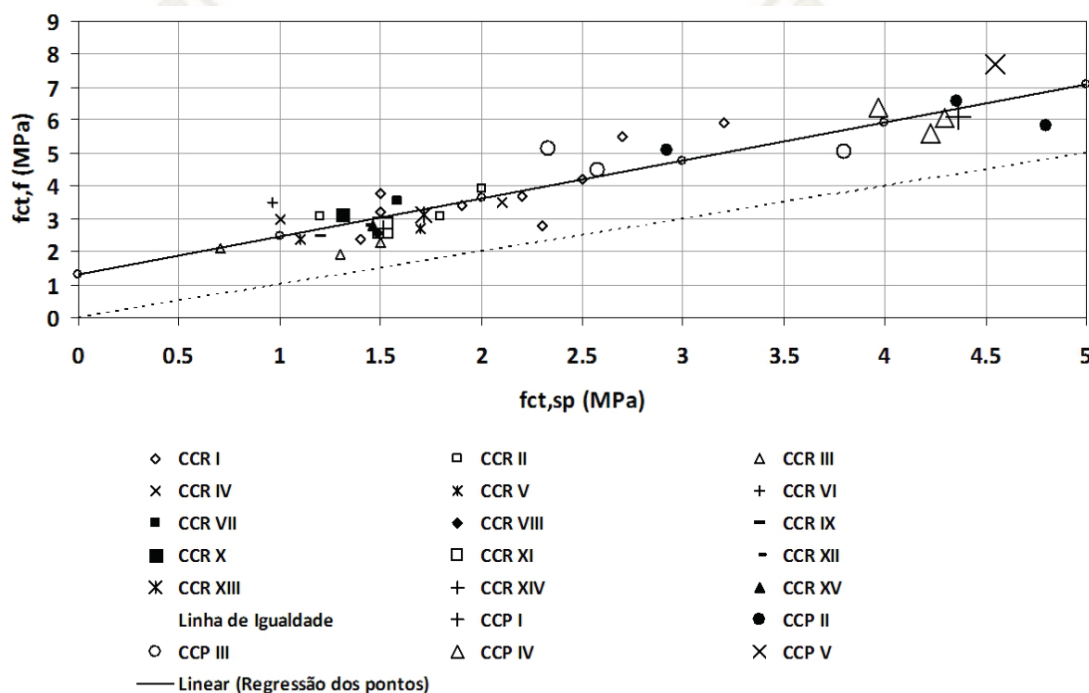


Figura 34 Representación de fuerzas flectoras vs tracción indirecta⁴¹

El autor Hammitt en la investigación Concrete strength relationships (1971) propone una relación entre la resistencia a la tracción por flexión y la fuerza de tensión por compresión diametral, que complementada con los datos del gráfico dan como resultado la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de rotura} = 1.16 * \text{tracción indirecta} + 1.30 \text{ [Mpa]}$$

Ecuación 22 Módulo de rotura – Balbo

⁴¹ (Balbo, 2013)

5.2.5.5. Eric Ababio (2015)

El presente autor realiza su investigación utilizando plástico triturado como reemplazo parcial de arena o agregado fino que va desde el 0% al 60%. Con la preparación y el ensayo de las muestras de bloques de concreto, y el uso del software SAS, establece una ecuación de regresión donde incluye como variables la relación a/c, días de curado de las muestras y el porcentaje de reemplazo del plástico.

$$\text{Módulo de rotura} = 3.057 + 2.558 * a/c + 0.048 * D - 0.039 * \%R \text{ [Mpa]}$$

Ecuación 23 Módulo de rotura - Ababio

Donde:

D: días de curado (día)

%R: Nivel de reemplazo con plástico (%)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos luego de aplicar las ecuaciones y correlaciones en los datos de los ensayos obtenidos en laboratorio y gabinete:

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	a/c	Porcentaje de Reemplazo (%)	Compresión 28 días (Mpa)	Tracción 28 días (Mpa)	Predicción Módulo de Rotura (Mpa)				
						ACI 363	Selim	Mohd. Ahmed	Balbo	Eric Ababio
PATRÓN	210	0.56	0%	27.36	2.54	4.92	2.40	4.09	4.25	5.83
	280	0.47	0%	34.06	3.06	5.49	3.18	4.73	4.85	5.59
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	0.56	5%	26.63	3.06	4.85	2.32	4.01	4.85	5.63
		0.56	10%	22.41	2.86	4.45	1.85	3.58	4.62	5.44
		0.56	15%	22.08	2.73	4.42	1.82	3.54	4.47	5.24
		0.56	20%	19.88	2.29	4.19	1.59	3.30	3.95	5.05
		0.56	25%	19.34	2.23	4.13	1.53	3.24	3.88	4.85
		0.56	30%	18.72	2.14	4.07	1.47	3.17	3.79	4.66
	280	0.47	5%	34.07	3.44	5.49	3.18	4.73	5.29	5.40
		0.47	10%	34.23	3.64	5.50	3.20	4.74	5.52	5.20
		0.47	15%	32.56	3.31	5.36	3.00	4.59	5.13	5.01
		0.47	20%	31.21	3.12	5.25	2.84	4.46	4.92	4.81
		0.47	25%	28.77	2.92	5.04	2.56	4.22	4.69	4.62
		0.47	30%	26.04	2.92	4.80	2.25	3.95	4.69	4.42
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	0.56	5%	27.17	3.11	4.90	2.38	4.07	4.90	5.63
		0.56	10%	27.46	3.01	4.93	2.41	4.10	4.80	5.44
		0.56	15%	27.58	2.82	4.94	2.42	4.11	4.57	5.24
		0.56	20%	23.88	2.39	4.59	2.01	3.73	4.07	5.05
		0.56	25%	22.12	2.36	4.42	1.82	3.55	4.04	4.85
		0.56	30%	19.70	2.30	4.17	1.57	3.28	3.97	4.66
	280	0.47	5%	34.66	3.62	5.53	3.25	4.78	5.50	5.40
		0.47	10%	34.89	3.74	5.55	3.28	4.80	5.64	5.20
		0.47	15%	33.68	3.65	5.46	3.13	4.69	5.53	5.01
		0.47	20%	32.12	3.33	5.33	2.95	4.55	5.16	4.81
		0.47	25%	29.76	3.05	5.13	2.67	4.32	4.83	4.62
		0.47	30%	26.48	3.01	4.84	2.30	4.00	4.79	4.42

Tabla 124 Predicción del Módulo de Rotura (Fuente propia)

A large, faint watermark of the Universidad Católica de Santa María logo is centered in the background. It features a shield with a cross, a book, and a lamp, with the text 'UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA' and the year '1961' integrated into the design.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Para realizar el análisis de las propiedades obtenidas del HDPE triturado y extruido; estas se compararán con las propiedades de sus respectivos equivalentes en agregados convencionales, agregados pétreos fino y grueso.

PROPIEDADES	UND	TIPO DE AGREGADO			
		AGREGADO PÉTREO FINO	AGREGADO HDPE TRITURADO	AGREGADO PÉTREO GRUESO	AGREGADO HDPE EXTRUIDO
Tamaño Máximo Nominal	in	-	-	3/4"	3/4"
Módulo de Fineza	-	2.720	4.100	6.310	6.958
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.543	0.351	1.540	0.411
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.676	0.404	1.635	0.448
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.490	0.950	2.712	0.941
Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca	g/cm ³	2.547	-	2.732	-
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.642	-	2.768	-
Porcentaje de Absorción	%	2.300	-	0.744	-
Contenido de Humedad	%	0.115	-	0.146	-
Resistencia al Desgaste	%	-	-	15.729	1.252

Tabla 125 Resumen de las propiedades de los agregados
(Fuente propia)

6.1.1. Granulometría

Agregado pétreo fino y HDPE triturado

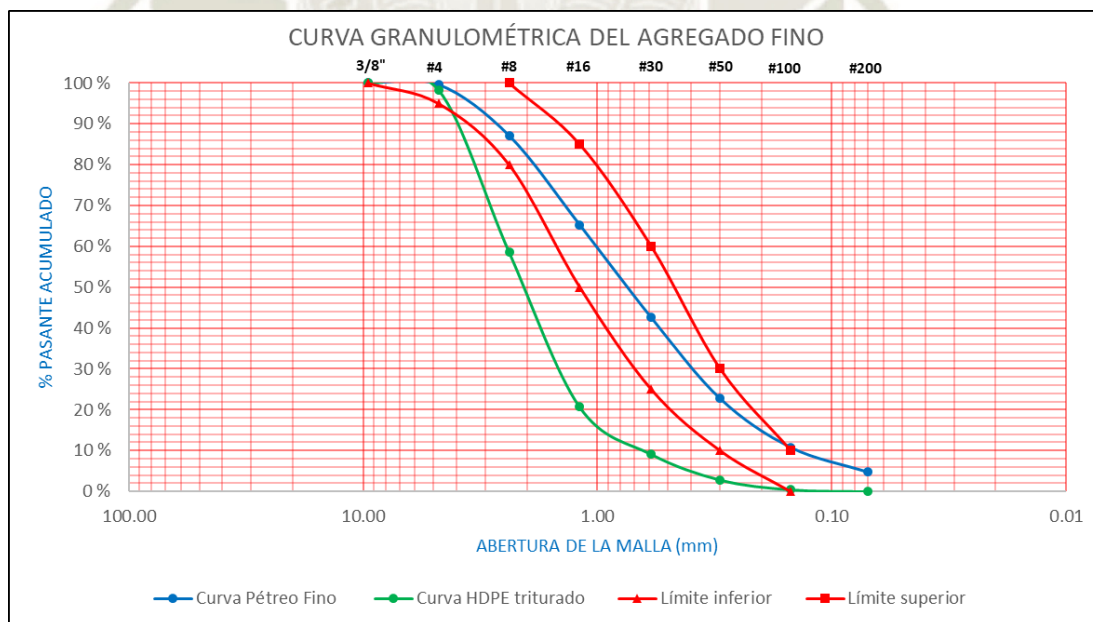


Figura 35 Comparación de curvas granulométricas agregado pétreo fino y HDPE triturado
(Fuente propia)

La figura muestra que la distribución de tamaños para el HDPE triturado está fuera de los rangos recomendados por la norma. Sin embargo, al ser este solo utilizado como

reemplazo parcial del agregado pétreo fino no logra varias significativamente el módulo de fineza de ambos agregados combinados para proporciones menores.

Agregado pétreo grueso y HDPE extruido

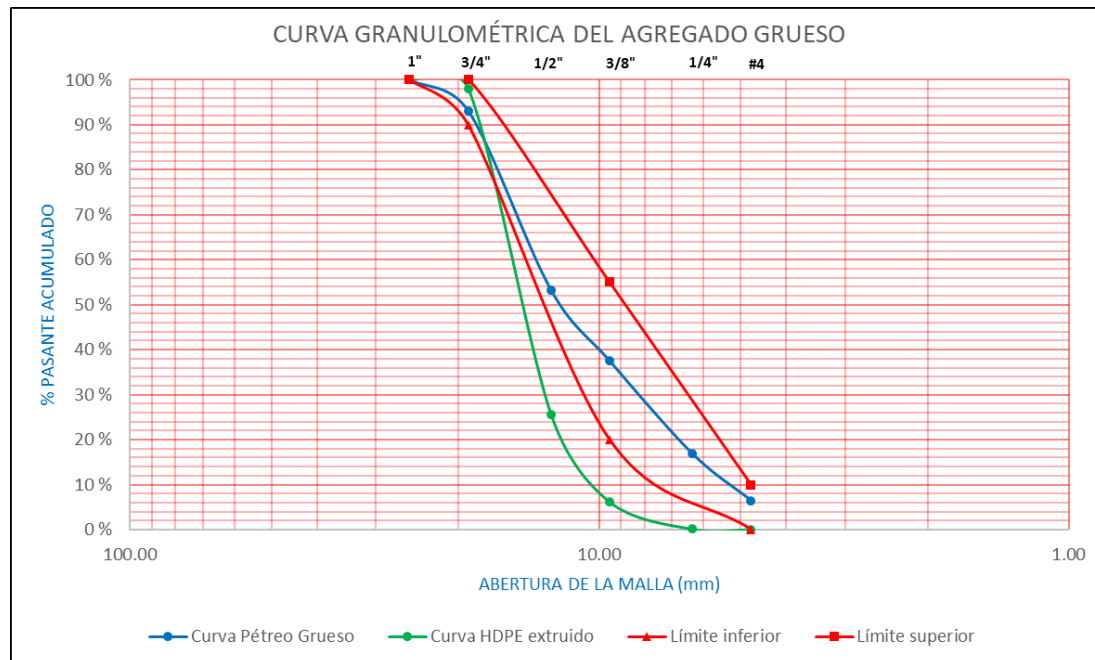


Figura 36 Comparación de curvas granulométricas agregado pétreo grueso y HDPE extruido (Fuente propia)

De igual manera que la figura anterior, la curva granulométrica del HDPE extruido se encuentra alejado de los límites recomendados. Esto si bien influye en la distribución final que obtendremos de ambos tipos de agregados combinados, no cambia de manera sustancial los resultados en el diseño ni la preparación de la mezcla respectiva.

6.1.2. Peso unitario suelto y compactado

El peso unitario suelto y compactado varía significativamente de los agregados pétreos a los agregados de HDPE. Esto se entiende por la inferior densidad que posee este material con respecto a los utilizados típicamente en la elaboración de concreto.

Además, se evidencia una propiedad característica del HDPE la cual le da la capacidad de resistirse a mantenerse compacto. Para agregados pétreos el PUS y PUC representan entre un 30% a 40% de vacíos que se encuentran entre las partículas de los agregados. Los agregados de HDPE, son aproximadamente el 55% de vacíos que ocupan una unidad de volumen, y esto puede afectar a la cantidad de pasta requerida para su aglomeración dentro del concreto.

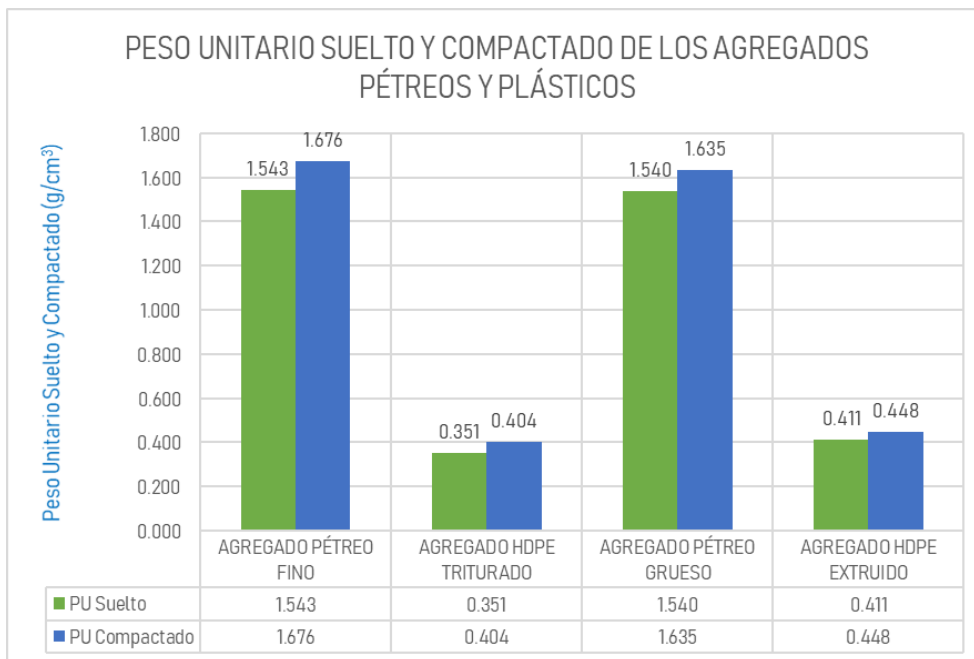


Figura 37 Comparación de peso unitario suelto y compactado para los agregados

6.1.3. Peso específico y absorción

El peso específico varía significativamente de los agregados pétreos a los agregados de HDPE. De igual manera que el peso unitario esto es correlativo a la inferior densidad que posee este material con respecto a los utilizados típicamente en la elaboración de concreto. Además de que la propiedad de absorción no esté presente, al menos de manera notoria, en materiales como el HDPE.

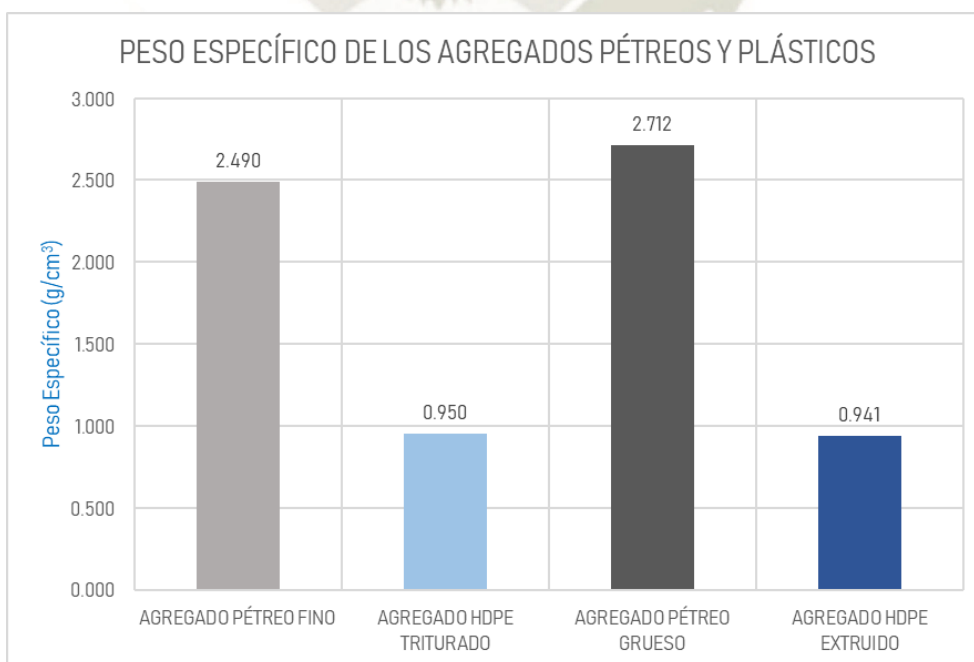


Figura 38 Comparación del peso específico de los agregados

6.1.4. Contenido de humedad

El HDPE si bien posee micro poros como la mayoría de materiales, estos no proveen las condiciones necesarias para almacenar humedad en su estructura.

6.1.5. Abrasión

El porcentaje de desgaste obtenido del agregado pétreo luego de ser sometido al ensayo de abrasión, es del 15.73%, mientras que el del HDPE extruido es solo del 1.25%. Esto nos demuestra que para una condición donde ambos materiales estén siendo sometidos a desgaste por acción de impacto y rozamiento superficial, el HDPE tendrá un menor grado de alteración. Que la resistencia a la abrasión y al impacto sea superior en comparación del HDPE a los pétreos se debe a la naturaleza de los polímeros y los enlaces que lo conforman.

6.2.RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Con los datos que se recopilaron, se presenta un resumen de las propiedades del concreto en estado fresco y un análisis comparativo para cada tipo de mezcla.

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Peso Unitario (g/cm ³)	Rendimiento relativo	Slump (in)	Contenido de Aire (%)	Temperatura (°C)
PATRÓN	210	0%	2.334	1.020	3.2	1.53	21.5
	280	0%	2.349	1.023	3.1	1.40	21.7
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	2.295	1.013	3.0	1.67	21.7
		10%	2.276	1.015	2.8	1.70	21.9
		15%	2.196	0.990	2.5	1.93	21.0
		20%	2.194	1.000	2.0	2.17	20.9
		25%	2.138	0.986	1.8	2.53	22.0
		30%	2.105	0.982	1.5	3.03	21.4
	280	5%	2.321	1.020	2.4	1.57	20.9
		10%	2.287	1.014	2.3	1.70	21.3
		15%	2.233	1.000	2.1	1.83	19.7
		20%	2.223	1.006	1.5	2.30	20.2
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	2.300	1.020	4.2	1.60	20.8
		10%	2.238	1.008	4.0	1.63	21.4
		15%	2.211	1.011	3.0	1.67	21.3
		20%	2.181	1.013	3.0	1.73	20.0
		25%	2.155	1.017	2.7	1.83	21.0
		30%	2.110	1.012	3.2	1.97	20.9
	280	5%	2.297	1.015	2.7	1.50	21.0
		10%	2.253	1.011	3.2	1.43	21.7
		15%	2.176	0.992	2.5	1.60	21.2
		20%	2.160	1.000	1.9	1.57	21.3
		25%	2.113	0.994	2.5	1.90	20.0
		30%	2.032	0.971	2.8	1.90	20.9

Tabla 126 Resumen de las propiedades del concreto fresco

(Fuente propia)

6.2.1. Peso unitario

Todas las propiedades referentes al peso por unidad de volumen del concreto con materiales más ligeros a los convencionales, darán un peso unitario menor y por lo tanto conveniente en tareas de transporte y vaciado.

A continuación, gráficas que comparan en tipo de reemplazo en ambas resistencias de diseño:

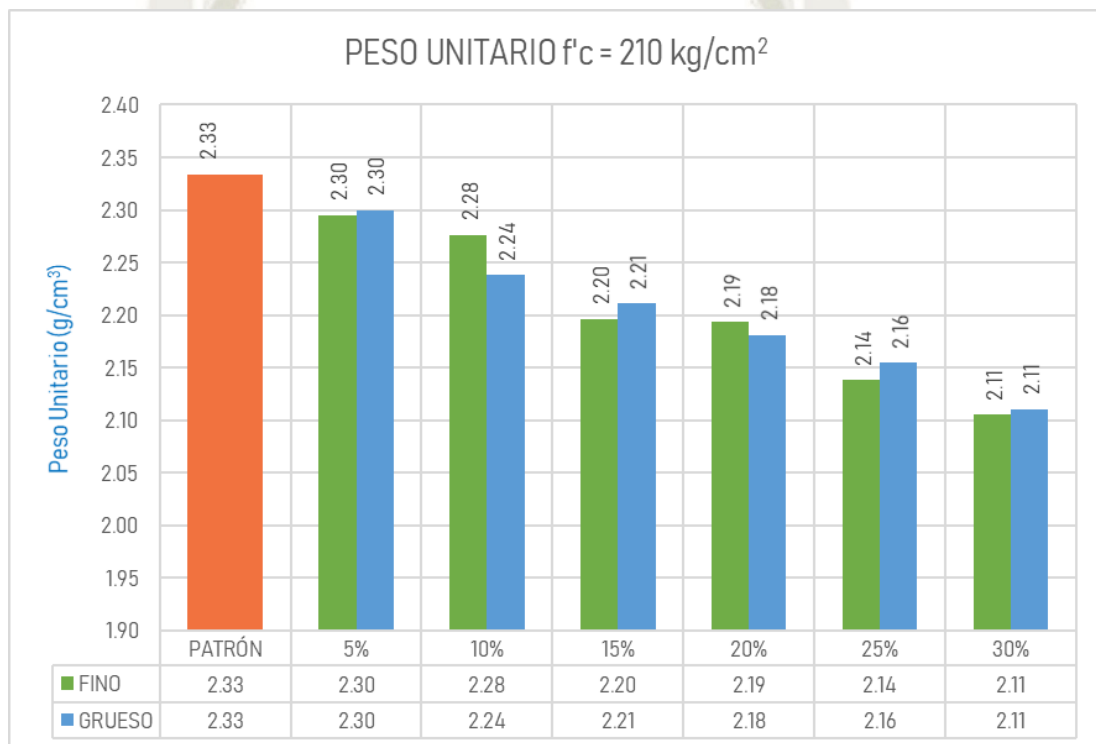


Figura 39 Comparación de Peso Unitario en ambos reemplazos, para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

En el caso de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, como es de esperarse, el peso unitario disminuye progresivamente a medida que el reemplazo aumenta. El porcentaje de reemplazo de 30% con respecto a la mezcla patrón logra disminuir el peso unitario hasta en un 9.44%.

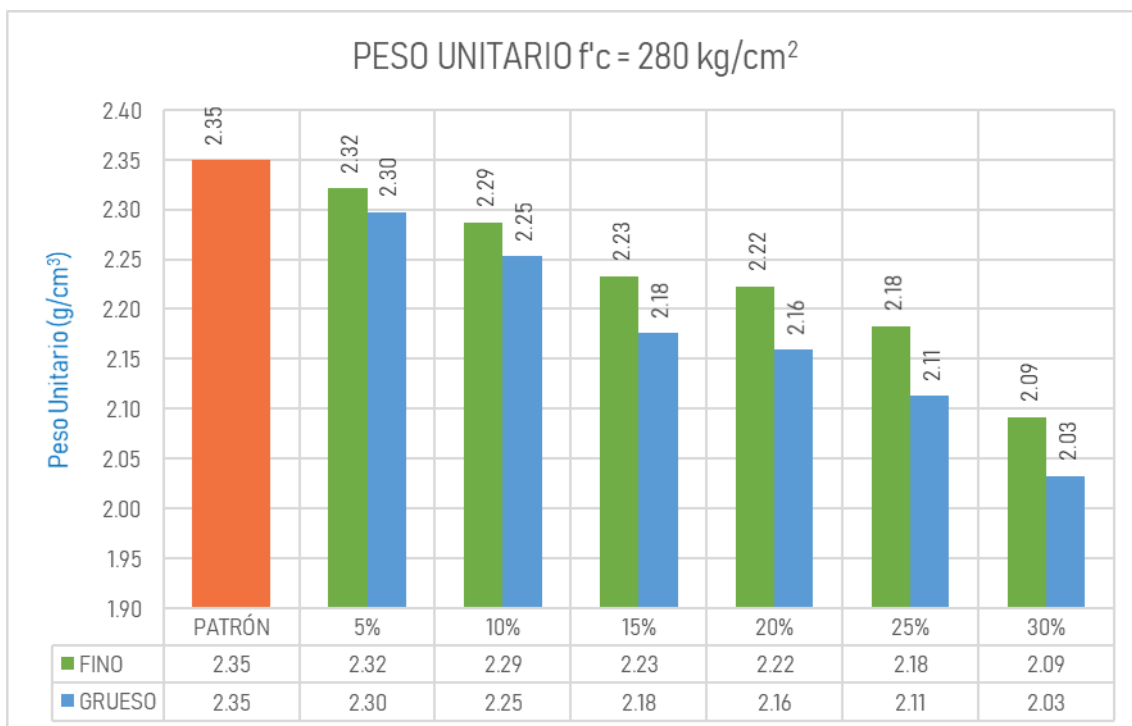


Figura 40 Comparación de Peso Unitario en ambos reemplazos, para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

En el caso de resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, el peso unitario disminuye progresivamente. A comparación de la otra resistencia, el peso unitario con reemplazo en agregado grueso resulta menor dado que para esta resistencia se requiere más agregado grueso en el diseño por lo tanto el reemplazo de este agregado será mayor.

6.2.2. Asentamiento

Con los datos que se recopilaron, se presenta unas gráficas que muestran en resumen el asentamiento o SLUMP para los diferentes diseños evaluados.

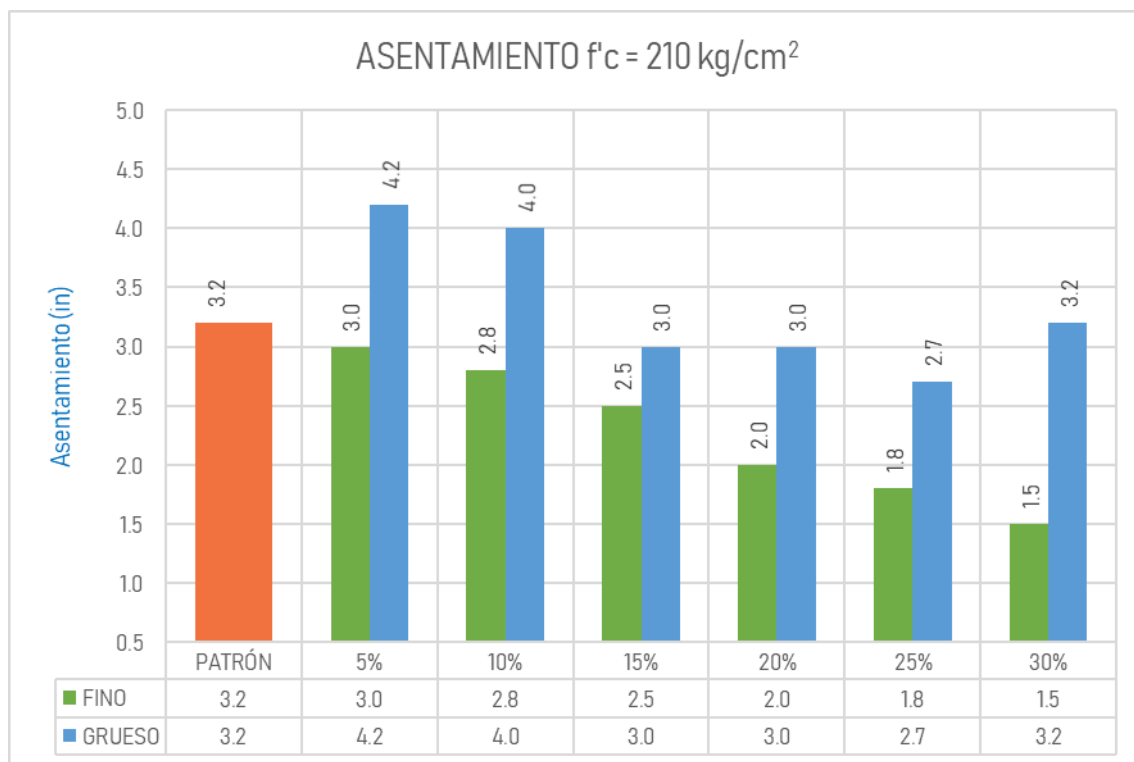


Figura 41 Comparación de Asentamiento en ambos reemplazos, para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

En la primera gráfica se muestra ambos reemplazos para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en ambos casos no varía el cemento, pero sí la cantidad de agregado fino. En el caso de reemplazo parcial de agregado fino, al reducir la cantidad de agregado fino pétreo natural por HDPE, el asentamiento disminuye progresivamente, esto se debe a que el agregado fino brinda una mejor trabajabilidad al concreto. En cambio, el comportamiento del concreto con reemplazo parcial de agregado grueso si bien no sigue un patrón constante, incrementa dicha característica en casi la mitad de los casos.

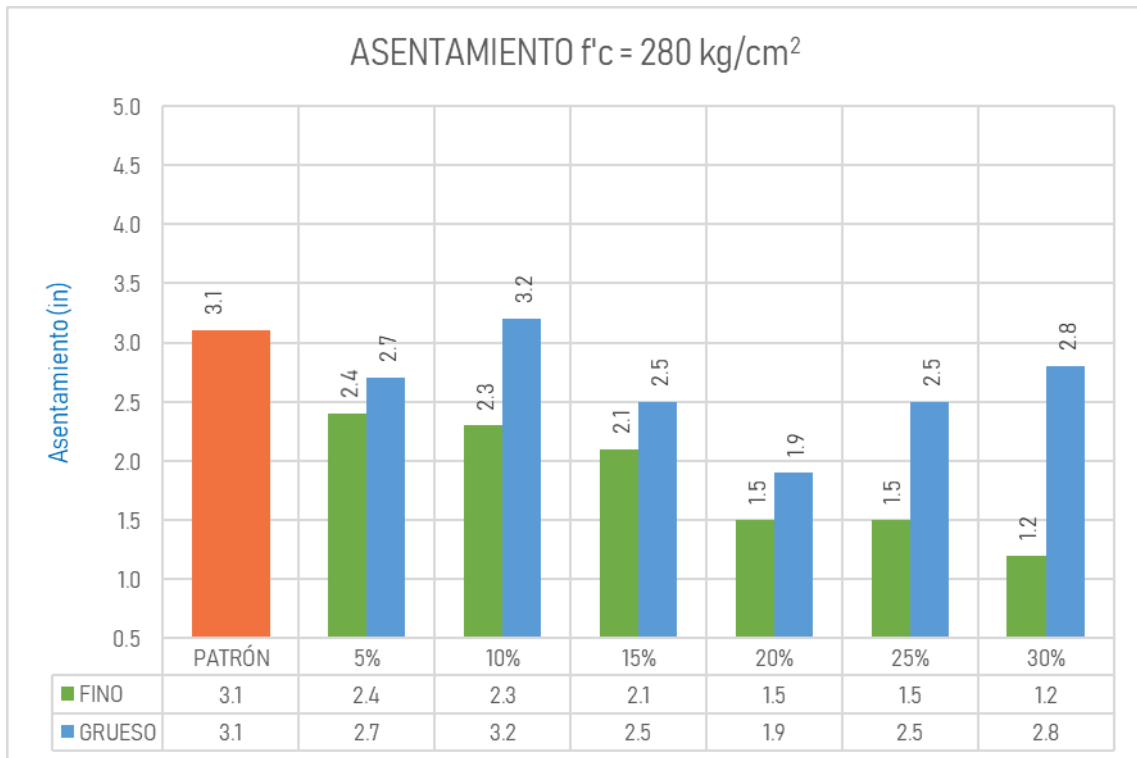


Figura 42 Comparación de Asentamiento en ambos reemplazos, para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Para el caso de reemplazos parciales de agregados para resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, en ambos no varía el cemento, pero sí la cantidad de agregado fino. En el caso de reemplazo parcial de agregado fino, al reducir la cantidad de agregado fino pétreo natural por HDPE, el asentamiento disminuye y como en el reemplazo anterior esto se debe a que el agregado fino brinda trabajabilidad al concreto. Ahora, si bien la trabajabilidad con el reemplazo de HDPE extruido es superior a la del triturado, este se mantiene igual e incluso inferior en algunos casos con respecto al patrón, entendiéndose que para resistencias donde la relación a/c sea menor, la influencia de materiales extraños al diseño podrían perjudicarlo.

6.2.3. Temperatura

Con los datos que se recopilaron, se presenta unas gráficas que muestran en resumen la temperatura para los diferentes diseños.

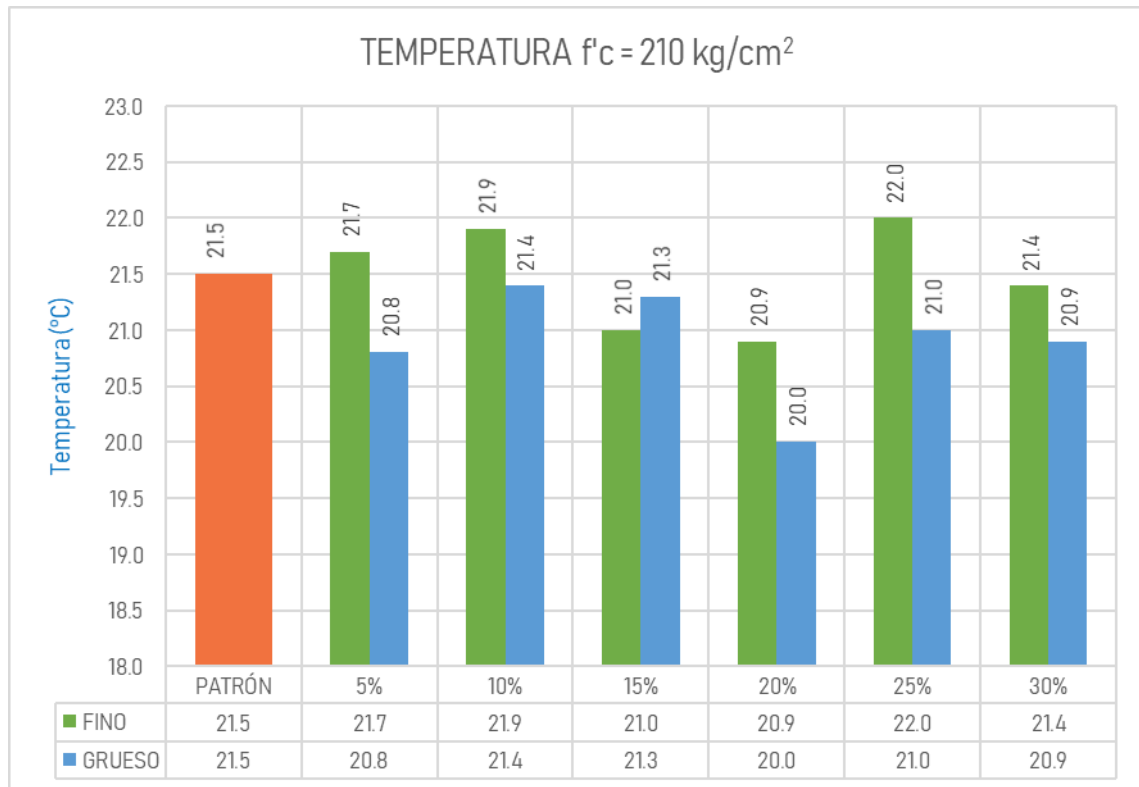


Figura 43 Comparación de Temperatura de ambos reemplazos, para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

La gráfica muestra la temperatura para concretos de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se observa que los datos de temperatura oscilan entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $22 \text{ }^\circ\text{C}$, esto significa que el reemplazo parcial de HDPE en el concreto para resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ no tiene alguna influencia en la temperatura del concreto. Cabría la posibilidad de que ciertos materiales reacciones con la composición del cemento provocando cierta variación en la temperatura, pero el HDPE no lo hace por su composición neutra.

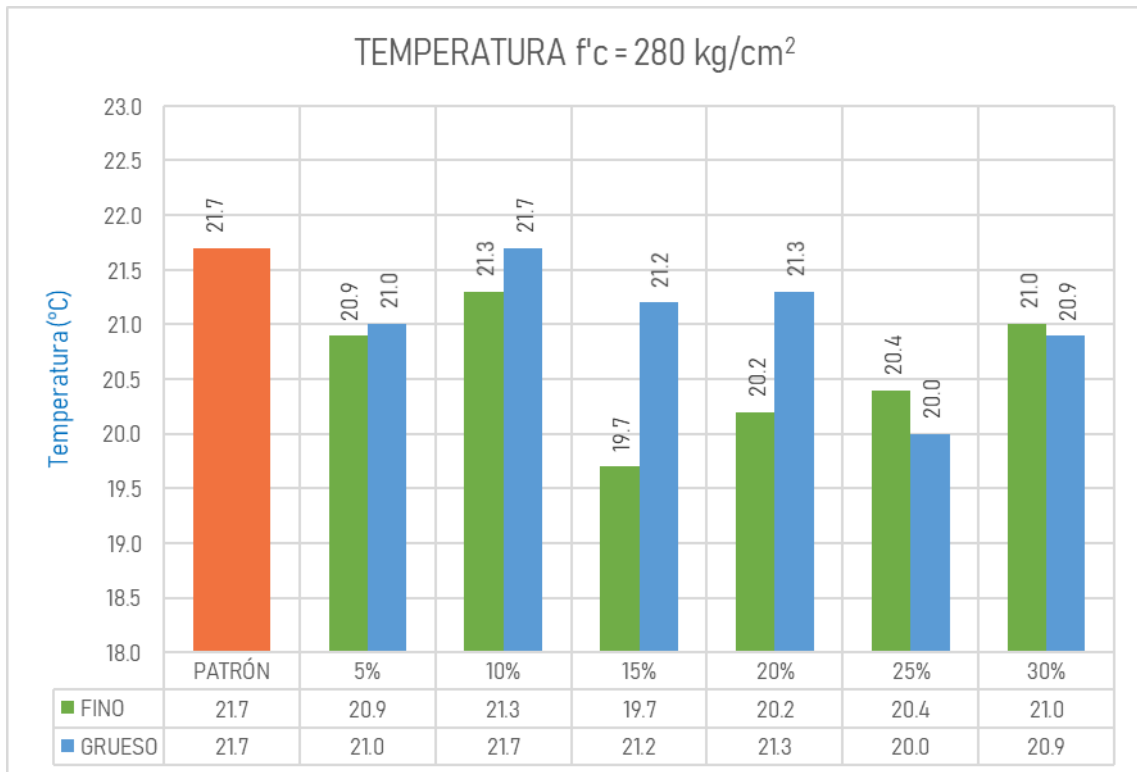


Figura 44 Comparación de Temperatura de ambos reemplazos, para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

Al igual que en la gráfica anterior, se observa que los datos de temperatura oscilan entre 19.7°C y 21.7°C , dato que también nos indica que el reemplazo parcial de HDPE en el concreto para resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, tampoco tiene alguna influencia en la temperatura del concreto.

6.2.4. Contenido de Aire

Se muestra una gráfica con la finalidad de analizar los datos obtenidos en el contenido de aire, para las dos resistencias y todos los reemplazos parciales de agregados. El valor inicial de la curva es el valor del patrón (0% de reemplazo).

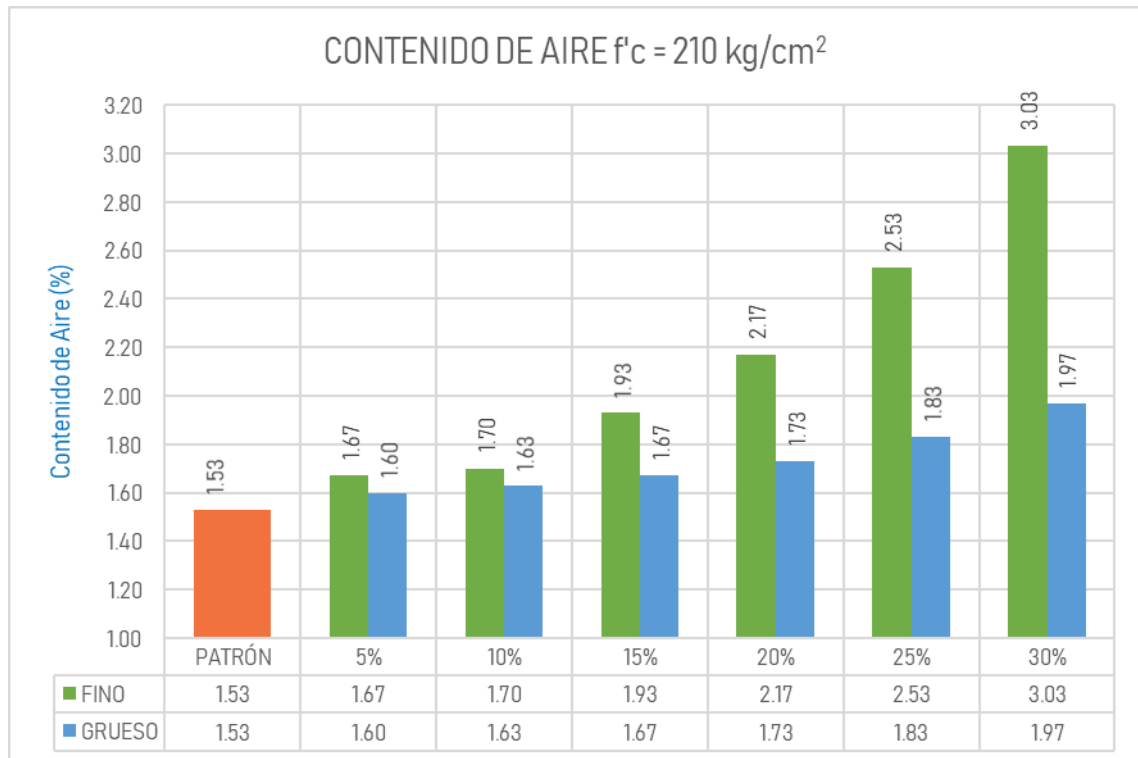


Figura 45 Comparación de Contenido de aire de ambos reemplazos, para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

La primera gráfica muestra una tendencia de incremento en el contenido de aire respecto al porcentaje de reemplazo, esto se debe a que el agregado de HDPE por su naturaleza elástica, crea vacíos en el concreto, en el caso de reemplazo parcial de agregado fino este va en mayor aumento, y se debe particularmente a la granulometría y graduación que tiene. En cambio, en el caso de reemplazo parcial de agregado grueso, al tener un forma y granulometría similar al agregado grueso natural, crea menos vacíos y denota menor aumento en el contenido de aire de la mezcla.

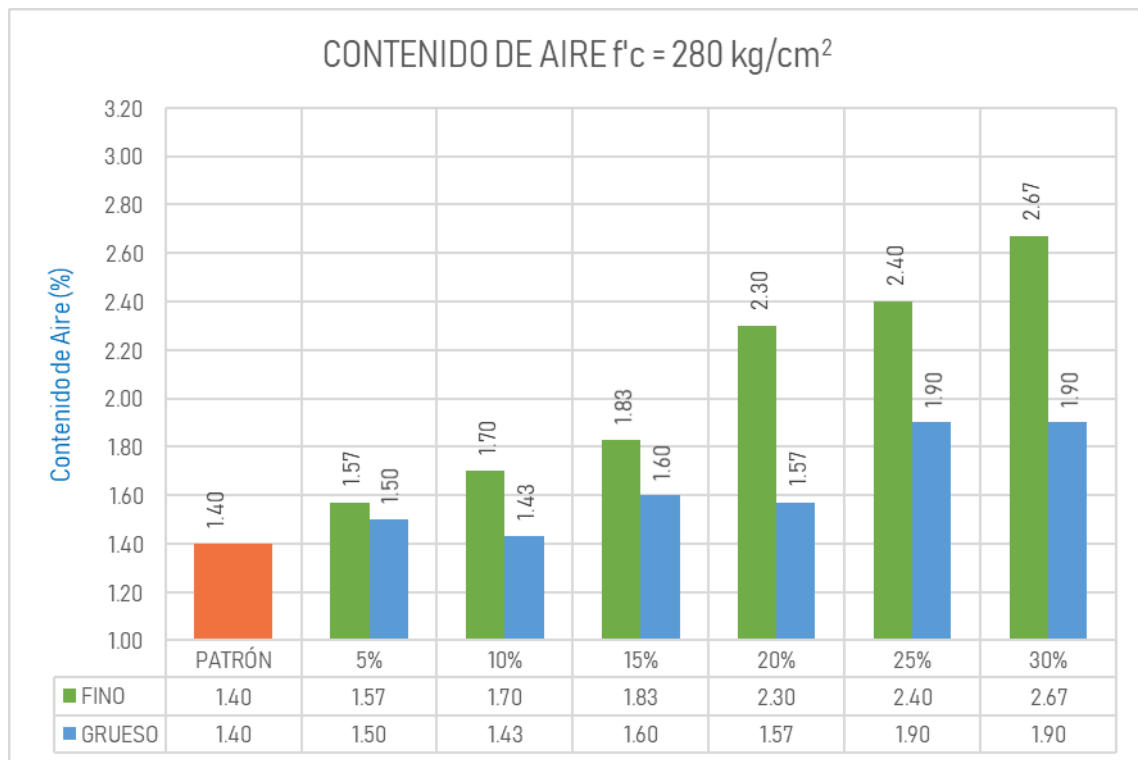


Figura 46 Comparación de Contenido de aire de ambos reemplazos, para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

La segunda gráfica sigue la misma tendencia que la anterior, en este caso se encontró menor contenido de aire, se debe a que presenta mayor contenido de cemento lo que provoca una reducción en su contenido de aire respecto a la resistencia anterior. Particularmente el caso reemplazo parcial de agregado fino continúa siendo mayor al reemplazo parcial de agregado grueso, debido a que éste tiene menor similitud a la granulometría del agregado natural.

En conclusión, con los datos obtenidos se determinó que el contenido de aire aumenta de acuerdo al incremento de reemplazo parcial de agregado, sin embargo, este es menor si la granulometría de HDPE es similar al agregado natural, lográndose una mejor compactación.

6.3.RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

De los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para concreto en estado endurecido, se muestra una tabla resumen:

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Densidad (g/cm ³)	Compresión 28 días (kg/cm ²)	Compresión 28 días a 60 °C (kg/cm ²)	Tracción (kg/cm ²)	Tracción a 60 °C (kg/cm ²)	Resistencia a abrasión (%)	Resistencia a abrasión alterno (%)
PATRÓN	210	0%	2.373	278.99	271.53	25.89	25.26	54.73%	74.42%
	280	0%	2.385	347.33	337.47	31.25	30.23	50.39%	69.95%
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	2.347	271.59	237.19	31.20	26.17	55.27%	70.73%
		10%	2.272	228.47	204.71	29.18	24.12	58.01%	69.50%
		15%	2.240	225.12	200.41	27.84	22.23	59.11%	65.63%
		20%	2.217	202.74	157.03	23.33	21.28	59.02%	64.97%
		25%	2.165	197.24	155.14	22.71	20.92	50.12%	57.05%
		30%	2.112	190.88	154.92	21.86	17.82	51.26%	57.08%
	280	5%	2.351	347.44	317.42	35.09	31.15	40.62%	55.92%
		10%	2.327	349.06	334.62	37.08	29.70	38.95%	46.59%
		15%	2.306	332.00	316.59	33.70	26.66	35.78%	42.24%
		20%	2.272	318.24	272.34	31.86	25.10	40.49%	43.19%
		25%	2.215	293.35	272.63	29.82	24.90	50.46%	52.99%
		30%	2.170	265.53	245.62	29.78	23.91	49.76%	53.81%
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	2.312	277.03	255.89	31.68	28.39	49.30%	58.34%
		10%	2.235	279.98	253.49	30.73	26.11	43.23%	46.74%
		15%	2.190	281.27	250.88	28.72	24.95	44.43%	48.52%
		20%	2.155	243.49	195.18	24.37	21.89	36.62%	40.30%
		25%	2.098	225.61	187.84	24.09	19.97	31.41%	32.96%
		30%	2.019	200.88	184.47	23.46	18.98	30.76%	32.44%
	280	5%	2.309	353.39	330.51	36.92	32.21	38.28%	43.44%
		10%	2.254	355.77	321.26	38.11	32.60	33.11%	37.50%
		15%	2.223	343.45	320.72	37.19	30.08	25.20%	26.77%
		20%	2.196	327.52	265.38	33.97	27.15	24.77%	26.76%
		25%	2.141	303.42	264.76	31.06	26.35	23.01%	27.54%
		30%	2.071	270.06	240.49	30.71	22.67	25.88%	27.49%

Tabla 127 Resumen del concreto endurecido
(Fuente propia)

6.3.1. Densidad del Concreto Endurecido

Se muestra dos gráficas con la finalidad de analizar los datos obtenidos en la densidad de concreto endurecido para las dos resistencias y todos los reemplazos parciales de agregados. El valor inicial de la curva es el valor del patrón (0% de reemplazo).

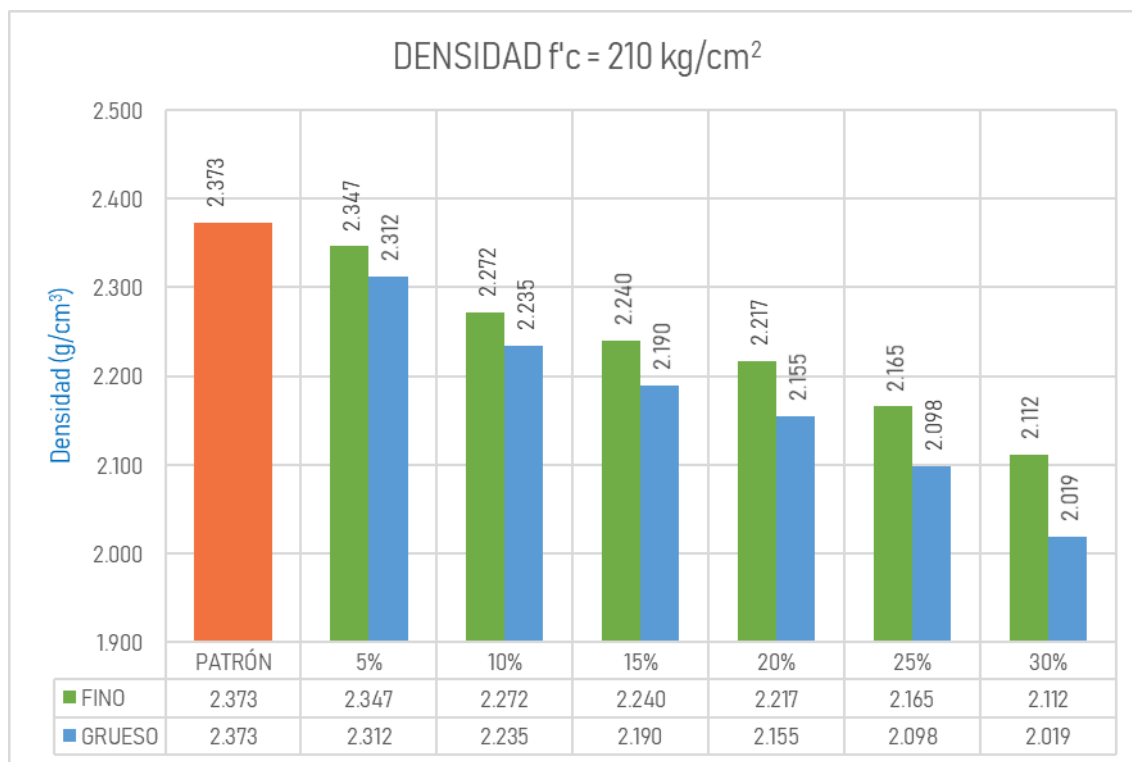


Figura 47 Comparación de Densidad en Concreto Endurecido de ambos reemplazos, para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

La primera gráfica muestra una tendencia de decrecimiento en la densidad del concreto endurecido respecto al porcentaje de reemplazo, esto se debe a que el agregado de HDPE tiene un peso específico inferior al de agregado natural, la densidad que muestra el reemplazo parcial de agregado grueso es ligeramente inferior con respecto al fino, logrando ser de hasta el 15% con respecto al diseño patrón. Esta característica es también influenciada, aunque en menor medida, por la compactación que se logra en la mezcla. El HDPE, especialmente el triturado, presenta un amplio margen de resistencia a la deformación por lo que lograr que estas partículas se acomoden de manera satisfactoria dentro de los moldes es bastante difícil.

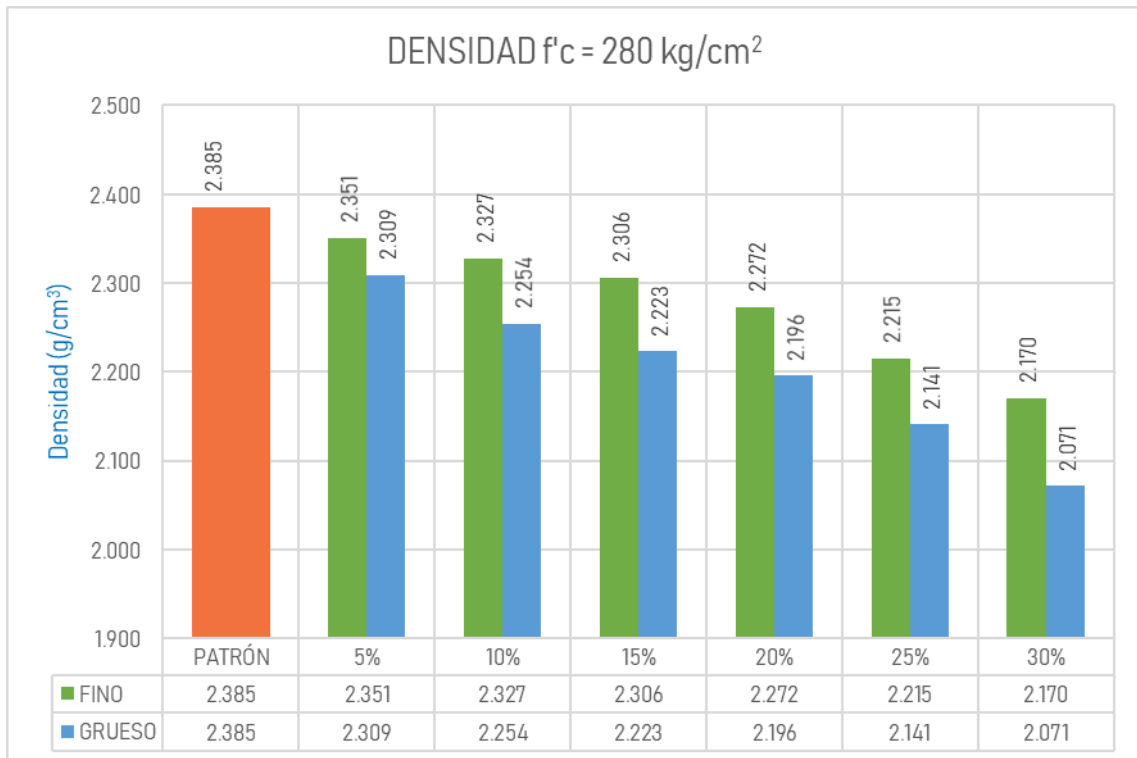


Figura 48 Comparación de Densidad en Concreto Endurecido de ambos reemplazos, para una resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

La segunda gráfica sigue la misma tendencia que la anterior, en este caso se encontró una tendencia en decrecimiento en la densidad del concreto endurecido respecto al porcentaje de reemplazo, esto se debe igualmente a que el agregado de HDPE tiene un peso específico inferior al de agregado natural, al igual que el peso unitario en concreto fresco, el reemplazo parcial de agregado grueso es inferior, por el motivo que el contenido de agregado grueso es mayor para esta resistencia.

En conclusión, con los datos obtenidos se determinó que la densidad de concreto endurecido va en decrecimiento de acuerdo al incremento de reemplazo parcial de agregado, sin embargo, en el caso de reemplazo parcial de agregado grueso es menor y resultando ser el más satisfactorio.

6.3.2. Resistencia a la compresión

Con los datos obtenido del ensayo correspondiente se procede a analizar los resultados de resistencia a la compresión para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino y grueso en los diferentes porcentajes de reemplazo y días de curado.

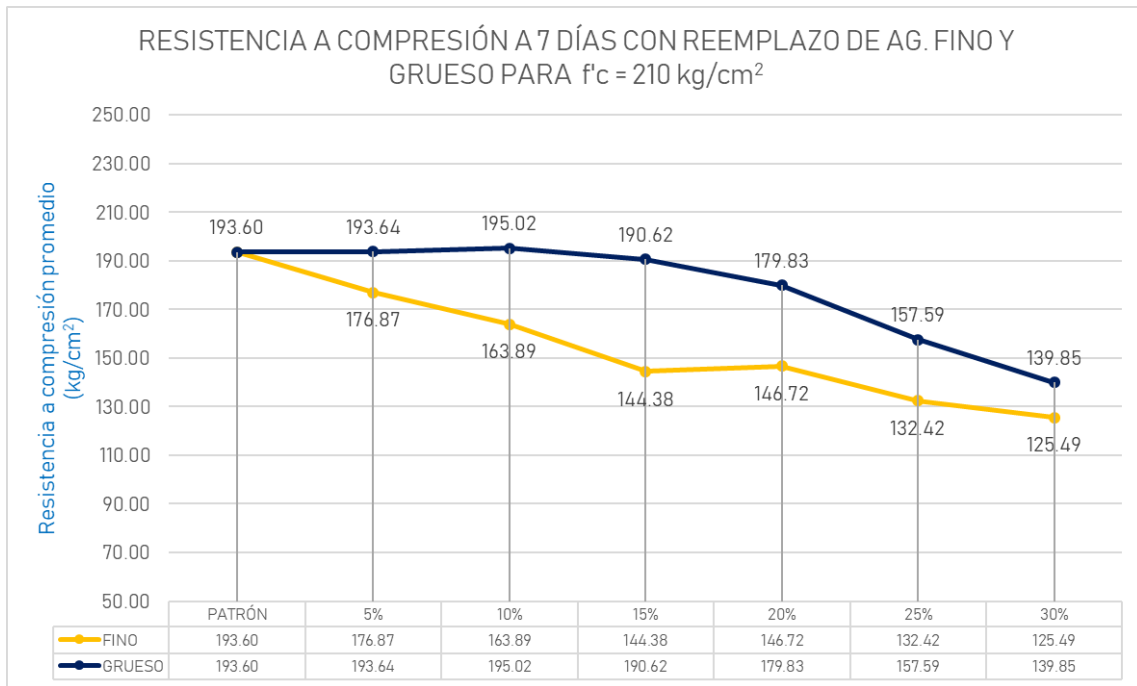


Figura 49 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

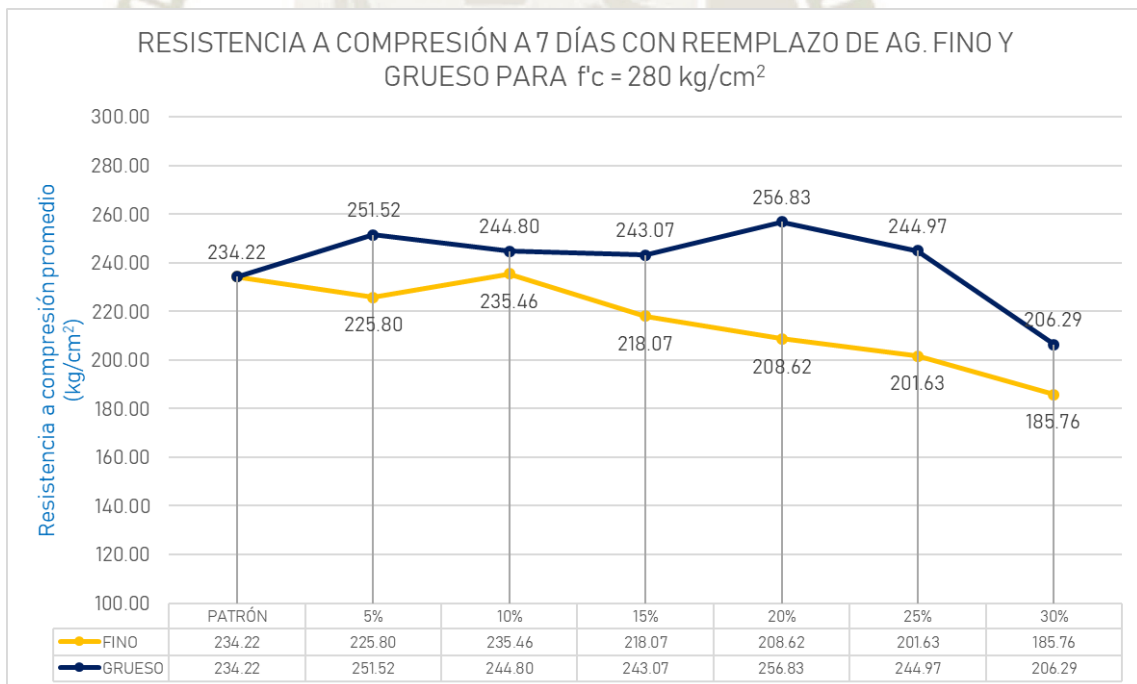


Figura 50 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

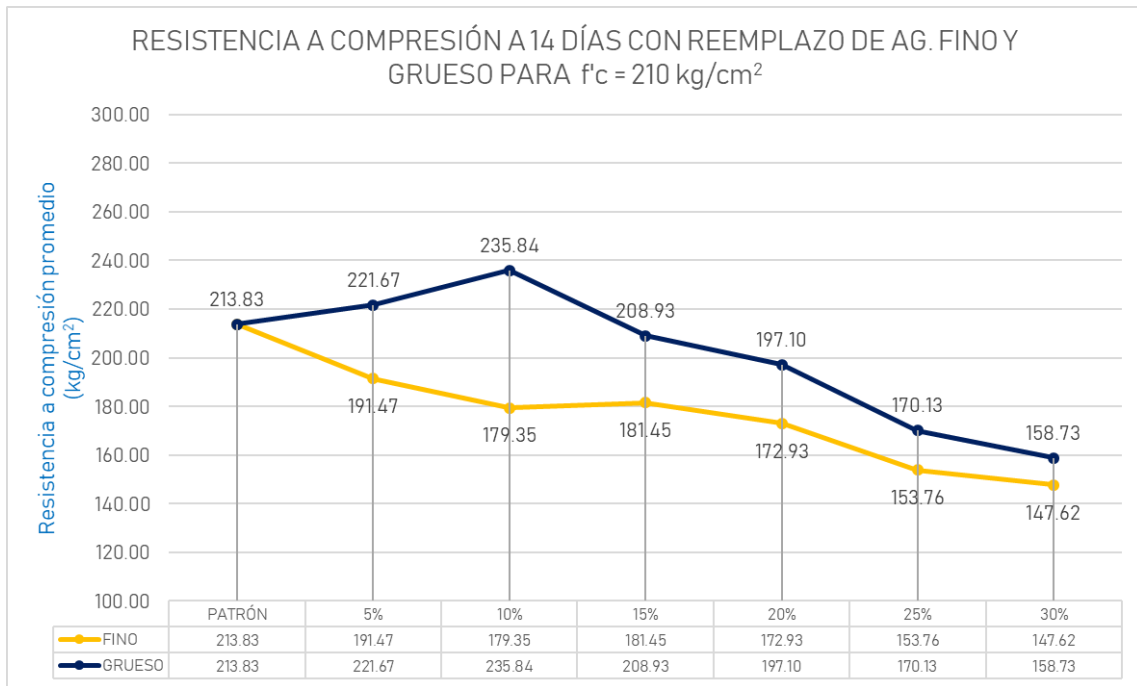


Figura 51 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 14 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

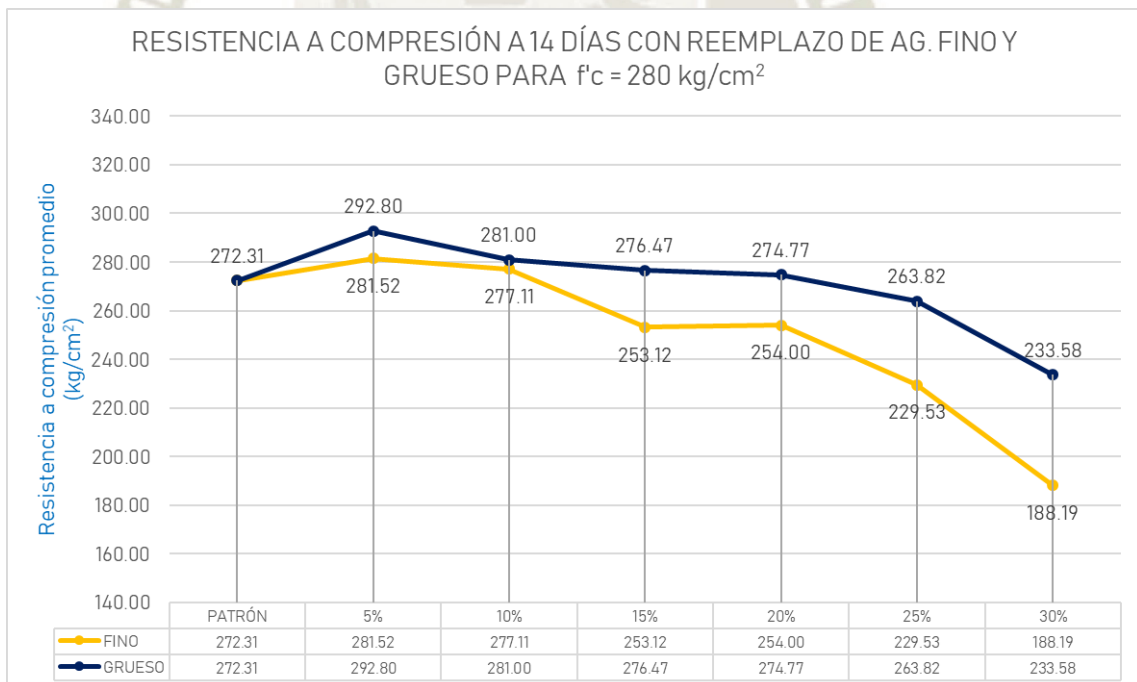


Figura 52 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 14 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

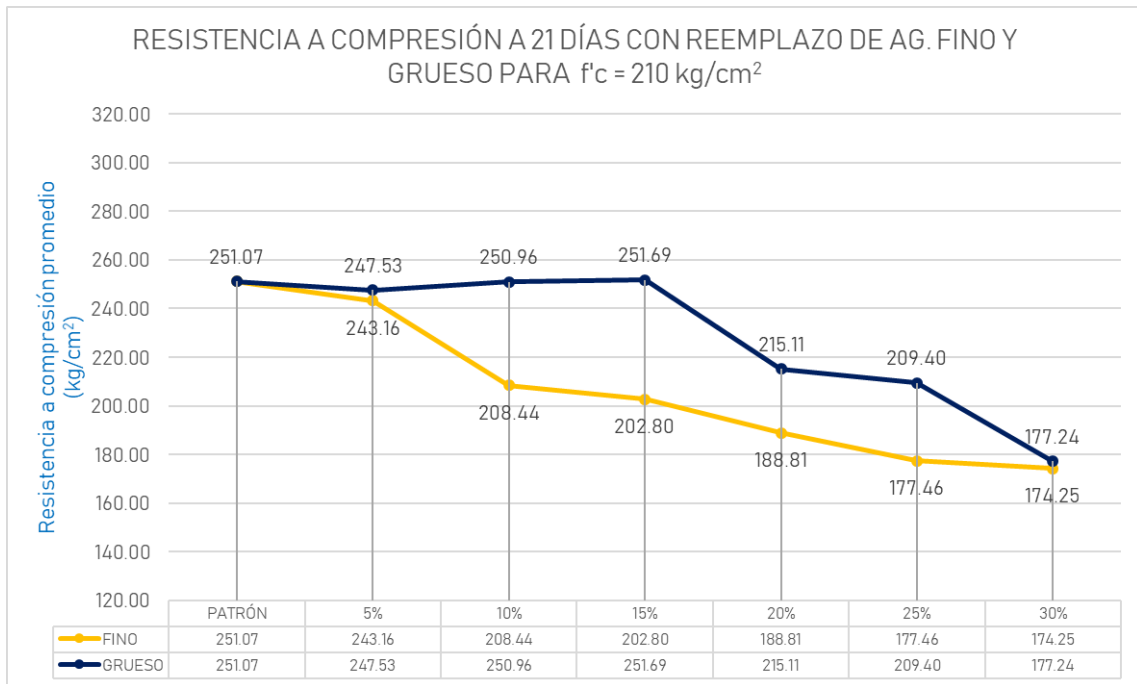


Figura 53 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 21 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

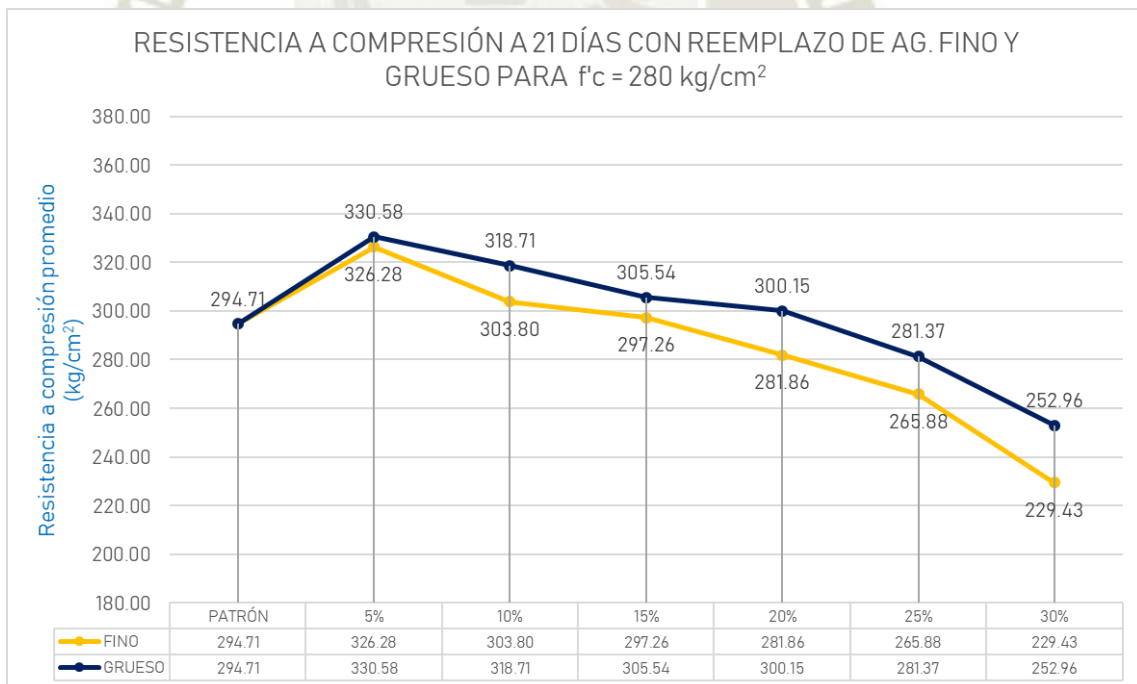


Figura 54 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 21 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

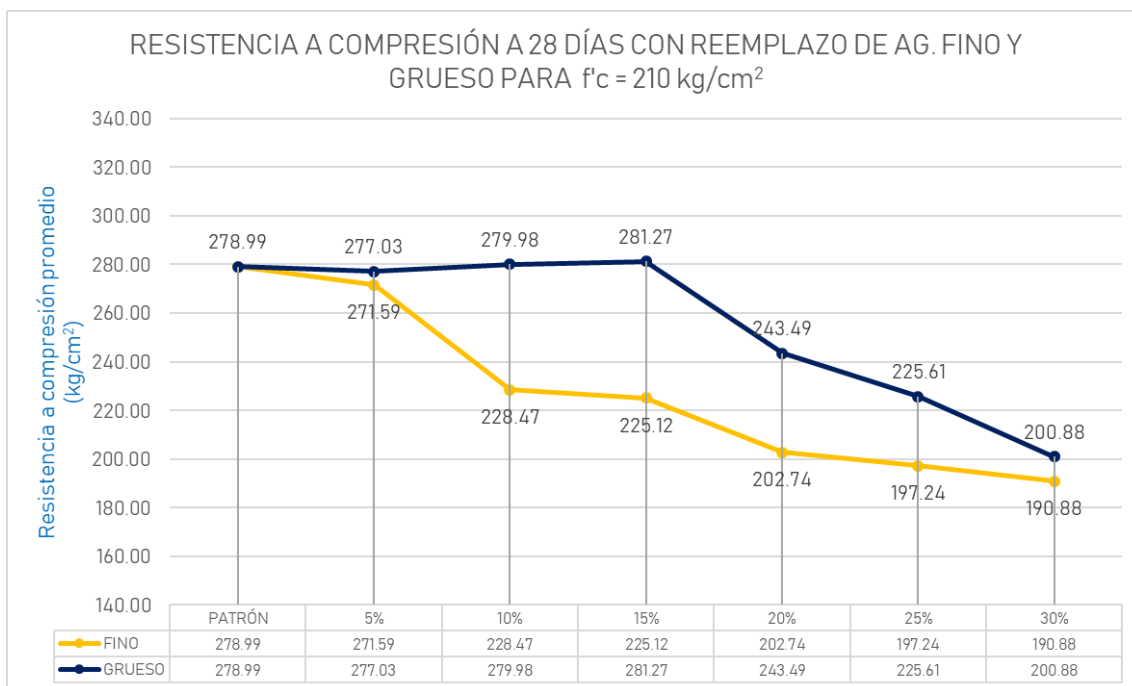


Figura 55 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

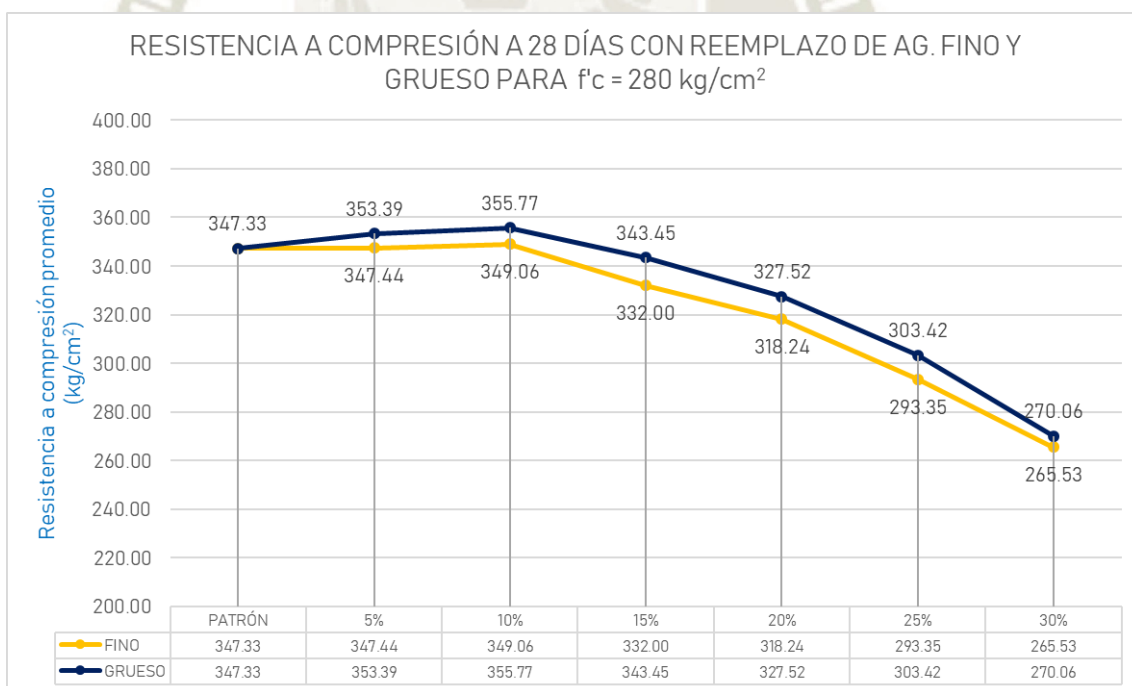


Figura 56 Comparación de resistencia a la compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

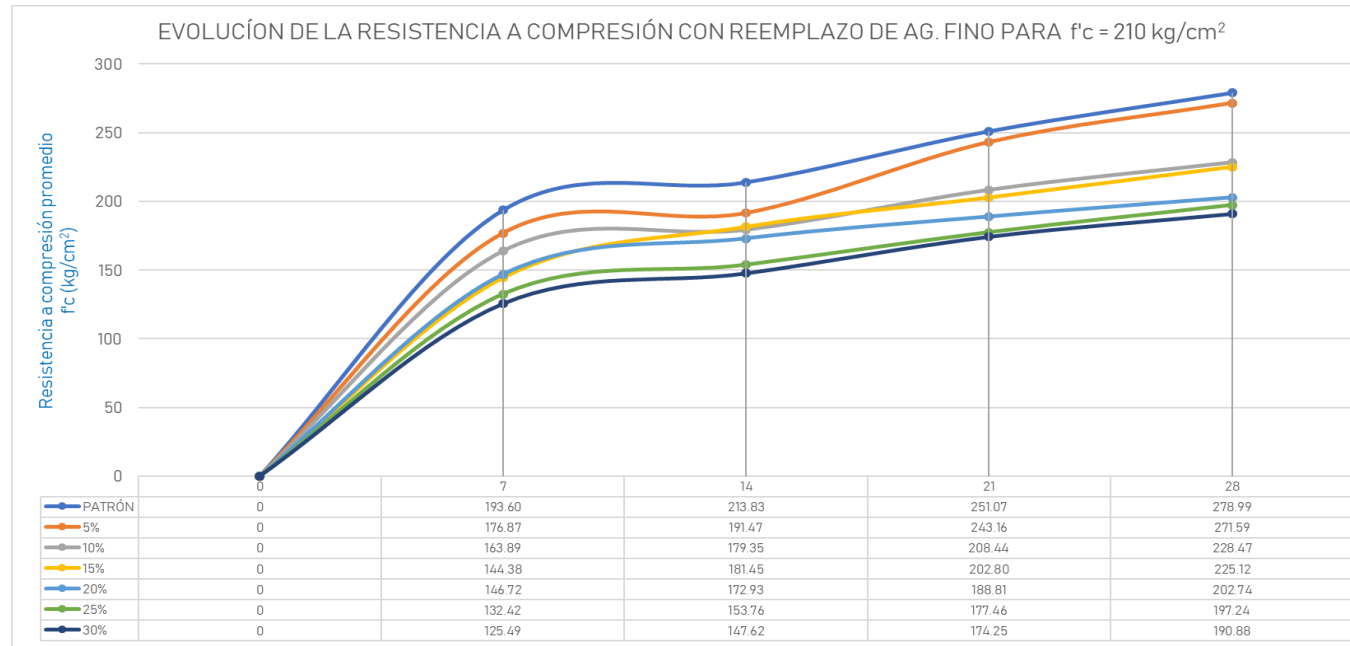


Figura 57 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Fino.
(Fuente propia)

De acuerdo al gráfico resumen, se puede observar que, en los 7 días de curado, el valor de resistencia patrón es superior y va disminuyendo progresivamente respecto al aumento de reemplazo parcial de agregado fino.

También se observa la influencia de reemplazo de los agregados por HDPE en los 14; 21 y 28 días, con una tendencia a disminuir la resistencia a la compresión respecto a que el reemplazo parcial aumenta. En los 28 días se observa que reemplazando un 5% disminuye la resistencia en un 2.65%, lo cual es un valor despreciable. En cambio, para valores de 20%; 25% y 30% disminuye significativamente, llegando a ser hasta en un 31.58% respecto al valor patrón.

En síntesis, los valores con 5%; 10% y 15% llegaron a la resistencia de diseño requerida, pero siendo inferiores a la resistencia patrón.

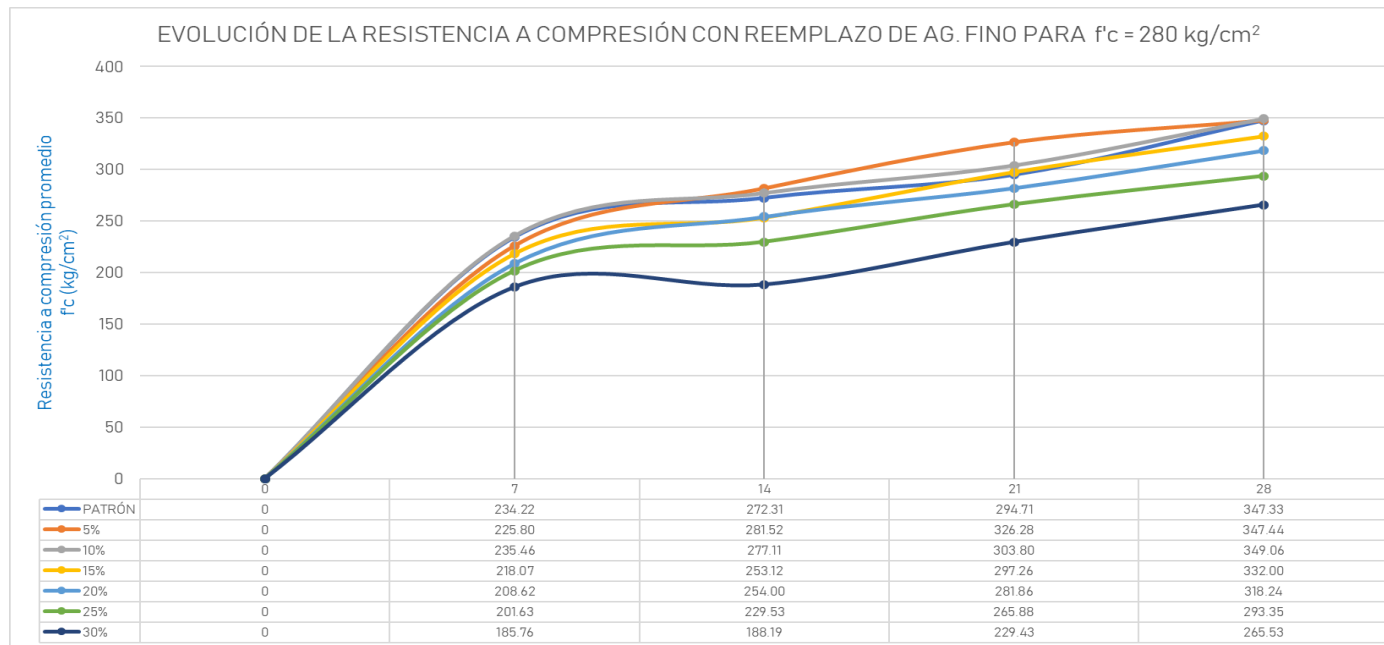


Figura 58 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Fino.
(Fuente propia)

De acuerdo al gráfico resumen, se puede observar que, en los 7 días de curado, el diseño con reemplazo parcial de 10% resulta ligeramente mayor, los valores de patrón, 5%; 15%; 20% resultan tener cercanía. Se observa que la resistencia para un reemplazo parcial de 25% y 30% caen y se encuentran por debajo de los demás con una reducción de hasta 23.55% respecto al valor máximo.

Se observa la influencia de reemplazo de los agregados por HDPE en los 14; 21; 28 días. Respecto a los 28 días se observa un valor máximo en el reemplazo parcial de 10% y valores iguales en 5% y muestra patrón. El valor obtenido de reemplazo parcial de 10% es 0.5% mayor respecto al valor patrón.

Sintetizando, solo el diseño con reemplazo de 30% no cumple con la resistencia requerida.

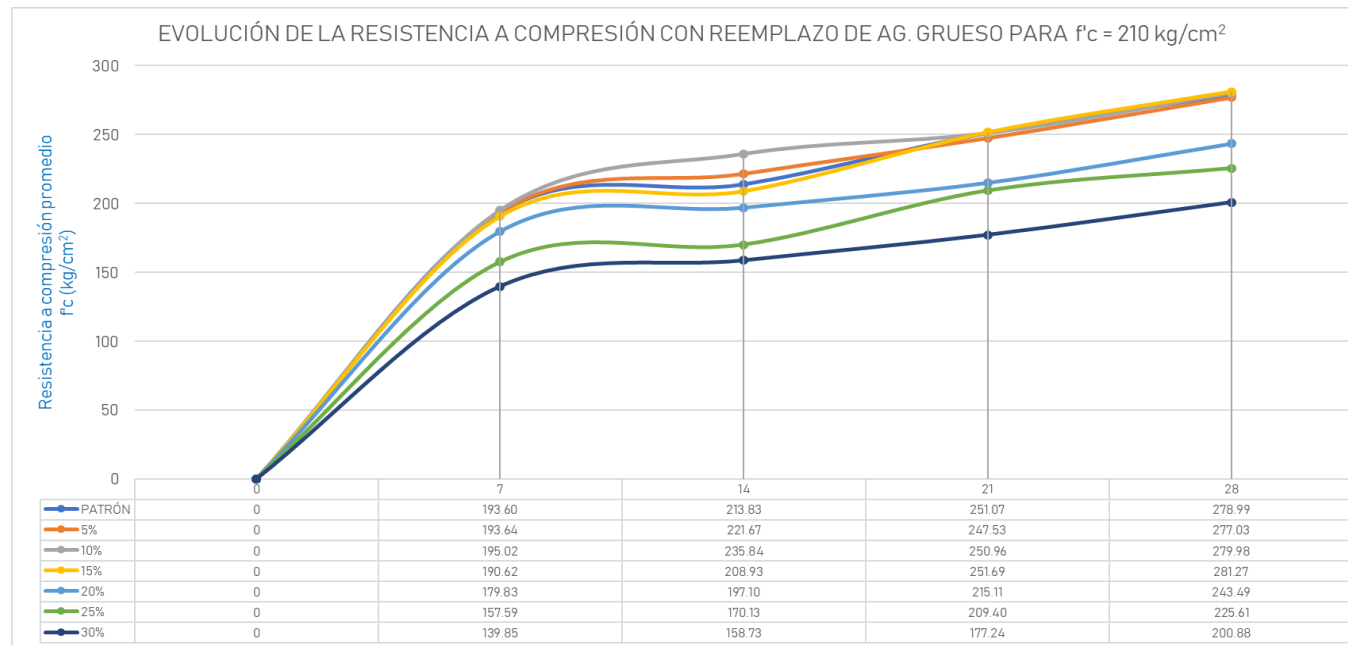


Figura 59 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso (Fuente propia)

De acuerdo al gráfico resumen, se puede observar que, en los 7 días de curado, el diseño con reemplazo parcial de 5%; 10% y 15% alcanzan un valor similar al de patrón. Se denota una caída visible de resistencia a la compresión en los valores de reemplazo parcial de 25% y 30%.

Se observa la influencia de reemplazo de los agregados en los 14; 21; 28 días. Respecto a los 21 y 28 días se aprecia un valor máximo en el reemplazo parcial de 15% con 0.82% de incremento respecto al patrón, similar al reemplazo parcial de 5% y 10%. La resistencia a la compresión de 20%, 25% y 30% disminuyen progresivamente en los 28 días teniendo este último una reducción del 28% respecto del valor más alto.

Se concluye que los valores de reemplazo parcial de 5%; 10%; 15%; 20% y 25% llegaron a la resistencia de diseño, siendo el reemplazo parcial de 30% el único que no cumple con la resistencia requerida.

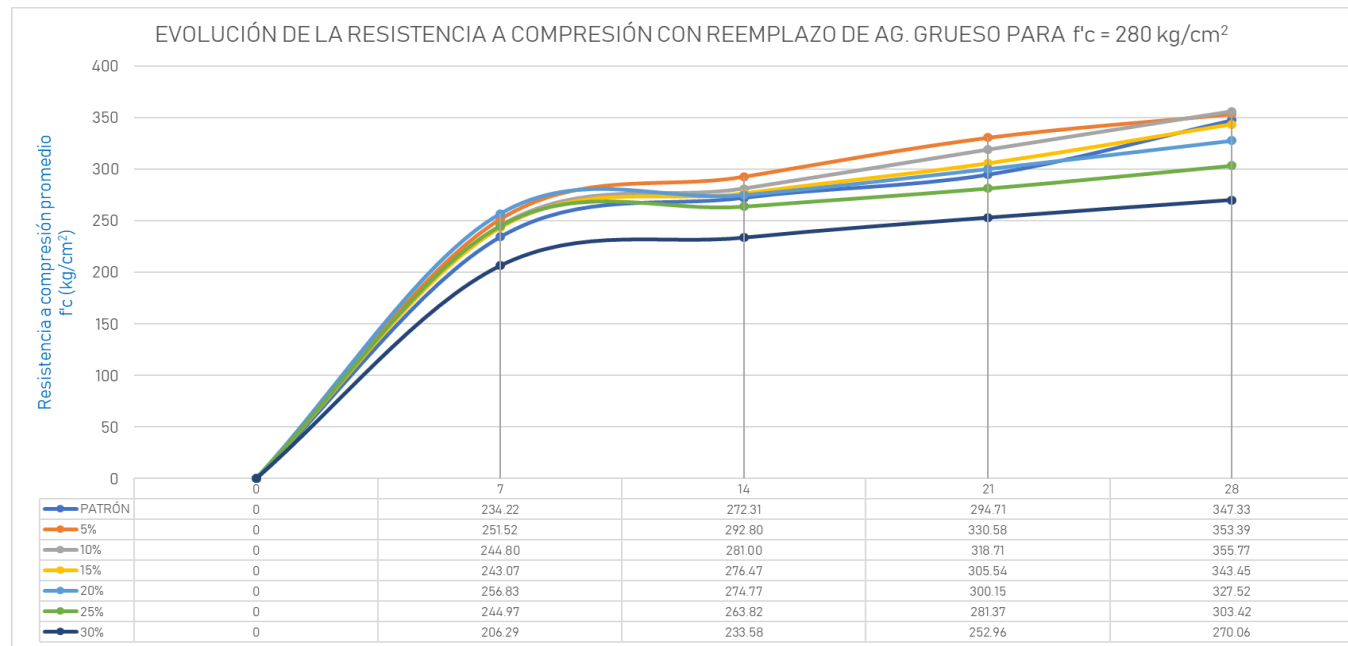


Figura 60 Evolución de Resistencias a la Compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 7; 14; 21 y 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso (Fuente propia)

De acuerdo al gráfico resumen, se puede observar que, en los 7 días de curado, el diseño con reemplazo parcial de 5%; 10%; 15%; 20% y 25% alcanzan un valor similar al de patrón. Se denota una caída visible de resistencia a la compresión en el valor de reemplazo parcial de 30%.

Se observa la influencia de reemplazo de los agregados por HDPE en los 14; 21; 28 días. Respecto a los 28 días se aprecia un valor máximo en el reemplazo parcial de 10% con 2.43% de incremento respecto al patrón, similar al reemplazo parcial de 5% y 15%. La resistencia a la compresión de 20%, 25% y 30% disminuyen progresivamente en los 28 días teniendo este último una reducción del 22.25% respecto del valor patrón.

Sin embargo, se observa que los valores de reemplazo parcial de 5%; 10%; 15%; 20% y 25% llegaron a la resistencia de diseño, siendo el reemplazo parcial de 30% el único que no cumple con la resistencia de diseño.

- También se evaluó la resistencia a la compresión del concreto sometido a una temperatura de 60°C promedio, abajo se evalúa su evolución respectiva.

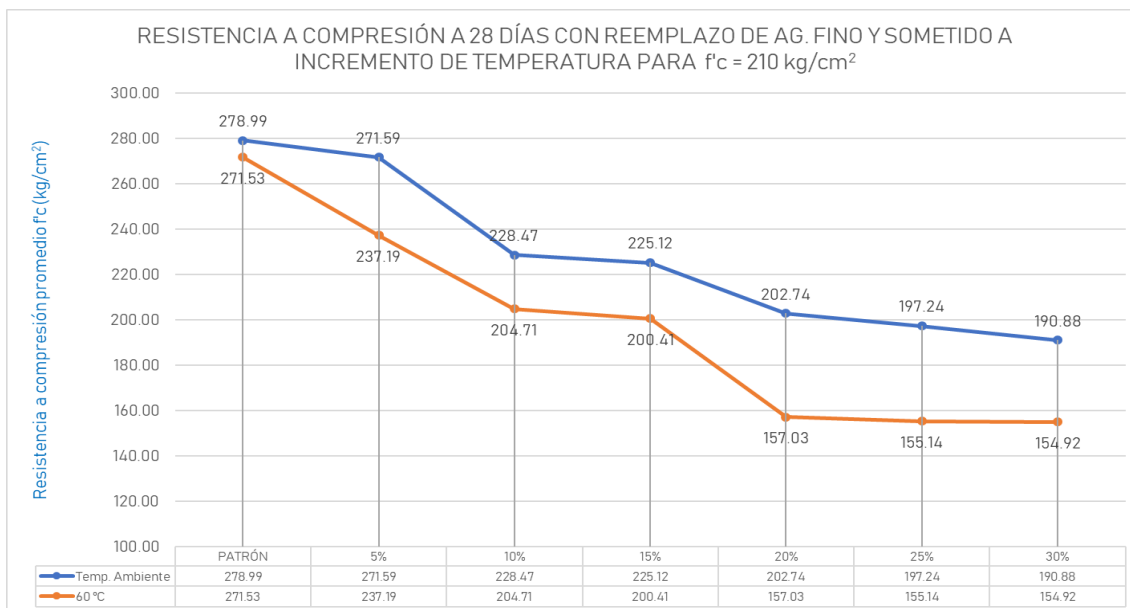


Figura 61 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones normales y sometidos a temperatura (Fuente propia)

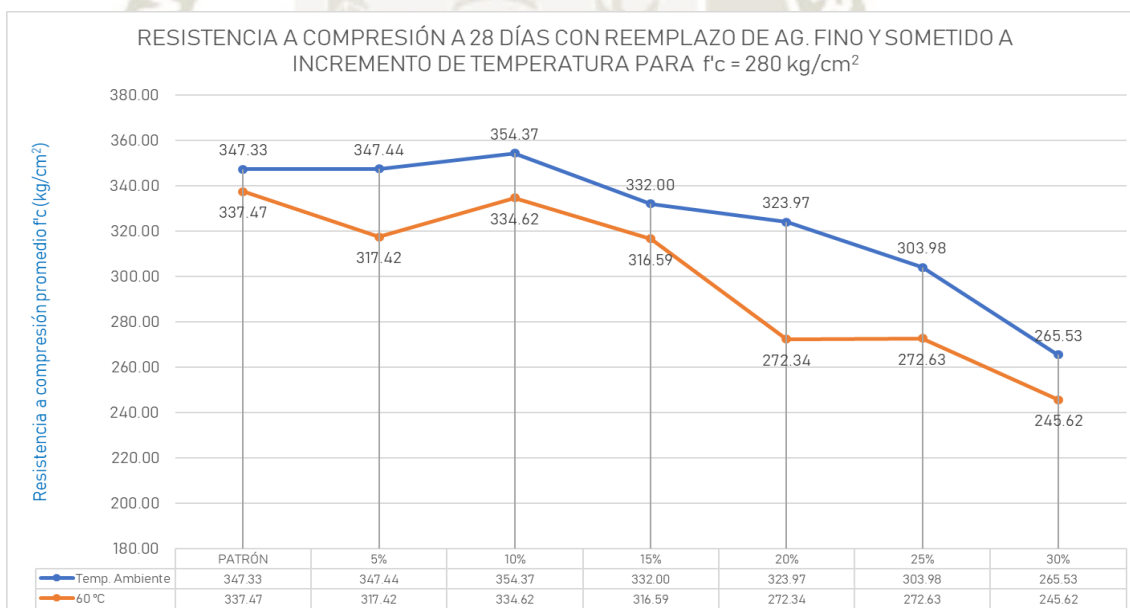


Figura 62 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones normales y sometidos a temperatura (Fuente propia)

En los gráficos podemos observar la pérdida constante de resistencia del concreto para todos los niveles de reemplazo. Este fenómeno es más notorio en el concreto con reemplazo de agregado fino, pero coincidiendo en los reemplazos de 20%, 25% y 30% de manera casi lineal. Lo mismo se podría decir del reemplazo de agregado grueso. Esta pérdida es fácilmente explicada por la baja tolerancia que presenta el HDPE y los plásticos en general a la acción prolongada del calor.

- De igual manera se realizó la comparación para el reemplazo de agregado grueso en ambas resistencias.

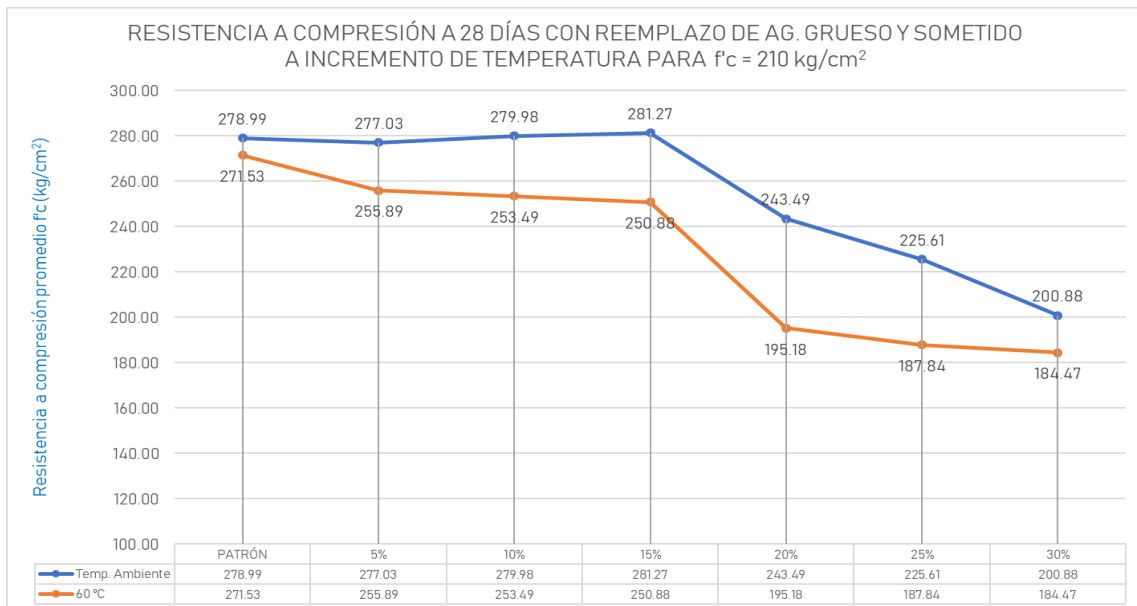


Figura 63 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

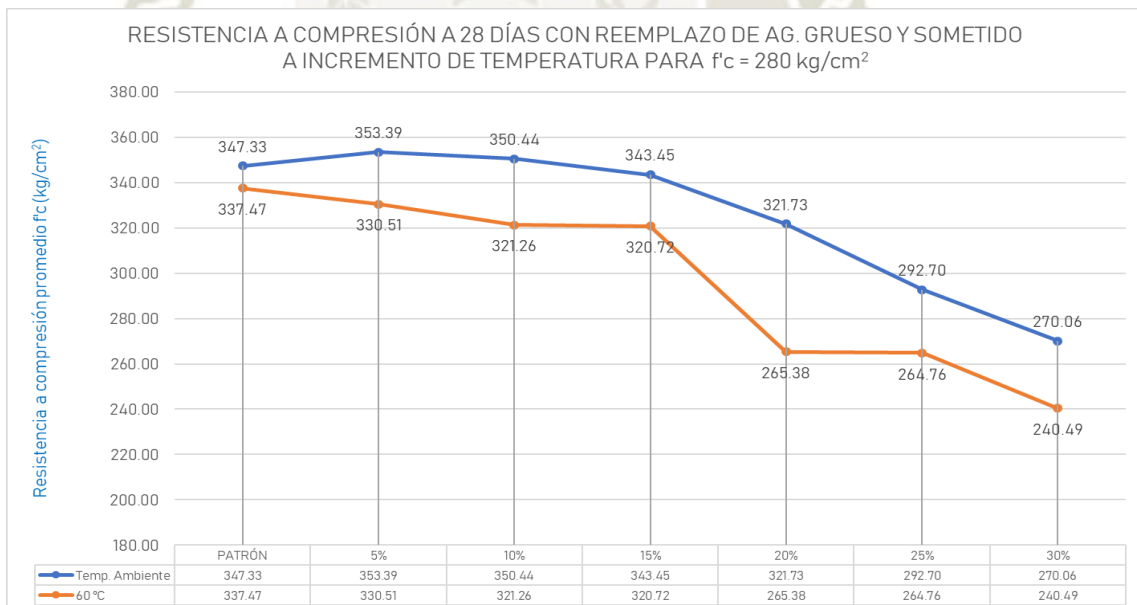


Figura 64 Comparación de Resistencias a la Compresión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

Con respecto a una resistencia mayor, el decremento por acción de la temperatura tiende a afectar más cuanto mayor es el porcentaje de reemplazo. Esto también se puede explicar debido a que mientras más plástico contenga la mezcla, el debilitamiento por acción del calor será mayor en toda la estructura del concreto.

Un común denominador que tienen todas las probetas sometidas a calor es del decremento de resistencia que va desde 4% hasta un 22%.

6.3.3. Resistencia a la tracción indirecta

- Con los datos obtenidos se procede a analizar los resultados de resistencia a la tracción indirecta en condiciones de ambiente para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino y agregado grueso en los diferentes porcentajes de reemplazo.

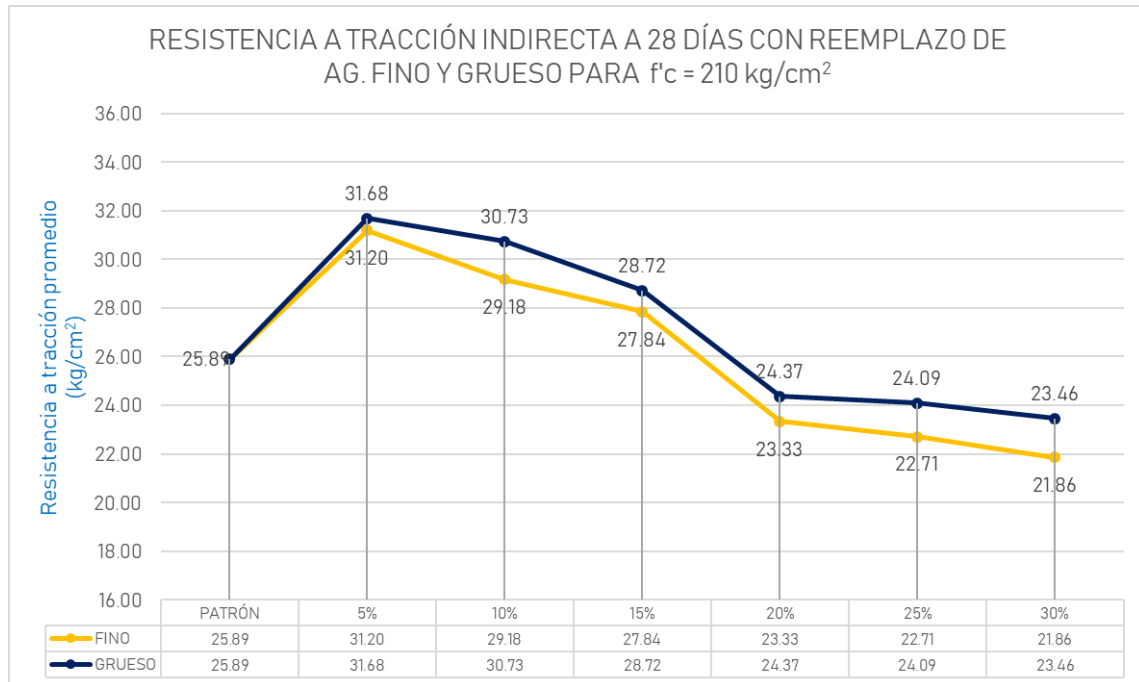


Figura 65 Comparación de Resistencias a la Tracción Indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

En el gráfico se puede observar que en los reemplazos fino y grueso en 5% alcanzaron mayores resistencias a tracción, específicamente en un 120.5% respecto del valor patrón para el reemplazo de agregado fino y, 122.36% respecto del valor patrón para el reemplazo de agregado grueso. Los valores de 10% y 15% al igual que el de 5% son mayores a la resistencia a la tracción patrón.

En el caso de concreto con reemplazos parciales de agregado fino y grueso en condiciones normales, la resistencia a la tracción para los reemplazos de 20%, 25% y 30% no varía significativamente por lo cual se concluye que el reemplazo parcial de HDPE provoca un comportamiento similar al agregado pétreo para resistencias a tracción.

En síntesis, el HDPE en ambos estados incrementa el desempeño del concreto a tracción.

- Con los datos obtenidos se procede a analizar los resultados de resistencia a la tracción indirecta en condiciones de ambiente para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino y agregado grueso en los diferentes porcentajes de reemplazo.

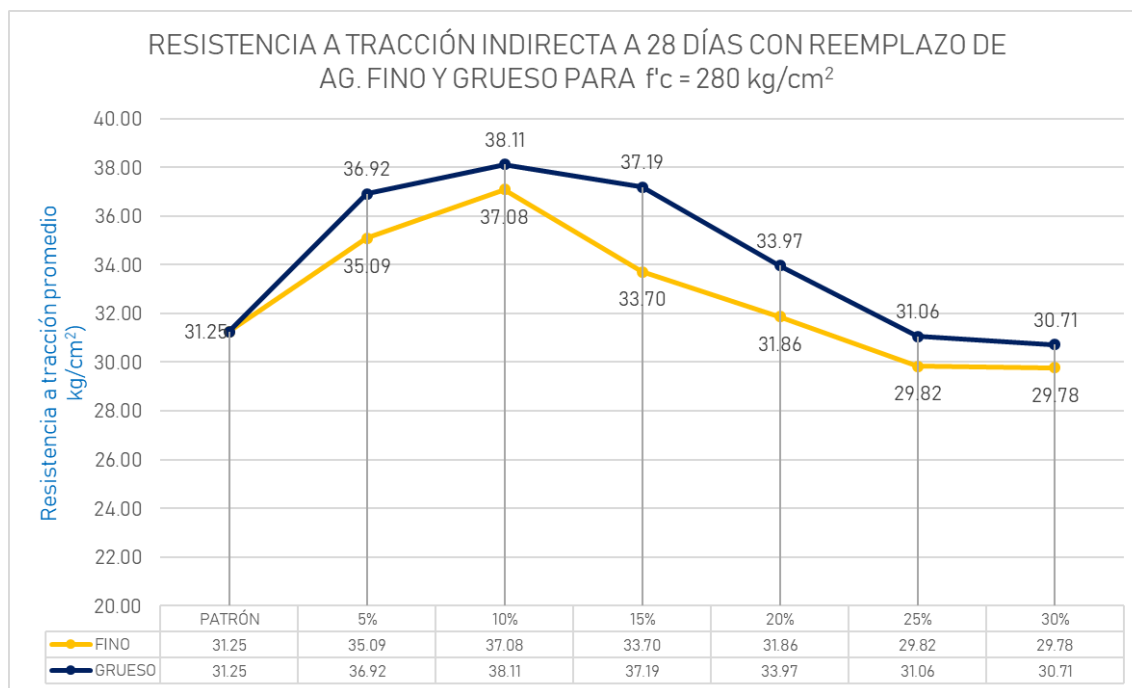


Figura 66 Comparación de Resistencias a la Tracción Indirecta con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

Realizando un análisis a los resultados que se muestran en el gráfico se puede observar que en los reemplazos fino y grueso en 10% alcanzaron mayores resistencias a tracción específicamente en un 118.67% respecto del valor patrón para el reemplazo de agregado fino y, 121,96% respecto del valor patrón para el reemplazo de agregado grueso. Los valores de 5%, 15% y 20% al igual que el de 10% son mayores a la resistencia a la tracción patrón.

En el caso de concreto con reemplazos parciales de agregado fino y grueso en condiciones normales, la resistencia a la tracción para los reemplazos de 5% y 10% tienden a tener un incremento, al llegar a un punto máximo este empieza a disminuir, sin embargo, los valores que se encuentran por debajo del valor patrón son cercanos.

Al igual que en el análisis del gráfico anterior, el incremento del desempeño del concreto a tracción por causa del HDPE se debe a sus propiedades mecánicas.

- Para los ensayos de tracción indirecta también se evaluó la resistencia del concreto sometido a una temperatura de 60°C promedio, en el siguiente gráfico se evalúa su evolución para los distintos niveles de reemplazo.

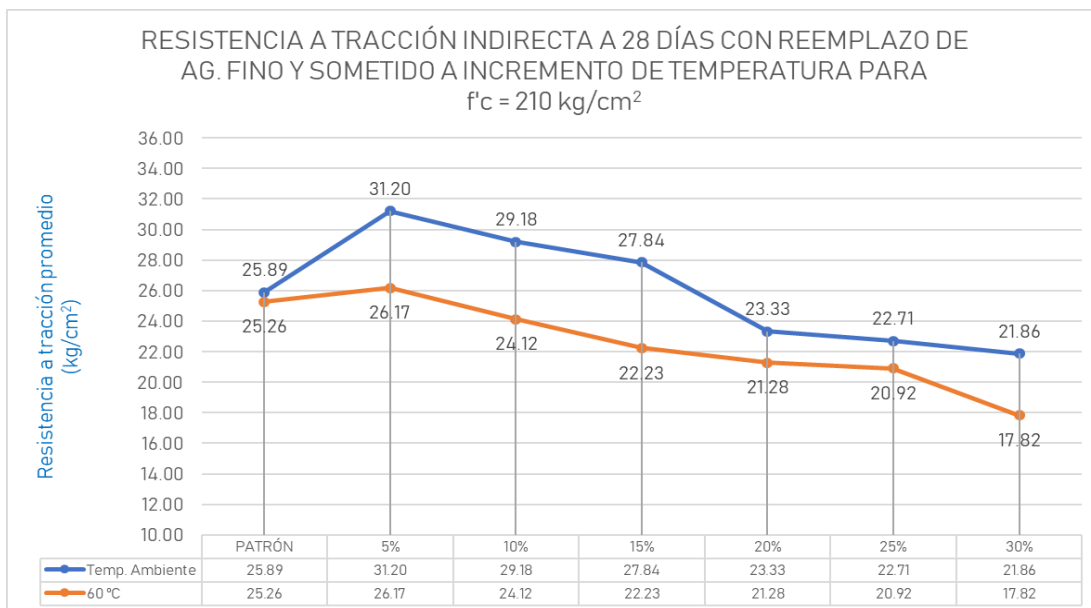


Figura 67 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

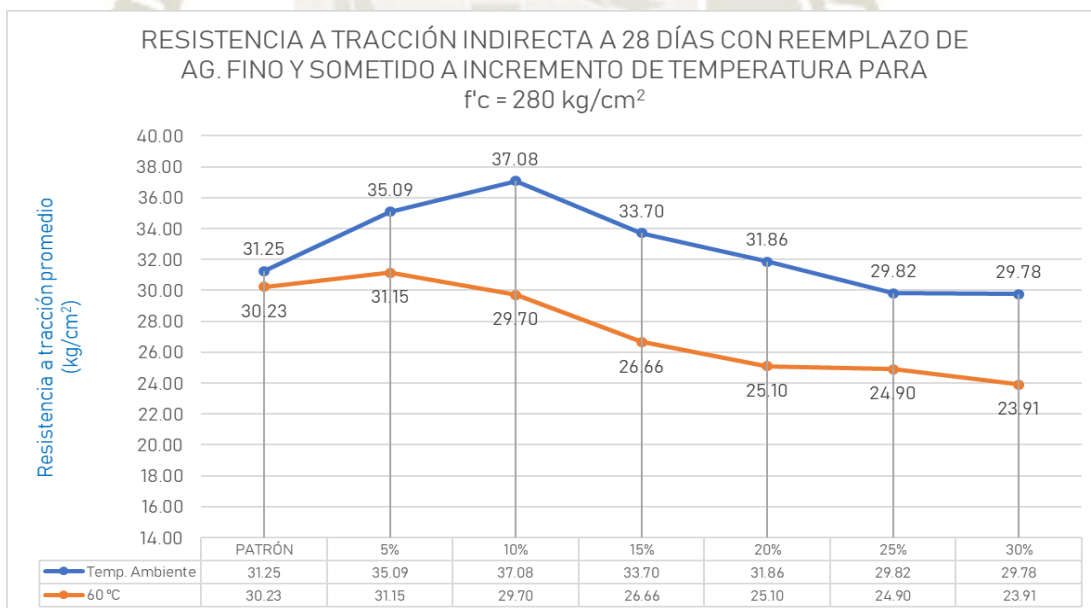


Figura 68 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Fino, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

Se observa que ambas graficas tienen una caída respecto a condiciones de temperatura normales, pero siendo más notorio y brusco en probetas de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Para ambas resistencias el margen de decremento por acción del calor va desde 7% hasta un 21%.

- De igual manera se realizó la comparación para el reemplazo de agregado grueso en ambas resistencias.

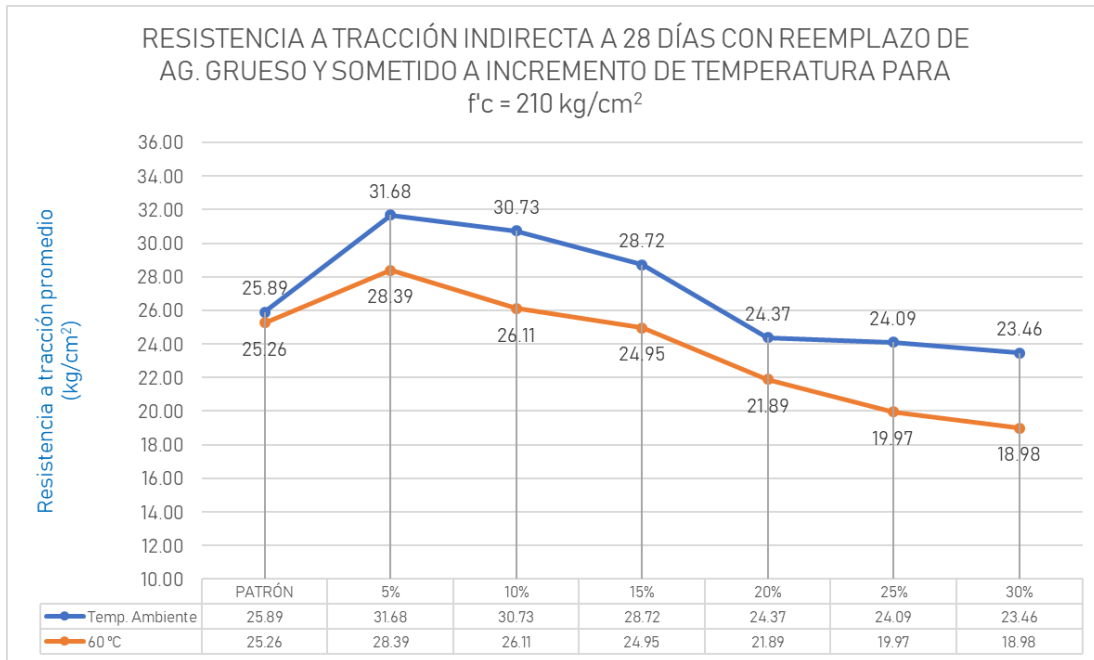


Figura 69 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

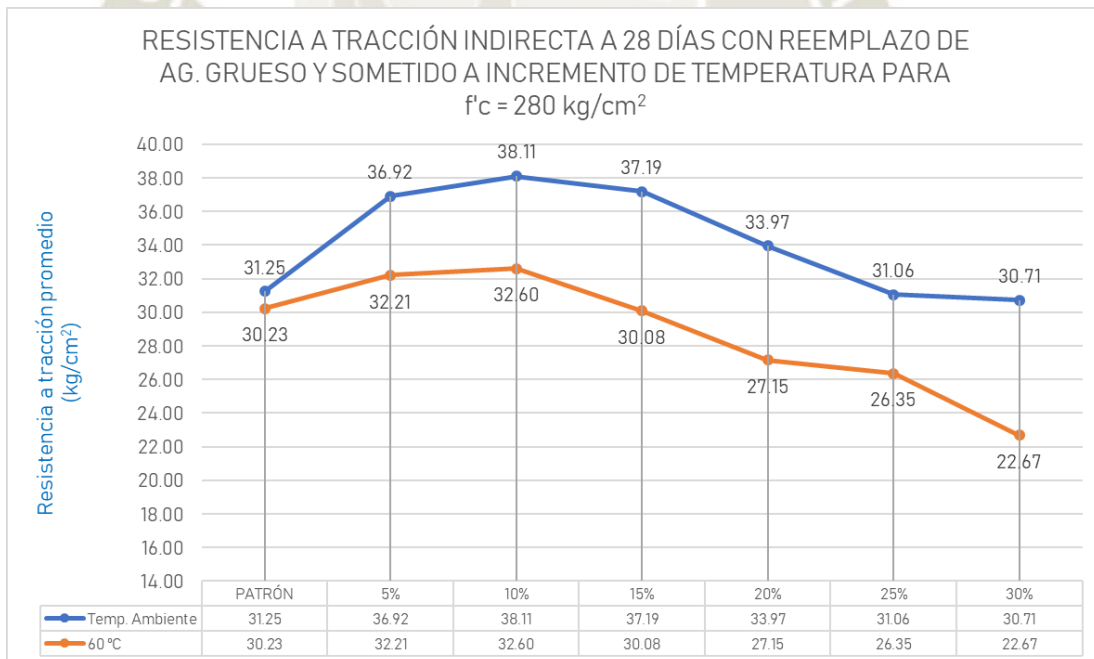


Figura 70 Comparación de Resistencias a tracción indirecta con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazo parcial de Agregado Grueso, en condiciones de ambiente y sometidos a temperatura (Fuente propia)

En el caso de concreto con reemplazos parciales de agregado grueso y sometidos a temperatura, la resistencia a la tracción para todos los reemplazos tiene una tendencia más definida, sin embargo, su decremento es más brusco y se aleja del valor original.

6.3.4. Resistencia a la abrasión

- Con los datos obtenidos se procede a analizar los resultados de resistencia a la abrasión para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino y agregado grueso en los diferentes porcentajes de reemplazo.

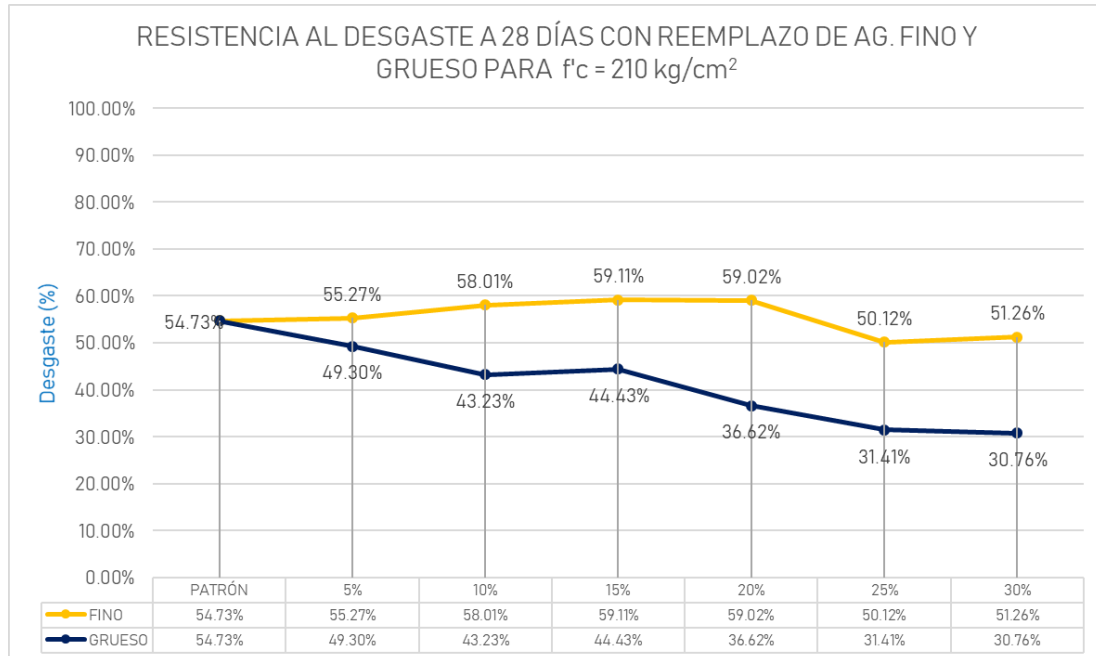


Figura 71 Comparación de Resistencias a la abrasión con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

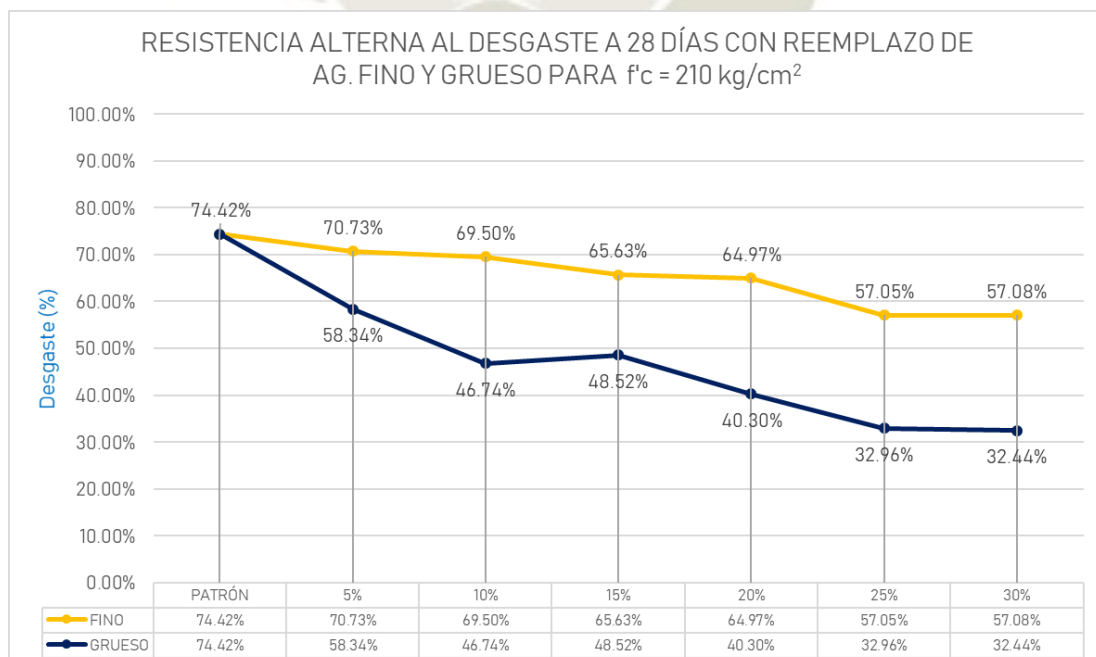


Figura 72 Comparación de Resistencias a la abrasión alterna con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

Realizando un análisis a los resultados que se muestran en el gráfico de abrasión alterna, se puede observar que en el reemplazo parcial de agregado fino se sigue una tendencia de mejoramiento en la resistencia al desgaste, y de igual manera con el reemplazo de agregado grueso.

Esto se explica mejor y tiene más sentido con respecto a la primera gráfica que muestra una tendencia más lineal, ya que el HDPE en cualquiera de sus formas aporta un incremento en la resistencia que ofrece a ensayos de impacto y desgaste.

En el caso de reemplazo parcial de agregado fino, el desgaste disminuye desde un 74.42% del patrón hasta un 57.05% para reemplazo de 25%.

En el caso de reemplazo parcial de agregado grueso se tiene una mayor tendencia que va desde 74.42% del patrón hasta un 32.44% para reemplazo de 30%.

- Con los datos obtenidos se procede a analizar los resultados de resistencia a la abrasión para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino y agregado grueso en los diferentes porcentajes de reemplazo.

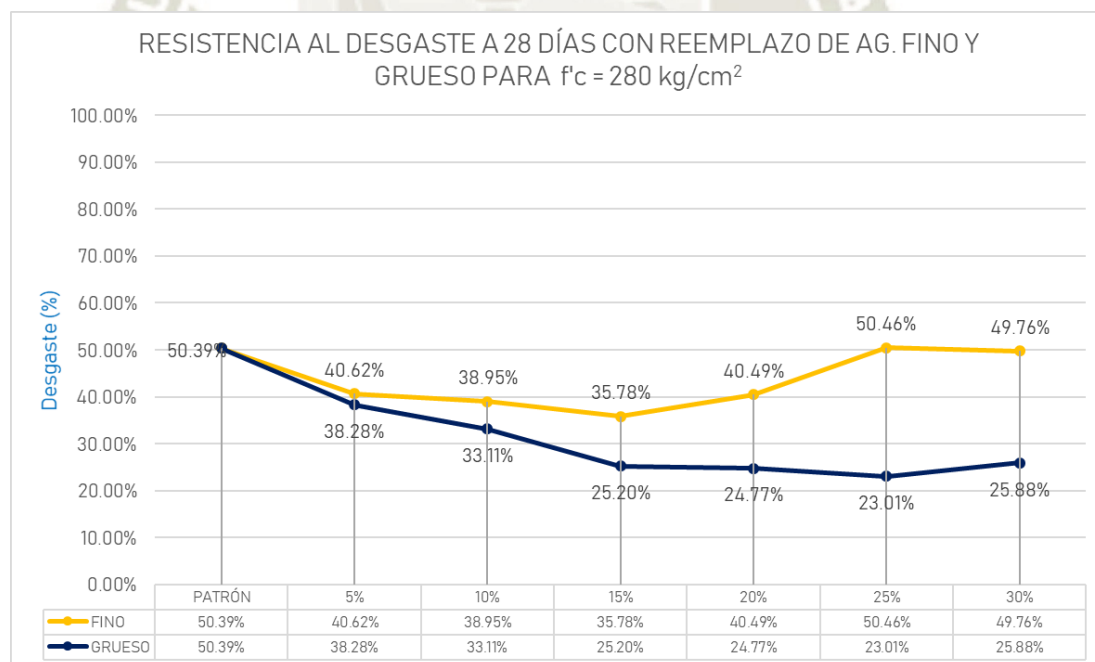


Figura 73 Comparación de Resistencias a la abrasión con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

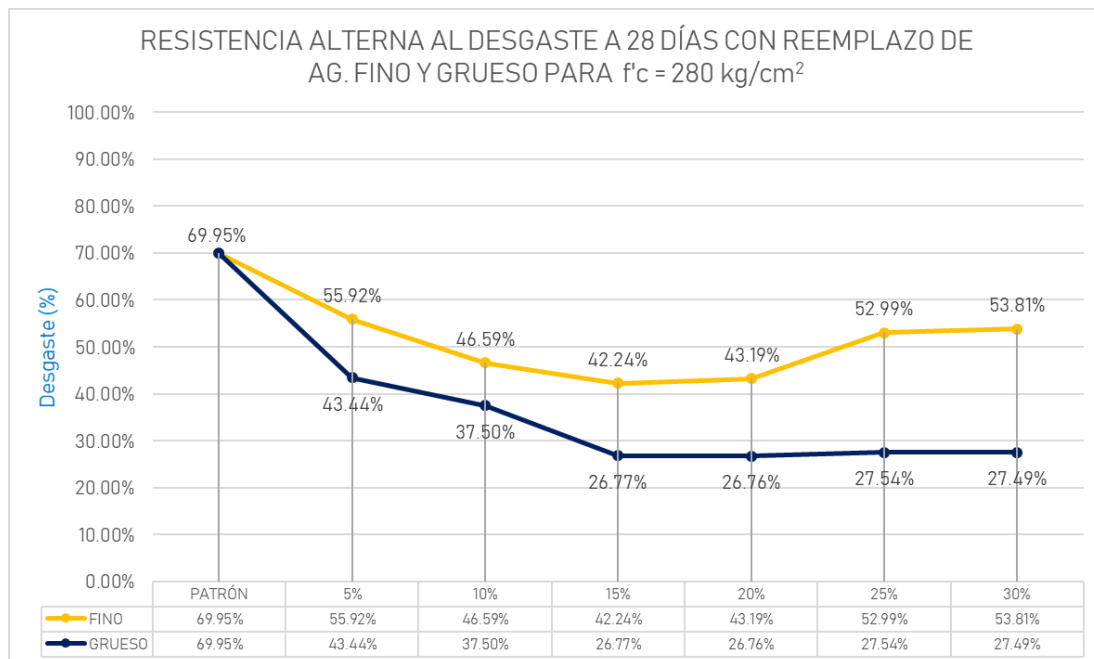


Figura 74 Comparación de Resistencias a la abrasión alterna con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en 28 días con reemplazos parciales de Agregado Grueso y Agregado Fino (Fuente propia)

Realizando un análisis a los resultados que se muestran se puede observar que las gráficas muestran una tendencia menos lineal que la resistencia anterior. Para la curva del reemplazo de agregado fino se observa un mejoramiento al desgaste hasta el reemplazo de 15% y 20%, para decaer en el 25% y 30% finales. De la curva del agregado grueso esta presenta la particularidad de ser prácticamente lineal en el reemplazo de 15% al 30%.

En el caso de reemplazo parcial de agregado fino, el desgaste disminuye desde un 69.95% del patrón hasta un 42.05% para reemplazo de 15%.

En el caso de reemplazo parcial de agregado grueso se tiene una mayor tendencia que va desde 69.95% del patrón hasta un 26.76% para reemplazo de 20%.

Adicionalmente, en el presente ensayo se encontró que los bloques ensayados no sufrían una pérdida significativa de su estructura inicial, brindando tenacidad al concreto. Comparando ambas $f'c$ la relación a/c aporta una mejor resistencia, evidenciado por la muestra patrón, y el HDPE extruido aporta aún más a esta propiedad.

6.3.5. Predicción de resistencia a la flexión

Partiendo de las ecuaciones y los datos presentados en la predicción de la resistencia a la flexión, se elaboraron los siguientes gráficos que comparan todos los métodos para cada resistencia y tipo de reemplazo.

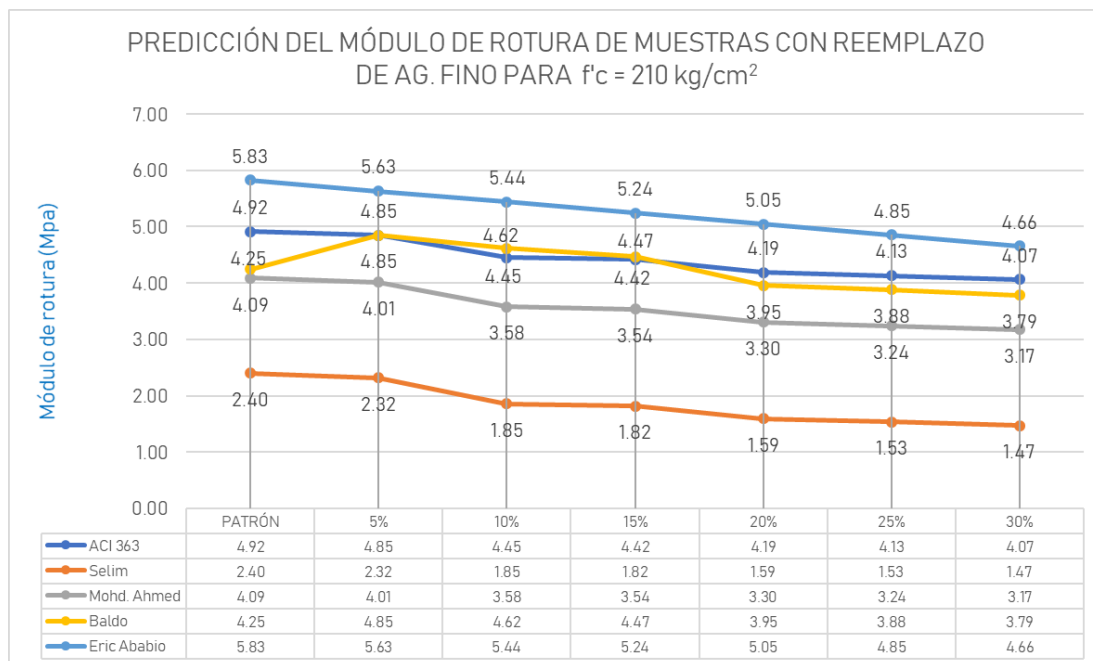


Figura 75 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Fino
(Fuente propia)

De la gráfica, podemos apreciar que la predicción de la ecuación planteada por Eric Ababio es la que resulta en el valor más alto. Por el otro lado, la ecuación planteada por Samil es la que resulta en los valores más bajos encontrándose entre el 30% y el 40% de los valores máximos. Todas las ecuaciones siguen una tendencia en decrecer de manera casi lineal a manera que el reemplazo aumenta, excepto por la ecuación de Baldo que muestra una tendencia en incrementar la resistencia a la flexión hasta en un 15% de reemplazo. Esto es entendible debido a que es la única fórmula que se relaciona directamente con la tracción indirecta, cuya grafica presenta una tendencia similar.

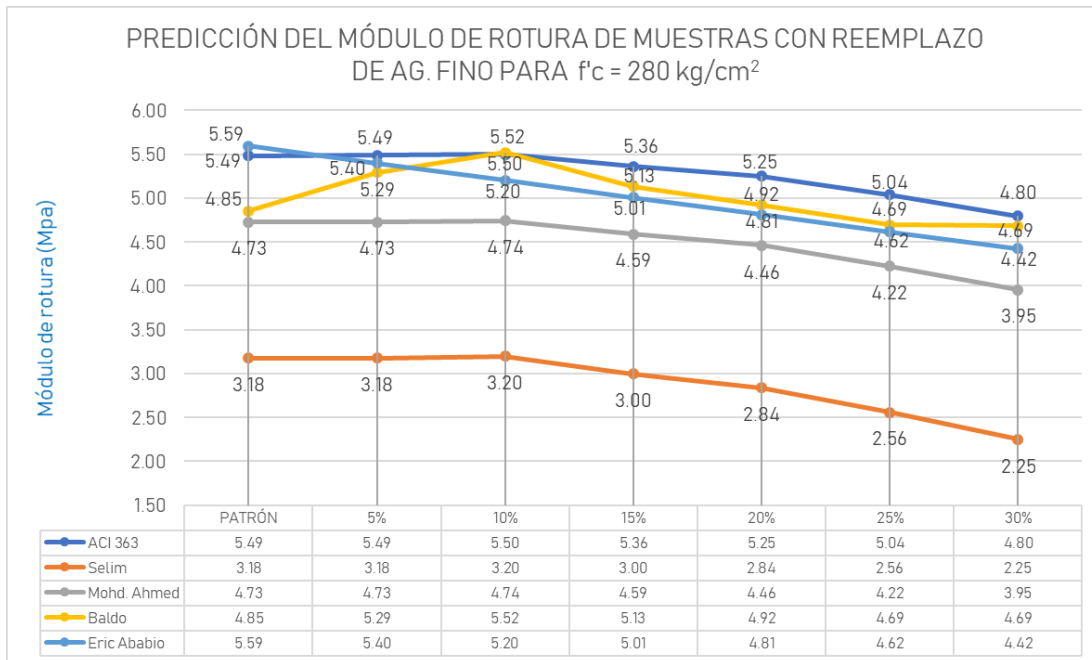


Figura 76 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Fino (Fuente propia)

A diferencia de la gráfica anterior, en esta se agrupan las ecuaciones del ACI 363, Baldo y Eric Ababio como las más altas en predecir el módulo de rotura. Al tratarse de muestras de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, las ecuaciones parecen converger con valores de $f'c$ más altos.

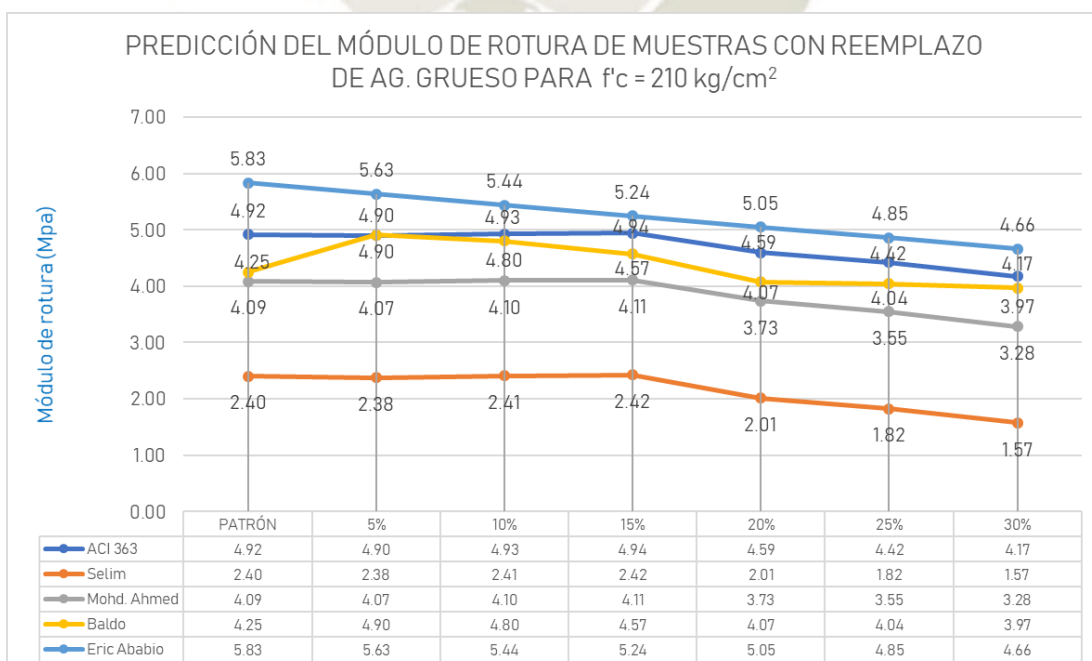


Figura 77 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Grueso (Fuente propia)

Esta grafica vuelve a mostrar la tendencia paralela que tienes las ecuaciones seleccionadas. La perdida de resistencia a la flexión que se tiene a medida que el nivel de reemplazo incrementa, se encuentra entre 3% y 3.5% siendo casi constante.

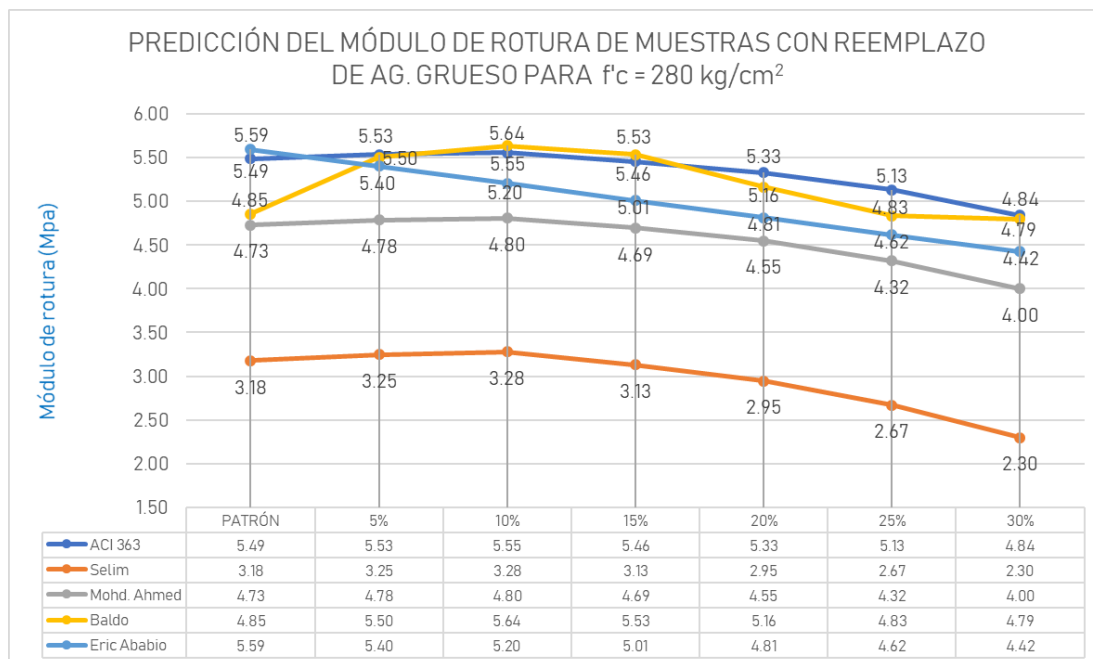


Figura 78 Comparación de Predicciones del módulo de rotura con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y reemplazo parcial de Agregado Grueso (Fuente propia)

Nuevamente volvemos a observar que todas las ecuaciones excepto la de Selim, se aproximan bastante. Además, todas siguen ese decremento a excepción de la ecuación de Baldo que incluso resulta ser muy aproximada a la ecuación del ACI 363. En la mayoría de graficas se puede concluir que el nivel de reemplazo que ofrece una mejora teórica o por lo menos una conservación de la propiedad, es el reemplazo del 15%.



CAPÍTULO VII: ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

7. ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO PARA UN CONCRETO CON REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADOS Y UN CONCRETO CONVENCIONAL

Finalmente se debe evaluar la influencia presupuestal que tiene elaborar concreto con reemplazo de agregados por HDPE. Esto nos ayudara a determinar qué tan factible es en este momento y lugar masificar la producción de estos diseños.

Costo de HDPE triturado: El costo unitario referente al HDPE triturado fue considerando el costo de acopiar, limpiar, triturar y transportar el material por metro cúbico.

Costo de HDPE extruido: Para la obtención de este agregado artificial, se realizó el montaje de una extrusora con características específicas y con fines netamente investigativos, para lo cual se tiene el siguiente análisis de precio:

MATERIALES	Unidad	Precio (S/)	Total (S/)
Tornillo Extrusor	1	250	250
Termostato	3	35	105
Resistencias	3	15	45
Motor 1 hp Monofásico 3500 rpm	1	305	305
Cizalla	1	80	80
Fibra de Cerámica	1	115	115
Brida Acero negro	1	15	15
Niple Acero negro	1	12	12
Boquilla Acero negro	1	20	20
Base máquina	1	130	130
Contactador LS	1	60	60
Cable	10	2.5	25
TOTAL		S/	1162

Tabla 128 Costo total de elaboración de la extrusora (S/).
(Fuente propia)

Extrusión de HDPE como agregado grueso			Rend:	3.000	m ³ /DIA
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Operario	hh	0.500	1.333	21.110	28.15
Peón	hh	1.000	2.667	15.330	40.88
				Subtotal:	69.03
Materiales					
HDPE para reciclado	kg		964.265	0.561	540.66
				Subtotal:	540.66
Equipo					
Extrusora	hm	1.000	2.667	9.683	25.82
Herramientas manuales.	% mo		5.000	69.03	3.45
				Subtotal:	29.27
				Costo Unitario por m³ :	638.96
				Costo Unitario con IGV (18%) por m³ :	753.97

Tabla 129 Análisis de precios unitarios para la obtención de HDPE extruido
(Fuente propia)

7.1. Análisis de costos unitarios con HDPE triturado

7.1.1. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm^2)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	COSTO TOTAL (S/)	Diferencia (%)	
PATRÓN	210	0%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	208.06	-	
			Agua	0.205	m^3	4.55	0.93			
			A.F.	0.267	m^3	41.35	11.06			
			A.G.	0.379	m^3	49.80	18.85			
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	216.36	3.99%	
			Agua	0.205	m^3	4.55	0.93			
			A.F.	0.258	m^3	41.35	10.67			
			A.G.	0.374	m^3	49.80	18.65			
				P.T.	0.014	m^3	655.50	8.90		
	210	10%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	224.92	8.11%	
			Agua	0.205	m^3	4.55	0.93			
			A.F.	0.248	m^3	41.35	10.26			
			A.G.	0.370	m^3	49.80	18.44			
				P.T.	0.028	m^3	655.50	18.08		
	210	15%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	233.74	12.35%	
			Agua	0.205	m^3	4.55	0.93			
			A.F.	0.238	m^3	41.35	9.84			
			A.G.	0.366	m^3	49.80	18.23			
				P.T.	0.042	m^3	655.50	27.53		
	210	20%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	242.82	16.71%	
			Agua	0.205	m^3	4.55	0.93			
			A.F.	0.227	m^3	41.35	9.40			
			A.G.	0.362	m^3	49.80	18.03			
				P.T.	0.057	m^3	655.50	37.25		
210	25%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	252.14	21.19%		
		Agua	0.205	m^3	4.55	0.93				
		A.F.	0.216	m^3	41.35	8.94				
		A.G.	0.358	m^3	49.80	17.82				
			P.T.	0.072	m^3	655.50	47.24			
210	30%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	261.73	25.80%		
		Agua	0.205	m^3	4.55	0.93				
		A.F.	0.205	m^3	41.35	8.46				
		A.G.	0.354	m^3	49.80	17.61				
			P.T.	0.088	m^3	655.50	57.51			

Tabla 130 Costo Unitario para diseños con reemplazo parcial de agregado fino en $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

7.1.2. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	COSTO TOTAL (S/)	Diferencia (%)
PATRÓN	280	0%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	241.99	-
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.379	m ³	49.80	18.85		
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	280	5%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	249.51	3.11%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.234	m ³	41.35	9.67		
			A.G.	0.374	m ³	49.80	18.65		
			P.T.	0.012	m ³	655.50	8.07		
	280	10%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	257.29	6.32%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.225	m ³	41.35	9.32		
			A.G.	0.370	m ³	49.80	18.44		
	280	15%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	265.33	9.65%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.216	m ³	41.35	8.95		
			A.G.	0.366	m ³	49.80	18.23		
	280	20%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	273.62	13.07%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.207	m ³	41.35	8.56		
			A.G.	0.362	m ³	49.80	18.03		
	280	25%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	282.17	16.60%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.197	m ³	41.35	8.15		
A.G.			0.358	m ³	49.80	17.82			
280	30%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	290.97	20.24%	
		Agua	0.205	m ³	4.55	0.93			
		A.F.	0.187	m ³	41.35	7.73			
		A.G.	0.354	m ³	49.80	17.61			
		P.T.	0.080	m ³	655.50	52.50			

Tabla 131 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado fino en $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

7.2. Análisis de costos unitarios con HDPE extruido

7.2.1. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	COSTO TOTAL (S/)	Diferencia (%)
PATRÓN	210	0%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	208.06	-
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06		
			A.G.	0.379	m ³	49.80	18.85		
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	221.39	6.41%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06		
			A.G.	0.360	m ³	49.80	17.91		
			P.E.	0.019	m ³	753.97	14.27		
	210	10%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	234.72	12.81%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06		
			A.G.	0.341	m ³	49.80	16.97		
			P.E.	0.038	m ³	753.97	28.55		
	210	15%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	248.05	19.22%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06		
			A.G.	0.322	m ³	49.80	16.03		
			P.E.	0.057	m ³	753.97	42.82		
	210	20%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	261.38	25.63%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06		
			A.G.	0.303	m ³	49.80	15.08		
			P.E.	0.076	m ³	753.97	57.09		
210	25%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	274.71	32.04%	
		Agua	0.205	m ³	4.55	0.93			
		A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06			
		A.G.	0.284	m ³	49.80	14.14			
		P.E.	0.095	m ³	753.97	71.36			
210	30%	Cemento	8.644	Bolsa	20.50	177.21	288.04	38.44%	
		Agua	0.205	m ³	4.55	0.93			
		A.F.	0.267	m ³	41.35	11.06			
		A.G.	0.265	m ³	49.80	13.20			
		P.E.	0.114	m ³	753.97	85.64			

Tabla 132 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado grueso en $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
(Fuente propia)

7.2.2. Análisis del costo unitario del diseño con reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Tipo de Mezcla	$f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (S/)	Costo Parcial (S/)	COSTO TOTAL (S/)	Diferencia (%)
PATRÓN	280	0%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	241.99	-
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.379	m ³	49.80	18.85		
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	280	5%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	255.32	5.51%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.360	m ³	49.80	17.91		
			P.E.	0.019	m ³	753.97	14.27		
	280	10%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	268.65	11.02%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.341	m ³	49.80	16.97		
			P.E.	0.038	m ³	753.97	28.55		
	280	15%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	281.98	16.53%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.322	m ³	49.80	16.03		
			P.E.	0.057	m ³	753.97	42.82		
	280	20%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	295.31	22.03%
			Agua	0.205	m ³	4.55	0.93		
			A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01		
			A.G.	0.303	m ³	49.80	15.08		
			P.E.	0.076	m ³	753.97	57.09		
280	25%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	308.64	27.54%	
		Agua	0.205	m ³	4.55	0.93			
		A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01			
		A.G.	0.284	m ³	49.80	14.14			
		P.E.	0.095	m ³	753.97	71.36			
280	30%	Cemento	10.351	Bolsa	20.50	212.19	321.97	33.05%	
		Agua	0.205	m ³	4.55	0.93			
		A.F.	0.242	m ³	41.35	10.01			
		A.G.	0.265	m ³	49.80	13.20			
		P.E.	0.114	m ³	753.97	85.64			

Tabla 133 Costo Unitario para diseño con reemplazo parcial de agregado grueso en $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Fuente propia)

Se observa en ambos casos de reemplazos parciales, que el valor de costo unitario aumenta progresivamente directamente al aumento de porcentaje de reemplazo parcial.

7.3. Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE triturado

Para obtener el beneficio de cada diseño planteado en la presente investigación se tomó en cuenta las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, asentamiento y densidad del concreto endurecido.

Para calcular el beneficio, dependiendo de la importancia se brindó factores para cada propiedad, en el caso de resistencia a la compresión un factor de 0.6, resistencia a la tracción indirecta un factor de 0.15, asentamiento un factor de 0.15 y densidad del concreto endurecido un factor de 0.10. Estos factores son multiplicados a cada porcentaje de variación, de esta forma calculamos el beneficio.

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Resistencia a la compresión		Resistencia a la tracción indirecta		Asentamiento		Densidad del concreto endurecido		Beneficio (%)	Costo (S/)
			kg/cm ²	Incidencia (%)	kg/cm ²	Incidencia (%)	in	Incidencia (%)	g/cm ³	Incidencia (%)		
PATRÓN	210	0%	278.99	132.85%	25.89	123.29%	3.2	106.67%	2.373	100%	124.21%	208.06
	280	0%	347.33	124.05%	31.25	111.60%	3.1	103.33%	2.385	100%	116.67%	241.99
CON HDPE TRITURADO (AGREGADO FINO)	210	5%	271.59	129.33%	31.20	148.57%	3.0	100.00%	2.347	101%	124.99%	216.36
		10%	228.47	108.80%	29.18	138.96%	2.8	93.33%	2.272	104%	110.57%	224.92
		15%	225.12	107.20%	27.84	132.56%	2.5	83.33%	2.240	106%	107.30%	233.74
		20%	202.74	96.54%	23.33	111.10%	2.0	66.67%	2.217	107%	95.29%	242.82
		25%	197.24	93.92%	22.71	108.13%	1.8	60.00%	2.165	110%	92.53%	252.14
		30%	190.88	90.89%	21.86	104.10%	1.5	50.00%	2.112	112%	88.89%	261.73
	280	5%	347.44	124.09%	35.09	125.30%	2.4	80.00%	2.351	101%	115.39%	249.51
		10%	349.06	124.66%	37.08	132.44%	2.3	76.67%	2.327	103%	116.41%	257.29
		15%	332.00	118.57%	33.70	120.37%	2.1	70.00%	2.306	103%	110.04%	265.33
		20%	318.24	113.66%	31.86	113.79%	1.5	50.00%	2.272	105%	103.26%	273.62
		25%	293.35	104.77%	29.82	106.52%	1.5	50.00%	2.215	108%	97.10%	282.17
		30%	265.53	94.83%	29.78	106.34%	1.2	40.00%	2.170	110%	89.84%	290.97

Tabla 134 Beneficio para diseños con reemplazos parciales de agregado fino en f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm² (Fuente propia)

7.4. Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE extruido

Para obtener el beneficio de cada diseño planteado en la presente investigación se tomó en cuenta las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, asentamiento y densidad del concreto endurecido.

Para calcular el beneficio, dependiendo de la importancia se brindó factores para cada propiedad, en el caso de resistencia a la compresión un factor de un factor de 0.6, resistencia a la tracción indirecta un factor de 0.15, asentamiento un factor de 0.15 y densidad del concreto endurecido un factor de 0.10. Estos factores son multiplicados a cada porcentaje de variación, de esta forma calculamos el beneficio.

Tipo de Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Porcentaje de Reemplazo (%)	Resistencia a la compresión		Resistencia a la tracción indirecta		Asentamiento		Densidad del concreto endurecido		Beneficio (%)	Costo (S/)
			kg/cm ²	Incidencia (%)	kg/cm ²	Incidencia (%)	in	Incidencia (%)	g/cm ³	Incidencia (%)		
PATRÓN	210	0%	278.99	132.85%	25.89	123.29%	3.2	106.67%	2.373	100%	124.21%	208.06
	280	0%	347.33	124.05%	31.25	111.60%	3.1	103.33%	2.385	100%	116.67%	241.99
CON HDPE EXTRUIDO (AGREGADO GRUESO)	210	5%	277.03	131.92%	31.68	150.86%	4.2	140.00%	2.312	103%	133.04%	221.39
		10%	279.98	133.33%	30.73	146.35%	4.0	133.33%	2.235	106%	132.57%	234.72
		15%	281.27	133.94%	28.72	136.74%	3.0	100.00%	2.190	108%	126.71%	248.05
		20%	243.49	115.95%	24.37	116.05%	3.0	100.00%	2.155	110%	112.99%	261.38
		25%	225.61	107.43%	24.09	114.73%	2.7	90.00%	2.098	113%	106.48%	274.71
		30%	200.88	95.66%	23.46	111.69%	3.2	106.67%	2.019	118%	101.90%	288.04
	280	5%	353.39	126.21%	36.92	131.85%	2.7	90.00%	2.309	103%	119.33%	255.32
		10%	355.77	127.06%	38.11	136.11%	3.2	106.67%	2.254	106%	123.24%	268.65
		15%	343.45	122.66%	37.19	132.81%	2.5	83.33%	2.223	107%	116.75%	281.98
		20%	327.52	116.97%	33.97	121.30%	1.9	63.33%	2.196	109%	108.74%	295.31
		25%	303.42	108.36%	31.06	110.94%	2.5	83.33%	2.141	111%	105.30%	308.64
		30%	270.06	96.45%	30.71	109.69%	2.8	93.33%	2.071	115%	99.84%	321.97

Tabla 135 Beneficio para diseño con reemplazos parciales de agregado grueso en f'c = 210 kg/cm² y f'c = 280 kg/cm² (Fuente propia)

7.5. Análisis Costo-Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE triturado

7.5.1. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para f'c = 210 kg/cm²

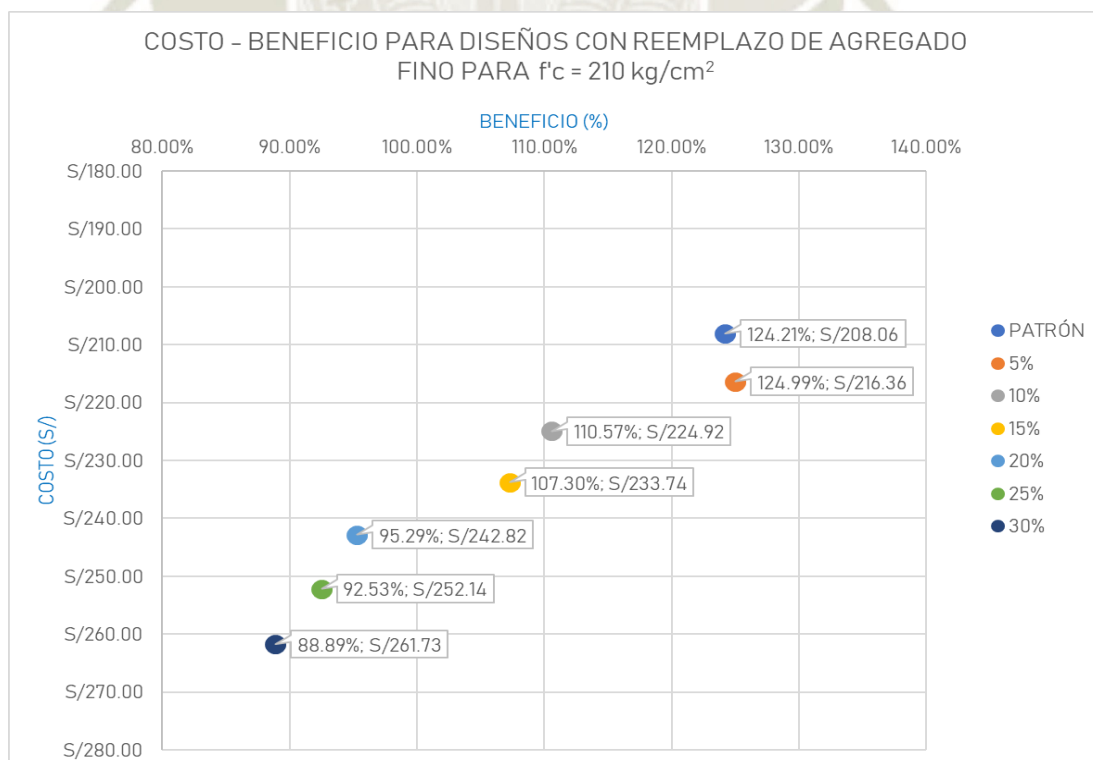


Figura 79 Gráfico de costo-beneficio para diseño f'c = 210 kg/cm² con reemplazo parcial de agregado fino (Fuente propia)

De la gráfica se puede observar que el diseño que brinda mayor beneficio es el valor de 5%, seguido muy de cerca por el diseño patrón. En relación al costo-beneficio el diseño más óptimo sería el patrón, seguido del de 5% y con el resto muy alejados en cuanto a beneficio y costo.

Los diseños que no se encuentran dentro del beneficio esperado son los diseños con reemplazo parcial de 20%, 25% y 30%.

7.5.2. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

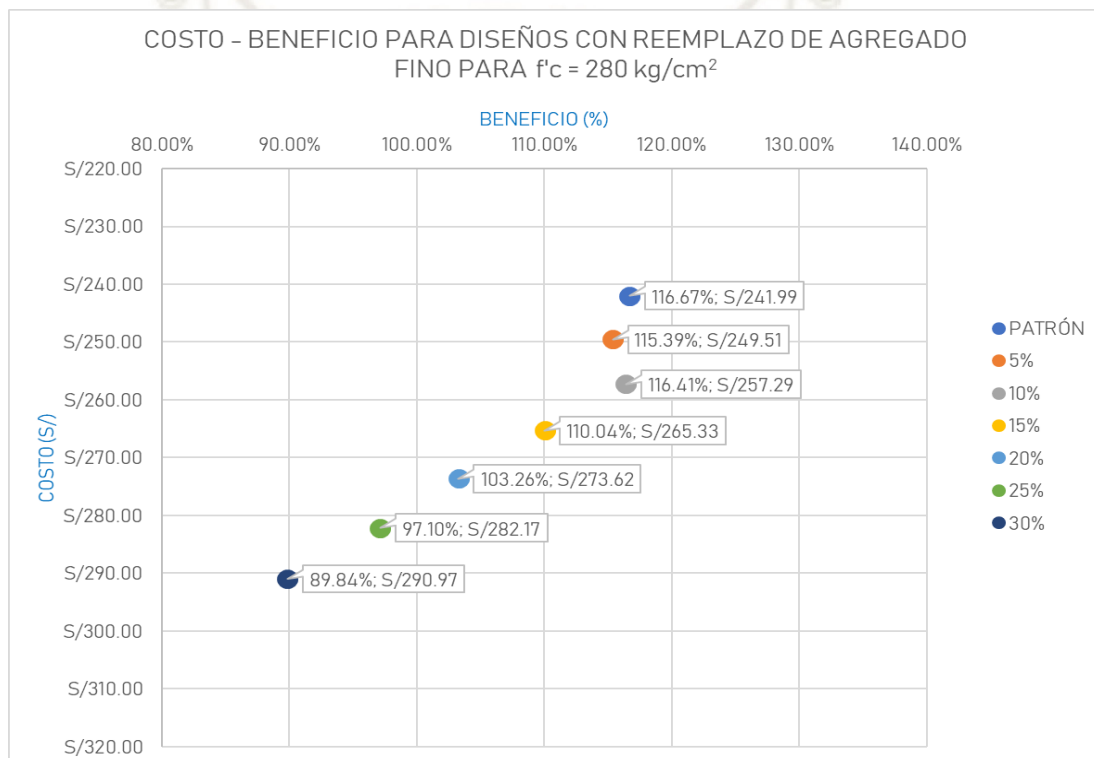


Figura 80 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino (Fuente propia)

De la gráfica se observa que el diseño con mayor beneficio es del diseño patrón, sin embargo, los diseños de reemplazo con 5% y 10% se encuentran muy próximos, aunque con un mayor costo unitario.

Los diseños que no se encuentran dentro del beneficio esperado son los diseños con reemplazo parcial de 20% y 30%.

7.6. Análisis Costo-Beneficio de concreto con reemplazo parcial de HDPE extruido

7.6.1. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

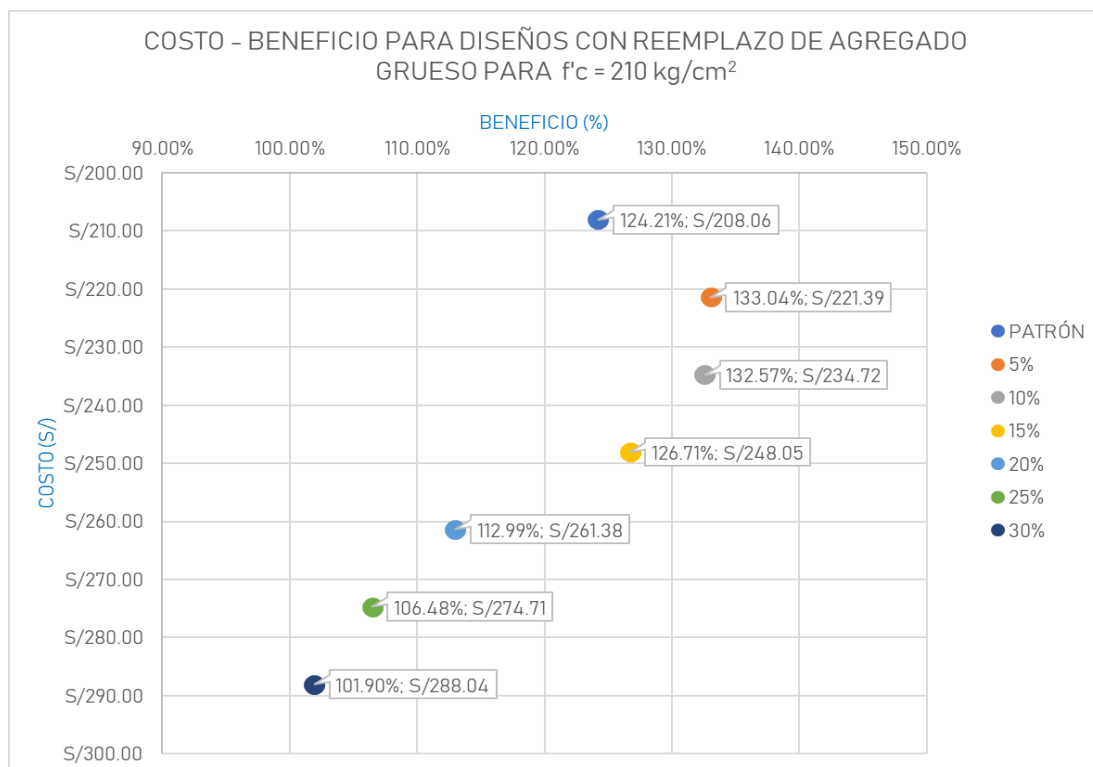


Figura 81 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso (Fuente propia)

De la gráfica se puede observar que el diseño con mayor beneficio es de reemplazo parcial de 5%, seguidos están el reemplazo de 10% y 15%. Esto se debería principalmente al incremento o por lo menos la conservación de la resistencia a compresión como de la tracción indirecta con respecto al patrón.

En este caso todos los valores presentan el beneficio esperado, pero con un costo que aumenta directamente proporcional al reemplazo.

7.6.2. Análisis Costo-Beneficio del diseño de reemplazo para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

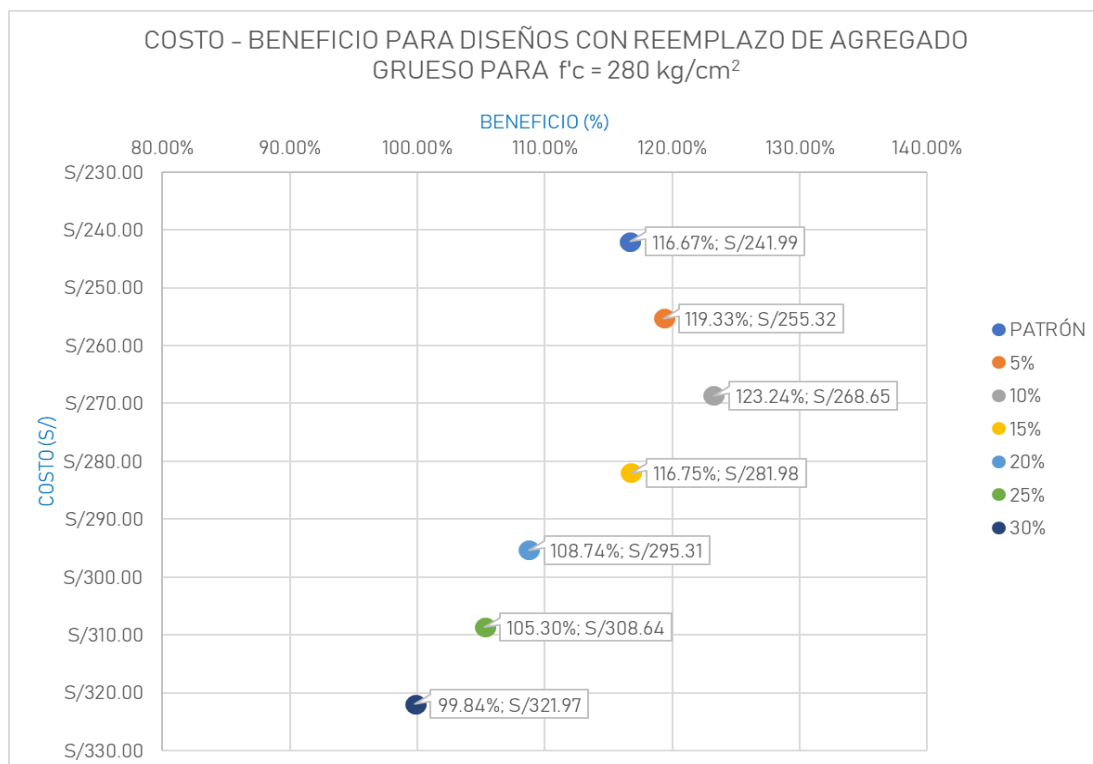


Figura 82 Gráfico de costo-beneficio para diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso (Fuente propia)

De la gráfica se puede observar que el diseño con mayor beneficio es de reemplazo parcial de 10%, sin embargo, este valor tiene un mayor costo. El valor que se encuentra en un punto medio en la relación costo-beneficio es de diseño con reemplazo parcial de 5%.

En este caso el único diseño que no tiene el beneficio esperado es de diseño con reemplazo parcial de 30%, el costo de los diseños aumenta directamente proporcional al reemplazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se determinó la influencia de reemplazar parcialmente residuos plásticos HDPE como agregado fino y grueso en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco y endurecido, utilizando diferentes porcentajes de reemplazo, donde se obtuvo cambios en propiedades como la resistencia a la compresión, tracción y abrasión, de acuerdo al porcentaje de reemplazo utilizado. También se apreciaron variaciones en las propiedades del concreto fresco a excepción ciertas propiedades como la temperatura la cual no fue alterada por los reemplazos parciales de agregados.

1. DE LA OBTENCIÓN DE HDPE

- 1.1. En la ciudad de Arequipa se registra una gran cantidad de residuos sólidos, específicamente en los residuos inorgánicos, los residuos HDPE corresponden a un alto porcentaje del total, por consiguiente, esto nos brinda una fácil obtención y recolección de este material, el cual puede ser usado para diferentes propósitos.
- 1.2. En la extrusión del HDPE una variable crítica a controlar es la temperatura en la que el material debe ser transformado. En este proceso se verificó que la temperatura adecuada de extrusión del HDPE sea de $130 - 135 \text{ }^\circ\text{C}$, al someter el HDPE a una temperatura incorrecta, este puede sufrir una alteración significativa e irreversible en su composición final.
- 1.3. En la construcción y la puesta en funcionamiento de la extrusora, las dimensiones, características y calidad de los materiales empleados determinan la eficiencia y la calidad del producto obtenido. Y al tratarse de un proceso complejo como lo son los polímeros, influyen además de la temperatura factores como tiempos y velocidades de extrusión.

2. DE LOS AGREGADOS HDPE

- 2.1. De la granulometría, se puede interpretar que el tamaño de partículas retenidas para una determinada malla está limitado por las especificaciones que se utilice para el proceso de triturado y/o picado. Esto afecta notablemente el módulo de fineza y la curva granulométrica que se obtenga de dicho material, en nuestro caso la mayor cantidad del material se encontraba entre las mallas N° 8 y N° 16 lo que provoca que el módulo de fineza sea de 4.1 y la curva tiende a estar por debajo de los límites recomendados por la Norma Técnica Peruana. Al igual el HDPE extruido se ve

afectado por los tamaños que el operario y la maquina extrusora provean. Esto afecta también al diseño de mezclas y las posteriores propiedades del concreto fresco y endurecido.

- 2.2. Con respecto al peso unitario, se realizó el ensayo para conocer cómo se comporta este material al aplicar dicho procedimiento. En relación al peso unitario suelto y compactado, se puede interpretar que el plástico triturado y/o picado no se comporta como los agregados pétreos convencionales. Valores de 0.351 g/cm^3 y 0.404 g/cm^3 para el peso unitario suelto y compactado respectivamente, sugieren que el plástico al ser un material elástico y que no se deforma permanentemente, tiende a ser difícil de compactar por métodos manuales y que dependen bastante de la graduación. De igual forma el HDPE extruido con valores de 0.411 g/cm^3 y 0.448 g/cm^3 .
- 2.3. En cuanto al peso específico, el HDPE extruido tiende a decrecer esta propiedad a medida que este pasa por el proceso de extrusión. Con respecto al peso específico teórico, el peso específico obtenido de las muestras cilíndricas se redujo en un 1%.
- 2.4. La resistencia a la abrasión que se realizó sobre el HDPE extruido, presentó una notable respuesta ante este ensayo. Mientras que al agregado grueso pétreo conseguía porcentajes de desgaste de entre 15% y 16%, el plástico solo se desgastaba en 1.25%. Esto se compatibiliza con la gran resistencia al impacto que presenta este material.

3. DEL DISEÑO DE MEZCLAS ACI

- 3.1. En cuanto al agregado HDPE triturado y el reemplazo por volumen de agregado fino, este consigue variar ligeramente la cantidad de agua añadida y el volumen del agregado grueso. Ligeramente el agua añadida debido a que al ser un material que no absorbe ni retiene humedad, no aporta ni quita agua al diseño por lo que esta variación solo corresponde al material de agregado fino que se reemplaza. Y del agregado grueso, ya que el HDPE triturado al poseer un módulo de fineza muy distinto al del agregado fino, lo modifica y por lo tanto modifica el volumen de agregado grueso en cada nivel de reemplazo.
- 3.2. De igual manera el HDPE extruido logra variar la cantidad de agua que se añade dependiendo del nivel de reemplazo sobre el agregado grueso. Además, al ser el agregado grueso el componente del concreto que más influye en el peso y volumen, el plástico de reemplazo altera el peso por unidad de volumen teórico del diseño de mezcla.

4. DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

- 4.1. La consistencia es una de las propiedades que más se ve afectada por el reemplazo de agregado HDPE triturado y extruido. Para resistencias de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la sustitución de agregado fino por HDPE triturado provoca una disminución del asentamiento de hasta un 50% mientras que el reemplazo de agregado grueso por HDPE extruido mantiene e incluso incrementa este valor hasta en un 30%. Para resistencias de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en el reemplazo del agregado fino hay una disminución del asentamiento de hasta el 63% y en el reemplazo del agregado grueso se mantiene en la mayoría de casos.
- 4.2. El peso unitario del concreto fresco se reduce debido a la ligereza del HDPE triturado y extruido. Para reemplazo del agregado fino, se observan reducciones de hasta 10%, y en cuanto al reemplazo del agregado grueso, de hasta el 13%.
- 4.3. El contenido de aire tiende a aumentar a medida que los niveles de reemplazo aumentaban, en el HDPE triturado un poco más que en el HDPE extruido; y esto se puede explicar debido a la resistencia que presenta el plástico a ser compactado, dejando pequeños vacíos dentro de la mezcla.

5. DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

- 5.1. El diseño de mezcla que obtuvo el mejor resultado fue de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 10% reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE, obteniendo un incremento porcentual en su resistencia a la compresión de 2.43% respecto a la mezcla patrón. Y en su resistencia a la tracción de 21.96% respecto a la mezcla patrón.
- 5.2. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa una disminución progresiva en su resistencia a la compresión con porcentajes respecto a la muestra patrón en 2.65%, 18.11%, 19.31%, 27.33%, 29.30% y 31.58% respectivamente.
- 5.3. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado, se observa un incremento mínimo en la resistencia a la compresión del 0.03% y 0.05% solo para los reemplazos del 5% y 10%, mientras que para el 15%; 20; 25% y 30% una disminución progresiva en 4.41%, 8.38%, 15.54% y 23.55% respectivamente.
- 5.4. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido, se observa una conservación de la resistencia a la

- compresión para los porcentajes de 5%; 10% y 15%, para luego disminuir en 12.73%, 19.13% y 28.00% en los porcentajes 20%; 25% y 30% respectivamente.
- 5.5. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa un incremento porcentual en su resistencia a la compresión a la mezcla patrón de 1.75%, 2.43%, para luego disminuir en 1.12%, 5.70%, 12.64% y 22.25% respectivamente.
- 5.6. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa un incremento porcentual en la resistencia a la tracción de 20.50%, 12.70%, 7.52%, para luego disminuir en 9.89%, 12.30% y 15.57% respectivamente.
- 5.7. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), la variación porcentual registrada en su resistencia a la tracción a la mezcla patrón inicia con un incremento de 12.28%, 18.67%, 7.86% y 1.96%, para luego disminuir en 4.56% y 4.71% respectivamente.
- 5.8. Para el diseño de mezcla de 210 kg/cm^2 con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa una variación porcentual en su resistencia a la tracción de 22.36%, 18.70%, 10.91%, y después disminuir en 5.87%, 6.49% y 9.41% respectivamente.
- 5.9. Para el diseño de mezcla de 280 kg/cm^2 con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se aprecia una tendencia con una variación porcentual en su resistencia a la tracción incrementando en 18.14%, 21.96%, 19.00% y 8.69%, para luego caer por debajo de la muestra patrón en 0.60% y 1.71% respectivamente.
- 5.10. Para los diseños de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado se observa un aumento en su resistencia a la abrasión respecto aumenta el reemplazo hasta 30%, teniendo un valor máximo de aproximadamente 130% en reemplazos de 25% y 30%.
- 5.11. Para el diseño de mezcla de 210 kg/cm^2 con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa una variación porcentual en su resistencia a la abrasión a la mezcla patrón de 27.56%, 59.23%, 53.23%, 84.68%, 125.79%, 129.41% respectivamente.

- 5.12. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), se observa una variación porcentual en su resistencia a la abrasión a la mezcla patrón de 61.01%, 86.52%, 161.28%, 161.41%, 154.01% y 154.49% respectivamente.
- 5.13. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), la variación de la densidad decrece progresivamente del 100% de la mezcla patrón en un 1.10%, 4.25%, 5.60%, 6.56%, 8.73% y 11.00% respectivamente.
- 5.14. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), la variación de la densidad decrece progresivamente del 100% de la mezcla patrón en un 1.45%, 2.44%, 3.32%, 4.75%, 7.13% y 9.02% respectivamente.
- 5.15. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), la variación de la densidad decrece progresivamente del 100% de la mezcla patrón en un 2.57%, 5.82%, 7.71%, 9.19%, 11.56% y 14.92% respectivamente.
- 5.16. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%), la variación de la densidad decrece progresivamente del 100% de la mezcla patrón en un 3.19%, 5.50%, 6.79%, 7.95%, 10.25% y 13.15% respectivamente.
- 5.17. En relación a los resultados de las ecuaciones de predicción de la resistencia a la flexión, se obtuvieron resultados muy próximos entre sí para los distintos tipos de reemplazo, especialmente en las mezclas de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.
- 5.18. La ecuación que presenta Salim resulta ser la que obtiene los valores más bajos encontrándose entre un 30% y 40% de los valores más altos. Esta relación baja que obtiene puede estar asociada a los ensayos que realizo con vigas y una configuración de carga de tres puntos que suelen dar resultados más bajos al ensayo con el punto de carga en el centro.
- 5.19. La mayoría de autores coinciden en que la resistencia a la compresión está más relacionada con la resistencia a la flexión que la resistencia a la tracción. Aun así, la ecuación que el investigador Baldo propone, se aproxima satisfactoriamente al resto de valores encontrados por las ecuaciones de los otros autores. Cabe resaltar que el uso de HDPE como agregado sugiere el incremento de resistencia a la tracción y flexión como principal aporte al concreto, por lo que una ecuación que

relacione la tracción vs flexión en lugar de la compresión vs flexión resulta más adecuada para este tipo de concreto.

6. DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO SOMETIDO A CALOR

- 6.1. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la compresión con porcentajes respecto a la muestra patrón de 12.65%, 24.61%, 26.19%, 42.17%, 42.86% y 42.95% respectivamente.
- 6.2. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución en su resistencia a la compresión con porcentajes respecto a la muestra patrón de 5.94%, 0.85%, 93.81%, 80.70%, 80.79%, 72.78% respectivamente.
- 6.3. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la compresión con porcentajes respecto a la muestra patrón de 5.76%, 6.64%, 7.60%, 28.12%, 30.82% y 32.06% respectivamente.
- 6.4. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la compresión con porcentajes respecto a la muestra patrón de 2.07%, 4.80%, 4.97%, 21.36%, 21.55% y 28.74% respectivamente.
- 6.5. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la tracción siendo el reemplazo de 5% con un incremento del 3.61% sobre el patrón el único que logra mantener la resistencia requerida.
- 6.6. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la tracción siendo el reemplazo de 5% con un incremento del 3.07% sobre el patrón el único que mantiene la resistencia requerida.

- 6.7. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la tracción siendo el reemplazo de 5% y 10% con un incremento del 12.39% y 3.36% respectivamente sobre el patrón los únicos que logran mantener la resistencia requerida.
- 6.8. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE triturado (5%; 10%; 15%; 20; 25%; 30%) y sometidos a un incremento de temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa una disminución progresiva en su resistencia a la tracción siendo el reemplazo de 5% y 10% con un incremento del 6.54% y 7.84% respectivamente sobre el patrón los únicos que mantienen la resistencia requerida.

7. DEL COSTO – BENEFICIO

- 7.1. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado, hubo un incremento de beneficio del 0.6% con respecto al diseño patrón.
- 7.2. Para el diseño de mezcla de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado fino por HDPE triturado, no hubo algún beneficio respecto al diseño patrón, aunque el reemplazo de 10% se aproxima demasiado.
- 7.3. Para el diseño de mezcla de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido, se tiene un aumento en el beneficio para reemplazos de 5%; 10% y 15%, sin embargo, el costo unitario aumenta en 5.51%; 11,02%; 16.53% respectivamente, en relación al diseño patrón.
- 7.4. El diseño de mezcla con mejor resultado de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo parcial de agregado grueso por HDPE extruido fue de 5% y 10%; incrementando el beneficio en 2.30% y 5.63% pero aumentando el costo unitario en 5.51% y 11.02% respecto al diseño patrón.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ampliar con investigaciones enfocados a características variables como los tamaños, formas y dimensiones de los agregados pétreos, HDPE y derivados; con el propósito de obtener graduaciones y características que puedan dar un margen más amplio a la hora de diseñar las mezclas con reemplazo y de esa forma determinar una combinación que provea mejores propiedades.
2. Se recomienda indagar en otras características importantes del HDPE como son el módulo de elasticidad, conductividad de calor, porosidad, etc. y de esta manera determinar otros usos que se le puede dar en la producción de concreto.
3. Se recomienda realizar ensayos en vigas de concreto bajo las normas pertinentes para determinar la resistencia a la flexión que realmente puede adquirir este material con el reemplazo de agregados pétreos por HDPE y derivados.
4. Se recomienda realizar un estudio que correlacione la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión para concreto con reemplazo de HDPE y derivados en diferentes niveles de reemplazo, así como determinar los diferentes usos que se puede llegar a dar a este tipo de material en el rubro de la construcción.
5. Se recomienda el estudio con la incorporación de aditivos, y observar el comportamiento en los porcentajes que presentaron menores beneficios a las propiedades como la consistencia y la resistencia a la compresión.
6. Se recomienda profundizar en el estudio del agregado HDPE en el concreto a diferentes temperaturas y condiciones de ensayo, y así determinar la variación de otras propiedades además de las mecánicas.
7. Se recomienda estudiar el comportamiento del concreto con la utilización del HDPE triturado y extruido de manera combinada en el concreto.
8. Se recomienda profundizar el estudio de la resistencia al impacto del concreto con reemplazos parciales de HDPE, ya que en esta investigación se puede observar que, de los diferentes ensayos, este concreto en particular adquiere cierta tenacidad.
9. Según nuestra experiencia, el mayor inconveniente que se podría presentar a la hora de elaborar agregado plástico para concreto serían los costos de producción, esto ocasionado por el costo de adquisición del HDPE. Por lo que se recomienda realizar un estudio técnico – económico de una planta de reciclaje de plástico para su utilización en la construcción como adición o reemplazo de agregados, o en la fabricación de unidades de albañilería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ababio E. (2015). *Equations for Predicting Flexural Strength and Compressive Strength of Plastic Concrete Pavement Blocks*. Civil and Environmental Research of Kumasi Polytechnic (Segunda edición, Vol. 7). Ashanti – Ghana.
- ASTM D7611. (2019). *Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Balbo J. (2013). *Relations between indirect tensile and flexural strenghts for dry and plastic concretes*. Revista IBRACON Estructural Materials (Sexta edición, Vol. 6). Sao Paulo – Brasil.
- Beltrán Rico, M. & Marcilla Gomis, A. (2012). *TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS PROCESADO Y PROPIEDADES*. (1era Edición). Alicante, España.
- Cáceres Vilca, E. (2018). *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL TIPO Y PORCENTAJE DE REEMPLAZO DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO, PARA DISEÑOS DE F'C 175, 210 Y 280 KG/CM2, EN LA CIUDAD DE AREQUIPA (Tesis de Pregrado ed.)*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- Carpio Fernández, E. &. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES CANTERAS DE PUZOLANA DE LA CIUDAD DE AREQUIPA PARA CONCRETOS DE RESISTENCIAS $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 EN EL AÑO 2017*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- INDECOPI NTP 339.035. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 339.046. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cubico, rendimiento y contenido de aire del hormigón*. (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 339.083. (2002). *HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión*. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 400.012. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (2da Edición ed.). Lima, Peru: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.

- INDECOPI NTP 400.017. (1999). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 400.019. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 400.022. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- INDECOPI NTP 400.021. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso* (2da Edición ed.). Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.
- López Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (Primera ed.). Lima, Perú: Capítulo Peruano ACI.
- Méndez Silva, E. (2012). *Propuesta para sustitución de agregados pétreos por agregados PET, en diseños de mezcla de concreto con resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, usado para banquetas, guarniciones y firmes.* Veracruz – México.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES.* Lima: MTC.
- Mohd. A (2011). *Evaluating the co-relationship between concrete flexural tensile strength and compressive strength.* International Journal of Structural Engineering of King Khilaid University, Abha – Arabia Saudita.
- Morales Carhuayano, M. (2016). *Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado.* Lima – Perú.
- Neville, A., & Brooks, J. (1988). *Tecnología del concreto* (Primera Edición ed., Vol. Tomo II). México D.F., México, México: Editorial Trillas.
- Palma J. (2012). *Diseño de Viviendas de Emergencia Económicas y Ecológicas Usando Materiales Reciclados.* Lima – Perú
- Russell H. (1997). *State of the art Report on High-Strength Concrete.* American Concrete Institute Committee 363, pp 23.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero* (Quinta Edición). Bogotá – Colombia

Selim P. (2008). *Experimental investigation of tensile behaviour of high strength concrete*. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. (Primera edición, Vol. 15). Trebisona - Turquía.

Shackelford, J. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid – España.

Yura, C. (2019). *Ficha técnica – Cemento Portland Puzolánico YURA IP*. Obtenido de www.yura.com.pe/productos

Zongjin L. (2011). *Advanced Concrete Technology*. Canadá



ANEXOS



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONSTANCIA

El que suscribe, **Dr. Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia** Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

MAURICIO RENE CALCINA PAREDES
CARLOS ARMANDO DELGADO MEDINA

(COD - 2012601481)
(COD - 2012400211)

Han realizado los ensayos en el Laboratorio de Suelos y Concreto correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS HDPE COMO REMPLAZO PARCIAL DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO PARA RESISTENCIAS F'C=210 Y 280 kg/cm², EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados por los señores Bachilleres fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN	C.U al 25%	CANTIDAD	TOTAL
Contenido de Humedad de Agregados	5	2 S/	10.00
Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos - Incluye Módulo de Fineza	12.5	4 S/	50.00
Peso Unitario Suelto	6.3	2 S/	12.60
Peso Unitario Varillado	8.8	2 S/	17.60
Abrasión Los Angeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Mayores a 3/4"	32.5	29 S/	942.50
Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6"	3	806 S/	2,418.00
Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	11.3	1 S/	11.30
Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	11.3	1 S/	11.30
		TOTAL S/	3,473.30

El costo total de los ensayos realizados asciende a: S/. 3,473.30

El costo cancelado por dichos ensayos asciende a: S/. 1,215.66* (Comprobante BO17-00002374)

*Según descuento tipo C autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, se llevaron a cabo entre el 13/11/18 y el 29/03/19

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para continuidad en el trámite de titulación.

Arequipa, 26 de junio del 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA


Dr. Ing. ALEJANDRO VÍCTOR HIDALGO VALDIVIA
COORDINADOR DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
EPIC - FAICA - CAMPUS PARQUE INDUSTRIAL

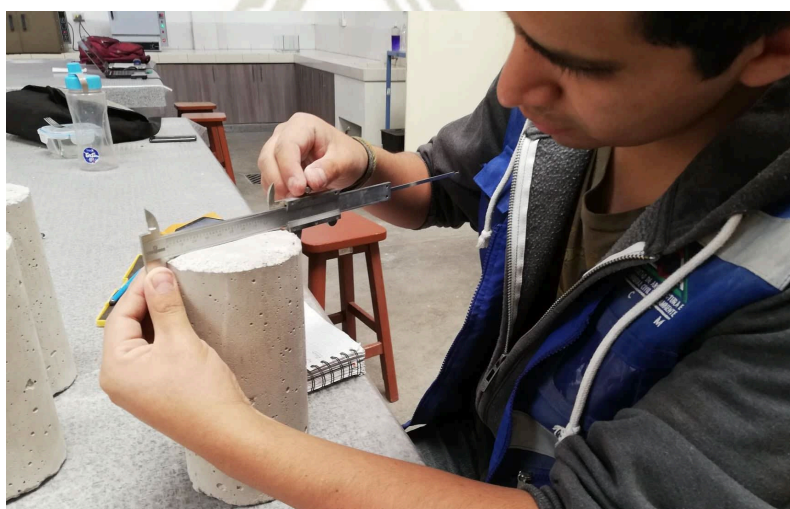
EQUIPOS EMPLEADO EN LABORATORIO



Área de preparación del concreto



Balanza digital con exactitud de $\pm 0.5g$



Calibre Vernier para las mediciones



Termómetro digital para la medición de la temperatura en la mezcla fresca



*Tamices graduados para el análisis
granulométrico*



*Olla de 1/3 de pie³ para el peso unitario
suelto y compactado*



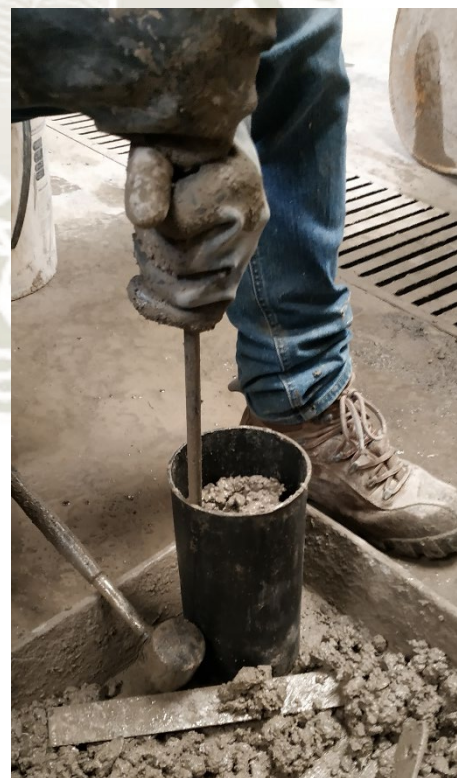
Equipo para realizar el cuarteo de las muestras



Mezcladora de 250 litros para la fabricación de concreto fresco

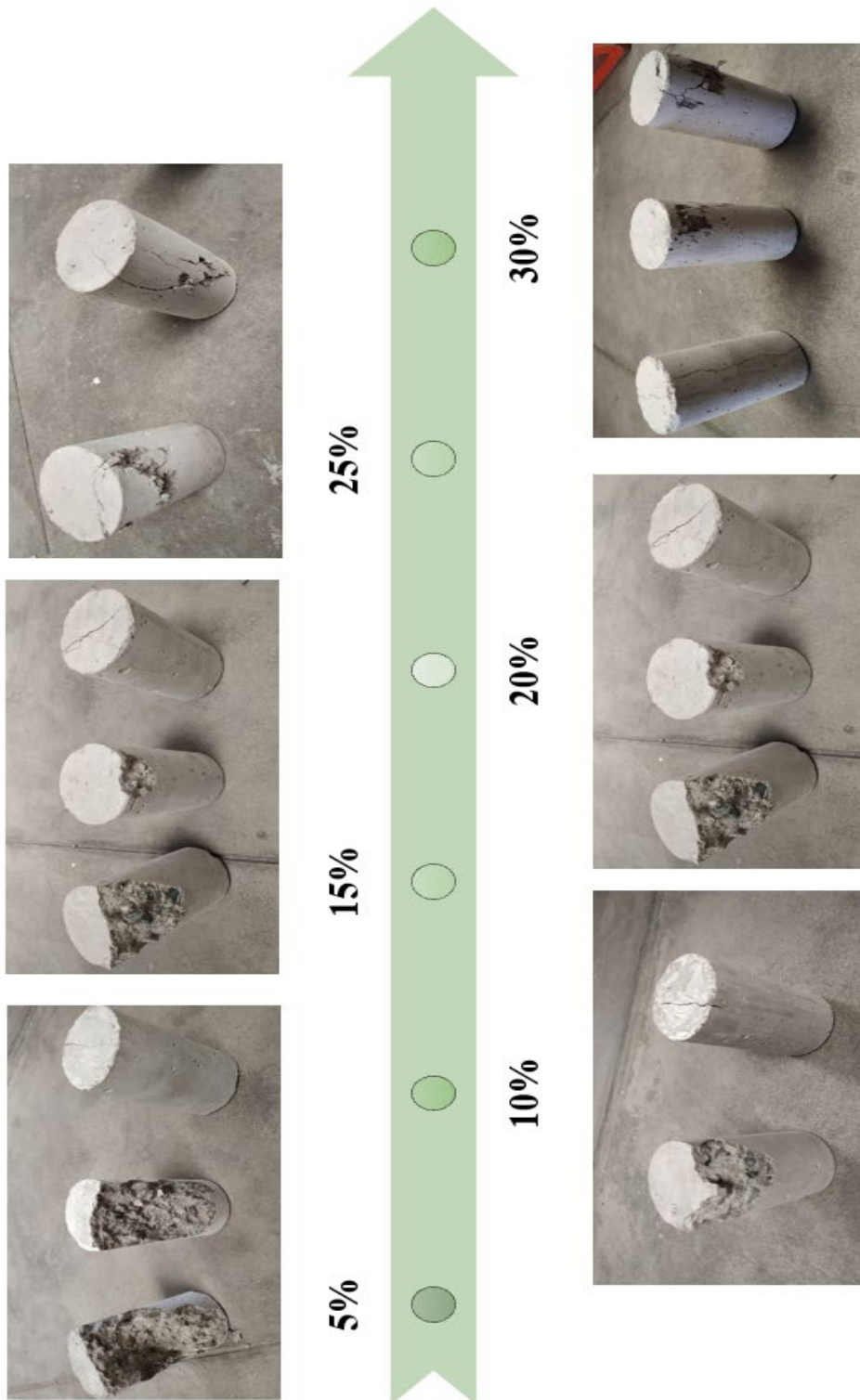


Cono de Abrams para el ensayo de asentamiento

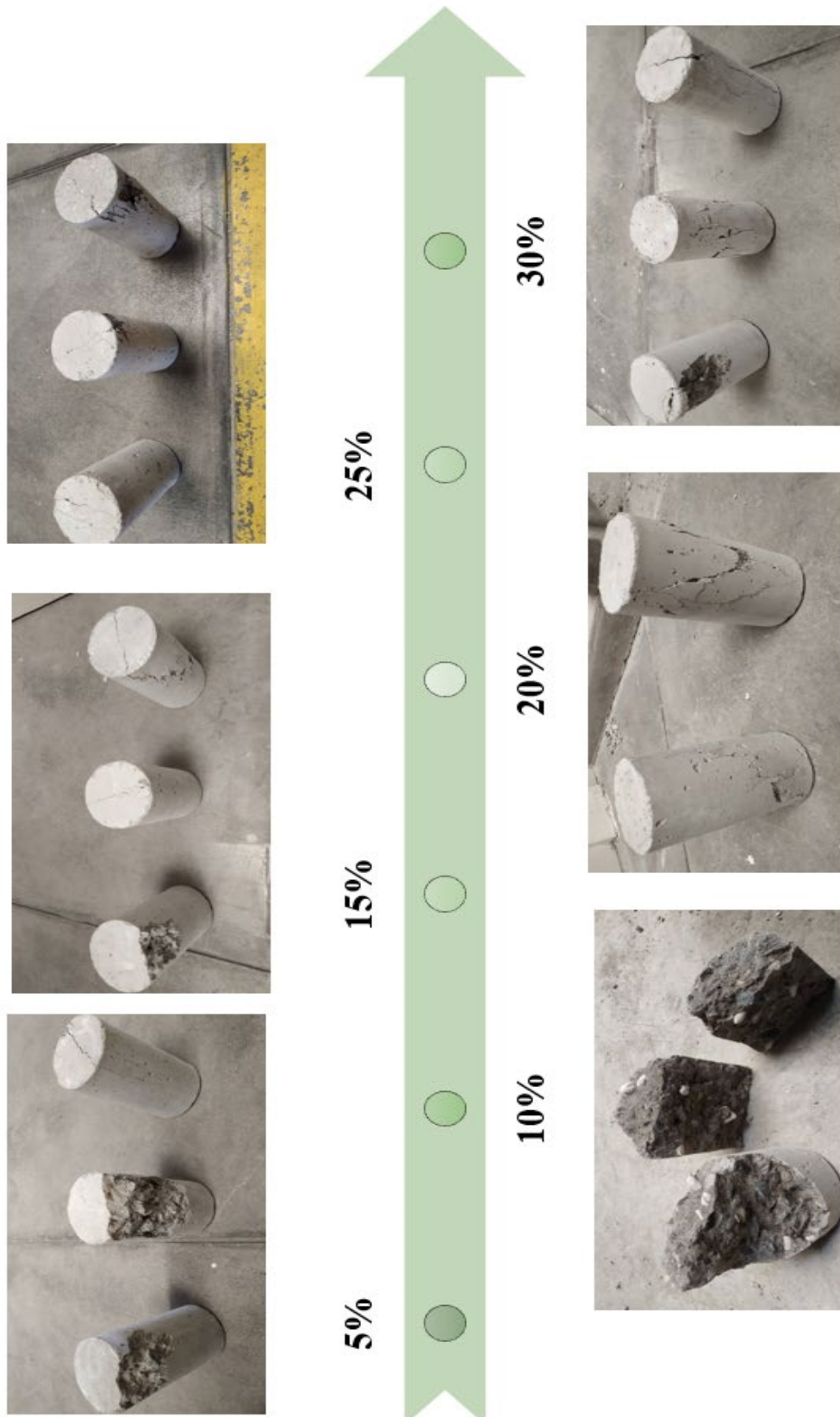


Moldes de testigos de 4" de diámetro x 8" de altura

Evolución de reemplazo parcial de HDPE extruido en concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$:



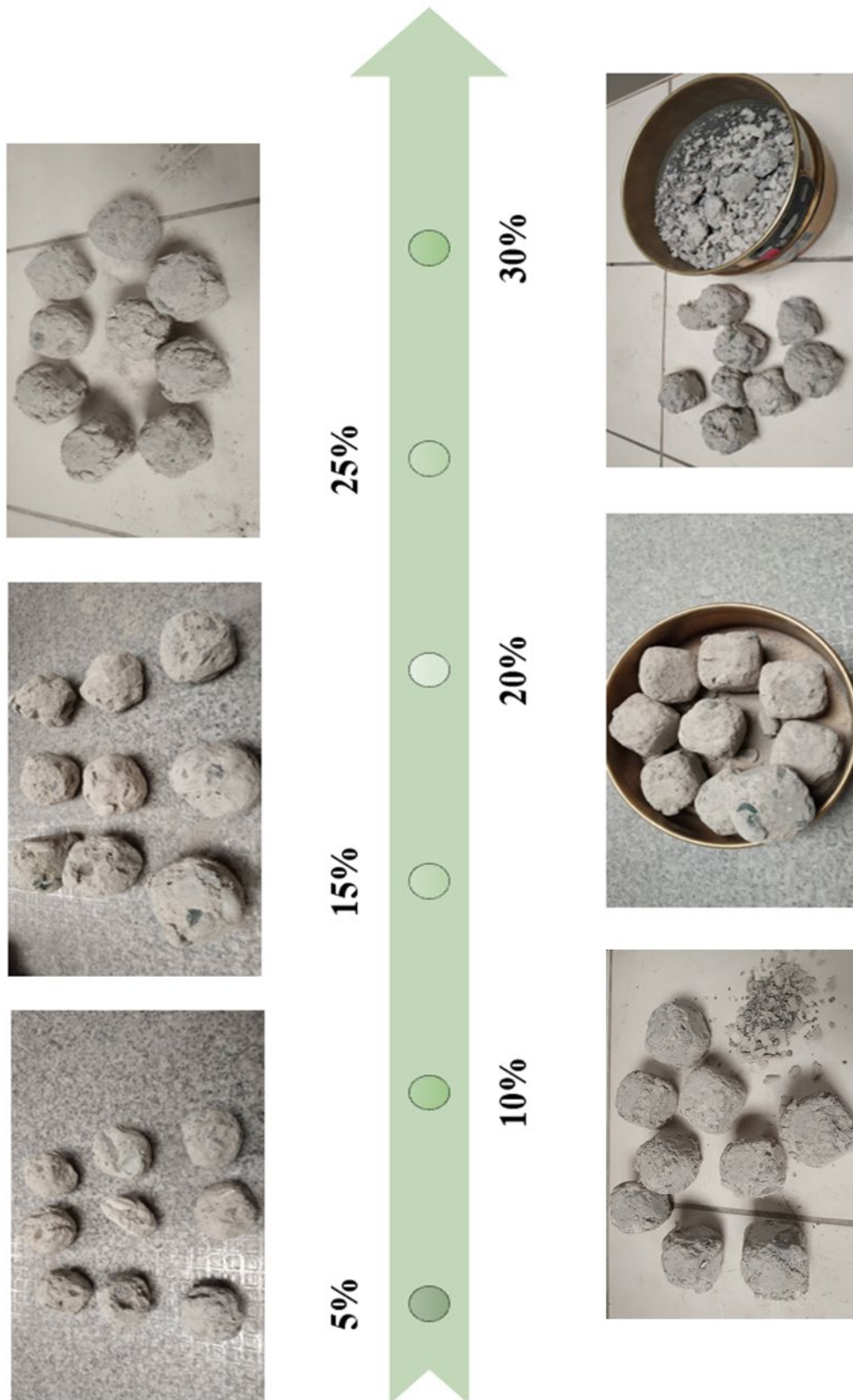
Evolución de reemplazo parcial de HDPE extruido en concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$:



Evolución de reemplazo parcial de HDPE triturado en concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$:



Evolución de reemplazo parcial de HDPE extruido en concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en ensayo de resistencia a la abrasión:



ESPECIFICACIONES DEL PIROMETRO

Pirómetro PCE-889B

pirómetro de mano profesional para detectar la temperatura sin contacto / Ajuste del grado de emisividad / Óptica de 30:1 / Rango: -50 ... +1000 °C / Doble rayo láser / Indicación del valor máximo



Pirómetro PCE-889B

- Óptica de 30:1
- Rango: -50 ... +1000 °C
- Indicación del valor máximo

- Ajuste del grado de emisividad
- Doble rayo láser
- Pantalla con iluminación de fondo

Especificaciones técnicas

Rango	-50 ... +1000 °C
Resolución	0,1 °C
Precisión	±1 %
Tiempo de respuesta	<150 ms
Óptica	30:1
Ajuste del grado de emisividad	0,1 ... 1,0
Rango espectral	8 ... 14 μm
Rayo láser para visar	Doble rayo láser (clase 2)
Dimensiones	146 x 104 x 43 mm
Peso	163 g
Unidades de temperatura	°C / °F
Funciones en pantalla	Función HOLD, desconexión automática, indicación valor máximo
Iluminación de fondo	Sí
Indicador al sobrepasar un valor límite	Sí
Función de medición continua	Sí
Alarma	Sí
Alimentación	1 x pila de 9 V

DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO ACI

Para un concreto de características:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Agua potable de la zona

Condiciones de exposición normales

Cemento: Yuta IP

Reemplazo parcial de 5% de Agregado fino por HDPE triturado

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Materiales	PE (kg/m ³)	PU suelto (kg/m ³)	PU compactado (kg/m ³)	Porcentaje de humedad (%)	Porcentaje de absorción (%)	Módulo de fineza	TMN (in)
Cemento	2850	-	-	-	-	-	-
Agua	1000	-	-	-	-	-	-
Agregado Fino	2490	1543	1676	0.115	2.30	2.72	-
Agregado Grueso	2712	1540	1635	0.146	0.74	6.31	3/4
HDPE triturado	950	0.351	0.404			4.1	

Módulo de Fineza combinado: 2.79

Método ACI

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia especificada

Caso 1 y Caso 2 requieren de datos estadísticos

Caso 3: No tiene datos o es muy escaso

$f'c$	$f'cr$
<210	$f'c + 70$
210-350	$f'c + 84$
>350	$f'c + 98$

$$f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

- Selección del TMN: $\frac{3}{4}''$
- Selección del Asentamiento (Tabla): $3''$ a $4''$
- Selección del Volumen Unitario del Agua (Tabla): 205 l
- Relación agua/cemento (Tabla): 0.558
- Determinación del factor cemento: $\frac{\text{agua}}{a/c} = \frac{205}{0.558} = 367.38 \text{ kg/m}^3$
 $= 8.64 \text{ bolsas/m}^3$
- Determinación del contenido de agregado grueso (Tablas):
Peso del agregado grueso:

$$0.621 * 1635 = 1015.49 \text{ kg/m}^3$$

8. Suma de Volúmenes Absolutos

Cemento	0.129 m ³
Agua	0.205 m ³
Aire	0.020 m ³
Agregado Grueso	0.374 m ³
Suma de Pesos	0.728 m ³

9. Determinación volumen de agregado fino: $1 - 0.728 = 0.272 \text{ m}^3$

10. Volumen de HDPE triturado

Para este diseño realizaremos un reemplazo parcial por volumen

	Volumen	Peso
Ag. fino completo	0.272 m ³	676.40 kg
HDPE triturado	0.014 m ³	33.82 kg
Ag. fino	0.258 m ³	642.581 kg

11. Corrección por Humedad

Material	Peso Seco (kg)	Humedad (%)	Peso Corregido (kg)
Ag. Grueso	1015.49	1.00146	1016.973
Ag. Fino	642.58	1.00115	643.319
HDPE triturado	33.82	1	33.82

12. Corrección por Absorción

Material	Absorción (%)	Humedad (%)	Aporte Humedad (l)
Ag. Grueso	0.74	0.146	-6.073
Ag. Fino	2.30	0.115	-14.040
HDPE triturado	0	0	
		Agua añadida	-20.113

13. Relación de Peso Finales

Materiales	Volúmenes Absolutos	Peso por 1 m ³		Relación de pesos
		Seco	Húmedo	
Cemento	0.129	367.38	367.38	1
Agua	0.205	205	225.11	0.61
Agregado Fino	0.258	642.58	643.32	1.75
Agregado Grueso	0.374	1015.50	1016.98	2.77
HDPE triturado	0.014	12.90	12.90	0.035