



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

DISEÑO DE CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE A PARTIR DE POLIESTIRENOS EXPANDIDOS

Julián Camilo Gutiérrez Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola, Departamento de ingeniería
"Bogotá D.C, Colombia"

DISEÑO DE CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE A PARTIR DE POLIESTIRENOS EXPANDIDOS

Julián Camilo Gutiérrez Rodríguez

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Civil-Estructuras

Director (a):

Título (Msc, Ph.D., Ingeniero Civil.) Julián David Puerto Suarez

Línea de Investigación:

Materiales para estructuras

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola, Departamento de ingeniería

Bogotá D.C, Colombia

Año 2021

Dedicatoria

Agradezco principalmente a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Me faltan palabras para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de mi Maestría.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis padres que, con su dedicación y esfuerzo, me brindan apoyo para seguir adelante y poder cumplir mis metas personales y profesionales.

Declaración de obra original

Yo Julián Camilo Gutiérrez Declaro que:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre: Julián Camilo Gutiérrez Rodríguez

Fecha 16/06/20

Agradecimientos

A Dios por darme salud y bendecirme día a día para ejecutar mis labores diarias, a todos mis familiares, a mis padres que siempre han sido un pilar fundamental en todos los caminos que he tomado y los logros que he conseguido, a mis abuelas que son orgullo y ejemplo a seguir de una familia sólida.

A mi director de Trabajo de grado (Msc, Ph.D., Ingeniero Civil.) Julián David Puerto Suarez, quien me ofreció consejos y sabiduría en todo el desarrollo de la investigación, así mismo como todas las correcciones que pudieron ir surgiendo al continuar indagando en la Tecnología del concreto

A la Universidad Nacional de Colombia y los docentes que me aportaron consejos y que labraron el paso a paso de los resultados que he obtenido en mi vida profesión

Resumen

El concreto es un material que es reconocido y utilizado con gran frecuencia en la construcción de edificaciones, estructuras y Obras de ingeniería civil en general, debido a que es un material que tiene la capacidad de adoptar diferentes formas, es relativamente económico, excelentes cualidades al resistir el fuego y gran durabilidad entre otras, aunque es un material de bastantes cualidades también tiene algunas deficiencias como son:

1. Estructuras con excesivo peso y volumen.
2. Algunas Obras con gran arquitectura, pero un deficiente comportamiento sísmico debido a su gran masa y peso.
3. Altos costos en estructuras de gran altura y luces debido a que las secciones de los elementos estructurales tienen que ser más mayores esto incrementa considerablemente el peso de la estructura y así su capacidad de resistir las fuerzas sísmicas, igualmente elevando el precio de la construcción.

Debido a estas problemáticas el objetivo de esta investigación es evaluar por medio de ensayos de laboratorio, el comportamiento de las mezclas de concreto autocompactante y ligero (con adición de poliestirenos expansivos), con el fin de:

1. Reducir el peso de las estructuras.
2. Mejorar su comportamiento ante cargas sísmicas.
3. Reducir el costo en obras de gran importancia.
4. Mejorar la fluidez del concreto y su alta cohesividad al no necesitar de vibrado para compactarse.

El concreto ligero tiene como característica principal que su peso volumétrico es menor a los 1900kg/m^3 , en comparación con un concreto estándar que su peso es de 2400Kg/m^3 , tiene mayor manejabilidad y mejores comportamientos al recibir cargas sísmicas.

Para realizar adecuadamente el procedimiento de determinar la mezcla adecuada para un concreto autocompactante y que adicionalmente tenga las propiedades de un concreto ligero se realizaran diferentes ensayos desde la caracterización del material (agregado Grueso y fino) así mismo como los ensayos a realizar para un concreto autocompactante.

Palabras Clave: (CAC) Concreto autocompactante, Reología, compresión.

Abstract

Lightweight and self-compacting concrete design from expanded polystyrenes

Currently the demand for the construction of civil works either in homes for the population or in structures of different type of occupation such as a hospital or institutional buildings, and even of occupation, industrial, due to the exponential increase of the infrastructure in the country as in the world is considerable, there is a need constant use of materials from stone and others for the construction of the same (Steel).

Concrete is a material widely recognized in the construction of structures and civil engineering Works, because it is a material that has the ability to take different forms, it is relatively inexpensive, excellent qualities to withstand fire and great durability among others, although it is a material of many qualities also has some shortcomings such as:

- Structures with excessive weight and volume.
- Some works with great architecture, but a poor seismic behavior due to their great mass and weight.
- High costs in high-rise structures and lights because the sections of the structural elements have to be larger this considerably increases the weight of the structure and thus its ability to withstand seismic forces, also raising the price of construction.

Due to these problems, the objective of this research is to evaluate, through laboratory tests, the behavior of self-compacting and lightweight concrete mixtures (with the addition of expansive polystyrenes), in order to:

- Reduce the weight of structures.
- Improve seismic load behaviour Reduce the cost in major Works.
- Improve the fluidity of concrete and its high cohesiveness by not needing vibration to compact.

Light concrete has as main characteristic that its volumetric weight is less than $1900\text{kg} / \text{m}^3$, compared to a standard concrete that its weight is $2400\text{kg} / \text{m}^3$, has greater manageability and better behaviors when receiving seismic loads.

To adequately perform the procedure to determine the proper mixture for concrete self-compacting and additionally has the properties of a light weight concrete is made different trials from the characterization of the material (Coarse aggregate and fine) as well as tests for concrete self-compactin.

Keywords: (CAC) Self-compacting concrete, Rheology, compression.

Contenido

INTRODUCCION

ANTECEDENTES	XXIV
CONCRETO LIGERO	XXVI
CONCRETO AUTOCOMPACTANTE (CAC)	XXVIII
REOLOGÍA DEL CONCRETO	XXX

MATERIALES..... XXXVII

1. CAPÍTULO METODOLOGÍA 40

1.1 Caracterización de los Agregados Utilizados en el CAC y ligero	40
1.2 Ensayos en el cemento	40
1.3 Ensayos en concreto ligero y autocompactante en estado fresco	41
1.4 Ensayos en estado endurecido	41
1.5 DIAGRAMA DE FLUJO CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE	42

2. CAPITULO MARCO TEORICO 43

2.1 Clasificación de los agregados.....	43
2.2 Clasificación por tamaño de los agregados:	44
2.3 Clasificación por forma o estructura de los agregados:	44
2.4 Clasificación por origen:	44
2.4.1 Agregados de origen ígneo:	45
2.4.2 Agregados de origen sedimentario:.....	45
2.4.3 Agregados de origen metamórfico:.....	45
2.4.4 Clasificación por color.....	45
2.4.5 Clasificación por peso específico.	45
2.5 AGREGADOS PARA CONCRETOS LIGEROS	46
2.5.1 TIPOS DE AGREGADOS.....	46
CLINKER.....	46
ESCORIA ESPUMOSA	46
ARCILLA EXPANDIDA.....	47
CENIZAS DE COMBUSTIBLE PULVERIZADO	47
VERMICULITA EXFOLIADA	47
PERLITA EXPANDIDA.....	48
PIEDRA POMEZ	48
POLIESTIRENO EXPANDIDO	48
2.6 CONCRETOS LIGEROS	49
2.7 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES (CAC)	50
2.8 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES Y LIGEROS	51
2.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA, PESO VOLUMETRICO, HABILIDAD DE PASO, FLUJO Y VISCOSIDAD DE LOS CONCRETOS LIGEROS Y AUTOCOMPACTANTES	52
2.9.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	52
2.9.2 CANTIDAD DE CEMENTO	52

2.9.3 CANTIDAD DE AGUA Y CONSISTENCIA.....	52
2.9.4 MEZCLA Y DOSIFICACION DEL CONCRETO	53
ENSAYOS DE LABORATORIO EN LOS AGREGADOS.....	54
3. CAPÍTULO CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA EL CAC Y LIGERO	54
3.1 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS PARA EL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 77.	54
3.1.1 Materiales	54
3.1.2 Aparatos de laboratorio	56
3.1.3 Procedimiento.....	57
3.1.4 Resultados del ensayo	59
3.1.4.1 Análisis Granulométrico Grava.....	60
3.1.4.2 Análisis Granulométrico Roca Pumita	61
3.1.5 Cálculos.....	62
3.1.5.1 Coeficiente de uniformidad.....	62
3.1.5.2 Coeficiente de curvatura.....	63
3.1.6 Resumen de resultados.....	63
3.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN LOS AGREGADOS FINOS PARA EL CAC Y AUTOCOMPACTANTE A PARTIR DE LA NTC 127	64
3.2.1 Procedimiento.....	64
3.2.2 Resultados.....	64
3.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABSORCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO A PARTIR DE LA NTC 237	65
3.3.1 Aparatos de laboratorio	66
3.3.2 Procedimiento.....	66
3.3.3 Resultados.....	67
3.3.4 Cálculos.....	67
3.3.4.1 Densidad Aparente.....	67
3.3.4.2 Densidad Aparente (Base saturada y superficialmente seca).....	68
3.3.4.3 Densidad Nominal	68
3.3.4.4 Absorción.....	69
3.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABOSRCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA Y ROCA PUMITA) A PARTIR DE LA NTC 176	70
3.4.1 Aparatos de Laboratorio	70
3.4.2 Procedimiento.....	71
3.4.3 Resultados.....	71
3.4.3.1 Grava.....	71
3.4.3.2 Roca Pumita	72
3.4.4 Cálculos.....	72
3.4.4.1 Densidad aparente	72
3.4.4.2 Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca).....	72
3.4.4.3 Densidad Nominal	73
3.4.4.4 Absorción.....	73
3.5 ENSAYO PARA ESTABLECER EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ 75µM NO 200 A PARTIR DE LA NTC 78	75
3.5.1 Procedimiento.....	75
3.5.2 Resultados.....	76

3.6	ENSAYO PARA ESTABLECER LOS VACIOS DE LOS AGREGADOS Y LA MASA UNITARIA A PARTIR DE LA NTC 92	77
3.6.1	Aparatos de laboratorio	77
3.6.2	Procedimiento.....	78
3.6.3	Resultados.....	79
3.6.4	Cálculos.....	79
3.6.4.1	Masa Unitaria	79
3.6.4.2	Contenido de vacíos.....	80
3.6.5	Resumen de resultados.....	80
3.7	ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD EN PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) A PARTIR DE LA INV E 227-13	82
3.7.1	Aparatos de Laboratorio	82
3.7.2	Procedimiento.....	82
3.7.3	Resultados.....	84
3.7.4	Cálculos.....	84
3.7.5	Resumen de resultados.....	85
3.8	ENSAYO PARA ESTABLECER EL INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS (GRAVA) A PARTIR DE LA INV E 230-13 ..	85
3.8.1	Procedimiento.....	86
3.8.2	Aparatos de laboratorio	86
3.8.3	Procedimiento.....	86
3.8.4	Resultados.....	88
3.8.5	Cálculos.....	88
3.8.5.1	Índice de Aplanamiento y Alargamiento	88
3.8.6	Resumen de resultados.....	89
3.9	ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS (GRAVA) A PARTIR DE LA NTC 93-13	90
3.9.1	Aparatos de laboratorio	90
3.9.2	Procedimiento.....	90
3.9.3	Resultados.....	91
3.9.4	Cálculos.....	92
3.9.4.1	Porcentaje de desgaste.....	92
3.9.5	Resumen de resultados.....	92
3.9.6	Análisis de resultados.....	93
3.10	ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD DE PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS A PARTIR DE LA NTC -130	93
3.10.1	Aparatos de laboratorio	93
3.10.2	Procedimiento.....	93
3.10.3	Resultados.....	94
3.10.4	Cálculos.....	95
3.10.4.1	Porcentaje de partículas Livianas.....	95
3.10.5	Resumen de resultados.....	96
4.	ANALISIS DE RESULTADOS (ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS)	97
4.1	ANALISIS GRANULOMETRICO	97
4.2	ENSAYO PARA ESTABLECER LAS IMPUREZAS ORGANICAS DE LOS AGREGADOS FINOS	98
4.3	ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABSORCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO	98

4.4	ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABSORCIÓN Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO	99
4.5	ENSAYO PARA ESTABLECER EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ 75µM NO 200.....	100
4.6	ENSAYO PARA ESTABLECER LOS VACIOS DE LOS AGREGADOS Y LA MASA UNITARIA	100
4.7	ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD EN PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA)	101
4.8	ENSAYO PARA ESTABLECER EL INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS (GRAVA).....	101
4.9	ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS (GRAVA)	102
4.10	ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD DE PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS.....	102
5.	CAPÍTULO - ENSAYOS EN EL CEMENTO HIDRÁULICO	103
5.1	ENSAYO PARA ESTABLECER LA FINURA EN EL CEMENTO HIDRÁULICO A PARTIR DE LA NTC-33.....	103
5.1.1	Aparatos de laboratorio	103
5.1.2	Procedimiento.....	103
5.1.3	Resultados.....	104
5.1.4	Cálculos.....	105
5.1.4.1	Determinación del volumen de la capa compactada de cemento	105
5.1.4.2	Masa de la muestra	105
5.1.4.3	Superficie específica	106
5.1.5	Resumen de resultados.....	107
5.2	ENSAYO PARA ESTABLECER LA DENSIDAD DEL CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-221	108
5.2.1	Aparatos de laboratorio	108
5.2.2	Procedimiento.....	108
5.2.3	Resultados.....	109
5.2.4	Cálculos.....	109
5.2.5	Resumen de resultados.....	110
5.3	ENSAYO PARA ESTABLECER LOS TIEMPOS DE GRAGUADO DEL CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-118.....	110
5.3.1	Aparatos de laboratorio	111
5.3.2	Procedimiento.....	111
5.3.3	Resultados.....	112
5.4	ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-220.....	113
5.4.1	Aparatos de laboratorio	113
5.4.2	Procedimiento.....	113
5.4.3	Resultados Fluidéz del cemento Hidráulico.....	116
5.4.4	Cálculos.....	117
5.4.4.1	Porcentaje de fluidez	117
5.4.5	Resultados Resistencia a la compresión.....	117
5.4.6	Cálculos resistencia a la compresión	118
5.4.7	Resumen de resultados.....	118

6. ANALISIS DE RESULTADOS A LOS ENSAYOS EN EL CEMENTO HIDRÁULICO	119
6.1 ENSAYO PARA ESTABLECER LA FINURA EN EL CEMENTO HIDRÁULICO	119
6.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA DENSIDAD DEL CEMENTO	119
6.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LOS TIEMPOS DE GRAGUADO DEL CEMENTO	120
6.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO	120
7. CAPÍTULO - POLIESTIRENO EXPANDIDO	122
7.1 CARACTERISTICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO	122
7.1.1 Descripción	122
7.1.1.1 Ventajas.....	122
7.1.1.2 Conductividad térmica	122
7.1.1.3 Permeabilidad.....	123
7.1.1.4 Resistencia mecánica.....	123
7.1.1.5 Resistencia al corte	124
7.1.2 Propiedades del poliestireno expandido.....	124
7.1.3 Análisis del poliestireno expandido.....	125
8. CAPITULO. ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO EN ESTADO FRESCO	126
8.1 DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO (NSR-10 Y ACI C211.2 y C237).....	126
8.1.1 Especificaciones	126
8.1.2 Resistencia de diseño f_{cr}	127
8.1.3 Contenido de cemento.....	127
8.1.4 Contenido de agua	129
8.1.5 Dosificación de agregados (ACI 211).	131
8.1.5.1 Módulo de finura (Agregado Fino).....	131
8.1.5.2 Volumen de Agregado grueso.....	132
8.1.5.3 Volumen de Agregado fino	134
8.1.6 Diseño de mezcla-concreto autocompactante (ACI C237.2).....	136
8.1.7 Contenido de cemento y proporciones de la mezcla (ACI C237.2).....	138
8.1.8 Corrección de contenido de Agua por Aditivo (ACI C237.2)	138
8.1.9 Resumen diseño de mezcla	139
8.1.10 Diseños de mezcla experimentales	139
8.2 REOLOGIA DE LA MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO	141
8.2.1 Aparatos de laboratorio	141
8.2.2 Procedimiento.....	141
8.2.3 CLASES DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE (CAC)	142
8.2.4 Cálculos y resultados Obtenidos	143
8.2.4.1 Velocidad y Momento Torsor.....	143
8.2.4.2 Parámetros reológicos.....	146
8.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA SEGREGACIÓN, EL FLUJO RESTRINGIDO Y EL FLUJO LIBRE EN CAC A PARTIR DE LA NTC 5222.....	147
8.4 FLUJO LIBRE.....	147
8.4.1 Aparatos de laboratorio	147
8.4.2 Procedimiento.....	147

8.4.3	Cálculos y resultados.....	148
8.5	METODOLOGIA DE LA CAJA EN FORMA DE "L"	149
8.5.1	Aparatos de laboratorio	149
8.5.2	Procedimiento.....	149
8.5.3	Cálculos y resultados.....	150
8.6	METODOLOGÍA DEL ANILLO J PARA ESTABLECER LA HABILIDAD DE PASO DEL CAC Y LIGERO.....	151
8.6.1	Aparatos de laboratorio	151
8.6.2	Procedimiento.....	151
8.6.3	Cálculos y resultados.....	153
8.6.3.1	Flujo Anillo J	153
8.6.4	Resumen de cálculos	154
9.	ANALISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO.....	155
9.1	DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO	155
9.2	REOLOGIA DE LA MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO	156
9.3	ENSAYO PARA ESTABLECER LA SEGREGACIÓN, EL FLUJO RESTRINGIDO Y EL FLUJO LIBRE.....	157
9.4	METODOLOGIA DE LA CAJA EN FORMA DE "L"	159
9.5	METODOLOGÍA DEL ANILLO J PARA ESTABLECER LA HABILIDAD DE PASO	160
10.	CAPITULO. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO	161
10.1	METODO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 673-210.....	161
10.1.1	Aparatos de laboratorio	161
10.1.2	Procedimiento.....	161
10.1.3	Cálculos y resultados.....	165
10.1.3.1	Resultados Muestra No 1 (24 horas).....	165
10.1.3.2	Cálculo de la resistencia a la compresión	165
10.1.3.3	Resistencia a 24 horas	166
10.1.3.4	Resistencia a 3 días	167
10.1.3.5	Resistencia a 7 días	168
10.1.3.6	Resistencia a 14 días	169
10.1.3.7	Resistencia a 28 días	170
10.1.4	Resumen de resultados.....	171
10.1.4.1	Muestra No 1 Testigo	171
10.1.4.2	Muestra No 2 (1% de poliestireno)	174
10.1.4.3	Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	177
10.1.4.4	Muestra No 4 (2% de poliestireno)	180
10.1.4.5	Comparación de las muestras a diferentes edades de falla.....	183
10.2	ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA FLEXION A PARTIR DE LA NTC 2871.	189
10.2.1	Aparatos de laboratorio	189
10.2.2	Procedimiento.....	189
10.2.3	CALCULOS Y RESULTADOS.....	191
10.2.4	Resumen de resultados.....	194

10.3 ENSAYO PARA ESTABLECER EL RENDIMIENTO, LA MASA UNITARIA Y EL CONTENIDO DE AIRE DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 1926.	202
10.3.1 APARATOS DE LABORATORIO	202
10.3.2 Procedimiento.....	202
10.3.3 Cálculos y resultados obtenidos	203
10.3.3.1 Masa Unitaria	204
10.3.3.2 Rendimiento volumétrico	204
10.3.4 Resumen de resultados.....	205
10.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DE POISSON Y EL MÓDULO ELASTICO DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC-4025.	207
10.4.1 APARATOS DE LABORATORIO	207
10.4.2 Procedimiento.....	207
10.4.3 Cálculos y resultados.....	209
10.4.3.1 Módulo de elasticidad.....	210
10.4.3.2 Relación de Poisson.....	210
10.4.4 Resumen de resultados.....	211
10.5 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA PENETRACION DE IONES CLORURO A PARTIR DE LA ASTM-C1202	216
10.5.1 APARATOS DE LABORATORIO	216
10.5.2 Procedimiento.....	216
10.5.3 Resultados.....	217
10.5.4 Análisis de los resultados	217
10.6 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CARBONATACION EN EL CAC Y LIGERO	218
10.6.1 Procedimiento.....	218
10.6.2 Resultados.....	219
11. ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO	220
11.1 METODO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CAC Y LIGERO	220
11.1.1 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 1 Testigo).	220
11.1.2 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 2. Al 1% de poliestireno expandido).....	221
11.1.3 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 3. Al 1.5% de poliestireno expandido).....	221
11.1.4 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 4. Al 2% de poliestireno expandido).....	222
11.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA FLEXION.....	223
11.3 ENSAYO PARA ESTABLECER EL RENDIMIENTO, LA MASA UNITARIA Y EL CONTENIDO DE AIRE DEL CAC Y LIGERO.....	225
11.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DE POISSON Y EL MÓDULO ELASTICO DEL CAC Y LIGERO.....	225
11.5 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA PENETRACION DE IONES CLORURO	227
11.1 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CARBONATACION EN EL CAC Y LIGERO	227
12. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	228

13. CONCLUSIONES.....	233
14. RECOMENDACIONES	242
15. BIBLIOGRAFÍA.....	243

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Usos Comerciales del poliestireno expandido tomado de: (Districopor, 2020)	XXVII
Ilustración 2 Curvas de Lujo características de Diferentes tipos de concreto (Tomada de: Zerbino R, 2006).....	XXX
Ilustración 3 Comparación entre el asentamiento de un concreto convencional y el escurrimiento de un concreto autocompactante Tomado de: Toxement.com.co	XXXI
Ilustración 4 Registro fotográfico de materiales empleados- Fuente: Propia	55
Ilustración 5 Aparatos de Laboratorio -Fuente: Propia	56
Ilustración 6 Secado de las muestras al Horno	57
Ilustración 7 Denominación de Análisis por tipo de Agregado- fuente: Propia.....	58
Ilustración 8 Tamizado de los materiales- Fuente: Propia.....	58
Ilustración 9 Procedimiento de materia orgánica Por colorimetría- Fuente: Propia	64
Ilustración 10 Picnómetro- Fuente: Propia	66
Ilustración 11 Aparatos de laboratorio Densidad y Absorción Agregado grueso- Fuente: Propia	70
Ilustración 12 Aparatos de laboratorio Densidad y Absorción Roca Pumita- Fuente: Propia	71
Ilustración 13 Procedimiento Material que pasa por el Tamiz 200- Fuente: Propia	75
Ilustración 14 Ensayo Masa unitaria y porcentaje de Vacíos (Arena y Roca Pumita)- Fuente: Propia	77
Ilustración 15 Ensayo Masa unitaria y porcentaje de Vacíos (Grava)- Fuente: Propia	78
Ilustración 16 Procedimiento Caras Fracturadas-Fuente: Propia.....	83
Ilustración 17 Procedimiento Índice de Aplanamiento y alargamiento- Fuente: Propia	87
Ilustración 18 Desgaste de los materiales a la máquina de los Ángeles- Fuente: Propia ..	91
Ilustración 19 Procedimiento finura del cemento a partir del Aparato Blaine de Permeabilidad al aire- Fuente: Propia	104

Ilustración 20 Procedimiento densidad del cemento hidráulico-Fuente: Propia	108
Ilustración 21 Orden de apisonamiento de capas (Fuente: NTC 220,2004)	114
Ilustración 22 Procedimiento resistencia a la compresión cilindros de mortero- Fuente: Propia	115
Ilustración 23 Procedimiento Flujo Libre y fundida de cilindros de Mortero- Fuente: Propia	115
Ilustración 24 Procedimiento resistencia a la compresión cilindros de mortero- Fuente: Propia	116
Ilustración 25 Procedimiento Reología del concreto	142
Ilustración 26 Caja en L- Fuente: Propia	149
Ilustración 27 Procedimiento Caja en forma de L - Fuente: Propia	150
Ilustración 28. Procedimiento ensayo Anillo J- Fuente: Propia	152
Ilustración 29 Modelos de falla (Tomado de: Norma NTC-673)	162
Ilustración 30 Procedimiento Ensayo resistencia a la compresión- Fuente: Propia	163
Ilustración 31 Procedimiento Ensayo resistencia a la compresión- Fuente: Propia	164
Ilustración 32 Procedimiento ensayo de resistencia a la flexión- Fuente: Propia.....	190
Ilustración 33 Procedimiento Masa Unitaria 3 Muestras de concreto- Fuente: Propia.....	203
Ilustración 34. procedimiento Modulo de elasticidad- Fuente: Propia	208
Ilustración 35 Procedimiento Penetración Ion Cloruro- Fuente: Propia.....	216
Ilustración 36 Procedimiento carbonatación- Fuente: Propia	218

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Diagrama de flujo procedimiento del concreto ligero y autocompactante- Fuente: propia.....	42
Gráfico 2 Clasificación de los agregados de acuerdo a su gradación, Fuente: propia.....	59
Gráfico 3 Curva Granulométrica (Arena), Fuente: Propia	60
Gráfico 4 Curva Granulométrica Grava, Fuente: Propia.....	61
Gráfico 5 Curva Granulométrica (Roca Pumita)- Fuente: Propia	62
Gráfico 6 Curva Granulométrica Grava	76
Gráfico 7 Conductividad térmica en función de la densidad-Fuente: Propia.....	122
Gráfico 8 Permeabilidad en función de la densidad-Fuente: Propia	123
Gráfico 9 Resistencia mecánica en función de la densidad-Fuente: Propia	123
Gráfico 10 Resistencia al corte en función de la densidad- Fuente: propia	124
Gráfico 11 Relación de la resistencia a la compresión y el contenido de cemento del hormigón de agregado liviano fino y agregado grueso (Fuente: ACI C211.2, 2004)	128
Gráfico 12 Relación cemento Resistencia a la compresión-(Adoptada de: ACI C211.2, 2004).....	128

Gráfico 13 Interpolación relación agua cemento	129
Gráfico 14 Velocidad Vs Momento Torsor Mezcla No 1-Fuente: Propia	144
Gráfico 15 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 2-Fuente Propia	144
Gráfico 16 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 3-Fuente Propia	145
Gráfico 17 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 4-Fuente Propia	145
Gráfico 18 Velocidad vs momento Torsor Mezclas - Fuente: Propia	146
Gráfico 19 Muestra No 1 Testigo-Resumen de resultados- Fuente Propia.....	172
Gráfico 20 Muestra No 1 Testigo a 24 Horas - Fuente: Propia	172
Gráfico 21 Muestra No 1 Testigo a 3 días	172
Gráfico 22 Muestra No 1 Testigo a 7 días- Fuente: Propia	173
Gráfico 23 Muestra No 1 Testigo a 14 días- Fuente: Propia	173
Gráfico 24 Muestra No 1 Testigo a 28 días- Fuente: Propia	173
Gráfico 25 Muestra No 2 (resumen de resultados)- Fuente: Propia.....	175
Gráfico 26 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 24 horas- Fuente: propia	175
Gráfico 27 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 3 días- Fuente: propia	175
Gráfico 28 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 7 días - Fuente: propia	176
Gráfico 29 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 14 días- Fuente: propia	176
Gráfico 30 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 28 días- Fuente: propia	176
Gráfico 31 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) resumen de resultados- Fuente: Propia	178
Gráfico 32 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 24 horas- Fuente: Propia.....	178
Gráfico 33 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 3 días - Fuente: Propia	178
Gráfico 34 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 7 días- Fuente: Propia	179
Gráfico 35 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 14 días - Fuente: Propia	179
Gráfico 36 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 28 días - Fuente: Propia	179
Gráfico 37 Muestra No 4 (2% de poliestireno) resumen de resultados- Fuente: Propia ..	181
Gráfico 38 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 24 horas- Fuente: Propia.....	181
Gráfico 39 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 3 días- Fuente: Propia	181
Gráfico 40 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 7 días- Fuente: Propia	182
Gráfico 41 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 14 días- Fuente: Propia	182
Gráfico 42 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 28 días- Fuente: Propia	182
Gráfico 43 Comparación de resultados de las muestras a 24 horas-Fuente: Propia	183
Gráfico 44 Comparación de resultados de las muestras a 3 días- Fuente: Propia	184
Gráfico 45 Comparación de resultados de las muestras a 7 días- Fuente: Propia	185
Gráfico 46 Comparación de resultados de las muestras a 14 días- Fuente: Propia	186
Gráfico 47 Comparación de resultados de las muestras a 28 días- Fuente: Propia	187
Gráfico 48 Resumen de resultados de todas las muestras a diferentes edades- Fuente: Propia	188
Gráfico 49 Módulo de rotura a 3 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: Propia	195
Gráfico 50 Módulo de rotura a 3 días Muestras de concreto en Psi- Fuente: Propia	195
Gráfico 51 Modulo de roturo a 7 días Muestras de concreto en MPa-Fuente: propia.....	197
Gráfico 52 Modulo de roturo a 7 días Muestras de concreto en Psi- Fuente: Propia.....	197
Gráfico 53 Modulo de roturo a 14 días Muestras de concreto en Psi-Fuente: Propia.....	199

Gráfico 54 Modulo de roturo a 14 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: propia...	199
Gráfico 55 Modulo de roturo a 28 días Muestras de concreto en Psi-Fuente: Propia.....	201
Gráfico 56 Modulo de roturo a 28 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: propia...	201
Gráfico 57 Curva esfuerzo deformación Muestra No 1- Fuente Propia.....	212
Gráfico 58 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 2)-Fuente Propia	213
Gráfico 59 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 3)-Fuente Propia	214
Gráfico 60 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 4)-Fuente Propia	215

Lista de tablas

Tabla 1 Definición de los Fluidos correspondientes a los Modelos Reológicos adoptada de: (ACI 238.1R, 2008).....	XXXV
Tabla 2 Análisis Granulométrico (Arena)- Fuente: Propia.....	59
Tabla 3 Análisis granulométrico (Grava)- Fuente: Propia.....	60
Tabla 4 Análisis Granulométrico (Roca Pumita)-Fuente: Propia.....	61
Tabla 5 Resumen de resultados Coeficientes Granulométricos Materiales Analizados- Fuente Propia	63
Tabla 6 Resultados Materia orgánica por colorimetría- Fuente: Propia	65
Tabla 7 Resultados Densidad y Absorción del Agregado fino- Fuente: Propia.....	67
Tabla 8 Resumen de resultados Densidad y Absorción del agregado fino-Fuente: Propia	69
Tabla 9 Resultados densidad y Absorción Agregado grueso-Fuente: Propia	71
Tabla 10 Resultados densidad y Absorción Roca Pumita-Fuente: Propia	72
Tabla 11 Resultados Densidad y absorción del Agregado Grueso-Fuente: Propia	73
Tabla 12 Resultados Densidad y absorción Roca Pumita- Fuente: Propia.....	74
Tabla 13 Resultados Material que pasa a través del Tamiz-Fuente: Propia	76
Tabla 14 Densidad del Agua (Tomado de NTC-92)	78
Tabla 15 Masas del Agregado y del recipiente Grava-Fuente: Propia	79
Tabla 16 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Grava-Fuente: Propia	80
Tabla 17 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Arena-Fuente: Propia	81
Tabla 18 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Roca Pumita-Fuente: Propia	81
Tabla 19 Tamaños nominales mínimos Tomado de: (Tabla No 1) Norma INV E -227-13.	82
Tabla 20 Resultados Porcentaje de caras fracturadas- Fuente: Propia	84
Tabla 21 Resumen de resultados porcentaje de caras fracturadas-Fuente: Propia	85

Tabla 22 Tamices de barras Adoptado de: Tabla No 1 INV E 230-13	86
Tabla 23 Masa inicial y pasa tamiz 1/4"- Fuente: Propia.....	88
Tabla 24 Granulometría masas M1 y M2	88
Tabla 25 Resumen de resultados índice de alargamiento y aplanamiento- Fuente: Propia	89
Tabla 26 Resultados Desgaste a la máquina de los Ángeles- Fuente: Propia.....	91
Tabla 27 Resumen de resultados determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles-Fuente: Propia	92
Tabla 28 Resultados Partículas Livianas agregado fino, Fuente: Propia	94
Tabla 29 Resultados Partículas Livianas agregado grueso, Fuente: Propia.....	95
Tabla 30 Resumen de resultados Partículas livianas- Fuente: Propia	96
Tabla 31 Porcentaje máximo de partículas dañinas para el concreto-Adoptada de (NTC-174,2000).....	100
Tabla 32 Porcentaje Mínimo de caras fracturadas Tomado de: INV E 227-13	101
Tabla 33 Resultados Finura del cemento Hidráulico- Fuente: Propia	104
Tabla 34 Resultados del ensayo y cálculos finura del cemento hidráulico- Fuente: propia	106
Tabla 35 Resultados superficie específica	107
Tabla 36 Resultados Finura del cemento Hidráulico-Fuente: Propia	107
Tabla 37 Resultados procedimiento Densidad del cemento Hidráulico- Fuente: Propia..	109
Tabla 38 Resultados densidad del cemento - Fuente: Propia.....	110
Tabla 39 Procedimiento tiempos de fraguado- Fuente: Propia	111
Tabla 40 Resultados tiempos de fraguado- Fuente: Propia	112
Tabla 41 Resultados Fluidéz del cemento Hidráulico.....	116
Tabla 42 Resultados iniciales Resistencia a la compresión de cilindros de Mortero-Fuente: Propia	117
Tabla 43 Resultados cubos de mortero (resistencia a la compresión)- Fuente: Propia ...	118
Tabla 44 Porcentajes de Material y fluidéz del mortero tomado de: (NTC 220, 2004)	120
Tabla 45 Propiedades del poliestireno expandido-Fuente: Propia	124
Tabla 46 Especificaciones de Agregados y cemento	126
Tabla 47 Resistencia promedio de compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (Fuente: Tabla C.5.3.2.2 NSR-10)	127
Tabla 48 Contenido de cemento- Fuente: Propia.....	129
Tabla 49 Relación Agua-cemento y resistencia a la compresión del hormigón, adoptado de: ACI-211.2, 2004)	129
Tabla 50 Interpolación relación agua cemento-Fuente: Propia.....	129
Tabla 51 Relación Agua cemento, Fuente: Propia	130
Tabla 52 Relación Agua cemento y contenido de cemento, Fuente: propia	130
Tabla 53 Cantidad de Agua, Fuente: Propia	130
Tabla 54 Cálculo de Porcentaje Retenido acumulado- Fuente: Propia.....	131
Tabla 55 Resultados módulo de finura.....	132

Tabla 56 Volumen de Agregado grueso en relación a su módulo de finura adoptado de: (ACI 211,2004)	132
Tabla 57 Datos iniciales Masa de finos saturados, fuente: Propia	135
Tabla 58 Objetivos del flujo de asentamiento, adoptada de: (ACI 237.2, 2007)	137
Tabla 59 Contenido de cemento, adoptada de: (ACI 237.2, 2007)	138
Tabla 60 Proporciones para mezcla inicial, adoptada de: (ACI 237.2, 2007).....	138
Tabla 61 Reducción de Agua por aditivo, Fuente: propia.....	139
Tabla 62 Resultados diseño de mezcla.....	139
Tabla 63 Resumen Diseños de mezcla- Fuente Propia	140
Tabla 64 Aplicaciones del concreto autocompactante de acuerdo al escurrimiento Adoptado de: (Eupean Guidelines for self Compacing Concrete)	142
Tabla 65 Aplicaciones del concreto Autocompactante de acuerdo al tiempo y a su deformación Adoptado de: (Eupean Guidelines for self Compacing Concrete)	142
Tabla 66 Resultados Muestras de concreto ligero y Autocompactante-Fuente: Propia...	143
Tabla 67 resultados Parámetros reológicos de las mezclas de concreto- Fuente: Propia	146
Tabla 68 Resultados Ensayo de flujo libre-Fuente: Propia.....	148
Tabla 69 Resultados ensayo de Flujo Caja en L	150
Tabla 70 Resultados flujo Restringido Anillo J, Fuente: Propia.....	153
Tabla 71 Resultados ensayo de Flujo restringido Anillo J	154
Tabla 72 Resumen Diseños de mezcla- Fuente Propia	155
Tabla 73 Evaluación del bloqueo Adoptado de: Norma ASTM (C1621, 2014)	160
Tabla 74 Distribución de cilindros por muestra-Fuente: Propia.....	161
Tabla 75 Edad de ensayo de los cilindros de concreto (Tomado de: NTC-673)	162
Tabla 76 Resultados Muestra No 1 (24 Horas)-Fuente: Propia	165
Tabla 77 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 24 horas-Fuente: Propia	166
Tabla 78 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 3 días-Fuente: Propia	167
Tabla 79 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 7 días-Fuente: Propia	168
Tabla 80 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 14 días -Fuente: Propia	169
Tabla 81 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 28 días -Fuente: Propia	170
Tabla 82 Resumen de cilindros a ensayar por edades Muestras de concreto- Fuente: Propia	171
Tabla 83 Resumen de resultados Muestra No 1 Testigo- Fuente: Propia.....	171
Tabla 84 Resistencia a la compresión promedio por edades de la Muestra - Fuente: Propia	171
Tabla 85 Resumen de resultados Muestra No 2- Fuente: propia.....	174
Tabla 86 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 2- Fuente: Propia	174
Tabla 87 Resumen de resultados Muestra No 3- Fuente: Propia	177
Tabla 88 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 3-Fuente: Propia	177
Tabla 89 Resumen de resultados Muestra No 4- Fuente: Propia	180

Tabla 90 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 4-Fuente: Propia	180
Tabla 91 Resumen de resultados resistencia a la compresión de todas las muestras	187
Tabla 92 Resultados del ensayo a 3 días- Fuente: Propia.....	191
Tabla 93 Resultados carga máxima de ensayo a flexión-Fuente: propia.....	192
Tabla 94 Cantidad de Muestras ensayadas a Flexión por edad- Fuente: Propia.....	193
Tabla 95 Resumen de resultados de las muestras a 3 días-Fuente: Propia.....	194
Tabla 96 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 3 días –Fuente: Propia	195
Tabla 97 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 7 días – Fuente: propia	196
Tabla 98 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 7 días-Fuente: propia	197
Tabla 99 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 14 días-Fuente: Propia.	198
Tabla 100 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 14 días-Fuente: propia.....	199
Tabla 101 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 28 días-Fuente: Propia	200
Tabla 102 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 28 días-Fuente: propia.....	201
Tabla 103 Datos Iniciales Masa unitaria Muestra No 1	203
Tabla 104 Resumen de resultados Muestra No 1 (testigo)- Fuente: propia.....	205
Tabla 105 Resumen de resultados muestra No 2 (1% de poliestireno expandido) -Fuente: Propia	205
Tabla 106 Resumen de resultados muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)- Fuente: propia.....	206
Tabla 107 Resumen de resultados Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido) Fuente: Propia	206
Tabla 108 Datos iniciales Muestra No 1-Fuente: Propia (testigo)	209
Tabla 109 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 1 Testigo)-Fuente: propia.....	211
Tabla 110 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 2 1% de poliestireno expandido)-Fuente: Propia	212
Tabla 111 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 3-1.5% de poliestireno expandido)-Fuente: Propia.....	213
Tabla 112 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 3 -2% de poliestireno expandido)- Fuente: Propia.....	215
Tabla 113 Resultados Obtenidos en la penetración de Iones cloruro- Fuente: propia.....	217
Tabla 114 Penetración ion cloruro a partir de la carga que pasa-Adoptada de: ASTM-1202.....	217
Tabla 115 Resultados carbonatación- Fuente: propia.....	219
Tabla 116 Relación entre la resistencia a la compresión Psi y el módulo de rotura- Fuente: propia.....	223
Tabla 117 Modulo de elasticidad teórico vs experimental	226

Tabla 118 Granulometría del agregado fino para concreto estructural-Adoptado de: Artículo 630 Invías 2012)	233
Tabla 119 Requisitos del agregado fino-Fuente: Artículo 630 Invías 2012)	233
Tabla 120 Requisitos del agregado grueso-Fuente: Artículo 630 Invías 2012)	234
Tabla 121 Resumen de resultados (Densidad y absorción)-Fuente: Propia	236
Tabla 122 Mezcla más adecuada para concreto ligero y autocompactante-Fuente: Propia	239
Tabla 123 Comparación de costos Muestra testigo y Muestra no 2 1% de poliestireno expandido- Fuente: propia.....	240

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados para la construcción de obras civiles debido a su versatilidad y resistencia aportada a las estructuras. De acuerdo por la (Revista técnica No 26 de la American Concrete institute) *“El concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra, después del agua.” Koji Sakai, investigador de la Universidad de Kagawa*”.

En Colombia la producción de cemento Gris ha aumentado 2.9% desde el año 2010 y para el año 2021 hubo un aumento del 12.4% en su producción.

“Debido al constante aumento y desarrollo de la industria de la construcción, ha sido necesario fabricar una gran variedad de concretos los cuales son destinados a mejorar la calidad, productividad, manejabilidad y economía en las obras de infraestructura.”

“En las obras civiles el peso de las estructuras es uno de los factores más influyentes, tanto en el diseño como en la construcción de las mismas. El concreto convencional tiene un peso que varía entre los 2200 y los 2400 Kg/m^3 el cual aporta un porcentaje de peso considerable a las estructuras.

De acuerdo a la Norma técnica ACI 318-08, para que un concreto se denomine liviano y estructural debe tener como máximo una densidad de 1850 Kg/m^3 y una resistencia mínima a la compresión de 175 Kg/cm^2 o de 18 MPa a los 28 días.

El concreto autocompactante (CAC) es un concreto de alto desempeño, el cual satisface necesidades de las obras civiles como es la dificultad de trabajar del concreto, el impedimento del paso del vaciado por altas cuantías de acero de refuerzo. Este tipo de concreto tiene la cualidad de compactarse a sí mismo sin la necesidad de vibrado debido a su alta fluidez y cohesividad.

Estas características permiten que el concreto tenga un menor tiempo de colocación, dando como resultado ahorros en tiempo y en dinero para las obras, así mismo permite la colocación de concreto en estructuras altamente reforzadas o de secciones variadas y formas no convencionales, disminuyen significativamente la presencia de segregación y exudación en elementos estructurales y mejora en la obtención de acabados arquitectónicos sin tener que efectuar resanes o reparaciones.

A partir de estas condiciones, se evidencia la necesidad de realizar una investigación para aportar la posibilidad de ser fabricado un concreto autocompactante y ligero que incremente el rendimiento y la efectividad en producción, facilite su transporte en estado fresco,

optimice las secciones y el llenado de las formaletas, disminuyendo procesos en obra y costos a las estructuras.

ANTECEDENTES

Los concretos de alto desempeño datan desde los 80's, los cuales han avanzado poco a poco mejorando sus propiedades en comparación con los concretos convencionales y así mismo aportando las resistencias necesarias para Obras nuevas y de mayor magnitud.

Antecedentes al concreto Ligero

Evaluando antecedentes bibliográficos Román Manrique, (2016) elaboro una investigación denominada “Diseño de una mezcla de concreto experimental sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno de $\emptyset = 3/4$ y un asentamiento de 3”, para lograr una resistencia a la compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, en la cual concluye que al reemplazar el agregado grueso por poliestireno, el concreto tiene una pérdida de resistencia considerable, generando un concreto no estructural que solo puede ser utilizado como material complementario para acabados.”

Veliz Barreto, (2018) mediante la tesis “Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos”, concluyo que se puede elaborar concreto ligero estructural y de alto desempeño mediante aditivos y adiciones, que a partir de su densidad reducen el tamaño y peso de los elementos estructurales.

Hugo Rodríguez (2017), mediante la tesis “concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural – Cajamarca, al evaluar tres diferentes diseños de mezcla con poliestireno expandido concluye que la dosificación apropiada para un concreto liviano de albañilería no estructural o para acabados es de 7% obteniendo una densidad de 1600 Kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 62.75 Kg/cm^2 o 6 MPa.

Pedro Serrano (2018), mediante la tesis “Elaboración de un concreto ligero para uso estructural en la ciudad de Lima metropolitana 2018”, concluye que la dosificación adecuada para elaborar un concreto ligero es de 41.28 Kg/m^3 y su resistencia obtenida es en promedio de 23 MPa.

Antecedentes al concreto autocompactante

Okamura H. 1986. Japón. Universidad de Tokio, realizo las investigaciones iniciales sobre el concreto autocompactante, en donde se revela aquel concreto como el tipo de hormigón que aporta facilidades a la colocación fluyendo a través del encofrado de secciones con cuantías de acero altas, los cuales tienen efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento o retracción por secados mínimos y adicionalmente una permeabilidad prácticamente nula frente a la penetración del oxígeno, cloruros y agua. (Okamura et al., 2000).

Álvarez Gonzales, J. 2014. mediante la tesis “Hormigón Autocompactante Nano Adiciones y Fibras”. Tesis. Master. España. Universidad Politécnica de Madrid, el cual mediante su investigación fabrico un concreto autocompactante a partir de fibras de acero y fibras de poliolefina, con adiciones de nano sílice y nano alúmina, con la finalidad de evaluar sus propiedades en estado fresco y endurecido. Llegando a la conclusión que: las fibras adicionadas de acero disminuían la manejabilidad del concreto que aportaban un aumento en la resistencia a la tracción de 12.7% dependiendo de su dosificación.

Antecedentes del concreto ligero y autocompactante

A partir de la investigación realizada, se evidencia que no existen metodologías claras ni investigaciones concretas, de concretos autocompactantes con densidades apropiadas para considerarse ligero.

Por estas condiciones la presente investigación se basa en encontrar tanto los materiales como las dosificaciones adecuadas para producir un concreto ligero y autocompactante, con la finalidad de generar procesos más sencillos, tanto en diseño como en la producción y fundida de los elementos estructurales en las edificaciones.

Se presenta la necesidad de evaluar los diferentes ensayos de laboratorio y propiedades tanto de los materiales como del concreto en estado fresco y endurecido, con la finalidad de aportar una guía y bases para poder producir un concreto (CAC) y ligero.

De acuerdo con los parámetros encontrados en las investigaciones previamente realizadas, las cuales son adoptadas para mejorar e incluir nuevos elementos que puedan garantizar la producción del mismo.

CONCRETO LIGERO

El concreto liviano es un producto que se ha ido estandarizando a lo largo de los últimos años, el cual está compuesto por una mezcla de pasta cementante con un agregado fino y adicionalmente un agregado liviano el cual tiene la característica de disminuir el peso de la mezcla de concreto.

Los agregados ligeros se pueden clasificar comúnmente a partir de su proceso de producción natural o artificial, ya que debido a este varían las propiedades fisicoquímicas de los mismos uno de ellos es:

1. Roca Pumita (Roca Pómez, Jal o liparita).
2. Arcillas.
3. Ceniza Volante peletizada o extruida.
4. Escorias expandidas.

Para reducir de la Masa Unitaria o Peso específico del concreto autocompactante se hará el uso de poliestireno expandido, el cual se proporcionará en diferentes dosificaciones con el fin de determinar cuánto disminuye respecto a la muestra testigo.

A partir de la densidad encontrada se pueden determinar importantes características para la construcción de las edificaciones, las cuales implican mejorar los costos de Obra, disminución en Mano de Obra, así como la disminución de cantidades de concreto a ser vaciadas en los elementos estructurales debido a que se pueden reducir las secciones por la disminución de cargas que aporta el concreto a las estructuras.

El poliestireno expandido como elemento industrial para la construcción se puede encontrar comercialmente en presentaciones como:

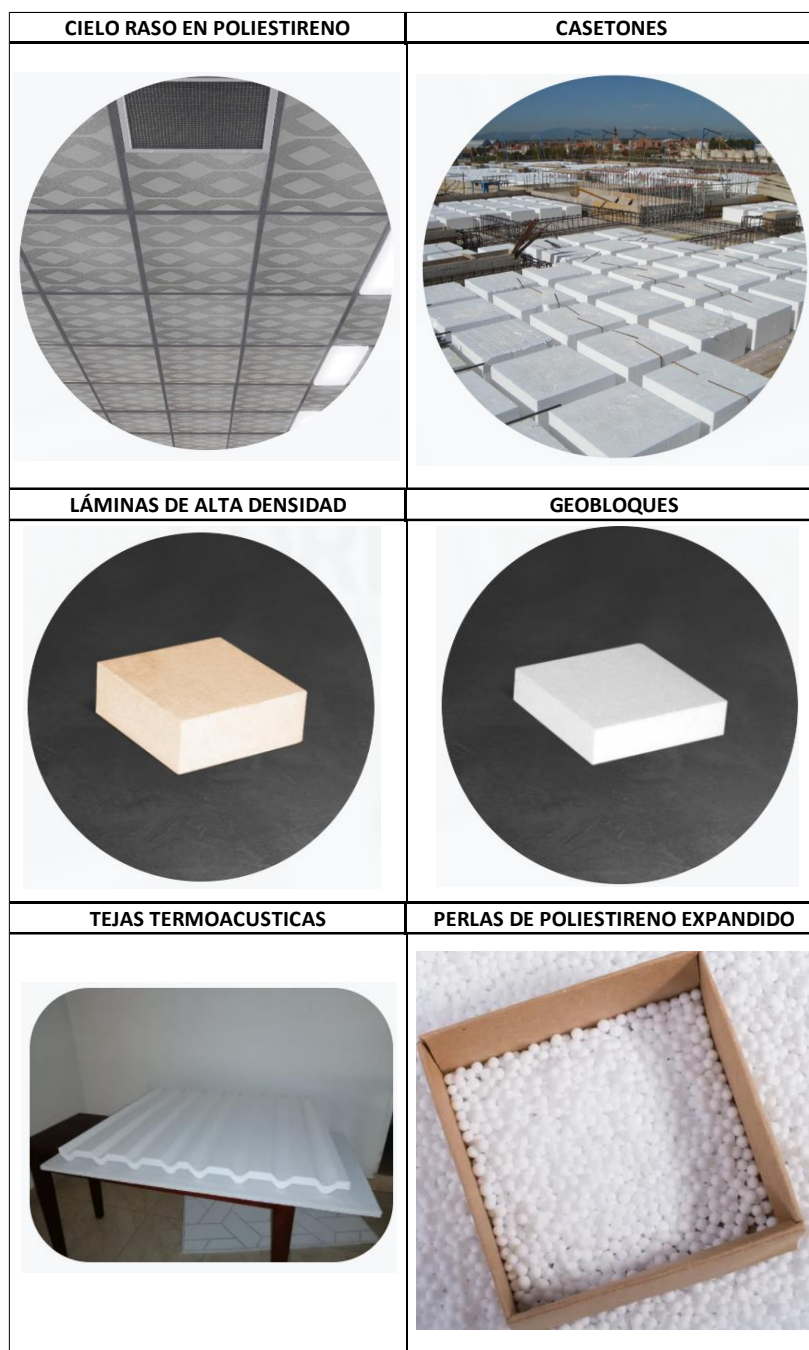


Ilustración 1 Usos Comerciales del poliestireno expandido tomado de: (Districopor, 2020)

A través de los años los (EPS) poliestirenos expandidos se han presentado como un elemento componente de gran utilidad en proyectos de construcción debido a sus bondades como lo son su bajo peso y su alta resistencia a los impactos.

En este proyecto de investigación se hará uso del poliestireno en perlas como adición para el concreto autocompactante con tamaños desde 3 mm hasta 5 mm el cual va a tener una densidad de $15 \frac{Kg}{m^3}$.

CONCRETO AUTOCOMPACTANTE (CAC)

El concreto autocompactante fue creado bajo la necesidad de un concreto que tuviera facilidad en su colocación y así mismo no tuviera que necesitar mano de obra para el vibrado del mismo, adicionalmente de tener la facilidad de pasar por el acero de refuerzo sin tener la necesidad de recurrir a elementos como vibrado o golpeteo para la acomodación de partículas.

A partir de estas necesidades se crea un concreto con capacidad de paso y flujo suficiente para superar la congestión del acero de refuerzo que adicionalmente conlleva a una viscosidad baja, todas estas condiciones se llevan a cabo a partir del incremento de polvos de cemento o agregados finos, sin afectar la relación agua cemento que tiene un concreto de asentamiento convencional, supliendo la demanda adicional de agua utilizando aditivos superplastificantes y reductores de agua.

Este concepto aporta ventajas en comparación con el concreto convencional en muchos aspectos tanto económicos como constructivos tales como:

1. Aumento de la velocidad de colocación y ejecución en obras.
2. Mayor uniformidad en la acomodación de partículas de la mezcla.
3. Facilidad de vaciado en secciones estructurales con alta cuantía de acero de refuerzo.
4. Mayor adherencia en el acero de refuerzo.
5. Reducción del tiempo de fundida y construcción.
6. Ahorros en tiempos de mano de obra.
7. Se logran mejores acabados debido a la uniformidad de las partículas de agregado.

Aunque las ventajas del concreto autocompactante son altas, se requiere de gran trabajo debido a que lleva un proceso que debe ser realizado con demasiada cautela, los resultados que pueda generar son sensibles a cualquier cambio en su diseño de mezcla.

A pesar que sus costos son más elevados que el concreto tradicional, se puede dar una equivalencia en los ahorros que genera en tiempos de obra y mano de obra, adicionalmente de proporcionarse un concreto a la vista evitando la consideración de pañetes para generar una estética en las edificaciones.

Es importante Realizar los ensayos adecuados para determinar adecuadas cualidades en el concreto con el fin de proporcionar a las obras un concreto con las especificaciones adecuadas para la construcción y que los beneficios aportados por el mismo sean reales frente a las ofrecidas, estos ensayos tienen que determinar adecuadamente las siguientes propiedades definidas en la Norma ACI 237:

1. Habilidad de paso de la mezcla de CAC
2. Flujo de la mezcla de la mezcla de CAC
3. Adecuada viscosidad de la mezcla de CAC

A partir de estas propiedades se puede definir diferentes habilidades del concreto autocompactante, las cuales simulan la colocación en distintas situaciones en las edificaciones, como lo son diferentes disposiciones de acero en los elementos estructurales, o inclusive elementos con secciones irregulares las cuales necesitan de un alto flujo en los armados de las formaletas.

La habilidad de paso del concreto autocompactante se define como la competencia de la mezcla de correr y ocupar los vacíos del acero de refuerzo por su gravedad sin necesidad de vibración y con la capacidad de llenar los espacios dentro de los obstáculos de la cuantía de refuerzo del elemento estructural y la formaleta.

El flujo del concreto en estado plástico se define como el incremento de la deformación del concreto y la capacidad de moverse a través de la formaleta para vaciar adecuadamente el elemento estructural.

La Viscosidad del concreto se define como la resistencia que posee durante su fluidez y deformación, esta resistencia al fluir es directamente proporcional a su viscosidad, es decir entre más viscoso sea el concreto más resistencia opondrá a su deformación debido a que tendrá mayor adherencia en sus moléculas.

REOLOGÍA DEL CONCRETO

La Reología del concreto es la ciencia que estudia la deformación de la pasta o del concreto junto con los agregados necesarios y el flujo de los materiales mezclados para su mezcla, incluyendo los estudios del concreto en estado fresco, comportamiento de lechadas y pastas, así como el manejo del mismo.

Con la finalidad de tener la capacidad de definir el comportamiento reológico de un fluido en este caso el concreto, es necesario recurrir a la curva de flujo y viscosidad representada en el gráfico No 1 la cual representa el esfuerzo aplicado en el eje Y (τ , tensión de corte) y la velocidad de deformación en el eje X ($\dot{\gamma}$).

La Reología del concreto afecta directamente la segregación, flujo, bombeo, facilidad de mezclado, acabo final y superficial del concreto, entre otros.

Los estudios reológicos han permitido visualizar de y comprender de mejor manera el comportamiento del concreto autocompactante, dando parámetros más claros para el diseño de concretos autocompactantes.

A continuación, se presenta una figura esquemática tomada de (Zerbino, R, 2006)

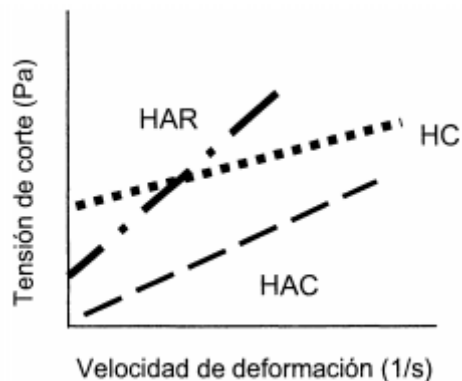


Ilustración 2 Curvas de Flujo características de Diferentes tipos de concreto (Tomada de: Zerbino R, 2006)

En donde se tienen tres diferentes tipos de concreto HAR (Concreto de Alta resistencia), HC (Concreto convencional) y HAC (Concreto Autocompactante), de la cual se puede evaluar que el concreto de alta resistencia tiene una viscosidad mucho más alta debido a que no posee una velocidad de deformación comparable con los demás concretos y esto es debido a su relación agua cemento, por otra parte el concreto autocompactante tiene una velocidad de deformación más alta y una resistencia al corte mucho más baja por lo tanto tiene una viscosidad adecuada para cumplir con el transporte y llenado de elementos estructurales con altas cuantías de acero de refuerzo y de evitar segregación en el mismo.

Con la finalidad de realizar la medición adecuada de las propiedades reológicas del concreto se hará uso de un Reómetro ICAR el cual fue diseñado para caracterizar los límites tanto elásticos y dinámicos como la viscosidad plástica del mismo.

Las mezclas de concreto (CAC) tienen un límite elástico dinámico bajo y se consolidan a partir de su peso propio, el cual debe tener una viscosidad intermedia, debido a que una viscosidad alta pierde la facilidad de manejo del concreto y una viscosidad baja es propensa a la segregación del concreto.

Por lo tanto, es necesario determinar las curvas de flujo dinámico de las diferentes proporciones de mezcla del concreto autocompactante y ligero, con el aditivo o los aditivos correspondientes para lograr el equilibrio adecuado entre el flujo y la resistencia a la segregación del concreto.



Ilustración 3 Comparación entre el asentamiento de un concreto convencional y el escurrimiento de un concreto autocompactante Tomado de: Toxement.com.co

CURVA DE FLUJO Y VISCOSIDAD DE LOS FLUIDOS

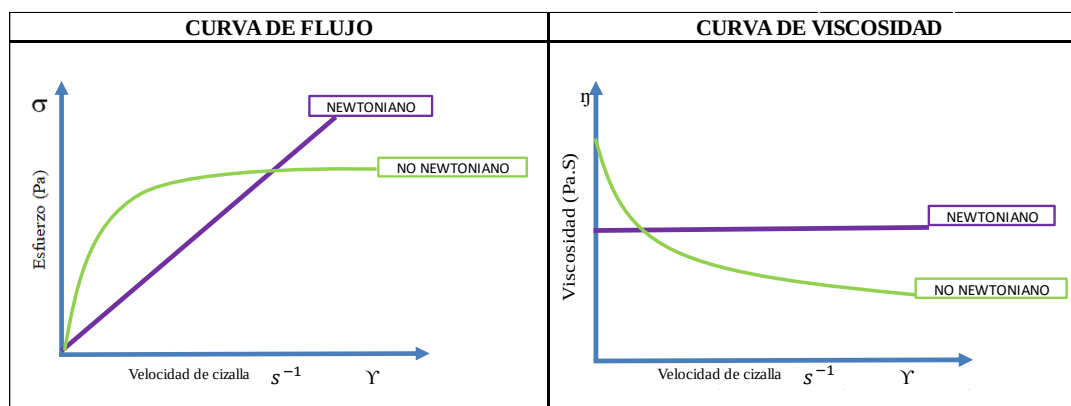


Gráfico 1 Curva de Flujo y Viscosidad de los Fluidos Newtonianos y no Newtonianos, Adoptada de: (ACI 238.1R, 2008)

Entre las cualidades más importantes de los fluidos se encuentra la viscosidad y a partir de esta es posible definir los diferentes comportamientos reológicos de los fluidos, cuando dos cuerpos se mueven uno con respecto al otro, existe una propiedad la cual representa la resistencia interna de un fluido a la naturaleza de fluidez a la cual se le denomina viscosidad. (Esther Pascual, 2016)

Fluido Newtoniano: Es aquel cuya viscosidad puede considerarse constante, es decir que un fluido el cual es sometido a un esfuerzo ya sea cortante o tangencial tiende a adquirir una deformación a una velocidad similar al esfuerzo que le fue aplicado.

Fluido no Newtoniano: Es aquel que no tiene un valor constante de viscosidad, la cual varía con la temperatura y el esfuerzo cortante que le sea aplicado.

A partir de esta clasificación de los fluidos se pueden establecer cuatro tipos de fluidos no newtonianos los cuales tienen diferentes aplicaciones en la ingeniería.

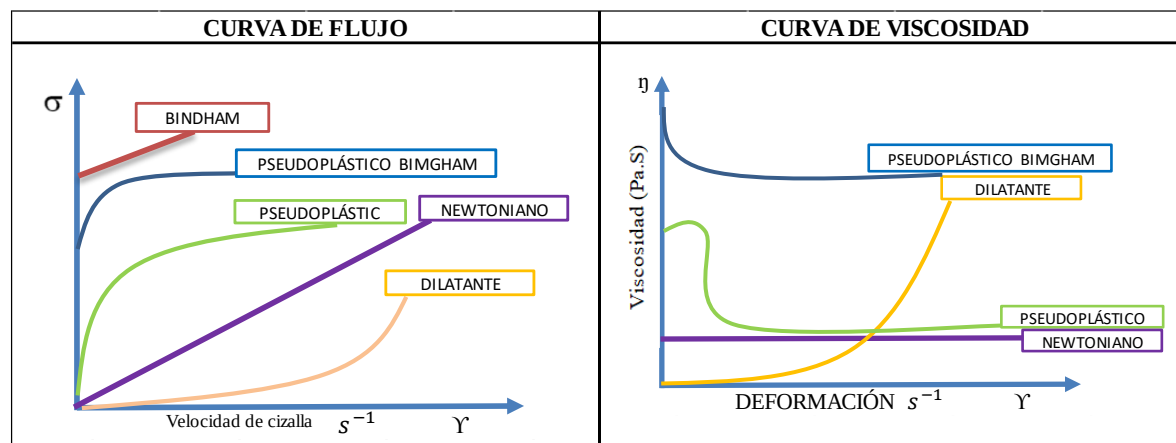


Gráfico 2 Curva de Flujo y Viscosidad de los diferentes tipos de fluidos no Newtonianos: (ACI 238.1R, 2008)

1. **Bingham ideal:** Es un fluido que Cuando se excede el límite elástico, la diferencia de viscosidad es constante, lo que se denomina viscosidad plástica, y cuando la velocidad de deformación tiende a infinito, el coeficiente de viscosidad continúa disminuyendo hasta alcanzar el valor límite.
2. **Pseudoplástico de Bingham:** Por encima del límite elástico, el coeficiente de viscosidad continúa disminuyendo y, a medida que aumenta la velocidad de

deformación, la diferencia de viscosidad tiende a un valor constante, lo que se denomina viscosidad plástica. La interacción entre el reógrama y el eje del esfuerzo cortante extrapolado de la parte lineal se denomina límite elástico aparente.

3. **Dilatante:** El coeficiente de viscosidad junto con la viscosidad diferencial incrementan de acuerdo a la velocidad de deformación del fluido, así como la carencia de límite elástico.
4. **Pseudoplástico:** El coeficiente de viscosidad junto con la viscosidad diferencial se reducen al incrementar la velocidad de deformación y no existe límite de fluencia.

Para los concretos autocompactantes se desarrolló una ecuación, a través de la cual se puede establecer el esfuerzo de fluencia en función del radio del Slump Flow que se obtenga de los ensayos prácticos realizados, la cual se presenta a continuación:

Ecuación 1 Esfuerzo de Fluencia en concretos autocompactantes

$$\tau_0 = \frac{225 * \rho * g * V^2}{128 * \pi^2 * R^5} \quad (1)$$

Donde:

τ_0 = Esfuerzo de fluencia, Pa

ρ = Densidad del concreto, $\frac{Kg}{m^3}$

g = Gravedad, $\frac{m}{s^2}$

V = Volumen, m^3

R = Radio producido por el esparcimiento del Slump Flow, m

TRIXOTROPÍA

La tixotropía se puede definir como el aumento reversible de la viscosidad cuando el material está en un estado estático. Cuando el material se mueve nuevamente, se requiere un mayor grado de energía para destruir la estructura del material. Si el movimiento es lo suficientemente largo como para destruir toda la tixotropía, se alcanza el equilibrio. Sin embargo, este estado de equilibrio no permanecerá constante. Según la pérdida de capacidad de procesamiento, el concreto se asienta y finalmente solidifica, transformándolo de un material líquido a un material visco elástico.

A partir de la consideración del concreto como fluido tixotrópico solamente se puede evaluar su Reología en estado fresco debido a que es posible romper el estado de reposo y evaluar su viscosidad con equipos como reómetro digital.

La curva de flujo resultante de los fluidos tixotrópicos contrario a los tipos de fluidos anteriormente mencionados, en aumento o disminución del esfuerzo cortante tiende a conservar sus propiedades, formando un ciclo, como se muestra en el gráfico presentado a continuación:

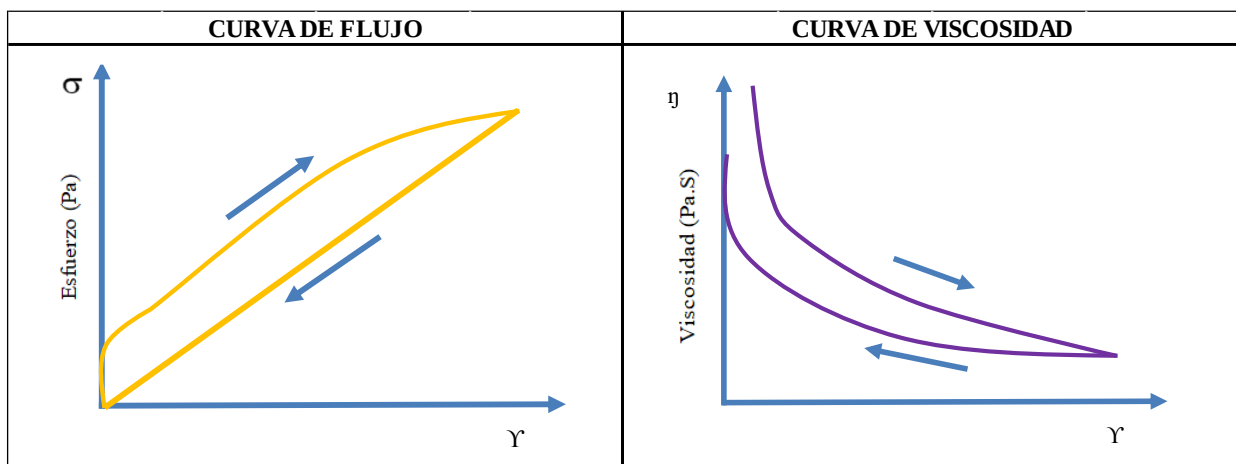


Gráfico 3 Curva de Flujo y Viscosidad de los fluidos tixotrópicos
adoptada de: (ACI 238.1R, 2008)

FALSO FRAGUADO

El falso fraguado o endurecimiento temprano del concreto, es una pérdida de la fluidez del concreto el cual se presenta en los primeros cinco (5) minutos después del mezclado y vaciado del mismo, el cual se puede eliminar fácilmente con un continuo remezclado del concreto. Es causado por una deshidratación parcial del componente cementante de la mezcla, a partir de las temperaturas altas encontradas a lo largo del proceso de molienda y producción del polvo. Posteriormente al adicionársele agua en la mezcla este material cementante deshidratado tiende a perder humedad rápidamente y endurece instantáneamente, ocasionando un endurecimiento prematuro de la mezcla.

MODELOS REOLOGICOS

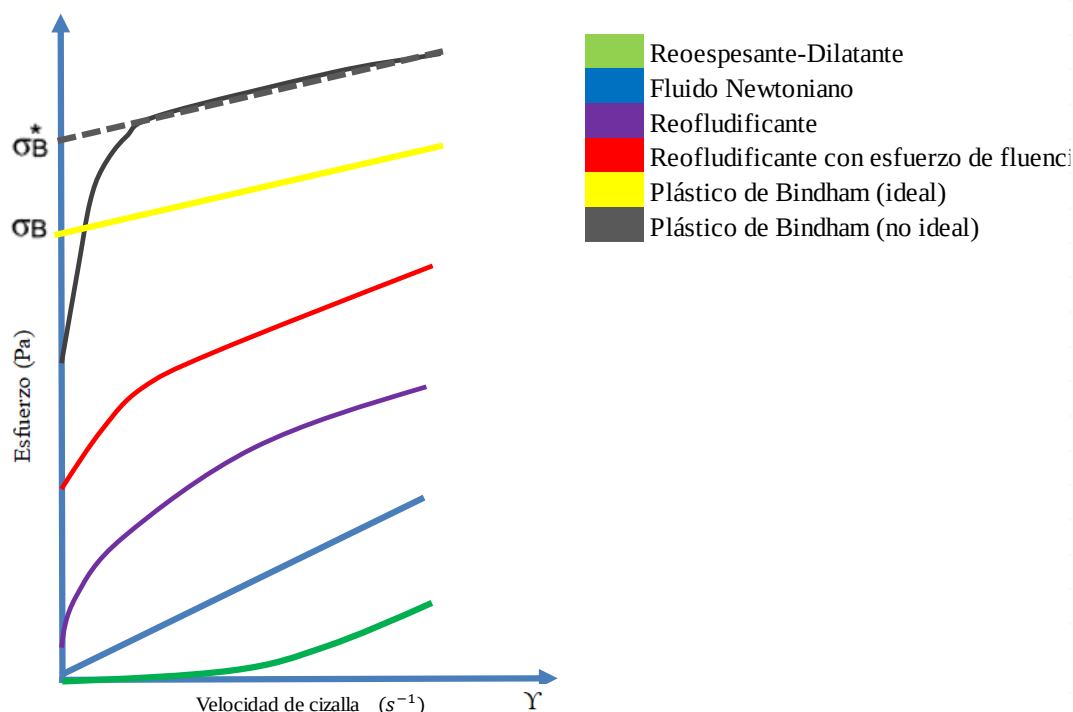


Gráfico 4 Modelos reológicos adoptada de: (ACI 238.1R, 2008)

Tabla 1 Definición de los Fluidos correspondientes a los Modelos Reológicos adoptada de: (ACI 238.1R, 2008)

Reoespesante-Dilatante		Reofludificante con esfuerzo de fluencia	
El coeficiente de viscosidad junto con la viscosidad diferencial incrementan de acuerdo a la velocidad de deformación del fluido, así como la carencia de límite elástico.		El coeficiente de viscosidad junto con la viscosidad diferencial se reducen al incrementar la velocidad de deformación y no existe límite de fluencia.	
Fluido Newtoniano		Plástico de Binham (ideal)	
Es aquel cuya viscosidad puede considerarse constante, es decir que un fluido el cual es sometido a un esfuerzo ya sea cortante o tangencial tiende a adquirir una deformación a una velocidad similar al esfuerzo que le fue aplicado.		Es un fluido que Cuando se excede el límite elástico, la diferencia de viscosidad es constante, lo que se denomina viscosidad plástica, y cuando la velocidad de deformación tiende a infinito, el coeficiente de viscosidad continúa disminuyendo hasta alcanzar el valor límite.	
Reofludificante		Plástico de Binham (no ideal)	
El coeficiente de viscosidad y la viscosidad diferencial tienden a disminuir constantemente junto con la velocidad de cizallamiento		Por encima del límite elástico, el coeficiente de viscosidad continúa disminuyendo y, a medida que aumenta la velocidad de deformación, la diferencia de viscosidad tiende a un valor constante, lo que se denomina viscosidad plástica. La interacción entre el reógrama y el eje del esfuerzo cortante extrapolado de la parte lineal se denomina límite elástico aparente	

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación presentada tiene como finalidad, evaluar propiedades y características del concreto autocompactante y adicionado con adición poliestirenos expandidos en su estado fresco al igual que endurecido, como mezcla de concreto estructural para obras de infraestructura, debido a que sus propiedades generan potenciales beneficios para la construcción, así como la reducción en el diseño de las secciones estructurales como en los pesos de las estructuras para su transferencia de cargas a la cimentación.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como alcance determinar a partir de la experimentación basada en ensayos realizados en laboratorio, las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados y del concreto autocompactante y ligero, cumplimiento la normatividad vigente en Colombia.

A partir de los ensayos de laboratorio y la experimentación determinar el diseño de mezcla más adecuado para que el concreto tenga una resistencia acorde a un elemento estructural, como columnas y vigas adicionalmente que tenga el comportamiento fluido de un concreto autocompactante.

DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

A partir de la pandemia COVID -19, no fue posible realizar las actividades de investigación en las instalaciones de la de la Universidad Nacional de Colombia, por lo tanto, se optó por realizar este trabajo de investigación a partir de un laboratorio certificado en la ciudad de Bogotá.

Esta investigación se realizó en la ciudad de Bogotá D.C, en el laboratorio Psi Ingeniería & Laboratorio ubicado en la calle 72ª # 66- 11, en el cual se realizaron todos los ensayos de laboratorio descritos en la presente Investigación.

MATERIALES

Los materiales utilizados para el concreto autocompactante y ligero, se determinan a partir de materiales y mezclas que puedan disminuir el peso, adicionalmente deben proporcionar las propiedades de fluidez y asentamiento de un Concreto autocompactante CAC, por lo tanto se contemplaron materiales que en principio tuvieran las propiedades necesarias que aportaran resistencia al concreto y segundo que pudieran aportar a la disminución del peso del mismo, a partir de estos principios se eligieron materiales de calidad que aportaran seguridad al momento de generar las mezclas del concreto autocompactante y ligero:

1. **Arena:** Se solicitó arena de río que tuviera una calidad esperada y un tamizado que no sobrepasara el tamiz No 100 con la finalidad de no afectar la resistencia del concreto la cual fue suministrada por de Agregados Nacionales S.A.S KM 4 Vía Guamo Saldaña.
2. **Grava:** Se solicitó una grava de tamaño $\frac{3}{4}$ la cual tuviera la característica de ser triturada y no redondeada con la finalidad de concebir una mejor adherencia con la pasta de cemento y así mismo se eliminan las impurezas que puedan contener de la extracción del agregado grueso la cual fue suministrada por de Agregados Nacionales S.A.S KM 4 Vía Guamo Saldaña.
3. **Piedra Pómez o roca pumita:** Fue escogida como agregado liviano adicional debido a que se evaluó que podría aportar a la resistencia del concreto y a su vez aportar a la disminución del peso del mismo, la cual podría aportar propiedades importantes al desarrollo de la mezcla en su proceso de fraguado y endurecimiento, la cual fue proporcionada por la empresa Bioespacio S.A.S.
4. El material cementante usado fue **cemento Cemex Uso estructural (ART)**, el cual a partir de evaluaciones realizadas ofrecía mejores resultados en resistencia y en los tiempos de fraguado adecuados para fundir las mezclas de concreto.
5. **Poliestireno expandido:** El poliestireno expandido fue escogido como agregado liviano en la investigación debido a sus propiedades de deformación y capacidades térmicas, adicionalmente que se concibe como un material ligero que aporta las características necesarias para ser un concreto ligero, el cual es suministrado por la empresa districopor S.A.S.

6. **Plastol HR-DF:** El aditivo reductor de agua de alto rango utilizado para realizar concretos autocompactantes, se utilizó para darle propiedades a las mezclas diseñadas de manejabilidad, mejorando así mismo su permeabilidad y adicionalmente mejorar las resistencias mecánicas del mismo, el cual fue proporcionado por Toxement.

LIMITACIONES

La presente investigación se limitará a estudiar las propiedades de los materiales utilizados para realizar la mezcla de concreto estructural ligero y autocompactante en estado fresco así mismo como en su estado endurecido, así mismo como los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión de las mezclas utilizadas, teniendo como base una mezcla de concreto de 21 MPa o 3000 Psi de concreto convencional para realizar las comparaciones correspondientes a las diferentes resistencias a al ensayo de resistencia a la compresión y a la flexión de las muestras, adicionalmente reconocer las características de cada una de las mezclas para ser un concreto autocompactante (CAC).

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades y las características en estado fresco, así como en estado endurecido de concretos ligeros y autocompactantes a partir de poliestirenos expandidos, con potencial de ser utilizados en elementos estructurales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el comportamiento reológico del concreto autocompactante y ligero a partir de ensayos de laboratorio, con la finalidad de evaluar y analizar la deformación y el flujo de las mezclas con diferentes porcentajes de poliestireno expandido.
- Determinar la variación del peso de las muestras diseñadas de concreto autocompactante y ligero con diferentes porcentajes de poliestirenos expandidos los cuales son (1%,1.5% y 2%), con respecto al concreto de la muestra testigo.
- Evaluar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y ligero con diferentes porcentajes de poliestirenos expandidos (1%,1.5% y 2%), a partir de los ensayos de laboratorio propuestos por la normatividad vigente.

1. CAPÍTULO METODOLOGÍA

Este capítulo aborda la metodología utilizada para establecer las características y propiedades de los agregados utilizados, así como las propiedades de la mezcla de concreto autocompactante y ligero en estado fresco y en estado endurecido, las cuales serán sometidas a una serie de ensayos de laboratorio los cuales dan los parámetros para continuar las evaluaciones del concreto autocompactante y ligero, con el fin de determinar y establecer el diseño de mezcla idóneo para fundir la mezcla y definir la densidad y el peso volumétrico de las muestras de concreto, así como la evaluación de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto y la resistencia a la flexión de las vigas fundidas.

El alcance definido para esta investigación se define a continuación numerando los ensayos a utilizar y la normativa dirigida a cada uno.

1.1 Caracterización de los Agregados Utilizados en el CAC y ligero

1. Análisis Granulométrico de los agregados fino y grueso **(NTC 77) (ASTM C136)**.
2. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto **(NTC 127) (ASTM C40)**.
3. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino **(NTC 237) (ASTM C128)**.
4. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso **(NTC 176) (ASTM C127)**.
5. Método de ensayo para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75µm (No 200) **(NTC 78) (ASTM C117)**.
6. Método para la determinación de la densidad volumétrica (Masa Unitaria) y vacíos en agregados **(NTC 92) (ASTM C29M)**.
7. Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso **(INV E 227-13) (ASTM D5821)**.
8. Índice de aplanamiento y alargamiento **(INV.E-230)**.
9. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos mayores de 19mm, utilizando la máquina de los ángeles. **(NTC 93) (ASTM C535)**.
10. Método de ensayo para la determinación de partículas livianas en los agregados **(NTC 130) (ASTM C123)**.

1.2 Ensayos en el cemento

11. Finura Blaine del cemento **(NTC 33) (ASTM C204)**.
12. Densidad del cemento **(NTC 221) (ASTM C1157/C1157M)**.
13. Tiempos de fraguado del cemento **(NTC 118) (ASTM C191)**.

14. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado **(NTC-220) (ASTM C 109M)**.

1.3 Ensayos en concreto ligero y autocompactante en estado fresco

1. Diseño de Mezcla **(NSR-10) (ACI 211.2) (ACI C.237.2) (ASTM C 330)**.
2. Ensayo de Reología a la mezcla de concreto autocompactante **(ICAR Rheometer-German Instruments)**.
3. Métodos de ensayo para medir el flujo libre, flujo restringido y segregación en concretos autocompactante **(NTC 5222) (ASTM C1611)**.

1.4 Ensayos en estado endurecido

1. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto **(NTC 673) (ASTM C39)**.
2. Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) **(NTC-2871) (ASTM C78)**.
3. Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto **(NTC-1926) (ASTM C138)**.
4. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson del concreto a compresión **(NTC-4025) (ASTM C469)**.
5. método para determinar la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones cloruro **(ASTM-C1202) (NTC 5551)**.
6. Carbonatación RILEM **(NTC 5551) (ASTM C 1152)**.

A Partir de los procedimientos anteriormente mencionados se genera un plan de trabajo el cual se representa a través de un Diagrama de Flujo que lleva el procedimiento para la evaluación de los materiales, caracterización de los mismos, correspondiendo al diseño de la mezcla llegando a las condiciones idóneas para que el concreto cumpla las cualidades para ser un concreto autocompactante y ligero.

1.5 DIAGRAMA DE FLUJO CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE

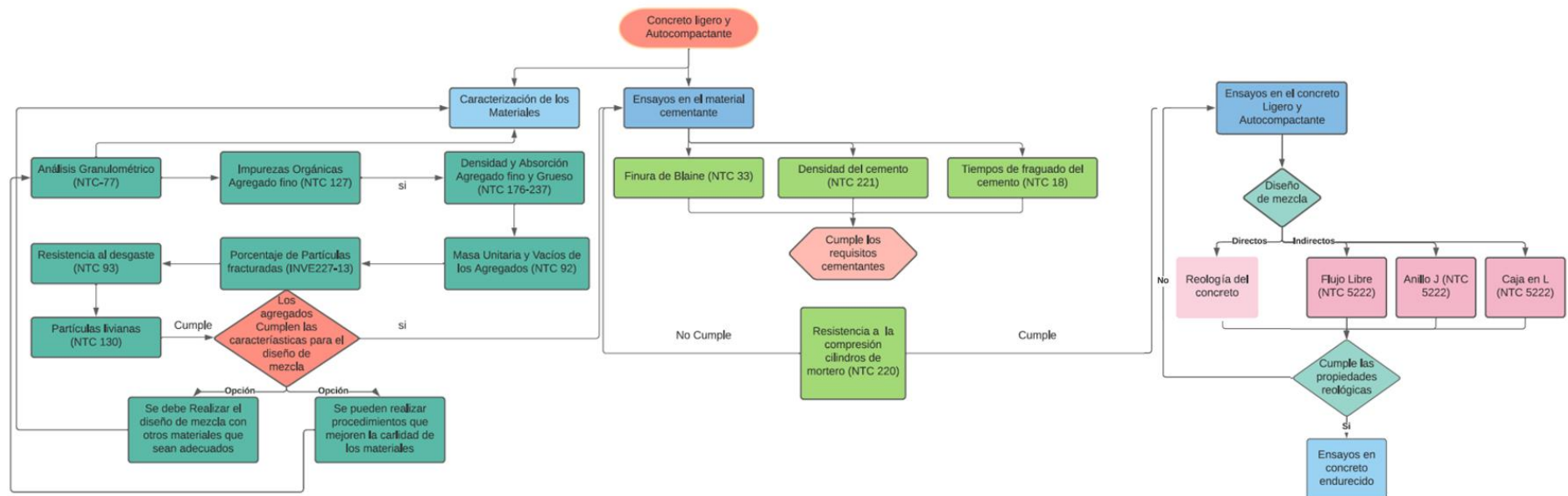


Gráfico 1 Diagrama de flujo procedimiento del concreto ligero y autocompactante- Fuente: propia

2. CAPITULO MARCO TEORICO

El concreto autocompactante debe ser evaluado a partir de condiciones de humedad óptima, debido a que disminuye contenidos de agregado grueso debe implementar mayores contenidos de cemento y hacer inclusiones de aditivos de diferentes tipos para formar las propiedades reológicas adecuadas de un concreto (CAC)

Con el fin de obtener resultados acordes a las necesidades expuestas anteriormente es necesario realizar los ensayos expuestos en el capítulo 1 metodología, para determinar la adecuada dosificación y caracterización de materiales.

Debido a que el concreto va a tener características que reducen su densidad se deben evaluar diferentes diseños de mezcla para definir el más óptimo, que cumpla con las condiciones para ser un concreto estructural, autocompactante y ligero.

2.1 Clasificación de los agregados

Los agregados regularmente se dividen en dos categorías las cuales son: Agregados Gruesos y Agregados finos, en cuyo caso los agregados finos se fundamentan en arenas de origen natural las cuales pueden tener tamaños desde 150 micras hasta 9.5 mm, por contrario los agregados gruesos son los que tienen granos o fragmentos que se retienen en Tamiz No 16 y su tamaño puede varias hasta 152 mm.

Comúnmente el tamaño máximo utilizado para la producción de concreto es de 19mm a 25 mm, esta pasta de concreto está conformado a partir de cemento portland, agua y aire incluido o incorporado, la cual ocupa entre el 25% y el 40% del volumen total del concreto.

Debido a que los agregados abarcan un porcentaje que está dentro del 60% y el 75% del volumen total de la mezcla del concreto, su caracterización y selección se convierte en una característica fundamental para el buen funcionamiento de la mezcla, por lo tanto las condiciones de resistencia a cargas vivas y muertas, así como su resistencia a la exposición a condiciones ambientales dependen fundamentalmente de un buen uso y selección de los agregados, así mismo estos no pueden contener materiales o partículas que puedan o aumenten las causales de deterioro del concreto. A partir de esto es de vital importancia obtener la calidad idónea del concreto, esta mezcla debe estar elaborada adecuadamente por lo tanto es ideal contar con una granulometría uniforme en donde las partículas tengan una selección continua en su tamaño.

La norma Técnica Colombiana 174 (NTC 174,2000) “Concretos, Especificaciones de los agregados para concretos”, dispone las condiciones de gradación y a su vez de calidad de los agregados finos y gruesos para ser utilizados en mezclas de concreto, la clasificación de estos agregados finos y gruesos por tipo son:

1. Clasificación por tamaño
2. Clasificación por forma
3. Clasificación por Origen
4. Clasificación por Color
5. Clasificación por su modalidad de fragmentación
6. Clasificación por densidad
7. Agregados de aprovechamiento o reciclados

2.2 Clasificación por tamaño de los agregados:

- Menor a 0.002 mm se clasifica como (clasificados como Arcilla partículas muy finas). No es recomendable su uso para mezclas de concreto).
- Tamaño de 0.002 mm a 0.074mm (Limo de fracción muy fina). Es recomendable hasta un % en la mezcla de concreto la cual debe ser definida.
- Tamaño de 0.074mm a 4.76 mm (clasificados como Arenas de Agregado fino). Apto para realizar mezclas de concreto y mortero.
- Entre 4.76 mm a 19.1 mm (Gravas de $\frac{3}{4}$ "). Apto para realizar mezclas de concreto reforzado y pretensado
- Tamaño de 19.1 mm a 50.8 mm (Gravas de 2"). Agregado grueso apto para Realizar mezclas de concreto reforzado, utilizados mayormente para fundir cimentaciones.
- Tamaños superiores a 50.8 mm (clasificados como Agregado grueso). Apropiado para mezclas de concreto que no necesitan refuerzo.

Adoptado de: Manual de agregados para el hormigón, 2014

2.3 Clasificación por forma o estructura de los agregados:

La estructura de los agregados generalmente está asociada a la textura de los mismos, a partir de esto los agregados que tienen a tener una forma redondeados tienen una textura lisa y los agregados angulares tienen una textura rugosa, a pesar de que el agregado redondeado tiene una textura lisa tiene una rugosidad adecuada para generar una cohesión entre la pasta de cemento y el agregado.

Adoptado de: Concrete Technology Shetty, 2005.

2.4 Clasificación por origen:

La clasificación por origen se evalúa en base a la fuente natural de las rocas y así mismo los procesos fisicoquímicos que se llevan a cabo en su formación las cuales son:

2.4.1 Agregados de origen ígneo:

Son aquellos agregados que provienen de rocas ígneas, las cuales pueden ser clasificadas en:

- Intrusivas, abisales o plutónicas
- Filonianas o hipoabisales
- Extrusivas, efusivas o volcánicas

2.4.2 Agregados de origen sedimentario:

Son aquellos agregados que provienen de rocas sedimentarias, estas rocas son las que tienen una abundancia considerable en la superficie de la tierra. Este tipo de rocas está conformado mayormente por partículas de rocas ígneas, metamórficas u otras, estas pueden obtener su origen a través de la precipitación o descomposición tanto química como mecánica.

2.4.3 Agregados de origen metamórfico:

Son aquellos agregados provenientes de rocas que han tenido cambios en su composición mineralógica, las cuales provienen de rocas ígneas y sedimentarias que han experimentado altas temperaturas de contacto o dinámicas.

2.4.4 Clasificación por color

La clasificación por el color de los agregados es una de las más sencillas de establecer, debido que esta únicamente considera el color del material con el fin de establecer una diferencia entre los diferentes agregados, esta clasificación es una metodología que aporta poca información del material y así mismo no se pueden establecer las propiedades y el comportamiento que va a tener en la mezcla de hormigón.

2.4.5 Clasificación por peso específico.

La clasificación por peso específico o gravedad específica se evalúa a partir del peso en masa unitaria que puedan tener los agregados que vayan a ser utilizados o analizados, a partir de estas características se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Agregados ligeros.
- Agregados Normales y pesados.

2.5 AGREGADOS PARA CONCRETOS LIGEROS

Los agregados para mezclas en concretos ligeros pueden ser de origen natural o artificial. En la mayoría de los casos son utilizados agregados de origen inorgánico, con alta porosidad y de bajo peso volumétrico.

Las propiedades físicas de estos agregados, como su porosidad, contenido de agua, peso volumétrico, peso específico, capacidad de absorción y resistencia, se pueden determinar a partir de los procedimientos convencionales utilizados para los agregados en concretos ordinarios.

Con la finalidad de evaluar un concreto ligero es necesario realizar los ensayos necesarios, debido a que en cada situación las propiedades de los materiales son distintas a pesar de tratarse de un mismo agregado.

2.5.1 TIPOS DE AGREGADOS

CLINKER

Los agregados que conforman el Clinker son de origen mineral inorgánico, los cuales contienen Caliza y arcilla, los cuales son sometidos a un horno de altas temperaturas y combustión, estos son triturados y mezclados con yeso, adicionalmente de diferentes adiciones las cuales permiten fabricar distintos tipos de cemento.

A partir de estos agregados se forman granos o pequeñas partículas las cuales tienen tamaños entre 0.5 y 25 mm los cuales dependiendo de los requisitos de las diferentes normativas se pueden transformar en los siguientes tipos de Clinker de alta calidad para cementos de uso general o estructural:

- Clinker Portland
- Clinker SR
- Clinker Blanco

ESCORIA ESPUMOSA

La escoria espumosa se obtiene a partir del enfriamiento acelerado de la escoria líquida producida a partir de hornos de alta temperatura de hierro, utilizando una cantidad limitada de agua.

La cual al ser procesada adquiere una estructura porosa muy similar a la piedra pómez natural, este producto debe ser triturado al obtenerse para ser utilizado como agregado.

Una de las características principales de la escoria espumosa es su acción cementante al tener contacto con cal o cemento portland, mediante la cual se logran obtener resultados con gran beneficio en la resistencia del concreto.

ARCILLA EXPANDIDA

La arcilla expandida se obtiene al someter algunos tipos de acillas y pizarras a altas temperaturas hasta lograr un estado plástico, las cuales incrementan su volumen entre 5 y 6 veces debido a la reacción de sulfatos y carbonatos a partir de la descomposición de elementos orgánicos, las cuales se transforman en pequeñas celdas separadas por el material vitrificado.

Este producto se somete a una trituración y gradación para ser utilizado como agregado, los concretos ligeros hechos a partir de arcillas o pizarras expandidas establecen sus resistencias no solamente a partir de la resistencia del agregado si no, a su vez del procedimiento que se realice al mismo para su mezcla, tales como la compactación su forma y granulometría.

CENIZAS DE COMBUSTIBLE PULVERIZADO

Las cenizas producidas a partir de combustible pulverizado, son obtenidas a partir de plantas termoeléctricas, las cuales para generar energía realizan un proceso de quema de combustible dejando como residuo cenizas que pueden ser utilizadas como agregado ligero.

Estas cenizas son procesadas a altas temperaturas las cuales a partir de fusión incipiente logran formar esferas porosas las cuales tienen una resistencia considerable y de múltiples tamaños. En estos tipos de agregados se han encontrado propiedades importantes como el aislamiento térmico, mejores contracciones por secado y relaciones de humedad.

Es de suma importancia que este agregado sea evaluado de manera minuciosa previo al uso en la mezcla debido a los porcentajes altos de sulfatos provenientes de las cenizas de combustible no quemado, los cuales deben reducirse mediante inclusión de aire en el proceso de fusión.

VERMICULITA EXFOLIADA

La vermiculita exfoliada es un agregado con altos contenidos de magnesio que se expanden rápidamente al ser sometidas a altas temperaturas las cuales forman estructuras laminares compuestas de partículas frágiles y blandas.

Las cuales son utilizadas en revestimientos de concreto ligero como aislamientos térmicos, en bloques de concreto y losas.

PERLITA EXPANDIDA

La perlita expandida es un agregado de origen volcánico, la cual se obtiene al realizarse naturalmente un enfriamiento rápido de la lava, es de un aspecto vidrioso por su alto contenido de sílice.

Se realiza un proceso de calentamiento rápido en hornos para formar un material expandido y poroso el cual tiene un peso volumétrico bastante bajo que va desde los 90 a 240 Kg/m^3 .

La resistencia obtenida en concretos ligeros a base de perlita expandida es muy baja, por lo cual no se recomienda su uso en concretos estructurales, sus usos más comunes son en acabados y bloques divisorios.

PIEDRA POMEZ

La piedra pómez o roca pumita es un agregado de origen volcánico, es de gran porosidad y de una estructura vidriosa, posee un alto contenido de sílice y bajo contenido de calcio y de magnesio. La porosidad de este agregado proviene al escape de gases en el proceso de enfriamiento de la lava, su resistencia es considerablemente baja y su absorción es alta.

POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno expandido o EPS es un material de origen artificial el cual es un material plástico celular y rígido el cual es producido a través de una reacción de polimerización, en donde moléculas pequeñas (monómeros), se transforman poco a poco en moléculas de cadenas largas ramificadas tridimensionalmente.

El poliestireno expandido ha avanzado en los últimos años en la industria de la construcción por las propiedades que aporta a las edificaciones y diferentes obras civiles como:

- Ligereza
- Capacidad de aislamiento térmico
- Reducción de impactos o Amortiguación de impactos
- Versatilidad
- Higiene
- 100% reciclable

La investigación plantea la implementación de poliestireno expandido para ser utilizado como agregado ligero en el concreto autocompactante debido a que es un material que posee un peso por unidad de volumen bastante bajo, a partir de su estructura molecular la

cual es 98% contenido de aire y 2% de material plástico, aportando grandes capacidades en aislamiento térmico y aporte a la permeabilidad a los ataques por humedad.

Este material además de aportar una densidad baja al concreto se destaca por sus propiedades físico mecánicas, la cual presenta una buena resistencia a la compresión y a la flexión, así como su resistencia a la tracción y al corte, adicionalmente de una buena elasticidad, las cuales son propiedades necesarias en las mezclas de concreto.

A partir de esto se pueden realizar las evaluaciones necesarias para que el poliestireno expandido mejore las cualidades del concreto y aporte las características para realizar un diseño de mezcla adecuado.

Actualmente se han realizado investigaciones y aportes del concreto ligero con poliestirenos expandidos, tanto en uso no estructural como su uso en elementos estructurales, a partir de estas investigaciones con la finalidad de ampliar las evaluaciones y condiciones de este agregado como aporte liviano al concreto, se evaluarán las condiciones del mismo en un concreto autocompactante, con la finalidad de establecer si es factible que el comportamiento de este agregado permita crear un diseño de mezcla que incorpore ambas características (concreto liviano y autocompactante).

2.6 CONCRETOS LIGEROS

El concreto ligero, así como los concretos ordinarios es un material compuesto por agregados inorgánicos, así como mortero y agua, a diferencia de los concretos mayormente usados en la construcción de obras civiles, este material cuenta con la característica de tener un peso reducido, lo cual influye directamente en su resistencia, pero actualmente se ha evidenciado un potencial en estructuras que no requieren un alto nivel de resistencia como casas, oficinas y apartamentos.

A partir de las propiedades y pesos volumétricos se atribuyen las siguientes clasificaciones:

- Concretos ligeros de baja resistencia: Son concretos los cuales poseen una resistencia de hasta 1000 Psi y un peso unitario por debajo de los 800 Kg/m^3 los cuales poseen propiedades de aislamiento térmico.
- Concretos ligeros de resistencia moderada: Los cuales obtienen resistencias entre 1000 Psi a 2500 Psi y su peso unitario varía entre los 800 a 1440 Kg/m^3 , los cuales son utilizados en su mayoría como revestimientos térmicos y elementos no estructurales que puedan admitir la resistencia aportada.
- Concretos ligeros estructurales: los cuales tienen una resistencia la cual permite su uso en elementos estructurales con una resistencia a la compresión entre los 2500

Psi hasta los 3000 Psi superior a los y su peso unitario varía entre 1440 a los 1900 Kg/m^3 .

A partir de estas clasificaciones se presenta la siguiente gráfica en base a su resistencia uso y peso volumétrico de acuerdo a diferentes agregados que intervienen en su fabricación.

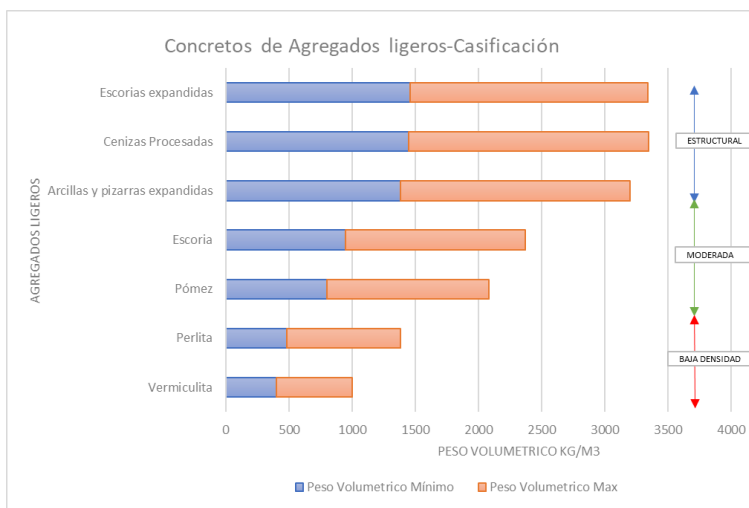


Ilustración 4 Clasificación de Concretos ligeros de acuerdo a sus agregados; Adoptada de: Concretos ligeros; Velmart Roman 2003

El concreto ligero como material para la construcción es producido en Colombia por grandes empresas de distribución tanto en materiales cementantes como concretos de diferentes tipos y utilidades los cuales recomiendan su uso para:

2.7 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES (CAC)

El concreto autocompactante (CAC), es un concreto altamente fluido el cual no tiene segregación de sus agregados, es un hormigón con la cualidad de encapsulamiento del acero de refuerzo sin ningún tipo de vibrado o consolidación a través de métodos manuales o mecánicos, el cual es capaz de compactarse por acción de la gravedad.

Estos concretos se determinan autocompactantes si en estado fresco cumplen con la habilidad de paso, resistencia a la segregación y capacidad de lleno, los cuales son diseñados a partir de la Norma ACI C237.

Estos concretos deben ser diseñados con bastante precaución debido a que a partir de aditivos se altera su relación agua cemento, incrementando la cantidad de material cementante y alterando su viscosidad a partir de agentes químicos que mejoran sus propiedades y condiciones al momento de realizar el vaciado.

A partir de estas condiciones se realizará la evaluación del concreto autocompactante en estado fresco con la finalidad de establecer las adecuadas propiedades en su flujo, habilidad de paso y viscosidad en la condición de concreto autocompactante y ligero con

determinando si el poliestireno expandido afecta las condiciones para ser considerado autocompactante.

2.8 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES Y LIGEROS

Los concretos autocompactantes (CAC) tienen propiedades que aportan muchas cualidades importantes en la ejecución de las obras civiles, los cuales generan mejores acabados debido a la uniformidad de las partículas de los agregados, aumento de velocidad y colocación en obra, así como la habilidad de paso a través de las obstrucciones generadas a través del acero de refuerzo.

Los concretos ligeros han tenido usos a través del tiempo en prefabricados y en elementos no estructurales, pero sus propiedades han llevado a la necesidad de evaluar si es un concreto que pueda ser utilizado en elementos estructurales ya que los beneficios en costo de materiales y administrativos de las estructuras disminuirían en forma proporcional al poder reducir las secciones de los elementos estructurales y así mismo las secciones de cimentación, evaluando que se reducirían costos desde la excavación de las estructuras hasta su cubierta.

El concreto ligero y autocompactante tiene características y cualidades de ejecución fundamentales en la construcción de obras civiles ya que este concreto aporta todas las cualidades de un concreto autocompactante en manejabilidad y fluidez y adicionalmente se podrían evaluar mejores comportamientos en las cargas y en análisis sísmico de las estructuras, lo cual generaría mejores cualidades en los presupuestos de los proyectos y la optimización de secciones y espacios en las edificaciones.

Los beneficios que este concreto proporcionaría a las obras hacen necesario realizar una investigación profunda de las cualidades y la calidad esperada, la cual será evaluada a partir de ensayos de laboratorio realizados, con la finalidad de que contenga las propiedades de un concreto Autocompactante (CAC) ayudando al comportamiento del concreto al momento de ejecutar las obras y así mismo la reducción considerable del peso unitario y a su vez que pueda ser utilizado como un concreto estructural cumpliendo la resistencia mínima requerida para comportarse de manera adecuada ante las cargas a las cuales podría ser impuesto en cualquier estructura de concreto.

A partir de estos beneficios y comportamientos se evalúan las características de los agregados y del material cementante del concreto ligero y autocompactante para lograr concebir una mezcla que cumpla las cualidades buscadas en la investigación realizada.

2.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA, PESO VOLUMETRICO, HABILIDAD DE PASO, FLUJO Y VISCOSIDAD DE LOS CONCRETOS LIGEROS Y AUTOCOMPACTANTES

2.9.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

La granulometría de los agregados influye directamente en el comportamiento y en la resistencia de los concretos, debido a que tanto su dosificación como sus propiedades inciden directamente en el comportamiento de la mezcla en estado fluido y endurecido.

A partir de estas características es necesario evaluar las condiciones en las que se encuentran los agregados que van a ser utilizados en la mezcla del concreto autocompactante y ligero, no solamente su forma, tamaño o textura de las partículas, si no, a su vez sus propiedades físicas las cuales van a incidir en la resistencia, fluidez y peso volumétrico de la mezcla resultante.

2.9.2 CANTIDAD DE CEMENTO

La cantidad de material cementante es fundamental para obtener la resistencia adecuada y requerida en los concretos, por lo tanto, el contenido mínimo de cemento se convierte en una pieza fundamental para el diseño de mezcla de concreto.

A pesar de que la cantidad de cemento puede influir directamente en la resistencia del concreto, es necesario realizar las evaluaciones adecuadas de si el cemento cumple con las condiciones suficientes de finura y resistencia para ser utilizada en la mezcla de concreto autocompactante y ligero.

2.9.3 CANTIDAD DE AGUA Y CONSISTENCIA

La trabajabilidad de los concretos es uno de los factores más importantes en las mezclas de los concretos. Tanto en concretos comunes como en concretos especiales como un concreto autocompactante y ligeros, debido a que deben llenar completamente y de manera homogénea las formaleas o los moldes en los cuales son vaciados recubriendo totalmente el acero de refuerzo.

Esto solamente se logra cuando el concreto elaborado tiene adecuadas proporciones de agua en relación con su densidad, debido a que los concretos ligeros tienen agregados que puedan afectar su proporción de agua es necesario evaluar en condiciones reales y métodos experimentales cual es la dosificación adecuada de agua con la finalidad de establecer una adecuada manejabilidad que pueda tener las propiedades de un concreto autocompactante y ligero.

2.9.4 MEZCLA Y DOSIFICACION DEL CONCRETO

La mezcla de concreto afecta de manera directa su resistencia y manejabilidad debido a que el tipo de mezcla o maquinaria puede afectar la homogeneidad de sus materiales.

Esto y a su vez las proporciones utilizadas de cada uno de sus materiales, por estas condiciones se han establecido guías las cuales dan unas condiciones iniciales al tener una evaluación adecuada de los agregados, las cuales pueden ser utilizadas para aproximarse a la mezcla más adecuada para el concreto ligero o autocompactante.

El criterio empleado para la dosificación debe tomar como base las propiedades físicas y mecánicas que sean solicitadas al concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. Las cuales por lo general se solicitan en resistencia y en asentamiento o flujo de revenimiento del mismo dependiendo de la complejidad de la obra civil.

Para esta investigación se inicia el proceso de diseño de mezcla del concreto a partir de las siguientes normas:

- Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)
- Standard Practice for selecting proportions for structural Lightweight, 2004) (ACI 211.2)
- Presión de forma ejercida por el hormigón autocompactante: factores primarios y modelos de predicción (ACI 237.2)

Debido a no existir una norma o guía estandarizada para la mezcla de concretos ligeros y autocompactantes se establecen los parámetros de las guías anteriormente mostradas como una guía previa para realizar mezclas experimentales que puedan dar como resultado una mezcla de diseño adecuada para tener un concreto autocompactante y ligero.

Debido a la sensibilidad de las muestras de concreto autocompactante es necesario evaluar todos los parámetros necesarios para que los diseños de mezcla puedan ser definidos de manera adecuada, debido a que las propiedades de los agregados y las dosificaciones pueden afectar de manera significativa la mezcla de concreto autocompactante y ligero, a partir de esto es necesario contemplar diferentes tipos de mezclas y dosificaciones, con la finalidad de establecer parámetros y líneas claras que den como resultando un concreto con las propiedades y resistencia deseada.

ENSAYOS DE LABORATORIO EN LOS AGREGADOS

3. CAPÍTULO CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA EL CAC Y LIGERO

3.1 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS PARA EL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 77.

El análisis granulométrico de los materiales, abarca la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, todo esto a partir de un proceso de tamizado.

Con el fin de tener una caracterización de los agregados escogidos previamente para el diseño de mezcla, esos son muestras secas, previamente pesadas los cuales van a ser separados por una serie de tamices, los cuales tienen aberturas que van progresivamente más reducidas para poder determinar adecuadamente la distribución del tamaño de las partículas de los agregados.

A partir del análisis granulométrico se puede encontrar la dosificación de los agregados finos y gruesos adecuada para el diseño de mezcla del concreto autocompactante y ligero, adicionalmente que se puede determinar coeficientes que preliminarmente dan a conocer si es un agregado que puede satisfacer las exigencias y las condiciones de la normatividad colombiana vigente para el desarrollo de concretos estructurales.

3.1.1 Materiales

Arena

Arena de río suministrada por AGREGADOS NACIONALES S.A.S, ubicada en el Km 4 vía Guamo-Saldaña, de color gris oscuro.

Grava

Grava con partículas de materiales pétreos, suministrada por AGREGADOS NACIONALES S.A.S, ubicada en el Km 4 vía Guamo-Saldaña, de color gris oscuro.

Piedra Pumita

Roca ígnea de baja densidad esta se constituye de como una puzolana de aplicaciones en la industria, es una roca ligera debido a su formación a partir de gases volcánicos, fue suministrado por la empresa Bioespacio S.A.S.



Ilustración 5 Registro fotográfico de materiales empleados- Fuente: Propia

3.1.2 Aparatos de laboratorio

Todos los aparatos de laboratorio y calibraciones son efectuados a partir de la normatividad vigente en donde se designan los aparatos para la adecuada ejecución del ensayo

1. Balanza
2. Tamices
3. Horno



Ilustración 6 Aparatos de Laboratorio -Fuente: Propia

3.1.3 Procedimiento

Secado de las muestras

De acuerdo al procedimiento indicado por la normatividad vigente, se procede a realizar un secado de la muestra hasta obtener una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Las muestras de los agregados a utilizar se les realizó el procedimiento de secado a través de un horno de laboratorio:



Ilustración 7 Secado de las muestras al Horno

Tamizado

A partir de la muestra seca se deben elegir las dimensiones adecuadas de los tamices con el objetivo de suministrar información coherente, adecuada y exigida garantizando que Cubre los requisitos de especificación de los materiales probados.

A partir a la estipulación de tamices se disponen los tamaños adecuados para la evaluación de los tamaños de las partículas de la arena, la grava y la piedra pumita utilizada en este diseño de mezcla.

Análisis por tamizado.				Análisis por sedimentación.		
DENOMINACIÓN DEL AGREGADO	3"	Gravas	Nº4	Nº200		
			Arenas	Limo	Arcillas	Coloides
Tamaño o tamiz de partícula. (mm)	76,2	4,75	0,075	0,002	0,0002	

Ilustración 8 Denominación de Análisis por tipo de Agregado- fuente: Propia



Ilustración 9 Tamizado de los materiales- Fuente: Propia

3.1.4 Resultados del ensayo

A partir de los resultados obtenidos en la experimentación (ensayos de laboratorio) se puede obtener la siguiente clasificación de acuerdo al análisis granulométrico.

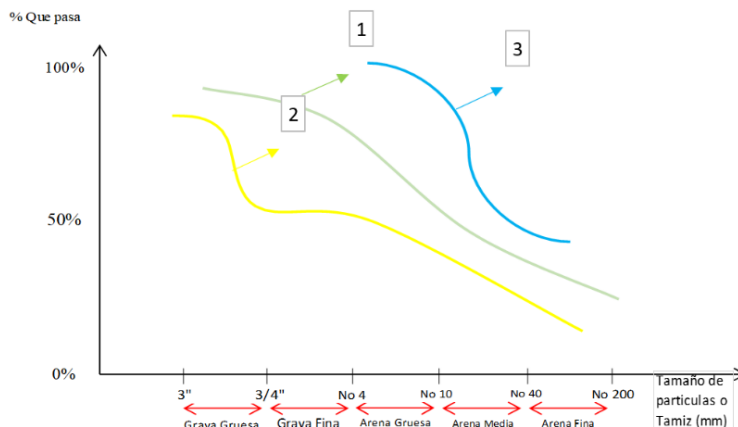


Gráfico 2 Clasificación de los agregados de acuerdo a su gradación, Fuente: propia

Análisis Granulométrico Arena

Tabla 2 Análisis Granulométrico (Arena)- Fuente: Propia

Masa Inicial (g)			1515,2	Especificación		CLASIFICACIÓN DE SUEOS POR TAMIZADO (SUCS) INV- 181-13
Tamiz	Masa retenida g	% retenido	% pasa	Especificaciones de los agregados para concreto NTC 174. Tabla 1.		
3"	0,0	0,0	100			Grava (Pasa tamiz No 3 - Retiene No 4)
2 1/2"	0,0	0,0	100			
2"	0,0	0,0	100			
1 1/2"	0,0	0,0	100			
1"	0,0	0,0	100			
3/4"	0,0	0,0	100			
1/2"	0,0	0,0	100			
3/8"	0,0	0,0	100	100	100	Arena (Pasa Tamiz No 4 - Retiene No 200)
No. 4	44,4	2,9	97	95	100	
No. 8	43,8	2,9	94	80	100	
No. 10	12,6	0,8	93			
No. 16	87,0	5,7	88	50	85	
No. 30	804,8	53,1	34	25	60	
No. 40	199,3	13,2	21			
No. 50	127,1	8,4	13	10	30	
No. 100	140,0	9,2	4	2	10	
No. 200	38,4	2,5	1,2			Limo y Arcilla (Combinados)

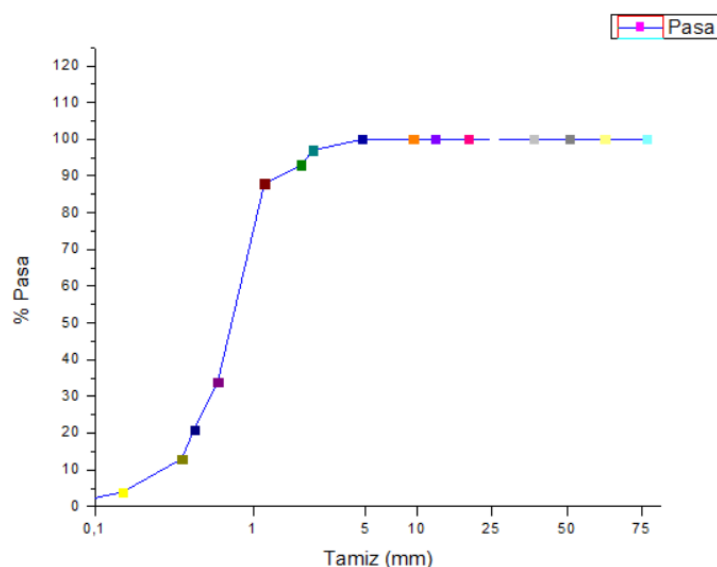


Gráfico 3 Curva Granulométrica (Arena), Fuente: Propia

3.1.4.1 Análisis Granulométrico Grava

Tabla 3 Análisis granulométrico (Grava)- Fuente: Propia

Masa Inicial (g)			1515,2	Especificación		CLASIFICACIÓN DE SUEOS POR TAMIZADO (SUCS) INV- 181-13
Tamiz	Mara retenida g	% retenido	% pasa	Especificaciones de los agregados para concreto NTC 174. Tabla 1.		
3"	0,0	0,0	100	100 100 90 40 0 0 0	100 100 100 70 15 5 0 0	Grava (Pasa tamiz No 3 - Retiene No 4
2 1/2"	0,0	0,0	100			Arena (Pasa Tamiz No 4 - Retiene No 200)
2"	0,0	0,0	100			
1 1/2"	0,0	0,0	100			
1"	0,0	0,0	100			
3/4"	64,8	1,3	99			
1/2"	851,0	16,8	82			
3/8"	1181,2	23,3	59			
No. 4	2398,6	47,3	11			
No. 8	430,3	9,2	2			
No. 10	0,0	0,0	2			
No. 16	41,1	0,8	1			
No. 30	0,0	0,0	1			
No. 40	0,0	0,0	1			
No. 50	0,0	0,0	1			
No. 100	0,0	0,0	1			
No. 200	29,3	0,6	0,5	Limo y Arcilla (Combinados)		

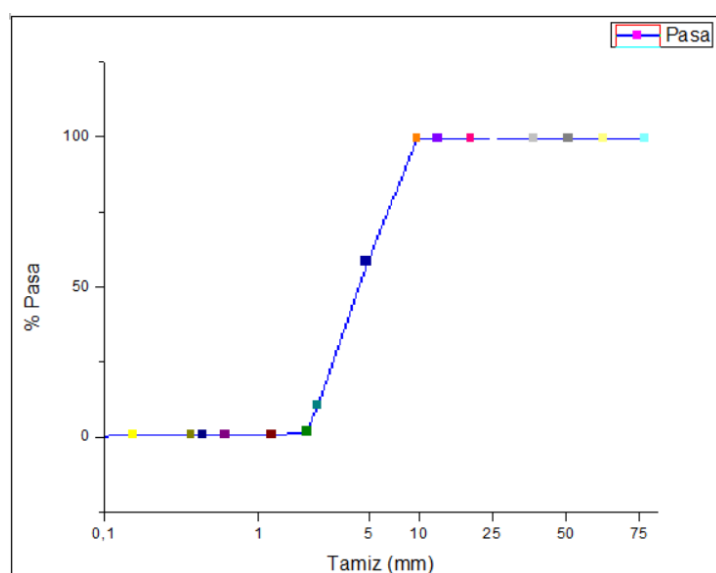


Gráfico 4 Curva Granulométrica Grava, Fuente: Propia

3.1.4.2 Análisis Granulométrico Roca Pumita

Tabla 4 Análisis Granulométrico (Roca Pumita)-Fuente: Propia

Masa Inicial (g)			1515,2	Especificación		CLASIFICACIÓN DE SUEOS POR TAMIZADO (SUCS) INV- 181-13		
Tamiz	Mara retenida g	% retenido	% pasa	Especificaciones de los agregados para concreto NTC 174. Tabla 1.				
3"	0,0	0,0	100			Grava (Pasa tamiz No 3 - Retiene No 4		
2 1/2"	0,0	0,0	100					
2"	0,0	0,0	100			100 95 50 5 2	100 100 20 15	Arena (Pasa Tamiz No 4 - Retiene No 200
1 1/2"	0,0	0,0	100					
1"	0,0	0,0	100					
3/4"	0,0	0,0	100					
1/2"	55,5	2,2	98					
3/8"	797,4	31,9	66					
No. 4	1406,9	56,2	10					
No. 8	23,1	0,9	9					
No. 10	0,0	0,0	9					
No. 16	10,6	0,4	8					
No. 30	0,0	0,0	8					
No. 40	0,0	0,0	8					
No. 50	0,0	0,0	8					
No. 100	0,0	0,0	8					
No. 200	62,0	2,5	5,8	Limo y Arcilla (Combinados)				

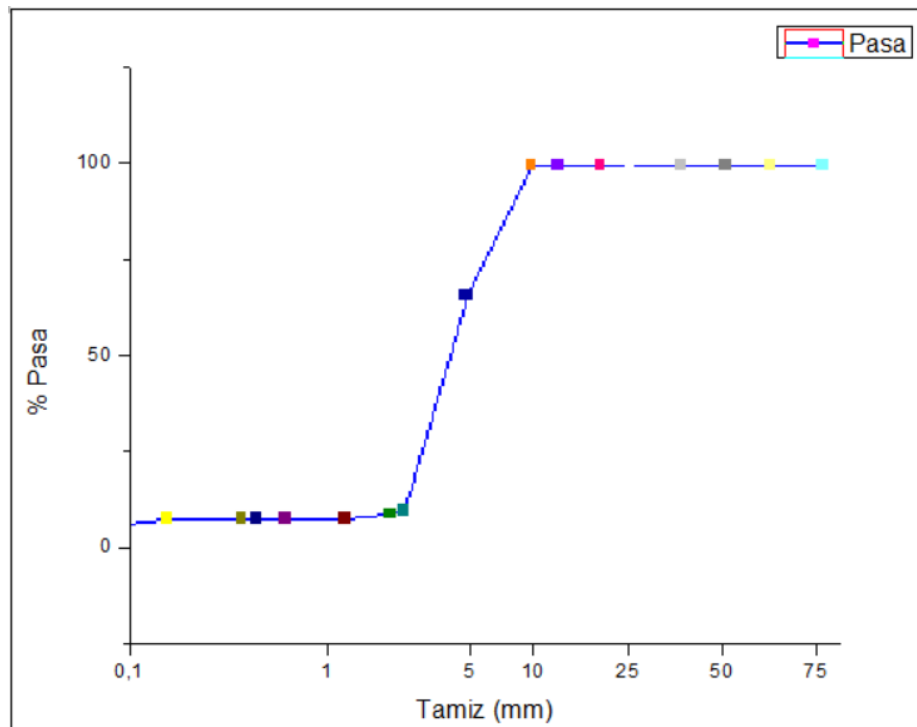


Gráfico 5 Curva Granulométrica (Roca Pumita)- Fuente: Propia

3.1.5 Cálculos

3.1.5.1 Coeficiente de uniformidad

A partir de los resultados extraídos, se desarrolla la ecuación para hallar el coeficiente de uniformidad y se realiza muestra de cálculo para la Arena analizada.

Ecuación 2 Coeficiente de Uniformidad

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Donde:

D_{60} = Diámetro en milímetros, que cumpla que el 60% de las partículas de agregado tengan un tamaño igual o inferior.

D_{30} = Diámetro en milímetros, que cumpla que el 30% de las partículas de agregado tengan un tamaño igual o inferior.

D_{10} = Diámetro en milímetros, que cumpla que el 10% de las partículas de agregado tengan un tamaño igual o inferior.

$$Cu = \frac{9.525 \text{ mm}}{4.75 \text{ mm}}$$

$$Cu = 3.93$$

3.1.5.2 Coeficiente de curvatura

A partir de los resultados extraídos, se tiene el siguiente resultado para el coeficiente de curvatura y se realiza muestra de cálculo para la arena analizada.

Ecuación 3 Coeficiente de Curvatura

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

$$Cc = \frac{(0.6 \text{ mm})^2}{1.18 \text{ mm} * 0.3 \text{ mm}}$$

$$Cc = 1.02$$

3.1.6 Resumen de resultados

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados para los materiales analizados:

Tabla 5 Resumen de resultados Coeficientes Granulométricos Materiales Analizados- Fuente Propia

Granulometría					
Arena		Grava		Roca Pumita	
Cu	3,93	Cu	2,01	Cu	2,01
Cc	1,02	Cc	2,01	Cc	2,01

3.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN LOS AGREGADOS FINOS PARA EL CAC Y AUTOCOMPACTANTE A PARTIR DE LA NTC 127

El objetivo principal de este ensayo de laboratorio es determinar los rangos admisibles de agregados finos en relación a las exigencias relacionados con las impurezas orgánicas en el agregado fino, esto de acuerdo a la existencia de abundantes impurezas orgánicas que puedan afectar de manera significativa la durabilidad, resistencia y comportamiento del concreto ligero y autocompactante en estado endurecido.

3.2.1 Procedimiento

1. Se procede a realizar el llenado de la botella de vidrio hasta alcanzar 130 ml con el espécimen de arena a utilizar
2. Se agrega una solución compuesta de hidróxido de sodio hasta obtener un volumen entre el agregado fino y la solución de 200 ml.
3. A partir de los dos procedimientos anteriores se sella la botella de vidrio se procede a realizar un proceso para unir la solución con la arena, luego se establece un tiempo de reposo de 24 horas.

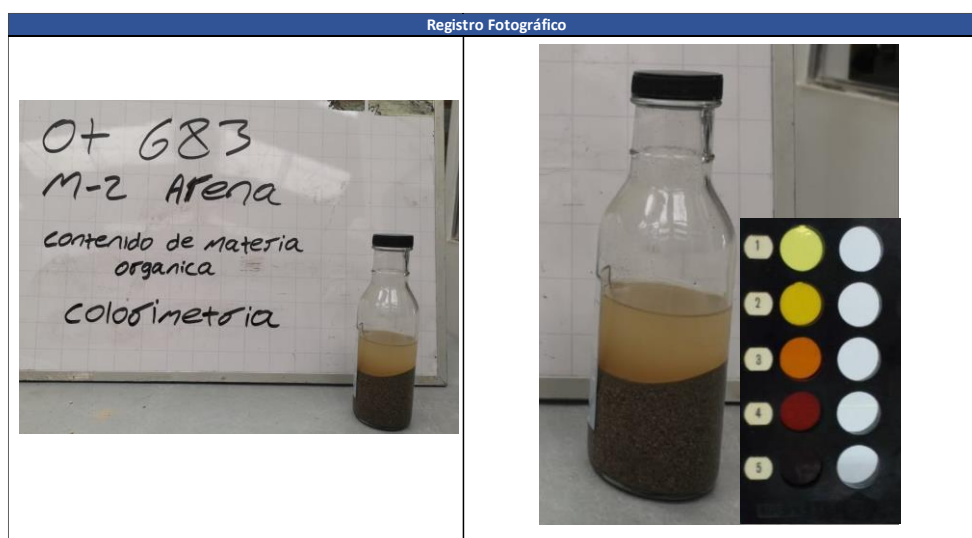


Ilustración 10 Procedimiento de materia orgánica Por colorimetría- Fuente: Propia

3.2.2 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 6 Resultados Materia orgánica por colorimetría- Fuente: Propia

Color de referencia Obtenido	1
Componentes Orgánicos perjudiciales	☒ Si ☐ No

Escala de Vidrios de colores de referencia	
Color de Gardner de Referencia No	Placa orgánica No
5	1
8	2
11	3 (Referencia)
14	4
16	5

3.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABSORCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO A PARTIR DE LA NTC 237

A partir de este método se puede establecer la densidad aparente, así como la densidad nominal a una condición de temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, así como la absorción del agregado fino.

Denominaciones:

1. Densidad: Relación directa entre el peso y el volumen de cualquier sustancia
2. Densidad Nominal: Relación entre el peso y el volumen que ocupa la sustancia incluyendo los poros no saturables.
3. Densidad Aparente: Relación entre el volumen de una sustancia y el peso seco, incluyendo vacíos y poros que contenga independientemente de que sean aparentes o no.

Estos títulos (Nominal o aparente) infieren utilizar el volumen de un material, esto debido a que los agregados para el concreto contienen un porcentaje de porosidad el cual puede saturarse o no. De esta forma si se utiliza el volumen externo (aparente), la densidad calculada será aparente; si se retira del volumen (aparente) la porosidad del material que puede ser saturado la densidad será nominal y si adicionalmente a esta se retira del cálculo la porosidad del material no saturable esta densidad será total sin ningún título especial.

La absorción del agregado fino es de gran importancia para el proceso de la mezcla de (CAC) y ligero, dado que la mezcla requiere de cantidades considerables de agua y aditivos para obtener propiedades de fluidez con la finalidad de ser eficiente en el paso de los obstáculos que se puedan presentar en la fundida de un elemento estructural.

3.3.1 Aparatos de laboratorio

- Balanza
- Picnómetro
- Molde



Ilustración 11 Picnómetro- Fuente: Propia

3.3.2 Procedimiento

1. Se aparta 1 Kg de la muestra de agregado fino.
2. Se procede a realizar un secado de la muestra en un recipiente con la finalidad de obtener una temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Se sumerge la muestra en agua durante 24 horas aproximadamente.
4. Se realiza el secado de la muestra, retirando el exceso de agua sobre una superficie sin absorción, se realiza con frecuencia una distribución de las partículas sobre la superficie con la finalidad de garantizar un secado homogéneo de la muestra
5. Se evalúan las masas obtenidas
6. Se procede con el llenado del picnómetro con una cantidad parcial de agua, y se incluye una cantidad aproximada de 500g de agregado saturado y superficialmente seco preparado con la finalidad de conseguir un 90% de la capacidad total del picnómetro.
7. Se agita el picnómetro a una temperatura aproximada de 23°C y se procede con el llenado de la totalidad del picnómetro con la muestra de agregado

3.3.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se extrajeron los siguientes resultados:

Tabla 7 Resultados Densidad y Absorción del Agregado fino- Fuente: Propia

Resultados	
Masa al aire seca al horno A. (g)	493,6
Masa del picnómetro aforado lleno de agua. B. (g)	675,1
Masa total del picnómetro aforado y lleno de agua. C (g)	984,4
Masa saturada y superficialmente seca. S (g)	500,6

3.3.4 Cálculos

3.3.4.1 Densidad Aparente

La densidad (aparente) se calcula a aproximadamente 23 °C mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Densidad aparente

$$D_{s\text{ aparente}} = 0.9975 * A / (B + S - C) \quad (3)$$

Donde:

D = Densidad (aparente) (g/cm^3)

A = Masa en el aire secada al horno (gramos)

B = Masa del picnómetro realizando llenado con agua (gramos)

S = Masa saturada y superficialmente seca

C = masa del picnómetro y el agua hasta la marca de calibración (gramos).

$$D_{s \text{ aparente}} = \frac{0.9975 * (493,6 \text{ g})}{(675,1\text{g} + 500,6\text{g} - 984,4\text{g})} \quad (3)$$

$$D_{s \text{ aparente}} = 2.57$$

3.3.4.2 Densidad Aparente (Base saturada y superficialmente seca)

Se realiza el cálculo de la densidad (aparente) Base SSS a 23° C, a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 5 Densidad Aparente (Base saturada y superficialmente seca)

$$D_{s \text{ aparente (base sss)}} = 0.9975 * S / (B + S - C) \quad (4)$$

$$D_{s \text{ aparente (base sss)}} = \frac{0.9975 * (500,6 \text{ g})}{(675,1\text{g} + 500,6\text{g} - 984,4\text{g})} \quad (4)$$

$$D_{s \text{ aparente (base sss)}} = 2.61$$

3.3.4.3 Densidad Nominal

Se realiza el cálculo de la densidad (nominal) a 23° C a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 6 Densidad (Nominal)

$$D_{s \text{ nominal}} = 0.9975 * A / (B + A - C) \quad (5)$$

$$D_{s \text{ nominal}} = \frac{0.9975 * (493,6 \text{ g})}{(675,1\text{g} + 493,6 \text{ g} - 984,4\text{g})} \quad (5)$$

$$D_{s \text{ nominal}} = 2,67$$

3.3.4.4 Absorción

Se realiza el cálculo del porcentaje (%) de absorción mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 7 Absorción

$$\text{Absorción \%} = \left(\frac{S-A}{A} \right) * 100 \quad (6)$$

$$\text{Absorción \%} = \left(\frac{500,6 - 493,6}{493,6} \right) * 100 \quad (6)$$

$$\text{Absorción \%} = 1,42\%$$

Posteriormente a los cálculos empleados se logran los siguientes resultados:

Tabla 8 Resumen de resultados Densidad y Absorción del agregado fino-Fuente: Propia

Resultados Densidad y absorción del agregado Fino	
Masa al aire seca al horno A. (g)	493,6
Masa del picnómetro lleno de agua. B. (g)	675,1
Masa total del picnómetro y lleno de agua. C (g)	984,4
Masa saturada y superficialmente seca. S (g)	500,6
Densidad relativa (gravedad específica). SH	2,57
Densidad seca al horno. SH. (Kg/m^3)	2574
Densidad relativa (Gravedad específica SSS)	2,61
Densidad en condición SSS (Kg/m^3)	2610
Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente)	2,67
Densidad aparente (Kg/m^3)	2672
Absorción (%)	1,4

3.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABOSRCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA Y ROCA PUMITA) A PARTIR DE LA NTC 176

La absorción del agregado grueso es de suma importancia para el desarrollo de la mezcla de (CAC) ligero debido a puede generar modificaciones en la relación agua cemento de la mezcla, por lo tanto, se debe determinar previo al diseño de la mezcla.

La muestra de agregado grueso se sumerge en agua a lo largo de 24 horas aproximadamente con la finalidad de iniciar con el proceso de saturación de los vacíos y poros. A partir de este procedimiento se retira el exceso de agua y se realiza el secado con la finalidad de determinar su masa.

Se finaliza con el secado de la muestra puesta al horno de laboratorio determinando su masa por tercera vez con el fin de evaluar su densidad y absorción.

3.4.1 Aparatos de Laboratorio

- Balanza
- Recipiente
- Tanque de Agua
- Tamices

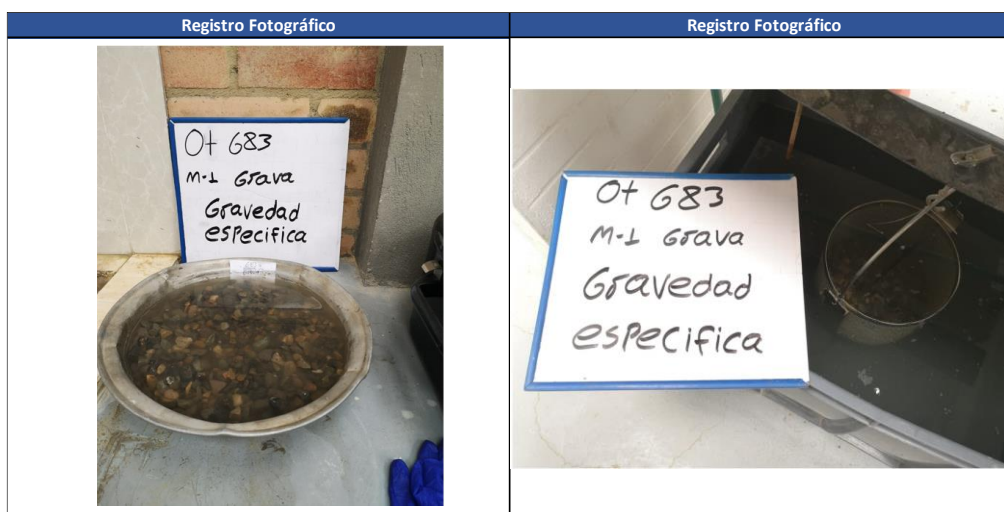


Ilustración 12 Aparatos de laboratorio Densidad y Absorción Agregado grueso- Fuente: Propia



Ilustración 13 Aparatos de laboratorio Densidad y Absorción Roca Pumita- Fuente: Propia

3.4.2 Procedimiento

El procedimiento del ensayo y de calibración de los aparatos de laboratorio se ejecuta según la (NTC-176).

3.4.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtuvieron los siguientes resultados para los materiales:

3.4.3.1 Grava

Tabla 9 Resultados densidad y Absorción Agregado grueso-Fuente: Propia

Resultados Densidad y absorción del agregado grueso	
Masa al aire seca al horno A. (g)	3098,0
Masa saturada y superficialmente seca. B. (g)	3126,3
Masa (aparente) saturada en agua. C. (g)	1947,4

3.4.3.2 Roca Pumita

Tabla 10 Resultados densidad y Absorción Roca Pumita-Fuente: Propia

Resultados Densidad y absorción del agregado Roca Pumita	
Masa al aire de la muestra seca al horno A. (g)	1264,2
Masa saturada y superficialmente seca. B. (g)	2105,5
Masa aparente saturada en agua. C. (g)	267,4

3.4.4 Cálculos

3.4.4.1 Densidad aparente

La densidad (aparente) se calcula a 23° C aproximadamente, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8 Densidad Aparente Agregado grueso

$$D_{sBulk} = 0.9975 * \frac{A}{B - C} \quad (7)$$

$$D_{sBulk} = 0.9975 * \frac{3098,0 \text{ g}}{(3126,3 \text{ g} - 1947,4 \text{ g})} \quad (7)$$

$$D_{sBulk} = 2,63$$

3.4.4.2 Densidad Aparente (saturada y superficialmente seca)

La Densidad Aparente (SSS). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9 Densidad aparente (saturado-superficialmente-seco)

$$D_{s \text{ aparente (Saturado-superficialmente-seco)}} = 0.9975 * \frac{B}{B - C} \quad (8)$$

$$D_{s \text{ aparente (Saturado-superficialmente-seco)}} = 0.9975 * \frac{3126,3 \text{ g}}{3126,3 \text{ g} - 1947,4 \text{ g}} \quad (8)$$

$$D_{s \text{ aparente (Saturado-superficialmente-seco)}} = 2,65$$

3.4.4.3 Densidad Nominal

Se deduce la densidad (nominal), a 23° mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10 Densidad nominal Agregado grueso

$$D_{s \text{ Nominal}} = 0.9975 * \frac{A}{A - C} \quad (9)$$

$$D_{s \text{ Nominal}} = 0.9975 * \frac{3098 \text{ g}}{3098 \text{ g} - 1947,4 \text{ g}} \quad (9)$$

$$D_{s \text{ Nominal}} = 2,69$$

3.4.4.4 Absorción

El valor del porcentaje (%) de absorción se obtiene mediante de la siguiente ecuación:

Ecuación 11 Porcentaje de Absorción del agregado grueso

$$\text{Absorción} = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100 \quad (10)$$

$$\text{Absorción} = \left(\frac{3126,3 \text{ g} - 3098 \text{ g}}{3098 \text{ g}} \right) * 100 \quad (10)$$

$$\text{Absorción} = 0.91\%$$

A partir de los cálculos realizados se obtiene el siguiente resumen de resultados:

Tabla 11 Resultados Densidad y absorción del Agregado Grueso-Fuente: Propia

Resultados Densidad y absorción del agregado grueso	
Masa al aire seca al horno A. (g)	3098,0
Masa saturada y superficialmente seca. B. (g)	3126,3
Masa aparente saturada en agua. C (g)	1947,4

Densidad relativa (Gravedad específica). SH	2,63
Densidad seca al horno.SH. (Kg/m^3)	2621
Densidad relativa en condición SSS	2,65
Densidad en condición SSS (Kg/m^3)	2645
Densidad relativa aparente	2,69
Densidad aparente (Kg/m^3)	2686
Absorción (%)	0,9

Tabla 12 Resultados Densidad y absorción Roca Pumita- Fuente: Propia

Resultados Densidad y absorción del agregado Roca Pumita	
Masa al aire seca al horno A. (g)	1264,2
Masa saturada y superficialmente seca. B. (g)	2105,5
Masa aparente saturada en agua. C (g)	267,4
Densidad relativa (Gravedad específica). SH	0,69
Densidad seca al horno.SH. (Kg/m^3)	686
Densidad relativa (Gravedad específica) en condición SSS	1,15
Densidad SSS (Kg/m^3)	1143
Densidad relativa aparente	1,27
Densidad aparente (Kg/m^3)	1265
Absorción (%)	66,5

3.5 ENSAYO PARA ESTABLECER EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ 75 μ M NO 200 A PARTIR DE LA NTC 78

El propósito de este ensayo es establecer la cantidad de material fino 75 μ M (No 200) de la muestra de Agregado, estas partículas de arcilla y otros elementos se dispersan debido al lavado por agua, así mismo como los materiales que son solubles en agua son retirados a lo largo del ensayo

Las partículas que pasan a través del Tamiz 200, pueden causar inconvenientes en la mezcla de concreto ligero y autocompactante tales como disminución de la resistencia y reducción de la durabilidad de los elementos estructurales, por lo tanto, es de gran importancia determinar qué porcentaje de estos se mantienen en el agregado previo al diseño de mezcla de la misma.

3.5.1 Procedimiento

De acuerdo a las recomendaciones de la norma realizamos el lavado a través del procedimiento A. Lavado con agua Potable:

1. Se realiza el secado de la muestra de agregado a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se determina la masa con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.
2. Se evalúa la masa de la muestra y se sitúa en un recipiente con el suficiente contenido de agua para cubrir todo el material, se agita con fuerza el material de tal manera que se separen las partículas finas del agregado grueso.
3. Se vierte el agua con contenido de sólidos sobre la pila de tamices, evitando la decantación de partículas.
4. Se realiza el procedimiento de lavado hasta conseguir que no existan cambios de colores o tonalidades
5. Se repite el procedimiento de tamizado, y se realiza el secado de la muestra al horno de laboratorio a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ evaluando la masa resultante con la masa de la muestra inicial.



Ilustración 14 Procedimiento Material que pasa por el Tamiz 200- Fuente: Propia

3.5.2 Resultados

A partir del ensayo realizado se evalúa el material que pasa través del tamiz 75 μM (No 200), por lo tanto, se consiguen los siguientes resultados:

Tabla 13 Resultados Material que pasa a través del Tamiz-Fuente: Propia

Masa Inicial (g)			5072,8	Especificación	Pasa Tamiz No 200: 0,58%
Tamiz	Mara retenida (g)	% retenido	% pasa	Especificaciones de los agregados para concreto NTC 174. Tabla 1.	
No. 200	29,3	0,6	0,58		Limo y Arcilla (Combinados)

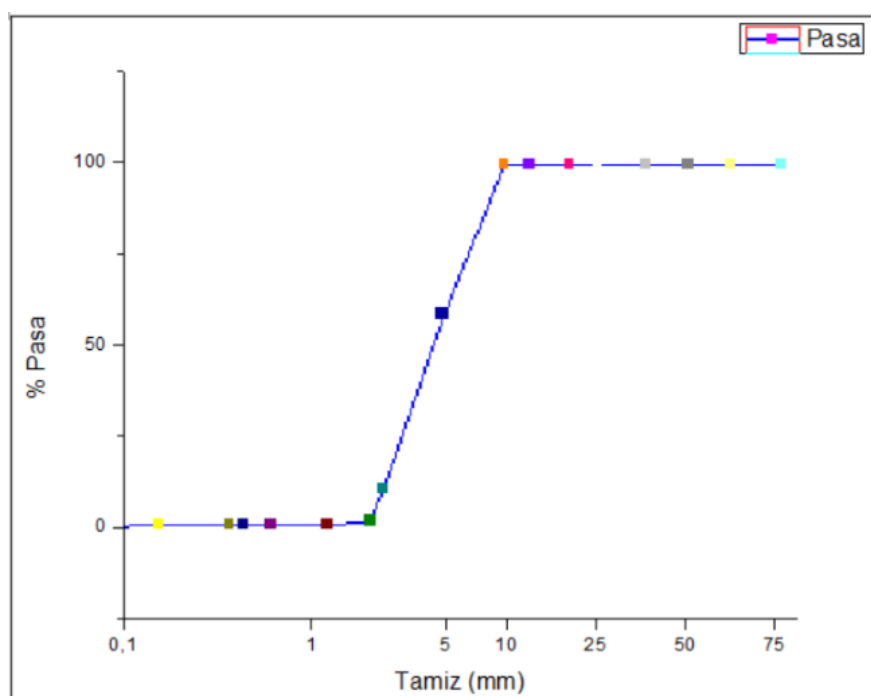


Gráfico 6 Curva Granulométrica Grava

3.6 ENSAYO PARA ESTABLECER LOS VACIOS DE LOS AGREGADOS Y LA MASA UNITARIA A PARTIR DE LA NTC 92

El propósito principal de este ensayo es conocer la masa unitaria en una condición de compactación o suelta y calcular los vacíos entre las partículas de los agregados (finos y gruesos o mezclados).

La masa unitaria del agregado es un proceso vital para evaluar las proporciones adecuadas en la mezcla de (CAC) y ligero, debido a que a partir de esta se pueden calibrar las dosificaciones para deducir que la mezcla tenga las condiciones adecuadas para cumplir resistencia y el peso requerido para considerarse concreto ligero, así como las disposiciones para que el concreto sea considerado autocompactante.

3.6.1 Aparatos de laboratorio

- Balanza
- Varilla de apisonamiento
- Molde
- Pala o cucharón
- Equipo de calibración



Ilustración 15 Ensayo Masa unitaria y porcentaje de Vacíos (Arena y Roca Pumita)- Fuente: Propia



Ilustración 16 Ensayo Masa unitaria y porcentaje de Vacíos (Grava)- Fuente: Propia

3.6.2 Procedimiento

1. La proporción de la muestra debe estar entre 1.25 y 2 veces la cantidad necesaria para llenar el molde, de la misma manera debe ser utilizada de tal forma que evite la segregación en los agregados.
2. Se procede con el secado de la muestra, la cual debe tener una masa constante al horno en una temperatura aproximada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Se calcula el volumen del recipiente a partir de la masa de agua y las densidades propuestas en la tabla No 3.

Tabla 14 Densidad del Agua (Tomado de NTC-92)

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Densidad (Kg/m^3)
15,6	999
18,3	998,5
21,1	998
23	997,5
23,9	997,3
26,7	996,6
29,4	995,8

4. Se procede a llenar el molde en tercios, nivelando la superficie con un objeto liso, y se apisonan las capas de agregado a partir de 25 golpes dados uniformemente, hasta llenar en su totalidad.

3.6.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtienen los siguientes resultados para la muestra de cálculo:

Tabla 15 Masas del Agregado y del recipiente Grava-Fuente: Propia

Masa del recipiente de medida. T. (kg)	1,683	Volumen del recipiente de medida. V. (m3)	0,003015
--	-------	---	----------

Agregado Grueso	Suelto			Apisonado		
Masa del agregado más el recipiente de medida. G. (Kg)	6,06	6,056	6,063	6,48	6,487	6,493

3.6.4 Cálculos

3.6.4.1 Masa Unitaria

La masa unitaria se calcula mediante de la siguiente ecuación:

Ecuación 12 Masa unitaria (Grava)

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (12)$$

Donde:

M = Masa unitaria kg/m^3 .

G = Masa más el molde (Kg)

T = Masa del Molde (Kg)

V= Volumen del Molde (m^3)

Muestra de cálculo Masa No 1 Suelto

$$M = \frac{6,060 \text{ Kg} - 1,683 \text{ Kg}}{0,003015 \text{ m}^3} \quad (12)$$

$$M = 1451,7 \text{ Kg} / \text{m}^3 \quad (12)$$

3.6.4.2 Contenido de vacíos

El contenido de vacíos se calcula utilizando la masa unitaria calculada anteriormente bajo la siguiente ecuación:

Ecuación 13 Porcentaje de vacíos

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{100 * ((S * W) - M)}{(S * W)} \quad (12)$$

Donde:

M = Masa unitaria kg/m^3 .

S = Gravedad específica Bulk

W = Densidad del agua ($998 kg/m^3$)

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{100 * \left(\left(2621 \frac{kg}{m^3} * 998 \frac{kg}{m^3} \right) - 1451,7 \frac{kg}{m^3} \right)}{\left(2621 \frac{kg}{m^3} * 998 \frac{kg}{m^3} \right)} \quad (12)$$

$$\% \text{ Vacíos} = 44,6\%$$

3.6.5 Resumen de resultados

Tabla 16 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Grava-Fuente: Propia

Agregado Grueso	Suelto			Apisonado		
Masa del agregado más el recipiente de medida. G. (Kg)	6,06	6,056	6,063	6,48	6,487	6,493
Densidad bulk del agregado. M. (Kg/m^3)	1452	1450	1453	1591	1593	1595
Densidad bulk Promedio. M. (Kg/m^3)	1452			1593		
Vacíos en los agregados (%)	44,6			39,2		

Tabla 17 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Arena-Fuente: Propia

Agregado Fino	Suelto			Apisonado		
Masa del agregado más el recipiente de medida. G. (Kg)	6,249	6,252	6,255	6,48	6,487	6,493
Densidad bulk del agregado. M. (Kg/m^3)	1514	1515	1516	1663	1659	1661
Densidad bulk Promedio. M. (Kg/m^3)	1515			1661		
Vacíos en los agregados (%)	41,2			35,5		

Tabla 18 Resumen de resultados Densidad y porcentaje de Vacíos Roca Pumita-Fuente: Propia

Agregado Grueso (Roca Pumita)	Suelto			Apisonado		
Masa del agregado más el recipiente de medida. G. (Kg)	2,664	2,662	2,657	2,740	2,738	2,746
Densidad bulk del agregado. M. (Kg/m^3)	325	325	323	351	350	353
Densidad bulk Promedio. M. (Kg/m^3)	324			351		
Vacíos en los agregados (%)	52,7			48,9		

3.7 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD EN PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) A PARTIR DE LA INV E 227-13

En este ensayo se detalla el adecuado procedimiento para obtener el porcentaje ya sea por conteo o masa de agregado (grava) que se encuentra con partículas fracturadas

Mediante el ensayo de laboratorio se puede establecer si la naturaleza del agregado cumple con el control de calidad y homogeneidad para ser utilizado en concretos (CAC) y ligeros.

3.7.1 Aparatos de Laboratorio

- Balanza
- Tamices
- Cuarteador
- Espátula

3.7.2 Procedimiento

1. Se debe proceder a realizar el secado de la muestra con el fin de obtener el tamizado adecuado, al tamizar el material se reduce la cantidad de material a analizar por medio del método de cuarteo hasta lograr la cantidad más apropiada para realizar el ensayo.
2. La muestra no debe tener tamaños de partículas mayores al 1% y debe tener como mínimo los tamaños presentados en la Tabla No 20

Tabla 19 Tamaños nominales mínimos Tomado de: (Tabla No 1) Norma INV E -227-13

Tamaño Máximo (Nominal), Abertura en (mm)	Masa mínima de la muestra (g)
9,5	200,0
12,5	500,0
19	1500,0
25	3000,0
37	7500,0
50	15000,0
63	30000,0
75	60000,0
90	90000,0

3. Se debe realizar el lavado en el tamiz apropiado para la obtención de partículas fracturadas en esta situación el tamaño máximo nominal es de $\frac{3}{4}$ ", con el objetivo de eliminar algún residuo de material fino y se procede a hacer el secado. Desde esto hay que saber la masa de la misma.
4. Se debe esparcir sobre un área plana y de un tamaño correcto para la realizar la visualización de cada partícula de agregado verificando si esta cumple con las especificaciones de fractura
5. Utilizando una espátula se divide en tres partes o Categorías así:
6. Partículas fracturadas
7. Partículas que al realizar la inspección visual no cumplan el método especificado por la Norma INV E-227-13
8. Partículas dudosas o de frontera.
9. Se establece la masa o se realiza el conteo de las mismas en la categoría de fracturadas, así mismo con las demás categorías

Ilustración 17 Procedimiento Caras Fracturadas-Fuente: Propia



3.7.3 Resultados

A partir del ensayo anteriormente realizado se tienen los siguientes resultados:

Tabla 20 Resultados Porcentaje de caras fracturadas- Fuente: Propia

			Criterio de Fractura Utilizado	Tamaño máximo nominal		Partículas fracturadas calculado por masa		Masa de partículas no fracturadas (g)
			Porcentaje por masa	3/4"				
Pasa	Retiene	Masa de muestra de ensayo (g)	Partículas con al menos UNA cara fracturada (g)		Partículas con al menos Dos caras fracturadas (g)			
			g	%	g	%		
>3/8"	3/8"	1502	1090	73	869	58	412	
3/8"	No. 4	202	153	76	132	65	49	

3.7.4 Cálculos

El porcentaje de caras fracturadas se consigue mediante la ecuación presentada continuación:

Ecuación 14 Porcentaje de caras fracturadas

$$P = \left(\frac{F + \frac{Q}{2}}{(F + Q + N)} \right) * 100 \quad (14)$$

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F = masa o número de partículas fracturadas con al menos el número de caras fracturadas especificado.

Q = masa o número de partículas en la categoría de cuestionable o frontera.

N = masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas o que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

$$P = \left(\frac{869 + \frac{1090}{2}}{(869 + 1090 + 412)} \right) * 100 \quad (14)$$

$$P = 59\%$$

$$\text{Porcentaje de partículas fracturadas (\%)} = 59\%$$

3.7.5 Resumen de resultados

Tabla 21 Resumen de resultados porcentaje de caras fracturadas-Fuente: Propia

		Criterio de Fractura Utilizado	Tamaño máximo nominal		Partículas fracturadas calculado por masa		
		Porcentaje por masa	3/4"				
Pasa	Retiene	Masa de muestra de ensayo (g)	Partículas con al menos UNA cara fracturada (g)		Partículas con al menos Dos caras fracturadas (g)		Masa de partículas no fracturadas (g)
			g	%	g	%	
>3/8"	3/8"	1502	1090	73	869	58	412
3/8"	No. 4	202	153	76	132	65	49
Promedio de caras fracturadas (%)			73		59		

3.8 ENSAYO PARA ESTABLECER EL INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS (GRAVA) A PARTIR DE LA INV E 230-13

La finalidad de este ensayo es obtener los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para la construcción.

Este índice es de gran importancia para clasificar si un agregado es adecuado para ser utilizado en una mezcla de (CAC), con la finalidad de que la presencia de partículas alargadas o planas no afecte el comportamiento o la durabilidad del concreto autocompactante y ligero.

3.8.1 Procedimiento

1. Se procede a dividir la muestra con el procedimiento indicado en la Tabla No 1 de la norma INV E -230-13
2. Se continúa empleando los tamices, indicando que las fracciones que pasen a través del mismo se consideran planas)

Para el ensayo de índice de aplanamiento se divide la muestra en dos porciones como lo sugiere la tabla No 1 de la Norma INV E-230-13, y se utiliza un calibrador de alargamiento con el fin de separar las partículas largas.

Tabla 22 Tamices de barras Adoptado de: Tabla No 1 INV E 230-13

Fracción Granulométrica di/Di (mm)	Anchura de la ranura del tamiz de barras (mm)
50/63	33,9±0,3
37,5/50	26,3±0,2
25/37,5	18,8±0,2
19/25	13,2±0,2
15,5/19	13,2±0,1
9,5/12,5	13,2±0,1
6,3/9,5	13,2±0,1

3.8.2 Aparatos de laboratorio

- Tamices
- Calibradores metálicos
- Tamices r
- Balanza
- Horno ventilado

3.8.3 Procedimiento

1. Se debe reducir la muestra de agregado por medio de cuarteo
2. Se procede con el procedimiento de secado de la muestra al Horno a aproximadamente 110 °C hasta conseguir una masa constante y se toma registro de su masa.
3. Se tamiza de acuerdo al método expuesto, y se realiza el peso de los retenidos en las diferentes fracciones, se registran y se conservan separadas.
4. Se separan las partículas planas de cada muestra de agregado y pasa a través del tamiz, a partir de esto se determinan las masas de las partículas (pasa tamiz) la cual no debe exceder el 0.1% de la masa de la muestra total utilizada en el ensayo.
5. Se realiza la separación del material que se encuentre con una forma alargada de cada una de las porciones correspondientes.

6. Se procede a evaluar la masa de cada una de las porciones de agregado.



Ilustración 18 Procedimiento Índice de Aplanamiento y alargamiento- Fuente: Propia

3.8.4 Resultados

A partir de los procedimientos anteriormente mencionados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 23 Masa inicial y pasa tamiz 1/4"- Fuente: Propia

Masa de la muestra inicial (g)	Masa retenida tamiz 2 1/2" (g)	Masa retenida tamiz 2" (g)	Masa pasa tamiz 1/4" (g)
5072,8	0	0	2908,2

Tabla 24 Granulometría masas M1 y M2

Pasa	Retiene	Masa (Ri) fracción granulométrica di/Di (g)	Porcent aje retenido (%)	Granulometría corregida (%)	Aplanamiento		Alargamiento	
					Masa Fracciones mi (g)	Índice de aplanamiento fracción IA, (%)	Masa fracciones mi (g)	Índice de alargamiento fracción IL (%)
2 1/2"	2"		0	0	0	0		
2"	1 1/2"		0	0	0	0	0	0
1 1/2"	1"		0	0	0	0	0	0
1"	3/4"		0	0	0	0	0	0
3/4"	1/2"	851	21,4	21,4	283,3	33,3	62,4	7,3
1/2"	3/8"	1181,2	29,7	29,7	199,4	16,9	358,3	30,3
3/8"	1/4"	1939,1	48,8	48,8	280,7	14,5	767,2	39,6
TOTAL		3971,3	100	100	763,4		1187,9	
M2 M12	3971,3	3971,3	Total, masa rechazada (g)		2908,2		2908,2	

3.8.5 Cálculos

3.8.5.1 Índice de Aplanamiento y Alargamiento

El índice de Aplanamiento o alargamiento global I_A o I_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 15 Índice de Aplanamiento

$$I_A = \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (15)$$

Donde:

M_1 = Suma de las masas de las fracciones d_i/D_i , en g,

M_2 = Suma de las masas de las partículas planas o largas, en g.

$$I_A = \frac{763,4 \text{ g}}{3971,3 \text{ g}} * 100 \quad (15)$$

$$I_A = 19,2 \%$$

Índice de aplanamiento $I_A = 19,2 \%$

$$I_L = \frac{1187,9 \text{ g}}{3971,3 \text{ g}} * 100 \quad (15)$$

Índice de alargamiento $I_L = 29,9 \%$

3.8.6 Resumen de resultados

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 25 Resumen de resultados índice de alargamiento y aplanamiento- Fuente: Propia

Pasa	Retiene	Masa (Ri) fracción granulomé- trica d_i/D_i (g)	Porcent aje retenido (%)	Granulomet- ría corregida (%)	Aplanamiento		Alargamiento	
					Masa Fracciones mi (g)	Índice de aplanamiento fracción IA, (%)	Masa fracciones mi (g)	Índice de alargamiento fracción IL (%)
2 1/2"	2"		0	0	0	0		
2"	1 1/2"		0	0	0	0	0	0
1 1/2"	1"		0	0	0	0	0	0
1"	3/4"		0	0	0	0	0	0
3/4"	1/2"	851	21,4	21,4	283,3	33,3	62,4	7,3
1/2"	3/8"	1181,2	29,7	29,7	199,4	16,9	358,3	30,3
3/8"	1/4"	1939,1	48,8	48,8	280,7	14,5	767,2	39,6
TOTAL		3971,3	100	100	763,4		1187,9	
M2 M12	3971,3	3971,3	Total, masa rechazada (g)		2908,2		2908,2	

RESULTADOS GLOBALES		ESPECIFICACIÓN	
Aplanamiento I_A	19,2	Máx. 25%	Especificación Invías 2007 Artículo 630, Concreto
Alargamiento I_L	29,9	Máx. 25%	Estructural

3.9 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS (GRAVA) A PARTIR DE LA NTC 93-13

El propósito de este ensayo es evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores a 19 mm y hasta 37 mm, usando la máquina de los ángeles.

A partir de este método de ensayo podemos obtener:

1. El porcentaje de desgaste que existe en el agregado grueso (grava)

El ensayo de la máquina de los ángeles es una medida de desgaste de los agregados, los cuales deben ser de gradación normalizada.

A partir del porcentaje de desgaste se puede determinar la resistencia nominal del agregado a distintos eventos que puedan erosionar de sus partículas, lo cual nos da un índice de si el agregado tiene la resistencia adecuada con la finalidad de no tener inconvenientes al fundir la mezcla de (CAC) y ligero.

3.9.1 Aparatos de laboratorio

- Máquina de los ángeles
- Tamices
- Balanza
- Carga

3.9.2 Procedimiento

1. La muestra de agregado a utilizar para el ensayo en este caso (Grava) debe pasar por un procedimiento de secado al horno a una temperatura de 110°C

aproximadamente, la cual debe ser fraccionada en tamaños individuales y combinada según gradación de la Tabla No 1 de la Norma NTC 93.

2. En la máquina se debe colocar la muestra de agregado y la carga que realice el desgaste respectivo de la misma.
3. Se debe realizar la rotación respectiva de la maquina a las velocidades correspondientes hasta alcanzar 100 vueltas.
4. Se retira el material de la máquina y se separa la muestra en un tamiz de 1.7 mm, se lava la porción más gruesa, el cual no pasa por el tamiz 1,7 mm, se procede a realizar el proceso de secado a una temperatura constante de 105°C y se pesa con una aproximación de 5 g.



Ilustración 19 Desgaste de los materiales a la máquina de los Ángeles- Fuente: Propia

3.9.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtienen los siguientes resultados

Tabla 26 Resultados Desgaste a la máquina de los Ángeles- Fuente: Propia

Desgaste a la máquina de los ángeles	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Granulometría usada en el ensayo	B
Masa seca antes del ensayo. P1 (g)	5002,3
Masa seca después del ensayo, lavado Tamiz No 12. P2 (g)	3986

3.9.4 Cálculos

3.9.4.1 Porcentaje de desgaste

El porcentaje de desgaste se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 16 Porcentaje de desgaste

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \quad (15)$$

Donde:

P_f = Peso final

P_i = Peso inicial

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(5002,3 - 3986)}{5002,3} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 20,3 \%$$

3.9.5 Resumen de resultados

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 27 Resumen de resultados determinación de la resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles-Fuente: Propia

Desgaste a la máquina de los ángeles	
Tamaño máximo nominal	3/4"
Granulometría usada en el ensayo	B
Masa seca antes del ensayo. P1 (g)	5002,3
Masa seca después del ensayo, lavado Tamiz No 12. P2 (g)	3986
% de pérdida	20,3
Especificación	Máx. 50% Especificaciones de los agregados NTC 174. Tabla 2

3.9.6 Análisis de resultados

1. De acuerdo la obtención de los resultados dados por el ensayo de laboratorio se puede establecer que se cuenta con un agregado que tiene una resistencia alta a la abrasión y al desgaste.
2. El Agregado tiene una resistencia al desgaste adecuada para el diseño de (CAC) y ligero, debido a que puede asegurar resultados adecuados de resistencia en el concreto ligero y autocompactante debido a su dureza.

3.10 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD DE PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS A PARTIR DE LA NTC -130

El objetivo de este ensayo es establecer el porcentaje de partículas livianas en los agregados mediante el desprendimiento por flotación y hundimiento en un líquido de alta densidad.

A partir de la cantidad de partículas livianas se puede determinar si existe algún contenido de partículas dañinas en el agregado y si su especificación cumple para la mezcla de concreto ligero y autocompactante.

3.10.1 Aparatos de laboratorio

- Balanza
- Contenedores
- Tamices
- Parrilla y horno
- Hidrómetro
- Líquido de alta densidad

3.10.2 Procedimiento

En primer lugar, se debe obtener una porción de los agregados, teniendo en cuenta la norma ASTM C702. Posteriormente se deberá proceder con el secado la muestra hasta tener un peso constante a una temperatura de 110 °C aproximadamente y se tamizarán los agregados para asegurar el tamaño de los mismos de acuerdo con la norma.

Para los agregados finos se establece el siguiente procedimiento:

1. Se deja enfriar la muestra y se pasa por el tamiz No. 50 hasta que 1% del material más grueso pase por el tamiz durante 1 min sin interrupción.
2. Se determina el peso del material más grueso y se lleva el material a la condición de superficie seca saturada como lo indica la NTC 237.
3. Se introduce el material en el líquido de alta densidad.
4. Se vierte el líquido incluida la muestra por un colador hasta un recipiente con el fin de separar las partículas finas que quedan decantadas en el colador y los agregados finos.
5. Se repite el proceso descrito en el numeral 4. Hasta que no se encuentren partículas flotantes en el líquido.
6. Las partículas decantadas se pasan por un lavado con solvente apropiado, en el caso de la mezcla de kerosene con tetrabromoetano el solvente apropiado sería alcohol.
7. Se dejan secar las partículas a 110 °C aproximadamente hasta obtener un peso constante.

Para los agregados gruesos se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se procede a enfriar la porción y se realiza el procedimiento de pasa tamiz por el tamaño No. 4.
2. Se determina el peso del material más grueso y se lleva el material a la condición de superficie seca saturada como lo indica la NTC 176.
3. Se introduce el material en el líquido de alta densidad
4. Haciendo uso del colador se retiran las partículas que flotan y se apartan en un recipiente. Se agitan de manera repetida las partículas que quedan en el líquido de alta densidad no exista porción de partículas remanentes.
5. Las partículas que se apartaron pasan por un lavado con solvente apropiado, en el caso de la mezcla de kerosene con tetrabromoetano el solvente apropiado sería alcohol.
6. Se dejan secar las partículas a 110 °C aproximadamente hasta obtener un peso constante.

3.10.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 28 Resultados Partículas Livianas agregado fino, Fuente: Propia

PARTICULAS LIVIANAS AGREGADO FINO		M2	M1
Agregado Fino	Peso Inicial Seco (g)	Peso seco retenido en T No 50 (g)	Peso seco de partículas retenidas en colador (g)
	1500,0	200,0	0,2

Tabla 29 Resultados Partículas Livianas agregado grueso, Fuente: Propia

PARTICULAS LIVIANAS AGREGADO GRUESO		M3	M1
Agregado Fino	Peso Inicial Seco (g)	Peso seco retenido en T No 4 (g)	Peso seco de partículas retenidas en colador (g)
	3000,0	2941	0,6

3.10.4 Cálculos

3.10.4.1 Porcentaje de partículas Livianas

Con la finalidad de calcular el porcentaje de partículas livianas se hace uso de la siguiente ecuación:

- Para el agregado fino:

Ecuación 17 Partículas livianas Agregado fino

$$L = (M_1/M_2) \times 100 \quad (16)$$

- Para el agregado grueso:

Ecuación 18 Porcentaje de partículas livianas agregado grueso

$$L = (M_1/M_3) \times 100 \quad (17)$$

Donde:

L = % de partículas livianas

M1 = peso seco de las partículas que flotan

M2 = peso seco del material más grueso que el tamiz No. 50.

M3 = peso seco de la porción de espécimen más gruesa que el tamiz No. 4

- Porcentaje de partículas livianas en agregado fino:

$$L = \left(\frac{0.2}{200} \right) \times 100 \quad (16)$$

$$L = 0.1\%$$

Porcentaje de partículas livianas agregado fino $L(\%) = 0.1\%$

- Porcentaje de partículas livianas en agregado grueso:

$$L = \left(\frac{0.6}{2941} \right) \times 100 \quad (17)$$

$$L = 0.02 \%$$

Porcentaje de partículas livianas agregado grueso $L(\%) = 0.02\%$

3.10.5 Resumen de resultados

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 30 Resumen de resultados Partículas livianas- Fuente: Propia

PARTICULAS LIVIANAS AGREGADO FINO		M2	M1	L
Agregado Fino	Peso Inicial Seco (g)	Peso seco retenido en T No 50 (g)	Peso seco de partículas retenidas en colador (g)	% de partículas livianas
	1500,0	200,0	0,2	0,1
PARTICULAS LIVIANAS AGREGADO GRUESO		M3	M1	L
Agregado Fino	Peso Inicial Seco (g)	Peso seco retenido en T No 4 (g)	Peso seco de partículas retenidas en colador (g)	% de partículas livianas
	3000,0	2941	0,6	0,02
ESPECIFICACIÓN	Agregado Fino	<= 0,5% Máx.	Arena	0,1
	Agregado Grueso	<=1% Máx.	Gravilla	0,2

4. ANALISIS DE RESULTADOS (ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS)

4.1 ANALISIS GRANULOMETRICO

Arena

De acuerdo con los resultados hallados, se define que es una arena de río de color gris oscura con partículas uniformes de tamaño mediano, con un contenido de partículas finas aproximado del 2 %, de acuerdo a su coeficiente de uniformidad es una arena de tamaños uniformes, conforme a su coeficiente de curvatura se deduce que es una arena bien gradada debido a que se encuentra en el rango entre 1 y 3.

Se Obtiene como resultado que es una arena apta de acuerdo a su gradación y uniformidad para el diseño de la mezcla con adecuadas dosificaciones para el concreto ligero y autocompactante.

Grava

Se determina que se tiene una grava color gris claro, proveniente de río, la cual da como resultado una grava uniforme debido a que su coeficiente de uniformidad es menor a 5, la cual tiene 1.5% de partículas finas y un contenido de 10% de arenas gruesas, su coeficiente de curvatura da como resultado una grava bien gradada debido a que se encuentra entre 1 y 3.

A partir de la caracterización de los agregados se puede determinar debido a su gradación y uniformidad que es una grava apta para ser empleada en el diseño de mezcla para el concreto ligero y autocompactante.

Roca Pumita

Se determina a través de los resultados obtenidos que se tiene una roca Pumita uniforme a partir de su coeficiente de uniformidad, que es un agregado ligero que tiene contenidos de arenas gruesas en un 2 % y un contenido de materiales finos de 8%, adicionalmente es un agregado bien gradado debido a que su coeficiente de curvatura se encuentra entre 1 y 3.

Se infiere que la roca pumita es un material que sirve como agregado para ajustar el diseño de mezcla del concreto ligero y autocompactante.

General

El comportamiento, resistencia y durabilidad del concreto es afectado de forma directa por la uniformidad y tamaño de los agregados dispuestos para su diseño de mezcla y fabricación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos realizados para cada uno de los materiales dispuestos para este trabajo de investigación, se concluye que los agregados tienen las propiedades adecuadas para el diseño de mezcla y para funcionar adecuadamente por gradación y uniformidad como concreto para edificaciones.

Es de notar que al no ser un concreto convencional las proporciones de los agregados para su diseño no van a ser entre el rango del 60% al 75% del volumen total del concreto, como lo es en un concreto con un asentamiento usual, esto debido a que el concreto (CAC) tiene un contenido alto de material cementante, se adoptaran las dosificaciones de acuerdo a la normatividad vigente.

Evaluando las características granulométricas de los agregados se concluye que los materiales tienen una adecuada gradación para satisfacer las necesidades de las mezclas de concreto ligero y autocompactante proporcionando Homogeneidad en la formación del concreto en estado fresco y endurecido.

4.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LAS IMPUREZAS ORGANICAS DE LOS AGREGADOS FINOS

Se puede considerar a partir de los resultados presentados en la tabla No 6 que la arena utilizada tiene contenidos de materia orgánica perjudiciales para la mezcla de concreto (CAC) y ligero, por esta razón, previo a realizar la mezcla se debe realizar un lavado completo de la arena retirando su contenido de materia orgánica con el objetivo de mejorar la durabilidad del concreto a largo plazo y que el mismo no se vea afectado por dichos agentes orgánicos.

4.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABSORCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO FINO

La densidad en los agregados finos es fundamental para el diseño de mezcla de (CAC) y ligero, en vista de que se pueden determinar las condiciones que presenta el agregado para el diseño de mezcla y como debe comportarse al llegar al estado endurecido.

La densidad aparente es de 2672 Kg/m^3 , por lo tanto, se encuentra dentro del rango promedio de las densidades admisibles para el agregado fino, y por lo tanto es una arena

que puede ser utilizada en el diseño de mezcla y en la mezcla de concreto autocompactante y ligero.

La absorción de la Arena es de 1.4% a partir de (Sánchez de Juan M., 2005), se evalúa la Absorción en función de la densidad del agregado, en donde se puede estimar que el porcentaje de absorción es apropiado, de acuerdo al valor de densidad aportado por el ensayo.

De acuerdo al ensayo realizado se puede evaluar que la arena suministrada tiene las propiedades adecuadas de densidad y absorción para que la mezcla no tenga factores que puedan afectar su resistencia y adicionalmente las propiedades de manejabilidad debido a que no se vería afectada de manera sustancial la relación agua cemento del concreto ligero y autocompactante, así como el peso unitario de la mezcla.

4.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA ABOSRCION Y LA DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO

La absorción del Agregado fino es de 1.4% mientras que la del agregado grueso es de 0.9% por tal razón se puede determinar que este tiende a absorber más la humedad que el agregado grueso. De acuerdo con la (Revista Asocreto, 2005) los valores máximos y mínimos de la densidad (aparente) oscilan entre 2.48 y 2.80 g/cm^3 , por consiguiente, los resultados obtenidos son acordes para continuar con el diseño de mezcla de (CAC) y ligero.

La absorción del Agregado Grueso (Roca Pumita) es del 66.5%, por lo tanto, se puede determinar que es un agregado que tiene una absorción de líquido excesiva, y también es un resultado que era esperado debido a su porosidad y su densidad baja, a partir de esto los contenidos de agregado deben ser controlados con el fin que no afecte la relación agua cemento del concreto.

De acuerdo a la Revista Asocreto los valores máximos y mínimos de la densidad (aparente) oscilan entre 2.48 y 2.80 g/cm^3 , los valores de densidad son mucho menores que lo máximos y mínimos definidos por el libro (Tecnología del concreto Tomo 1 Materiales, propiedades y diseño de mezclas-Asocreto, 2005), por lo tanto, podemos asumir que es un material (Agregado grueso) adecuado para disminuir la densidad de la mezcla de (CAC).

Tomando como base los resultados se establece que el agregado grueso tiene una densidad adecuada para continuar con el diseño de mezcla y su absorción igualmente es la indicada para no tener pérdidas de humedad en el concreto ligero y autocompactante, por el contrario la roca pumita aporta una densidad baja a la mezcla de concreto y su absorción de humedad infiere de sobremanera la mezcla de concreto por lo tanto deben evaluarse cantidades mínimas para no generar un efecto negativo sobre la resistencia así mismo como en la relación agua cemento de la misma.

4.5 ENSAYO PARA ESTABLECER EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ 75 μ M NO 200

En los resultados podemos determinar que el porcentaje de finos que se encuentra en la muestra de agregado grueso es de 0.58%, de acuerdo a la Tabla No 2 de la norma NTC 174 tenemos que el porcentaje máximo de finos para concreto es del 5% por lo tanto cumple la cantidad en masa de finos para realizar el diseño de mezcla.

Tabla 31 Porcentaje máximo de partículas dañinas para el concreto-Adoptada de (NTC-174,2000)

Material	Máximo porcentaje del peso total
Arcilla y partículas deleznales	3,0
Material que pasa el Tamiz 75μm (No 200)	
Concreto expuesto a abrasión	3,0
Otros	5,0
Carbón o lignito	
Importancia de la apariencia a la vista	0,5
otros	1,0

A partir de los resultados obtenidos se determina que el agregado cumple con las condiciones expuestas por la normatividad, por lo tanto, es posible continuar con este material para las dosificaciones del diseño de mezcla y fabricación del concreto ligero y autocompactante.

4.6 ENSAYO PARA ESTABLECER LOS VACIOS DE LOS AGREGADOS Y LA MASA UNITARIA

A partir de los resultados que se evaluados tenemos la posibilidad de saber que las masas unitarias, de esta forma como sus densidades son más altas con el desarrollo de apisonado, más no obstante es de ver que el porcentaje de vacíos decrece notoriamente lo que favorece al diseño de mezcla.

La densidad de la arena aumenta en comparación con el agregado grueso, debido a que el porcentaje de vacíos es reducido por la dimensión de las partículas. La densidad de los mismos se encuentra dentro del rango de aceptabilidad por lo tanto cumplen con las características para realizar el diseño de mezcla del (CAC) y ligero.

Es de notar que la roca pumita tiene un porcentaje de absorción elevado con respecto a los demás agregados así mismo su masa unitaria es mucho menor a la de los demás agregados utilizados para el diseño de mezcla, su densidad es baja con respecto a los demás agregados por lo tanto debe ser utilizado en una dosificación precavida debido a los inconvenientes que puede ocasionar en la mezcla de concreto ligero y autocompactante endurecido.

4.7 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD EN PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA)

De Acuerdo a la Normatividad vigente se tienen los siguientes requisitos mínimos para agregados como base para concreto:

Tabla 32 Porcentaje Mínimo de caras fracturadas Tomado de: INV E 227-13

CARACTERISTICA	NORMA	AGREGADOS	
		CLASE B	CLASE A
Porcentaje mínimo (Una cara) (%)	INV E 227	50%	60%

A partir de los resultados obtenidos tenemos que los porcentajes de caras fracturadas para la muestra (1) es de 73% y para la muestra (2) es de 59% por lo tanto se puede contemplar que se cuenta con un agregado que cumple las especificaciones mínimas de la Norma INV E -227-13 para ser un agregado base del concreto estructural.

Conforme a los resultados que se obtuvieron del material ensayado grava como agregado para el diseño de concreto (CAC) y ligero, se puede asumir que es un material que es apto para ser usado para realizar la mezcla de concreto y que se va a comportar adecuadamente con el fin de que no reduzca la resistencia ni durabilidad del concreto.

4.8 ENSAYO PARA ESTABLECER EL INDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS (GRAVA)

1. A partir de los resultados podemos concluir que el agregado grueso o grava se compone de partículas más alargadas que planas superior en 4%, de acuerdo con el artículo 630 de la especificación invías para el concreto estructural el porcentaje máximo para la geometría de partículas tanto en índice de alargamiento como de aplanamiento no puede ser mayor al 25%, por lo tanto en el procedimiento del diseño de mezcla, se reduce la cantidad de partículas alargadas con la finalidad de cumplir la normatividad

2. A partir de los resultados obtenidos y realizando la corrección correspondiente a las partículas alargadas, se considera que el agregado no va a ocasionar inconvenientes en la mezcla de concreto ligero y autocompactante.

4.9 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS (GRAVA)

1. De acuerdo la obtención de los resultados dados por el ensayo de laboratorio se puede establecer que se cuenta con un agregado que tiene una resistencia alta a la abrasión y al desgaste.
2. El Agregado tiene una resistencia al desgaste adecuada para el diseño de (CAC) y ligero, debido a que puede asegurar resultados adecuados de resistencia en el concreto ligero y autocompactante debido a su dureza.

4.10 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CANTIDAD DE PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS

De acuerdo a los resultados encontrados se determina que el porcentaje de partículas livianas en el agregado fino es de 0.1%, la especificación dada por la norma (NTC 130,1994) es que el porcentaje de partículas livianas máximo permitido para agregado fino debe ser 0.5%, por lo tanto, se determina que el porcentaje de partículas livianas concebido para el agregado (fino) en el ensayo es adecuado para su uso en la mezcla de concreto ligero y autocompactante.

A partir de los resultados obtenidos se determina que el porcentaje de partículas livianas en el agregado grueso es de 0.2%, la especificación dada por la norma (NTC 130, 1994) es que el porcentaje de partículas livianas máximo permitido para agregado grueso debe ser 1%, por lo tanto, se determina que el porcentaje de partículas livianas concebido para el agregado (grueso) en el ensayo es adecuado para su uso en la mezcla de concreto ligero y autocompactante.

5. CAPÍTULO - ENSAYOS EN EL CEMENTO HIDRÁULICO

5.1 ENSAYO PARA ESTABLECER LA FINURA EN EL CEMENTO HIDRÁULICO A PARTIR DE LA NTC-33

Este ensayo establece el procedimiento para obtener la finura del cemento hidráulico por medio del aparato de Blaine.

Este ensayo es conocido por trabajar de manera eficiente con cemento Portland, sin embargo, es criterio del profesional que realiza el ensayo la confiabilidad de la medición de finura de los cementos con densidad o porosidades diferentes al Material estándar No. 114.

A partir de este ensayo se puede obtener la finura del cemento hidráulico definido para el ensayo el cual es cemento ART- Estructural de Cemex, dando como resultado la influencia que va a tener el cemento en el proceso en el que libera calor de hidratación y aumenta la velocidad de hidratación de la mezcla de concreto ligero y autocompactante.

5.1.1 Aparatos de laboratorio

- Aparato de Blaine
- Cámara de permeabilidad
- Disco
- Embolo
- Papel filtro
- Manómetro
- Líquido de llenado del manómetro
- Cronometro.

5.1.2 Procedimiento

El procedimiento se realiza de acuerdo a lo establecido en la Norma técnica colombiana NTC-33.



Ilustración 20 Procedimiento finura del cemento a partir del Aparato Blaine de Permeabilidad al aire- Fuente: Propia

5.1.3 Resultados

A partir del ensayo realizado se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 33 Resultados Finura del cemento Hidráulico- Fuente: Propia

Resultados Finura del cemento	
Temperatura °C	22
Densidad del mercurio (g/cm^3)	13,54
Viscosidad del aire η Pa.S	18,18
$\sqrt{n}$	4,26
MA (g)	115,8
MB (g)	93,85
e	0,498

5.1.4 Cálculos

5.1.4.1 Determinación del volumen de la capa compactada de cemento

Se procede con la obtención del volumen de la capa de cemento que se compacto mediante el desplazamiento del mercurio a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 19 Determinación del volumen de la capa compactada de cemento

$$V = \frac{W_1 - W_2}{D} \quad (18)$$

Donde:

V = Volumen total ocupado por el cemento en cm^3

M_A = Masa del mercurio que se coloca en la cámara de permeabilidad, (cuando no hay cemento), en g.

M_B = Masa del mercurio que llena la cámara de permeabilidad, (No ocupada por el cemento), en g.

D = Densidad del mercurio a la temperatura a la cual se hace el ensayo, en g/cm^3 .

$$V = \frac{115,8 \text{ g} - 93,9 \text{ g}}{13,54} \quad (18)$$

$$V = 1,62 \text{ cm}^3,$$

$$\text{Volumen capa compactada} = 1,62 \text{ cm}^3$$

5.1.4.2 Masa de la muestra

La masa de la porción de cemento portland testigo que se emplea para el ensayo de laboratorio debe ser de tal manera que pudiera permitir la obtención de una capa que tenga una porosidad aproximada de 0.5 g, y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 20 Masa de la muestra de cemento hidráulico

$$M = d * V * (1 - e) \quad (19)$$

Donde:

M = Masa requerida de la muestra, con una aproximación de 0,001 g, en g.

d = Densidad de la muestra de ensayo (para cemento Portland), se debe usar un valor de $3,15 \text{ g/cm}^3$.

V = Volumen total ocupado por el cemento, que se determina de acuerdo con lo expuesto en numeral 4,2 en cm^3 .

e = porosidad deseada de la capa de cemento ($0,500 \pm 0,005$)

$$M = 3,15 \text{ g} * 1,62 \text{ cm}^3 * (1 - 0.498) \quad (19)$$

$$M = 2,563 \text{ g}$$

$$\text{Masa de la muestra} = 2,563 \text{ g}$$

La norma técnica colombiana (NTC-33), nos indica 6 ecuaciones dependiendo de las condiciones del cemento, temperatura, para el ensayo realizado se manejó una temperatura constante de 22°C , adicionalmente que el cemento Portland no tiene adiciones ni otros materiales, por lo tanto, es puro.

A partir de los cálculos anteriormente se establecieron los siguientes resultados:

Tabla 34 Resultados del ensayo y cálculos finura del cemento hidráulico- Fuente: propia

Resultados Finura del cemento				
No De Ensayo	Und	1	2	3
Masa del cemento	g	2,563	2,563	2,563
Temperatura	$^\circ\text{C}$	22	22	22
Viscosidad del aire	μPa	18,18	18,18	18,18
Tiempo	S	240,22	239,52	240,63
Superficie específica	cm^2/g	5415	5407	5420

5.1.4.3 Superficie específica

La superficie específica de la porción de cemento se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 21 Superficie específica

$$S = \frac{S_p * \sqrt{T}}{\sqrt{T_p}} \quad (20)$$

Donde:

S = Superficie específica de la muestra de ensayo (cm^2/g)

S_p = Superficie específica de la muestra patrón, empleada en la calibración del aparato en

(cm^2/g).

T= Intervalo de tiempo observando en el descenso del manómetro para la muestra de ensayo, en (s).

T_p = Intervalo de tiempo observando para la muestra patrón empleada en la calibración del aparato s.

$$S = \frac{5308 \frac{cm^2}{g} * \sqrt{240,22s}}{\sqrt{230,8s}} \quad (20)$$

$$S = 5415 \frac{cm^2}{g}$$

Tabla 35 Resultados superficie específica

Superficie específica	
$S_p (cm^2/g)$	5307,77
$\sqrt{T} (s)$	15,5
$\sqrt{T_p} (s)$	15,192
$S (cm^2/g)$	5415,00

5.1.5 Resumen de resultados

A partir de los datos tomados en el ensayo y los cálculos realizados se presenta la siguiente tabla de resultados

Tabla 36 Resultados Finura del cemento Hidráulico-Fuente: Propia

No. De Ensayo	Und	1	2	3
Masa del cemento	g	2,563	2,536	2,563
Temperatura	°C	22	22	22
Viscosidad del aire	μPa	18,18	18,18	18,18
Tiempo	s	240,22	239,52	240,63
Superficie específica	cm^2/g	5415	5407	5420
Promedio superficie específica	cm^2/g	5414		

5.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA DENSIDAD DEL CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-221

Este procedimiento tiene como objetivo principal obtener la densidad correspondiente al cemento hidráulico utilizado, el cual nos da como resultado el control sobre el diseño de las mezclas de concreto.

Determinar la densidad del cemento hidráulico es de gran importancia para el diseño de la mezcla (CAC) y ligero por que define la dosificación de cemento en este caso cemento ART-Estructural o de cualquier tipo de cemento a utilizar que va a llevar contenido.

5.2.1 Aparatos de laboratorio

- Frasco de Le Chatelier
- Balanza

5.2.2 Procedimiento

1. Se debe realizar el llenado del frasco a partir de porciones de kerosene libres de agua hasta llegar al punto situado en las marcas correspondientes a 0 y 1 ml.
2. Se agregan 64 g del cemento a ensayar en porciones pequeñas y que tengan la misma temperatura del kerosene.
3. Se debe sumergir el frasco en agua con la finalidad de no tener temperaturas variables entre las toma inicial y final del ensayo.

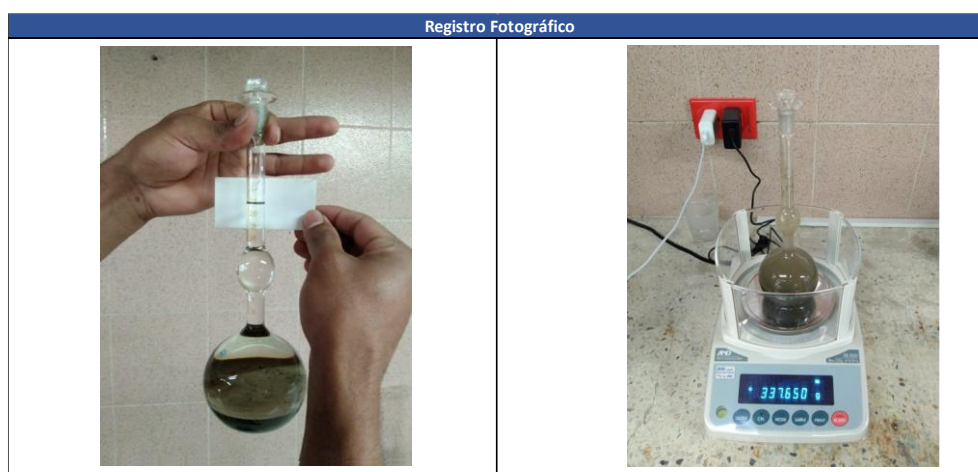


Ilustración 21 Procedimiento densidad del cemento hidráulico-Fuente: Propia

5.2.3 Resultados

A partir del procedimiento anteriormente descrito se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 37 Resultados procedimiento Densidad del cemento Hidráulico- Fuente: Propia

No. De Ensayo	Und	1	2
Masa del cemento	g	65	65
Temperatura inicial	°C	21,7	21,7
Temperatura final	°C	21,7	21,7
Lectura inicial	ml	0,8	0,8
Masa del frasco con líquido entre 0 y 1 ml	g	348,91	348,92
Lectura final	ml	23,4	23,4
Masa del frasco final con cemento y liquido	g	418,88	412,88
Volumen desalojado	ml	20,6	20,6

5.2.4 Cálculos

A partir de la siguiente ecuación podemos obtener la densidad del cemento:

Ecuación 22 Densidad del cemento hidráulico

$$p = \left(\frac{Mg}{m^3} \right) = p \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \left(\frac{\text{Masa del cemento ,g}}{\text{Volumen desplazado,cm}^3} \right) \quad (21)$$

$$p = \left(\frac{65 \text{ g}}{20,6 \text{ cm}^3} \right)$$

$$p = 3,16 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$\text{Densidad } p = 3,16 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

5.2.5 Resumen de resultados

A partir de los cálculos realizados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 38 Resultados densidad del cemento - Fuente: Propia

No. De Ensayo	Und	1	2
Masa del cemento	g	65	65
Temperatura inicial	°C	21,7	21,7
Temperatura final	°C	21,7	21,7
Lectura inicial	ml	0,8	0,8
Masa del frasco con líquido entre 0 y 1 ml	g	348,91	348,92
Lectura final	ml	23,4	23,4
Masa del frasco final con cemento y liquido	g	418,88	412,88
Volumen desalojado	ml	20,6	20,6
Densidad		3,16	3,16
Densidad Promedio		3,16	

5.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-118

El propósito de este experimento es obtener los tiempos de fraguado a partir del aparato de vicat, el cual establece proceso apropiado de endurecimiento del concreto, en el cual la mezcla pierde plasticidad y manejabilidad dicho estado corresponde al fraguado inicial.

Al presentarse un endurecimiento considerable (estado en el cual el concreto ya es sólido) se denomina fraguado final.

El fraguado del cemento hidráulico es de vital importancia para esclarecer los tiempos a los cuales se va a iniciar y finalizar el proceso en el cual la pasta de cemento se endurece, le da indicadores sobre las reacciones por las cuales está pasando la pasta de cemento y

la hidratación a la cual está siendo sometida, resumiendo el comportamiento de la misma en la mezcla de (CAC) y ligero.

5.3.1 Aparatos de laboratorio

- Balanza
- Pesas
- Probetas
- Aparato de vicat

5.3.2 Procedimiento

1. Se debe mantener una temperatura mínima de 20°C y no mayor a los 27°C.
2. La temperatura a la cual debe estar sometida la cámara de humedad debe ser de 23°C.
3. Se debe preparar una pasta de cemento a partir de 650 g con la cantidad de agua suficiente para obtener una consistencia usual.
4. Se le da forma esférica con las manos a la pasta de cemento utilizando guantes de un material no absorbente.
5. Se lanza el material en forma esférica de una mano a la otra aproximadamente a 150 mm de distancia.
6. Se toma el molde y se llena, se retira el exceso del molde con un área lisa, el molde debe colocarse sobre la placa y el exceso debe retirarse con un palustre de manera oblicua.

Tabla 39 Procedimiento tiempos de fraguado- Fuente: Propia



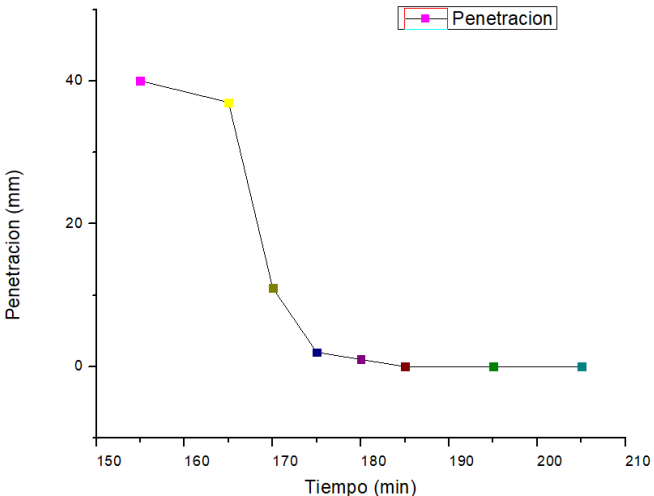
5.3.3 Resultados

A partir del procedimiento anteriormente descrito, Se procede a obtener el tiempo de fraguado se mantiene la porción dentro de la cámara de humedad a lo largo de media hora sin alterar la muestra de cemento.

Se parte de la penetración de la aguja a 1mm e instantáneamente se repite el mismo procedimiento cada 15 minutos, hasta obtener una penetración máxima de 25 mm.

El final de fraguado se toma cuando el agua no tiene una penetración visible sobre la pasta.

Tabla 40 Resultados tiempos de fraguado- Fuente: Propia

Temperatura °C		22	Consistencia normal (%)		26
Humedad relativa %		66	Penetración (mm)		10
Hora	Tiempo min	Penetración mm			
15:50	155	40			
16:00	165	37			
16:05	170	11			
16:10	175	2			
16:15	180	1			
16:20	185	0			
16:30	195	0			
16:40	205	0			
16:50	215	FF			

Fraguado inicial (min)	167
Fraguado final (min)	215

5.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO A PARTIR DE LA NTC-220

Este ensayo tiene como objetivo la obtención de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, fabricados o fundidos a partir de cemento ART (Estructural) de proveedor Cemex, utilizando cubos de dimensiones 50x50 mm.

A partir del procedimiento se puede indicar la resistencia que va a tener la pasta de cemento en reacción con los agregados en la mezcla de diseño de (CAC) y ligero, la cual va a dar la base para la resistencia nominal necesaria para cumplir las especificaciones como concreto estructural.

5.4.1 Aparatos de laboratorio

- Equipos para el pesaje.
- Probetas
- Moldes
- Mezcladora
- Mesa de flujo
- Compactador
- Palustre
- Cámara de humedad
- Máquina de ensayo

5.4.2 Procedimiento

1. Se debe formar por una porción de mortero y se debe contar con aproximadamente 3 partes de arena que tenga una gradación adecuada y que se encuentre en estado seco.
2. “En cementos que sean Portland debe utilizarse una relación agua cemento de 0.48.”
3. “La cantidad de los materiales de ensayo se mezclan para obtener nueve cubos bajo las siguientes proporciones dadas por la norma NTC 220.”
4. “Se procede a realizar la mezcla del mortero a partir de lo establecido en la norma NTC 112.”
5. “Se determina la fluidez a partir del procedimiento dado en la norma NTC 111, la cual tiene un diámetro de 250 mm, se pisa 20 veces con el compactador y se procede a realizar un movimiento de la mesa hacia abajo a una altura de 13 mm, una cantidad de 25 veces a lo largo de 15 s.”
6. “Se procede a realizar el llenado de los moldes y al finalizar se debe enraizar con una paleta con la finalidad de retirar el exceso que se encuentre en el molde.”

7. Se coloca una porción de la mezcla de mortero en cada casilla de 25 mm, y se compacta debidamente con 32 golpes adyacentes durante 10 segundos en 4 etapas como se presenta en la Figura No 1 de la norma NTC 220.

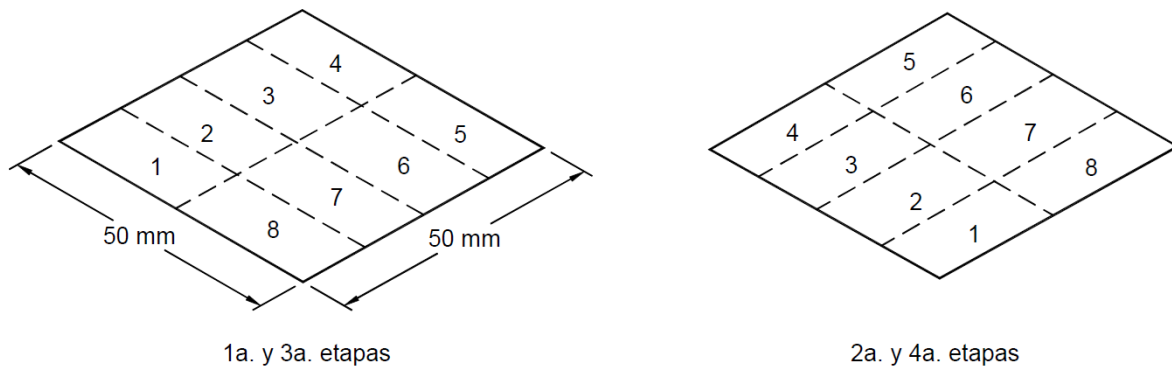


Figura 1. Orden en que se deben apisonar las capas

Ilustración 22 Orden de apisonamiento de capas (Fuente: NTC 220,2004)

8. Se Continúa almacenando los cubos en un cuarto húmedo en un período de 20h a 72h, Se exponen las caras superiores de los cubos a la humedad.
9. Se retiran los cubos de ensayo y se pasan directamente a la máquina de ensayo los cuales fallados a partir de los requerimientos de la Tabla No 2 de la (NTC 220,2004).
10. Se procede a fallar los cubos de ensayo a compresión por medio de la máquina de ensayo



Ilustración 23 Procedimiento resistencia a la compresión cilindros de mortero- Fuente: Propia

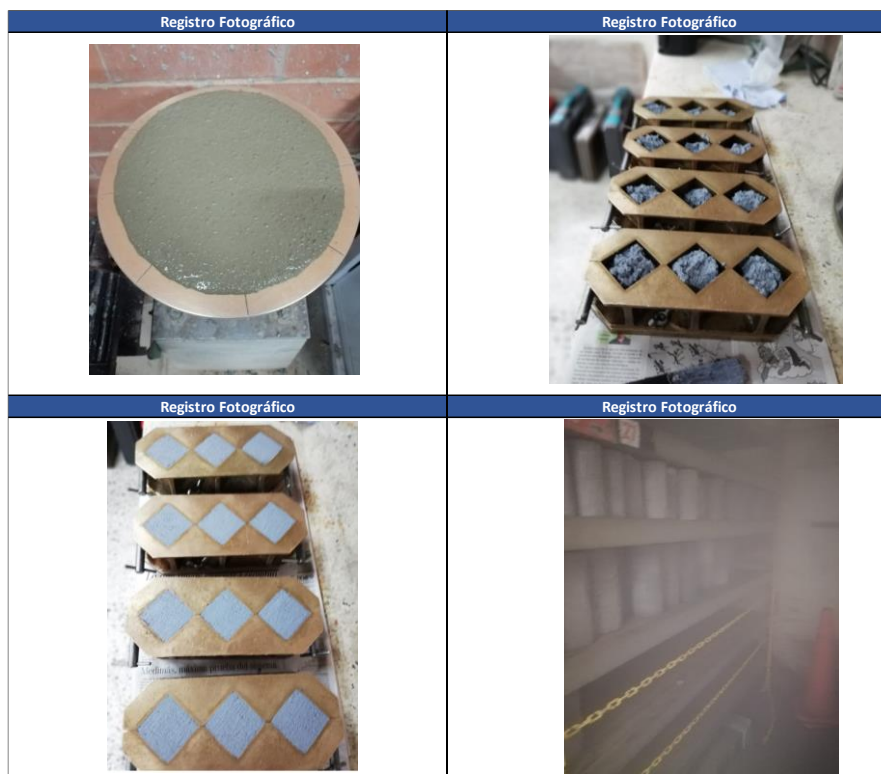


Ilustración 24 Procedimiento Flujo Libre y fundida de cilindros de Mortero- Fuente: Propia



Ilustración 25 Procedimiento resistencia a la compresión cilindros de mortero- Fuente: Propia

5.4.3 Resultados Fluidez del cemento Hidráulico.

A partir de los resultados obtenidos del procedimiento anteriormente presentado se realizan los siguientes cálculos:

Tabla 41 Resultados Fluidez del cemento Hidráulico

Porcentaje de Fluidez	
Diámetro del molde (mm)	251
Diámetro tomado 1 (mm)	132
Diámetro tomado 2 (mm)	134
Diámetro tomado 3 (mm)	131
Diámetro tomado 4 (mm)	135
Diámetro Promedio (mm)	532

5.4.4 Cálculos

5.4.4.1 Porcentaje de fluidez

Con la finalidad de establecer la fluidez de la muestra se hace uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 23 Porcentaje de fluidez

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diametro Promedio} - A}{A} * 100 \quad (22)$$

En donde:

A= Diámetro real del molde medido en el ensayo en mm

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{532 \text{ mm} - 251 \text{ mm}}{251 \text{ mm}} * 100 \quad (22)$$

$$\% \text{ Fluidez} = 111.95\%$$

5.4.5 Resultados Resistencia a la compresión

A partir de los procedimientos anteriormente realizados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 42 Resultados iniciales Resistencia a la compresión de cilindros de Mortero-Fuente: Propia

Edad días	Fecha de ensayo	Dimensiones (mm)			Área (mm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)
		Ancho	Largo	Alto			
1	13/04/2021	50	50,1	50	2505	19380	7,74
		50,2	50	50,4	2510	20040	1,98
		50	50,3	50,1	2515	19550	7,77
3	13/04/2021	50	50,1	50	2505	19380	7,74
		50,2	50	50,4	2510	20040	1,98
		50	50,3	50,1	2515	19550	7,77
7	13/04/2021	50	50,1	50	2505	19380	7,74
		50,2	50	50,4	2510	20040	1,98
		50	50,3	50,1	2515	19550	7,77
14	13/04/2021	50	50,1	50	2505	19380	7,74
		50,2	50	50,4	2510	20040	1,98
		50	50,3	50,1	2515	19550	7,77

5.4.6 Cálculos resistencia a la compresión

Se procede a registrar la mayor carga que indica la maquina con la que se realizó la falla de los cubos de mortero y se evalúa la resistencia a la compresión mediante la ecuación presentada a continuación:

Ecuación 24 Resistencia a la compresión cubos de mortero

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (23)$$

Donde:

f_m = Resistencia a la compresión en MPa

P= Carga Máxima total en N

A = área de la superficie cargada en mm^2

Muestra de cálculo:

$$f_m = \frac{19380 \text{ N}}{2505 \text{ mm}^2} \quad (23)$$

$$f_m = 7,74 \text{ Mpa}$$

5.4.7 Resumen de resultados

Las resistencias a la compresión obtenidas a partir de la experimentación de todos los cubos de Mortero fallados:

Tabla 43 Resultados cubos de mortero (resistencia a la compresión)- Fuente: Propia

Edad días	Fecha de ensayo	Dimensiones (mm)			Área (mm^2)	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Promedio (MPa)
		Ancho	Largo	Alto				
1	13/04/2021	50,0	50,1	50,0	2505	19380	7,74	7,83
		50,2	50	50,4	2510	20040	1,98	
		50,0	50,3	50,1	2515	19550	7,77	
3	13/04/2021	50,0	50,1	50,0	2505	19380	7,74	18,11
		50,2	50,0	50,4	2510	20040	1,98	
		50,0	50,3	50,1	2515	19550	7,77	
7	13/04/2021	50,0	50,1	50,0	2505	19380	7,74	21,36
		50,2	50,0	50,4	2510	20040	1,98	
		50,0	50,3	50,1	2515	19550	7,77	

14	13/04/2021	50,0	50,1	50,0	2505	19380	7,74	23,44
		50,2	50,0	50,4	2510	20040	1,98	
		50,0	50,3	50,1	2515	19550	7,77	

6. ANALISIS DE RESULTADOS A LOS ENSAYOS EN EL CEMENTO HIDRÁULICO

6.1 ENSAYO PARA ESTABLECER LA FINURA EN EL CEMENTO HIDRÁULICO

La finura del cemento o de los cementantes, es de gran importancia debido a que influye directamente en el consumo de agua (velocidad de hidratación) y tiempos de fraguado del concreto, así mismo como en la liberación de calor y retracción, los cuales van ligados directamente a la resistencia final del concreto que se va a suministrar.

La hidratación del cemento al generarse la mezcla inicia por la superficie exterior de sus partículas, por lo tanto, el área superficial es la que representa el material disponible para la hidratación, la superficie específica establecida en este ensayo es de $5414 \text{ cm}^2/\text{g}$, por lo tanto, se determina que es un cemento portland con una finura media.

De Acuerdo a los resultados Obtenidos Podemos evaluar que se encuentra en un rango límite por lo tanto puede presentar resistencias tardías en el concreto autocompactante mayores a los 28 días y mayor absorción de agua.

6.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA DENSIDAD DEL CEMENTO

La densidad del cemento es de suma importancia para controlar los diseños de mezcla y las dosificaciones del mismo para conformar el concreto, debido a que esta está ligada directamente con su proceso de fabricación y calidad.

Se obtiene una densidad del cemento de $3,16 \text{ g/cm}^3$, la cual se puede asumir como un cemento portland de densidad promedio con pocas adiciones, el cual se considera adecuado para ser usado en la mezcla de (CAC) y ligero.

A partir de este ensayo se determina que es un cemento de fabricación estándar el cual no tiene un contenido alto de adiciones, lo cual guía a evaluar los rendimientos óptimos para su uso en la mezcla final de concreto ligero y autocompactante.

6.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO

El tiempo de fraguado representa un proceso químico que conlleva a que la composición química de la pasta de cemento endurezca, alcanzando una consistencia fuerte y densa, la cual comienza a tener una resistencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos nos encontramos dentro del rango señalado en la Normatividad anteriormente descrita el rango de los tiempos de fraguado debe estar entre los siguientes minutos; Fraguado inicial y final máximo de 45 y 420 minutos respectivamente.

De acuerdo a los datos obtenidos se cuenta con un fraguado inicial y final de 167 y 2115 minutos respectivamente, por lo tanto, se encuentra en el rango apto para ser utilizado en el diseño de mezcla sin presentar tiempos indebidos en el fraguado.

Por lo tanto, los tiempos de fraguado de la pasta de cemento hidráulico son adecuadas para la mezcla de concreto ligero y autocompactante, presentando un fraguado inicial lento debido a la finura analizada del mismo, más sin embargo el fraguado final está dentro del rango adecuado para ser utilizado.

6.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO

Tabla 44 Porcentajes de Material y fluidez del mortero tomado de: (NTC 220, 2004)

Material	6 cubos	9 cubos
Cemento en gramos	500	740
Arena en gramos	1375	2035
Agua ml		
- Cemento Portland (0,485)	242	359
- Cemento Portland con aire incorporado (0,460)	230	340
Otros (fluidez de 110 ± 5)	-	-

A partir de los resultados obtenidos, se puede analizar que el mortero hidráulico tiene una fluidez adecuada para realizar el diseño de mezcla, a partir de los diámetros medidos en el ensayo, debido a que el porcentaje dio como resultado 111.95% y a partir de la tabla No 40 correspondiente a la guía para el ensayo NTC 220,2004 se debe tener una fluidez del $110 \pm 5\%$.

La resistencia a la compresión de los cubos de mortero es adecuada y superior a la requerida por el diseño de mezcla para obtener el (CAC) y ligero debido a que la resistencia dada a 7 días ya tiene la resistencia requerida inicial para cumplir las especificaciones buscadas en la investigación.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede establecer que el cemento-ART puede aportar una resistencia óptima a las mezclas de concreto ligero y autocompactante, Obteniendo como una resistencia a los 28 días de 23.44 MPa.

7. CAPÍTULO - POLIESTIRENO EXPANDIDO

7.1 CARACTERISTICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

7.1.1 Descripción

El poliestireno expandido (EPS) utilizado para este trabajo de investigación es en formato perlas, el cual es una espuma rígida de color blanco neutro, tiene una resistencia alta a la abrasión debido a su bajo peso, es caracterizado por un termoplástico celular de baja densidad.

Tiene gran capacidad térmica debido a que está conformado por una cantidad muy alta de hilos cerrados las cuales se encuentran soldadas térmicamente, estos hilos tienen porcentajes de aire en su interior el cual constituye un volumen aproximado del 10% del material.

7.1.1.1 Ventajas

1. Aislamiento térmico
2. Aislamiento Acústico en losas de entepiso
3. Absorción de vibraciones producida por diferentes acciones de transporte o golpes.
4. Perfecto complemento para la fabricación de materiales que alivianan estructuras.

7.1.1.2 Conductividad térmica

La conductividad térmica se expresa en función de la densidad de la siguiente manera:

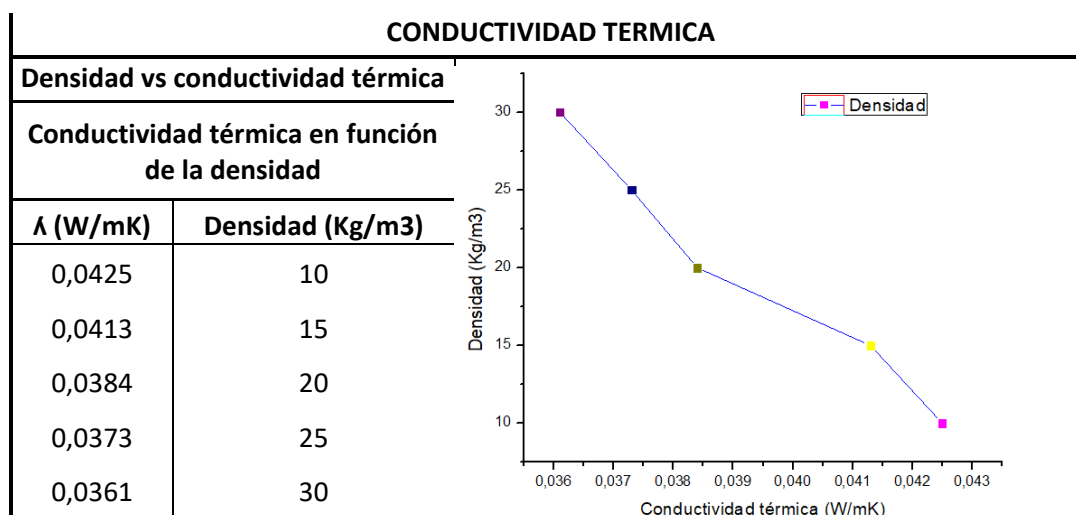
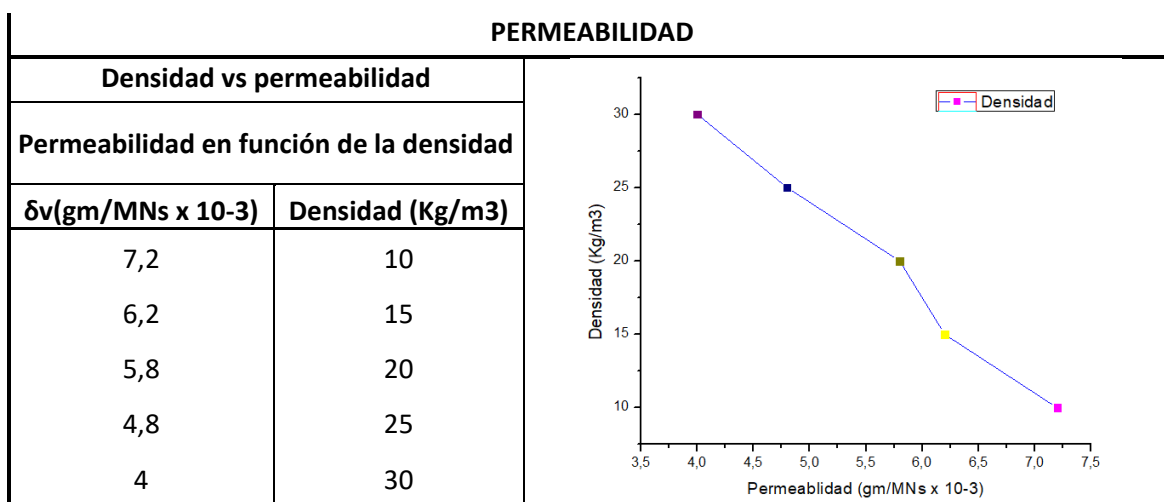


Gráfico 7 Conductividad térmica en función de la densidad-Fuente: Propia

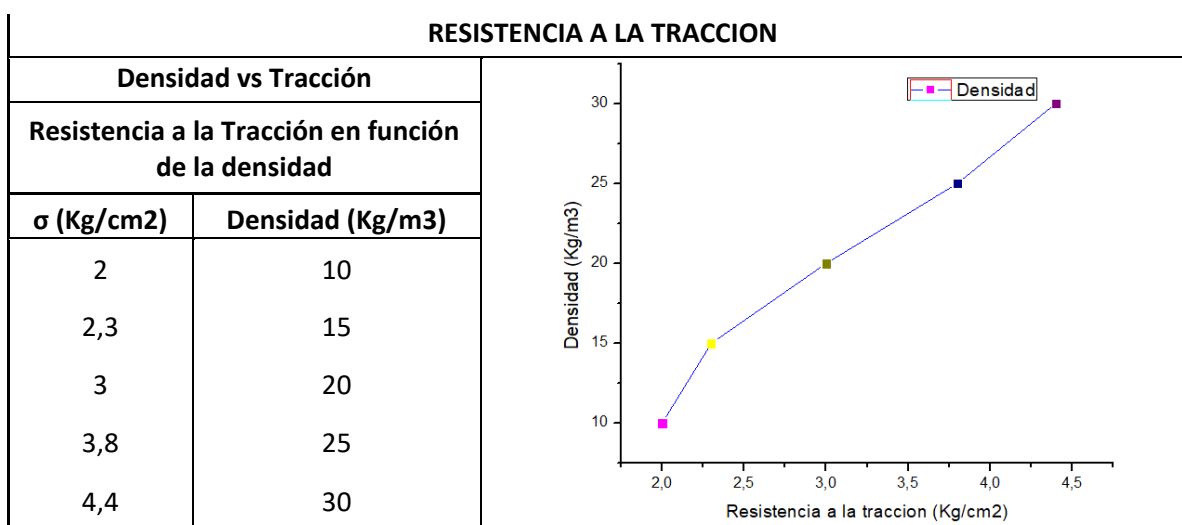
7.1.1.3 Permeabilidad

La permeabilidad se expresa en función de la densidad de la siguiente manera:



7.1.1.4 Resistencia mecánica

Su capacidad de resistir a la tracción se expresa en relación de la densidad de la siguiente manera:



7.1.1.5 Resistencia al corte

Su capacidad de resistir al corte se expresa en relación de la densidad de la siguiente manera:

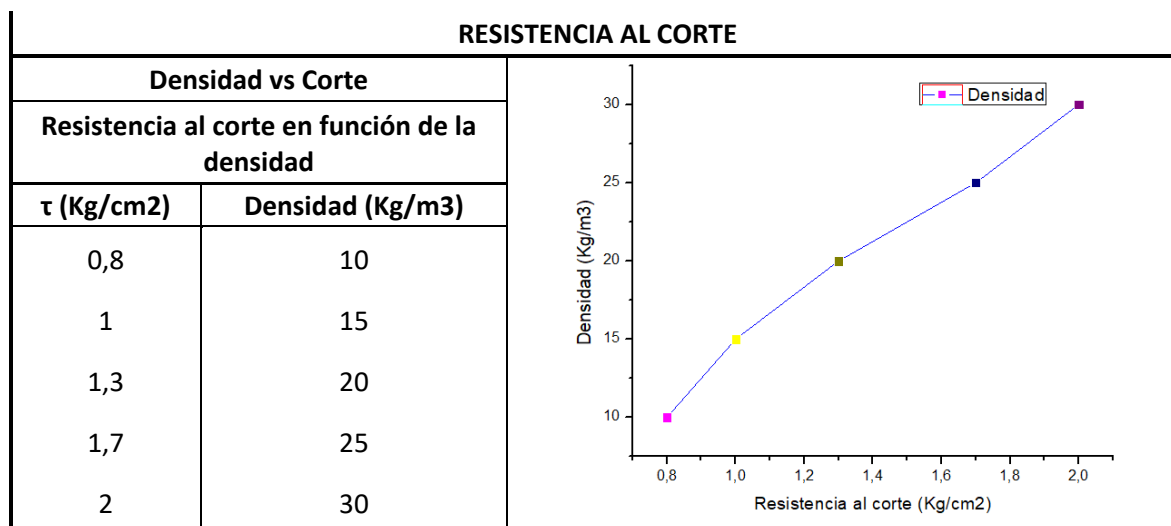


Gráfico 10 Resistencia al corte en función de la densidad- Fuente: propia

7.1.2 Propiedades del poliestireno expandido

La densidad aparente del poliestireno expandido usado para realizar el diseño de mezcla es de $\frac{15Kg}{cm^3}$, por lo tanto, los resultados a los datos aportados son los siguientes:

Tabla 45 Propiedades del poliestireno expandido-Fuente: Propia

Propiedades poliestireno expandido	
Densidad (Kg/m ³)	15
λ (W/mK)	0,0413
δv (gm/MNs x 10 ⁻³)	6,2
σ (Kg/cm ²)	2,3
τ (Kg/cm ²)	1

7.1.3 Análisis del poliestireno expandido

1. Debido a la baja densidad del poliestireno expandido se considera una adición ideal para aligerar la mezcla de concreto autocompactante, y se pueden obtener resultados de baja densidad.
2. Debido a las propiedades definidas del poliestireno expandido se puede determinar que a mayor densidad se obtienen mayores características que pueden favorecer el concreto, como lo son la resistencia al corte, permeabilidad, resistencia a la tracción y conductividad térmica
3. A partir de los resultados obtenidos del poliestireno expandido se puede deducir que va a aportar características adicionales a disminuir la densidad del concreto ligero y autocompactante.
4. Evaluando las características del poliestireno expandido a la tracción y al corte, se evidencia que es un material con alta resistencia a estas condiciones, lo cual puede aportar características interesantes adicionales a la mezcla de concreto (CAC) y ligero.
5. La permeabilidad de este material es muy baja, por lo tanto, se puede establecer que es un material que no va a generar una absorción alta de agua al hidratar la pasta de cemento, ayudando al adecuado curado de las muestras.
6. En varias investigaciones realizadas se ha establecido que el poliestireno expandido puede aportar propiedades térmicas a los elementos de concreto, lo cual es una propiedad adicional que podría tener el concreto de baja densidad o ligero fabricado a partir de este material.

8. CAPITULO. ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO EN ESTADO FRESCO

8.1 DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO (NSR-10 Y ACI C211.2 y C237)

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se establece el diseño de mezcla de un concreto ligero y autocompactante con una resistencia que cumpla las especificaciones para tener la capacidad de servir como concreto de elementos estructurales con la capacidad de resistencia resultante.

El diseño de mezclas de concreto radica fundamentalmente en la selección o elección de componentes disponibles (agua, agregados, cemento y aditivos) y la obtención de sus cantidades o dosificaciones para producir un concreto que sea económico, que tenga el grado de fluidez o manejabilidad adecuado y esperado, que terminar su proceso de fraguado y endurezca adquiera las propiedades de resistencia necesarias para el proyecto, así mismo como su durabilidad y estabilidad.

Para realizar este diseño de concreto ligero y autocompactante, se basa la investigación en las dosificaciones descritas por la (Norma ACI C211.2 Standard Practice for selecting proportions for structural Lightweight,2004) concrete, a su vez se revisan las calificaciones por resistencia dadas en la NSR-10 y por último con la finalidad de generar un concreto que tenga las propiedades de un concreto autocompactante, se establece como guía base para finalizar el diseño de mezcla la Norma ACI C237 self consolidating concrete.

8.1.1 Especificaciones

De acuerdo a los requerimientos anteriormente descritos para el concreto a diseñar, se comprenden las siguientes especificaciones para el diseño de la mezcla.

Tabla 46 Especificaciones de Agregados y cemento

ESPECIFICACIONES			ESPECIFICACIONES		
Descripción	Tamaño	Observación	Descripción	Resultado	Observación
Asentamiento Mínimo	N/A	Concreto Autocompactante	Cemento ART	Cemex	Cemento Hidraulico estructural
Tamaño Maximo Nominal Agregado grueso	1/2"	Resultados ensayo NTC-77	Superficie especifica (cm2/g)	5414	NTC-33
Tamaño máximo Nominal Agregado fino	4.75 mm	Resultados ensayo NTC-77	Densidad (g/cm2)	2831	NTC-221
Tamaño mínimo Nominal Agregado fino	300 µm	Resultados ensayo NTC-77	Tiempo de fraguado inicial (min)	167	NTC-118
Tamaño Maximo Nominal Agregado grueso (Roca Pumita)	1/2"	Resultados ensayo NTC-77	Tiempo de fraguado inicial (min)	215	NTC-118

8.1.2 Resistencia de diseño f_{cr}

De acuerdo a la Norma NSR-10, al no tener datos anteriores en el tiempo para establecer una desviación estándar se utilizan los lineamientos propuestos en la Tabla C.5.3.2.2-la cual establece una resistencia promedio de la cual se puede hacer uso en caso que no existan datos suficientes para disponer de una desviación estándar.

Tabla 47 Resistencia promedio de compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (Fuente: Tabla C.5.3.2.2 NSR-10)

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1f'_c + 5.0$

Por consiguiente, Se puede establecer la resistencia promedio requerida a compresión en MPa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 25 Resistencia promedio a la compresión

$$f_{cr} = f'_c + 8,3 \quad (23)$$

Donde:

f_{cr} = Resistencia Promedio a la compresión requerida en MPa

f'_c = Resistencia a la compresión solicitada en MPa

$$f_{cr} = 21 \text{ MPa} + 8,3 \text{ MPa} \quad (23)$$

$$f_{cr} = 29,3 \text{ MPa}$$

8.1.3 Contenido de cemento

A partir de la metodología propuesta en la Norma ACI C211.2 para concretos ligeros, se establecer una cantidad estimada del contenido de cemento, a partir de la Figura 3.3.2 de la misma, por lo tanto, se toman los siguientes datos a partir de la estimación del contenido de cemento.

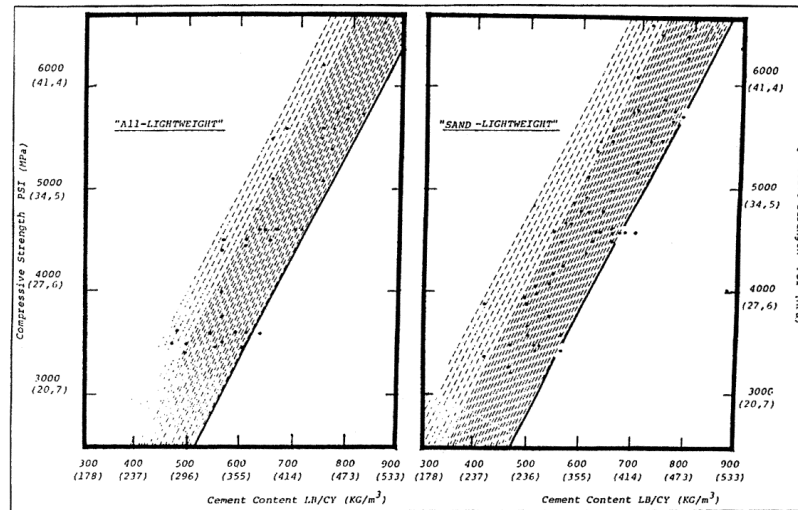


Gráfico 11 Relación de la resistencia a la compresión y el contenido de cemento del hormigón de agregado liviano fino y agregado grueso (Fuente: ACI C211.2, 2004)

A partir de este gráfico podemos determinar un contenido de cemento adecuado para poder tener como resultado la resistencia a la compresión requerida en consecuencia, debido a que la resistencia a la compresión promedio requerida es de 29,3 MPa, se interpola en el gráfico con la finalidad de caracterizar el contenido adecuado de cemento.

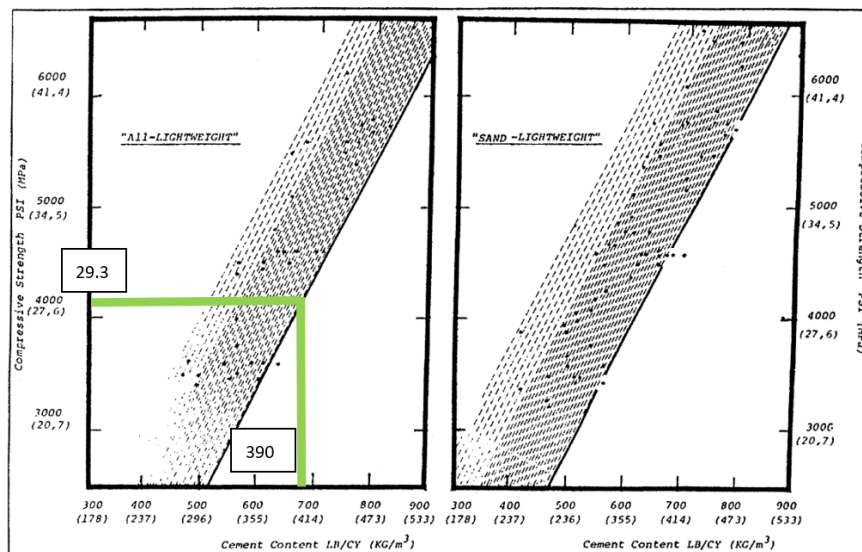


Gráfico 12 Relación cemento Resistencia a la compresión-(Adoptada de: ACI C211.2, 2004)

A partir de la interpolación realizada se calcula el contenido de cemento de acuerdo al grafico No 12 obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 48 Contenido de cemento- Fuente: Propia

Resistencias requeridas	
Resistencia a la compresión requerida (f_{cr}) MPa	29,3
Resistencia a la compresión solicitada (f_c) MPa	21
Contenido de cemento	
Contenido de cemento Kg	390

8.1.4 Contenido de agua

La proporción adecuada para el contenido de Agua necesario para el diseño de mezcla se obtiene a partir de la Tabla 3.2.2.3 (a).

Tabla 49 Relación Agua-cemento y resistencia a la compresión del hormigón, adoptado de: ACI-211.2, 2004)

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación agua cemento aproximado en peso	
	Concreto sin aire atrapado	Concreto con aire atrapado
Psi		
6000	0,41	-
5000	0,48	0,4
4000	0,57	0,48
3000	0,68	0,59
2000	0,82	0,74

Debido a que la resistencia a la compresión promedio requerida es de 29.3 MPa se realiza una interpolación entre las resistencias de 4000 Psi y 5000 Psi para encontrar la relación agua cemento sin aire incorporado de la siguiente manera.

RELACION AGUA CEMENTO	
SIN AIRE INCORPORADO	
Resistencia a la compresión (Psi)	Relación A/C
6000	0,41
5000	0,48
4000	0,57
3000	0,68
2000	0,82

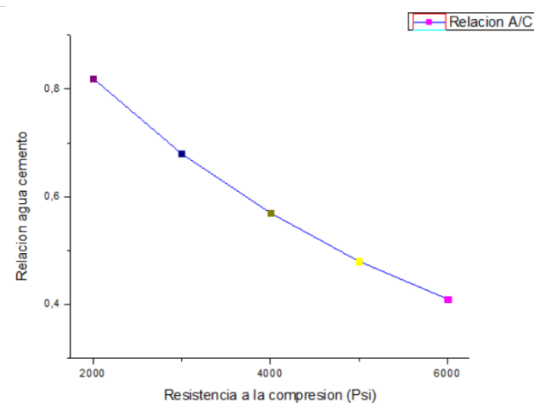


Tabla 50 Interpolación relación agua cemento- Fuente: Propia

Gráfico 13 Interpolación relación agua cemento

En relación a la interpolación efectuada se encuentra que la relación agua cemento será:

Tabla 51 Relación Agua cemento, Fuente: Propia

RELACION AGUA CEMENTO	
Relación A/C	0,54

A partir de la siguiente ecuación se evalúa la relación agua cemento:

Ecuación 26 Cantidad de agua

$$R = \frac{a}{c} \quad (25)$$

Donde:

R= Relación Agua Cemento encontrada

a= Cantidad de Agua en Lt

c= Cantidad de cemento en Kg

Por lo tanto, se obtiene

Tabla 52 Relación Agua cemento y contenido de cemento, Fuente: propia

RELACION AGUA CEMENTO	
Relación A/C	0,54
Contenido de cemento Kg	390

$$0.54 = \frac{a}{390 \text{ kg}} \quad (25)$$

$$a = 210,6 \text{ lt}$$

Tabla 53 Cantidad de Agua, Fuente: Propia

CANTIDAD DE AGUA	
Cantidad de agua (a) lt	210,6

8.1.5 Dosificación de agregados (ACI 211).

La norma ACI recomienda dosificar el volumen de los agregados tanto fino como grueso a partir de la dimensión máxima de la grava y el módulo de finura de la arena.

El módulo de finura de la arena se establece desde el ensayo llevado a cabo en el capítulo 3 de la presente investigación en donde se ejecuta la granulometría del material a ser utilizado.

8.1.5.1 Módulo de finura (Agregado Fino)

El indicador para el tamaño del agregado en este caso fino es el módulo de finura el cual establece las porciones adecuadas del agregado fino para el diseño de mezcla, a mayor MF se establece que el agregado tiene unas dimensiones mayores.

A partir de los resultados Obtenidos se continúa realizando el porcentaje retenido acumulado a partir de los Tamices dispuestos en la Tabla No 1 de la Norma (NTC-174).

Tabla 54 Cálculo de Porcentaje Retenido acumulado- Fuente: Propia

Masa Inicial (g)	1515,2			
Tamiz	Masa retenida (g)	% Retenido	% acumulado que pasa	% Retenido Acumulado
3/8"	0,0	0	100	0
No 4	44,4	2,9	97	2,9
No 8	43,8	2,9	94	5,8
No 16	99,6	6,5	88	12,3
No 30	804,8	53,1	34	65,4
No 50	326,4	21,6	13	87
No 100	140,0	9,2	4	96,2
Fondo	56,2	3,8	0	0
TOTAL		100		269,6

Para calcular el Módulo de finura se prosigue mediante la ecuación presentada a continuación:

Ecuación 27 Modulo de Finura

$$MF = \frac{\% \text{ retenido Acumulado}}{\% \text{ retenido}} \quad (25)$$

Por lo tanto, el Módulo de Finura será:

$$MF = \frac{269.6 \%}{100 \%} \quad (26)$$

$$MF = 2,69$$

Tabla 55 Resultados módulo de finura

Masa retenida (g)	1515,2
% Retenido	100
% Retenido Acumulado	269,6

Módulo de Finura	2,696
------------------	-------

8.1.5.2 Volumen de Agregado grueso

El método establecido por la norma ACI 211, recomienda utilizar la tabla No 3.5 para establecer el volumen de agregado (grava) en relación al módulo de finura obtenido será:

Tabla 56 Volumen de Agregado grueso en relación a su módulo de finura adoptado de: (ACI 211,2004)

Tamaño máximo del agregado, in (mm)	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8 (9,5)	0,58	0,56	0,54	0,52
1/2 (12,7)	0,67	0,65	0,63	0,61
3/4 (19,0)	0,74	0,72	0,7	0,68

Debido a que la tabla 3.5 de la norma ACI 211 no presenta valores exactos para el módulo de finura, se utilizan las extrapolaciones e interpolaciones con el fin de dar exactitud al caso presentado, de acuerdo a (Orlando Bolívar, Diseños de mezclas de Hormigón, 2004), se define la siguiente ecuación para tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ ”:

Ecuación 28 Volumen de Agregado Grueso

$$Vol. Gruesos (m^3) = 0,861 - 0,0059 MF - 0,0139 MF^2 \quad (27)$$

Donde:

MF= Modulo de finura encontrado bajo la Norma NTC-77

Por lo tanto el volumen de agregado grueso será:

$$Vol. Gruesos (m^3) = 0,861 - 0,0059 * (2,696) - 0,0139 (2,696)^2 \quad (27)$$

$$Vol. Gruesos (m^3) = 0.74 m^3$$

A partir del volumen de Agregado grueso encontrado, se puede hallar la cantidad de agregado grueso por metro cubico de hormigón a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 29 Masa de Agregado grueso por M3 de concreto

$$G1 = V_{gs} * MU_{sc} \quad (28)$$

Donde:

G1= Masa del Agregado grueso por m^3 de concreto

V_{gs} = Volumen del Agregado grueso

MU_s = Masa Unitaria del Agregado grueso

Por lo tanto, se tiene el siguiente resultado:

$$Masa Unitaria = 1593 Kg/m^3$$

$$G1 = 0,74m^3 * 1593 \frac{kg}{m^3} \quad (27)$$

$$G1 = 1185,29 kg$$

$$Masa del agregado grueso (G1) = 1185,29 kg$$

A partir del peso resultado de la ecuación (27) Se obtiene G1 SSS mediante la ecuación presentada a continuación:

Ecuación 30 Masa del agregado grueso saturado por m3 de concreto

$$G1_{sss} = G1 \left(1 + \frac{h_{ag}}{100} \right) \quad (29)$$

Donde:

$G1$ = Masa del Agregado grueso por m^3

h_{ag} = Humedad de absorción del agregado (grava)

$G1_{sss}$ = Masa del agregado grueso saturado por m^3

A partir de los resultados anteriores obtenemos:

$$G1 = 1185.29 \text{ Kg}$$

$$\% \text{ Absorción Agregado grueso} = 0.9\%$$

$$G1_{sss} = 1185,29 \text{ Kg} \left(1 + \frac{0,9\%}{100} \right) \quad (29)$$

$$G1_{sss} = 1195,95 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa del agregado grueso saturado } G1_{sss} = 1195,95 \text{ Kg}$$

8.1.5.3 Volumen de Agregado fino

El volumen de agregado fino se calcula a partir de la siguiente ecuación propuesta por a (Orlando Bolívar, Diseños de mezclas de Hormigón, 2004):

Ecuación 31 Masa de Finos Saturados

$$F_{sss} = \left(1 - A_1 - \frac{W_1}{D_w} - \frac{C_1}{D_c} - \frac{G1_{sss}}{D_{gsss}} \right) * D_{fsss} \quad (30)$$

Donde:

F_{sss} = Masa de finos saturados en Kg

A_1 = Volumen de aire atrapado m^3

W_1 = Masa del Agua Kg

D_w = Densidad del agua (1000 Kg/ m^3 a 20°C)

C_1 = Masa del cemento en Kg

D_c = Densidad del cemento en Kg/ m^3

$G1_{sss}$ = Masa de la grava Saturada Kg

D_{gsss} = Densidad en bruto de saturada de agregado grueso en Kg/ m^3

D_{fsss} = Densidad en bruto de saturada de agregado fino en Kg/ m^3

Datos iniciales:

Mediante los datos que se obtuvieron al realizar los ensayos a las muestras de agregado utilizadas para obtener la mezcla adecuada de concreto se concluyen los siguientes antecedentes:

Tabla 57 Datos iniciales Masa de finos saturados, fuente: Propia

Datos iniciales	
% Aire atrapado	4%
A_1 (m^3)	0,04
Masa de Agua W_1 (Kg)	157,95
Densidad del agua D_w 1000 Kg/ m^3	1000
Masa de cemento (Kg)	390
Densidad de cemento (Kg/ m^3)	2830
$[(G1)]_{sss}$ (Kg)	1195,959376
Densidad gsss (Kg/ m^3)	2643
Densidad fsss (Kg/ m^3)	2610

Reemplazando en la ecuación (29) se obtiene:

$$F_{sss} = \left(1 - 0,04 - \frac{157,95 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg}/m^3} - \frac{390 \text{ Kg}}{2830 \text{ Kg}/m^3} - \frac{1195,95 \text{ Kg}}{2643 \text{ Kg}/m^3} \right) * 2610 \text{ Kg}/m^3 \quad (30)$$

$$F_{sss} = 552,64 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de finos saturados } (F_{sss}) = 552,64 \text{ kg}$$

Al obtener la masa de Agregado Fino saturado, se puede obtener la masa de Agregado fino seco por metro cúbico (F1) mediante la ecuación presentada a continuación:

Ecuación 32 Masa de finos secos

$$F1 = F_{sss} / (1 + \frac{h_{af}}{100}) \quad (31)$$

Donde:

$F1$ = Masa de finos secos en Kg

F_{sss} = Masa de finos Saturados en Kg

h_{af} = Humedad de absorción de agregados finos (%)

Datos iniciales:

% Absorción Agregado fino	1,4
F_{sss} (kg)	552,64

$$F1 = 552,64 \text{ Kg} / (1 + \frac{1,4\%}{100}) \quad (29)$$

$$F1 = 545,01 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa de finos secos (F1)} = 545,01 \text{ Kg}$$

8.1.6 Diseño de mezcla-concreto autocompactante (ACI C237.2)

La base teórica para el diseño de mezcla de concreto autocompactante es la norma (ACI 237,2007), la cual proporciona una guía para el diseño inicial, en la tabla 2.5 de la norma se presentan los asentamientos o flujos de asentamiento para elementos estructurales o características solicitadas en cada proyecto.

En este trabajo de investigación se utiliza el flujo de asentamiento recomendado el cual se encuentra en un rango de 550 a 650 mm, el cual es un flujo de asentamiento característico para ser utilizado en elementos estructurales de difícil colocación, con bajo espesor y una baja energía de colocación.

Tabla 58 Objetivos del flujo de asentamiento, adoptada de: (ACI 237.2, 2007)

Niveles de especificación		Slump Flow o Flujo de Asentamiento		
		< 22 in.	22 a 26 in	26 in
		(< 550 mm)	(550 a 650 mm)	(>650 mm)
Nivel de Refuerzo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Complejidad de la forma del elemento	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Profundidad del elemento	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Importancia de acabado de la superficie	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Longitud del elemento	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Espesor	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Contenido de agregado grueso	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Energía de colocación	Bajo			
	Medio			
	Alto			

Debido a que se inició el diseño a partir de las recomendaciones de la Norma (ACI 211,2004), se toma como base y comparación de resultados para el ajuste del diseño de mezcla la Norma (ACI 237.2, 2007) con el objetivo de diseñar el concreto autocompactante y ligero esperado de la investigación.

8.1.7 Contenido de cemento y proporciones de la mezcla (ACI C237.2)

El contenido de cemento es proporcional al flujo de asentamiento escogido al igual que las proporciones de los agregados necesarios para la mezcla inicial, para hallar estas adecuadas dosificaciones la Norma ACI 237.2007 da los siguientes parámetros.

Tabla 59 Contenido de cemento, adoptada de: (ACI 237.2, 2007)

	Slump flow o flujo de Asentamiento		
	< 550 mm	550-650 mm	>650 mm
Contenido de cemento $\frac{Kg}{m^3}$	355-385	385-445	>458

Debido a que el asentamiento buscado es de 550 a 650 mm y el contenido de cemento hallado en la Norma (ACI 211.2, 2004) fue de 390 Kg/m³ se este valor para el diseño de mezcla inicial.

Tabla 60 Proporciones para mezcla inicial, adoptada de: (ACI 237.2, 2007)

Volumen absoluto de agregado grueso	28 a 32% (Tamaño máximo nominal >12 mm)
Porcentaje de pasta (calculada en volumen)	34 a 40% (Volumen total de la mezcla)
Porcentaje de mortero (Calculada en volumen)	68 a 72% (volumen total de la mezcla)
Relación de a/c	0,32 a 0,45
Contenido de cemento típico	(386 a 475) Kg/m ³

Debido a que los porcentajes de agregado grueso y de agregado fino son bastante diferentes al concepto teórico de un concreto autocompactante se ajustan de acuerdo a la Norma (ACI 237.2, 2007)

8.1.8 Corrección de contenido de Agua por Aditivo (ACI C237.2)

Debido a que la especificación del concreto solicitado tiene cualidades autocompactantes, se determina el uso de aditivo Plastol HR-DF, el cual tiene como características ser un aditivo superplastificante o reductor de agua, el cual es de uso para concreto de alto desempeño. Incrementa el asentamiento y reduce significativamente el agua y/o cemento de la mezcla de concreto.

A partir de la norma ACI 237.2 y la ficha técnica del aditivo se realiza la reducción del contenido de agua por aditivo de la siguiente manera:

Tabla 61 Reducción de Agua por aditivo, Fuente: propia

Reducción de Agua por Aditivo	
% de reducción	25%
Cantidad de agua (a) lt	210,6
Cantidad de agua reducida (a) lt	157,95

8.1.9 Resumen diseño de mezcla

De acuerdo a los datos encontrados se tienen los siguientes resultados para concluir el diseño de mezcla:

Tabla 62 Resultados diseño de mezcla

DISEÑO DE MEZCLA (Testigo)	
MATERIAL	PESO (Kg/m3)
Cemento (Cemex ART)	390
Agua	157,95
Arena Rio	750
Grava (3/4")	620
Grava Pumita	0
Poliestireno	0
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%
TOTAL	1919,90

8.1.10 Diseños de mezcla experimentales

A partir de las diferentes pruebas realizadas en el diseño de mezcla y debido a ser un concreto experimental, se realizaron diferentes mezclas con el fin de concentrar las mezclas que mejor se comportaban a los ensayos.

A partir de los errores encontrados debido a la sensibilidad de los ensayos para determinar una mezcla autocompactante se vio necesario evaluar parámetros adicionales que enfrentaran una realidad y un acercamiento al objetivo principal de los ensayos evaluados.

Debido a que la finalidad es proporcionar un concreto que tenga las propiedades adecuadas de fluir y que tenga la densidad y peso unitario para considerarse concreto ligero, se tuvieron inconvenientes con las dosificaciones de poliestireno expandido, debido a que no se cumplían las condiciones del CAC especificadas, adicionalmente se generaron segregaciones o flotaciones excesivas del poliestireno expandido.

A partir de estos diferentes diseños de mezcla fue necesario Añadir dosificaciones y diferentes cantidades de agregado de las cuales se obtuvieron:

Tabla 63 Resumen Diseños de mezcla- Fuente Propia

DISEÑO DE MEZCLA (Testigo)		DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1%)	
MATERIAL	PESO (Kg/m3)	MATERIAL	PESO (Kg/m3)
Cemento (Cemex ART)	420	Cemento (Cemex ART)	430
Agua	157,95	Agua	157,95
Arena Rio	750	Arena Rio	660
Grava (3/4")	620	Grava (3/4")	520
Grava Pumita	0	Grava Pumita	35,1
Poliestireno	0	Poliestireno (1%)	1,5
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95	Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%	Aire	4%
TOTAL	1949,90	TOTAL	1806,50

DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1,5%)		DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (2%)	
MATERIAL	PESO (Kg/m3)	MATERIAL	PESO (Kg/m3)
Cemento (Cemex ART)	430	Cemento (Cemex ART)	430
Agua	157,95	Agua	157,95
Arena Rio	660	Arena Rio	660
Grava (3/4")	510	Grava (3/4")	505
Grava Pumita	35,1	Grava Pumita	35,1
Poliestireno (1%)	2,25	Poliestireno (1%)	3
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95	Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%	Aire	4%
TOTAL	1797,25	TOTAL	1793,00

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente fue necesario adoptar otras características en la dosificación de poliestireno expandido, en donde se determina que las mezclas adecuadas para continuar con los ensayos y dar cumplimiento a las especificaciones de concreto autocompactante son:

1. Mezcla testigo con 0% de poliestireno expandido
2. Mezcla con dosificación de 1% de poliestireno expandido
3. Mezcla con dosificación de 1.5% de poliestireno expandido
4. Mezcla con dosificación de 2% de poliestireno expandido

8.2 REOLOGIA DE LA MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO

La Reología del concreto es la ciencia que estudia la deformación de la pasta o del concreto junto con los agregados necesarios y el flujo de los materiales mezclados para su mezcla, incluyendo los estudios del concreto en estado fresco, comportamiento de lechadas y pastas, así como el manejo del mismo.

Este ensayo determina la capacidad de fluir y habilidad de paso del concreto ligero y autocompactante diseñado, determinando si las propiedades cumplen con las especificaciones para ser concreto autocompactante.

Este ensayo es realizado a partir del Reómetro (ICAR) el cual tiene la capacidad de medir las propiedades de flujo reológico del concreto en estado fresco

8.2.1 Aparatos de laboratorio

- Reómetro ICAR

8.2.2 Procedimiento

A partir de la mezcla de los concretos diseñados anteriormente se procede a evaluar sus propiedades reológicas a partir del reómetro de laboratorio el cual cuenta con nivel computacional capaz de caracterizar la relación entre fuerza, deformación y tiempo de cada una de las mezclas de concreto.

Ilustración 26 Procedimiento Reología del concreto



8.2.3 CLASES DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE (CAC)

A partir de la trabajabilidad del concreto, así como de su fluidez en el momento de realizar el vaciado de cualquier elemento estructural, esto depende, así como en el concreto regular del espaciado del acero de refuerzo del elemento que está siendo fundido.

Las diferentes clases de Concreto autocompactante se toman de Eupean Guidelines for self Compacting Concrete, la cual establece la siguiente tabla que expresa la fluidez, deformación y tiempo en función de las aplicaciones del concreto

Tabla 64 Aplicaciones del concreto autocompactante de acuerdo al escurrimiento
Adoptado de: (Eupean Guidelines for self Compacting Concrete)

Clase	Escurrecimiento	Aplicaciones
SF1	550-650 mm	Losas de viviendas, túneles, pilotes y fundaciones
SF2	660- 750 mm	Muros, columnas
SF3	760-850 mm	Estructuras densamente armadas

Tabla 65 Aplicaciones del concreto Autocompactante de acuerdo al tiempo y a su deformación Adoptado de: (Eupean Guidelines for self Compacting Concrete)

Clase	T 50	Tv	Aplicaciones
VS1/VF1	< 2s	< 8s	Construcciones muy armadas, con requisitos de terminación o peligros de exudación o segregación

VS2/VF2	> 2s	9-25s	En donde se requiera mejorar la resistencia a la segregación
---------	------	-------	--

8.2.4 Cálculos y resultados Obtenidos

8.2.4.1 Velocidad y Momento Torsor

A partir del procedimiento realizado se tienen los siguientes resultados para las 3 mezclas de (CAC) y ligero:

Tabla 66 Resultados Muestras de concreto ligero y Autocompactante-Fuente: Propia

Muestra testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1.5% de poliestireno)		Muestra (2% de poliestireno)	
Mezcla No 1		Mezcla No 2		Mezcla No 3		Mezcla No 4	
Velocidad (rps)	Momento Torsor (N*m)	Velocidad (rps)	Momento Torsor (N*m)	Velocidad (rps)	Momento Torsor (N*m)	Velocidad (rps)	Momento Torsor (N*m)
0,05	0,8	0,05	0,8	0,05	0,9	0,05	0,9
0,1	1,0	0,1	1,1	0,1	1,1	0,1	1,2
0,15	1,2	0,15	1,3	0,15	1,4	0,15	1,5
0,2	1,4	0,2	1,6	0,2	1,6	0,2	1,8
0,21	1,6	0,21	1,8	0,21	1,9	0,21	2,1
0,25	1,8	0,25	2,1	0,25	2,1	0,25	2,3
0,3	2,0	0,3	2,3	0,3	2,4	0,3	2,6
0,35	2,3	0,35	2,7	0,35	2,7	0,35	3,0
0,4	2,8	0,4	3,3	0,4	3,4	0,4	3,6
0,45	3,2	0,45	3,8	0,45	3,9	0,45	4,2
0,5	3,4	0,5	4,0	0,5	4,2	0,5	4,5

De acuerdo a la evaluación de los datos conseguidos se presentan las relaciones Velocidad vs Momento Torsor:

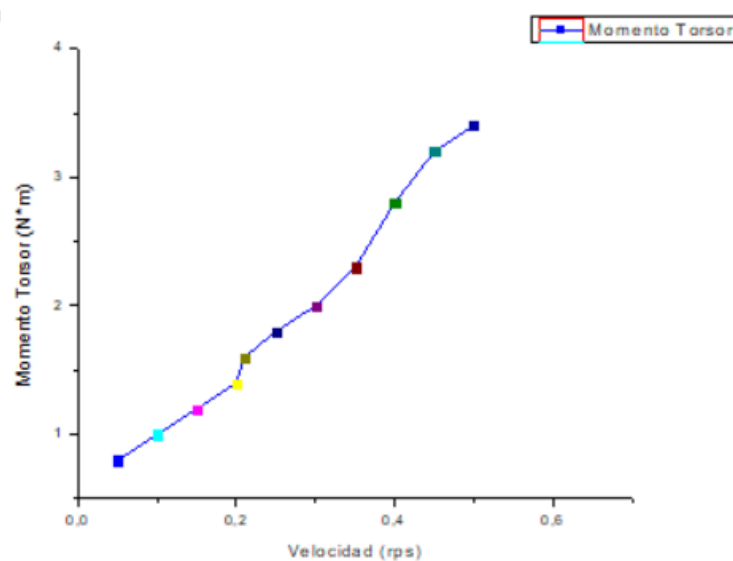


Gráfico 14 Velocidad Vs Momento Torsor Mezcla No 1-Fuente: Propia

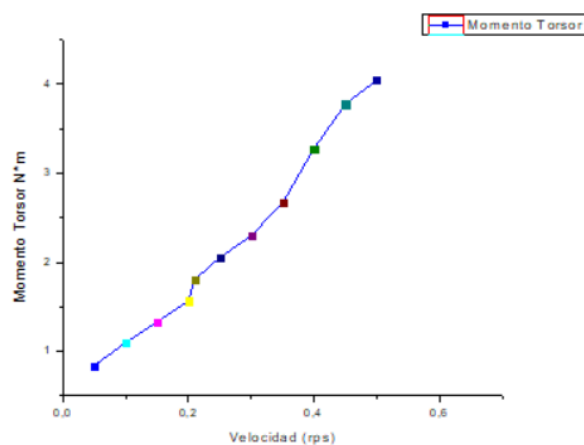


Gráfico 15 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 2-Fuente Propia

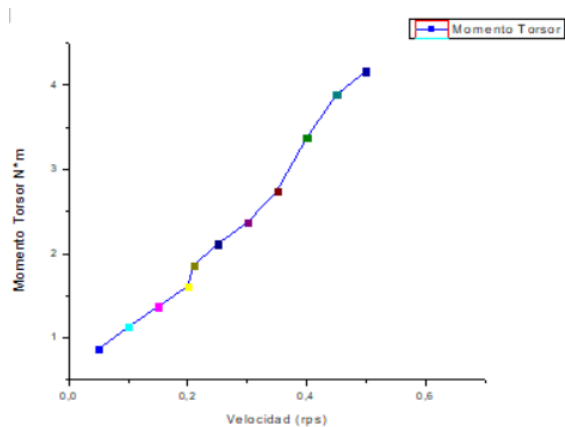


Gráfico 16 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 3-Fuente Propia

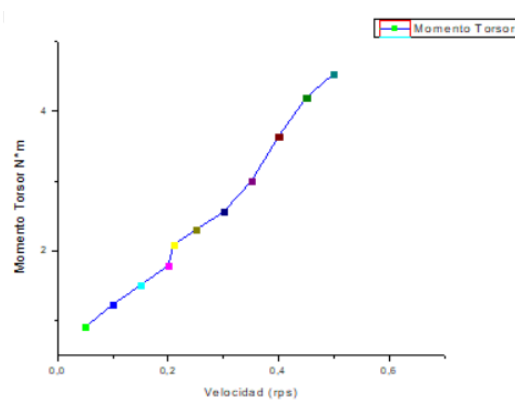


Gráfico 17 Velocidad vs momento Torsor Muestra No 4-Fuente Propia

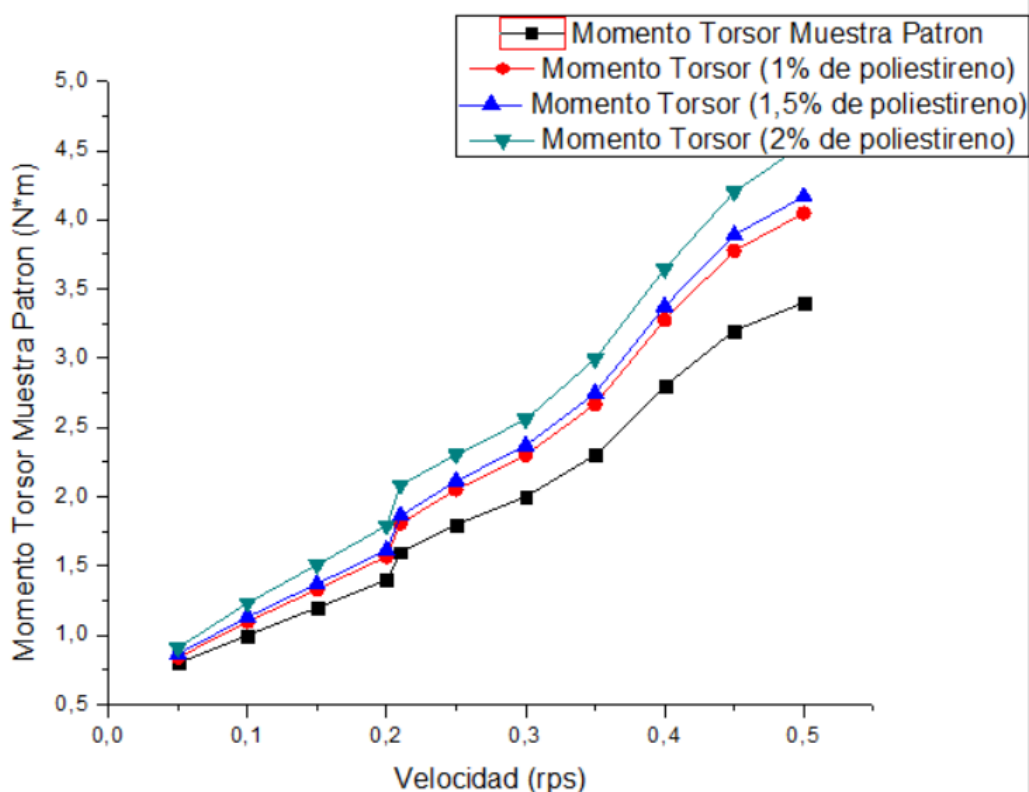


Gráfico 18 Velocidad vs momento Torsor Mezclas - Fuente: Propia

8.2.4.2 Parámetros reológicos

De acuerdo a los criterios obtenidos en el laboratorio se obtuvieron los siguientes parámetros reológicos de las mezclas de concreto autocompactante:

Tabla 67 resultados Parámetros reológicos de las mezclas de concreto- Fuente: Propia

Mezcla de concreto	Viscosidad		Esgurrimiento		Embudo V	Temperatura
	τ_0 (Pa)	μ (Pa*s)	Df (mm)	T50 (s)	Tv (s)	T °C
Muestra testigo	19,8	22,3	674	1,5	4,6	20 °C
1% de poliestireno	17,2	22,1	669	1,2	3,7	20 °C
1.5% de poliestireno	19,4	22,3	673	1,8	7,6	20 °C
2% de poliestireno	20,8	23,4	681	2,1	10,5	20 °C

8.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA SEGREGACIÓN, EL FLUJO RESTRINGIDO Y EL FLUJO LIBRE EN CAC A PARTIR DE LA NTC 5222.

El concreto autocompactante es un concreto de alta Fluidéz, el cual debe ser homogéneo y estable, el cual se auto compacta por la fuerza de la gravedad, no requiere compactación externa.

Este material tiene la capacidad de fluir hasta nivelarse sin presentar segregación de sus ingredientes o agregados ni interrupción de la mezcla al pasar por los obstáculos generados por el acero utilizado para reforzar los elementos estructurales.

Estos métodos de ensayo evalúan la capacidad de fluir de un concreto, llenar la formaleta del elemento estructural y auto compactarse sin o con muy poca vibración, esto a partir de las características de la edificación o estructura y a los métodos de colocación.

8.4 FLUJO LIBRE

El ensayo de flujo libre, es utilizado para caracterizar la forma y grado de fluir del concreto, modificando el ensayo del cono de Abrams (NTC 396).

8.4.1 Aparatos de laboratorio

- Cono de asentamiento de Abrams
- Base metálica
- Cinta métrica
- Cronometro
- Balde

8.4.2 Procedimiento

1. Se realiza a partir del cono de Abrams, se llena sobre una base metálica de ensayo con concreto autocompactante sin ningún tipo de compactación, se debe llenar en una sola capa sin ningún tipo de consolidación.
2. Se debe enrasar la muestra con el fin de eliminar cualquier exceso.
3. Levantar el cono verticalmente, en forma lenta.
4. Se debe medir el tiempo para el cual la torta de concreto alcanza 50 cm de diámetro
5. Cuando el concreto se haya estabilizado se realiza una medición adicional compuesta de dos medidas ortogonales sobre la torta de concreto.
6. Se deben dar los resultados en tiempo (s) y del promedio de los dos diámetros leídos en (cm)

8.4.3 Cálculos y resultados

A partir del procedimiento anteriormente descrito se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 68 Resultados Ensayo de flujo libre-Fuente: Propia

Muestra No 1 testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1.5% de poliestireno)		Muestra (2% de poliestireno)	
Tiempo para alcanzar 50 cm		Tiempo para alcanzar 50 cm		Tiempo para alcanzar 50 cm		Tiempo para alcanzar 50 cm	
Tiempo (s)	3	Tiempo (s)	2	Tiempo (s)	2	Tiempo (s)	4

Tiempo para estabilizar el flujo		Tiempo para estabilizar el flujo		Tiempo para estabilizar el flujo		Tiempo para estabilizar el flujo	
Tiempo (s)	58	Tiempo (s)	55	Tiempo (s)	58	Tiempo (s)	69

Diámetros finales		Diámetros finales		Diámetros finales		Diámetros finales	
Diámetro 1 (cm)	59	Diámetro 1 (cm)	65	Diámetro 1 (cm)	61	Diámetro 1 (cm)	57
Diámetro 2 (cm)	61	Diámetro 2 (cm)	63	Diámetro 2 (cm)	60	Diámetro 2 (cm)	59
Diámetro promedio (cm)	60	Diámetro promedio (cm)	64	Diámetro promedio (cm)	61	Diámetro promedio (cm)	58

Muestra No 1 testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (3% de poliestireno)	
Tiempo para alcanzar 400 mm		Tiempo para alcanzar 400 mm		Tiempo para alcanzar 400 mm		Tiempo para alcanzar 400 mm	
Tiempo (s)	78	Tiempo (s)	71	Tiempo (s)	78	Tiempo (s)	96

8.5 METODOLOGIA DE LA CAJA EN FORMA DE “L”

Este laboratorio evalúa la capacidad de fluir del concreto ayudado por su propio peso y asimismo su habilidad para superar el bloqueo que genera la presencia del acero de refuerzo en los elementos estructurales. Adicionalmente permite medir propiedades del concreto como su segregación y capacidad de comportarse como un concreto autonivelante.

8.5.1 Aparatos de laboratorio

- Equipo requerido (Caja en forma de L)
- Cinta métrica y cronometro
- Balde

8.5.2 Procedimiento

1. Humedecer la caja en forma de L
2. Verificar la adecuada nivelación y estabilidad de la caja en forma de L
3. Tomar la muestra de concreto autocompactante en el balde o recipiente
4. Llenar la parte vertical de la caja en una sola capa hasta llenar el borde superior (aproximadamente 12.7 L de mezcla de concreto).
5. Eliminar los excesos en la parte superior de la caja
6. Se levanta la compuerta permitiendo el flujo del concreto autocompactante.
7. Se debe medir el tiempo que transcurre hasta que el concreto fluye una distancia de 400 mm y una vez que el concreto haya detenido su fluidez se debe registrar las medidas H_0 y H_x expresados en la figura No 4 de la norma NTC 5222.



Ilustración 27 Caia en L- Fuente: Propia



Ilustración 28 Procedimiento Caja en forma de L - Fuente: Propia

8.5.3 Cálculos y resultados

De acuerdo al procedimiento realizado se obtienen los siguientes resultados para los diseños de mezcla:

Tabla 69 Resultados ensayo de Flujo Caja en L

Muestra No 1 testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1.5% de poliestireno)		Muestra (2% de poliestireno)	
Alturas resultantes		Alturas resultantes		Alturas resultantes		Alturas resultantes	
Ho (mm)	161	Ho (mm)	162	Ho (mm)	155	Ho (mm)	141
Hx (mm)	143	Hx (mm)	140	Hx (mm)	149	Hx (mm)	138
Relación (Hx/Ho)	0,89	Relación (Hx/Ho)	0,86	Relación (Hx/Ho)	0,96	Relación (Hx/Ho)	0,98

8.6 METODOLOGÍA DEL ANILLO J PARA ESTABLECER LA HABILIDAD DE PASO DEL CAC Y LIGERO

Esta metodología determina la habilidad de fluir de un concreto autocompactante y la facilidad de paso por el acero de refuerzo, por medio de un anillo que simula a través de barras fabricadas simultáneamente alrededor del anillo.

8.6.1 Aparatos de laboratorio

- Anillo J
- Molde
- Cinta Métrica
- Cono de Abrams

8.6.2 Procedimiento

1. Se debe realizar la muestra en un espacio de trabajo plano, nivelado y que no tenga absorción, superficie como un piso nivelado o en llegado caso una base lisa.
2. Se debe humedecer el espacio de trabajo, eliminando cualquier agua estancada
3. Colocar el Anillo J en la superficie de trabajo
4. Se debe tener la mezcla de concreto autocompactante lista para llenar el molde
5. Humedecer el interior del molde y pasar a ser colocado sobre un área de trabajo con la ranura de menor tamaño hacia abajo.
6. Se debe llenar el molde con la mezcla de concreto con no más de 125 mm por encima de la esquina superior.
7. Se golpea la parte superior y se retiran los excesos de mezcla del molde.
8. Se realiza un levantamiento del molde a una altura de 225mm en un tiempo de 3 ± 1 s. elevando constantemente hasta obtener a lo largo de $2 \frac{1}{2}$ minutos.
9. Se espera a que el concreto pare de estar en estado de flujo y se realiza la medición del diámetro más largo (J_2).
10. Con el fin de medir el Slump Flow se toma el diámetro más largo (D_1) y el diámetro perpendicular a este (D_2)



Ilustración 29. Procedimiento ensayo Anillo J- Fuente: Propia

8.6.3 Cálculos y resultados

A partir del procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 70 Resultados flujo Restringido Anillo J, Fuente: Propia

Resultados Flujo restringido Anillo J							
Muestra No 1 testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1.5% de poliestireno)		Muestra (2% de poliestireno)	
J1 (mm)	630	J1 (mm)	650	J1 (mm)	610	J1 (mm)	585
J2 (mm)	550	J2 (mm)	618	J2 (mm)	570	J2 (mm)	530
Resultados obtenidos en flujo libre							
D1 (mm)	590	D1 (mm)	650	D1 (mm)	610	D1 (mm)	570
D2 (mm)	610	D2 (mm)	630	D2 (mm)	600	D2 (mm)	590

8.6.3.1 Flujo Anillo J

El flujo del concreto autocompactante sobre el anillo J se determina a través de la siguiente ecuación.

Ecuación 33 Flujo del concreto

$$Flujo = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (32)$$

Donde:

J_1 = El diámetro más grande de la extensión circular en mm

J_2 = La extensión medida perpendicularmente a J_1 en mm

$$Flujo = \frac{630 \text{ mm} + 550 \text{ mm}}{2} \quad (32)$$

$$Flujo = 590 \text{ mm}$$

8.6.4 Resumen de cálculos

A partir de los resultados obtenidos por la Ecuación 30 se procede a calcular los flujos de las 3 muestras de concreto:

Tabla 71 Resultados ensayo de Flujo restringido Anillo J

Resultados							
Muestra No 1 testigo		Muestra (1% de poliestireno)		Muestra (1.5% de poliestireno)		Muestra (2% de poliestireno)	
Promedio (J1+J2)/2 (mm)	590	Promedio (J1+J2)/2 (mm)	634	Promedio (J1+J2)/2 (mm)	590	Promedio (J1+J2)/2 (mm)	558
Promedio (D1+D2)/2 (mm)	600	Promedio (D1+D2)/2 (mm)	640	Promedio (D1+D2)/2 (mm)	605	Promedio (D1+D2)/2 (mm)	580
Habilidad de paso (mm)	10	Habilidad de paso (mm)	6	Habilidad de paso (mm)	15	Habilidad de paso (mm)	23

Diámetros finales		Diámetros finales		Diámetros finales		Diámetros finales	
Diámetro 1 (cm)	59	Diámetro 1 (cm)	65	Diámetro 1 (cm)	61	Diámetro 1 (cm)	57
Diámetro 2 (cm)	61	Diámetro 2 (cm)	63	Diámetro 2 (cm)	60	Diámetro 2 (cm)	59
Diámetro promedio (cm)	60	diámetro promedio (cm)	64	Diámetro promedio (cm)	61	Diámetro promedio (cm)	58

9. ANALISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO

9.1 DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente fue necesario adoptar otras características en la dosificación de poliestireno expandido, en donde se determina que las mezclas adecuadas para continuar con los ensayos y dar cumplimiento a las especificaciones de concreto autocompactante son:

1. Mezcla testigo con 0% de poliestireno expandido
2. Mezcla con dosificación de 1% de poliestireno expandido
3. Mezcla con dosificación de 1.5% de poliestireno expandido
4. Mezcla con dosificación de 2% de poliestireno expandido

A partir de estos diferentes diseños de mezcla fue necesario Añadir dosificaciones y diferentes cantidades de agregado de las cuales se obtuvieron:

Tabla 72 Resumen Diseños de mezcla- Fuente Propia

DISEÑO DE MEZCLA (Testigo)		DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1%)	
MATERIAL	PESO (Kg/m3)	MATERIAL	PESO (Kg/m3)
Cemento (Cemex ART)	420	Cemento (Cemex ART)	430
Agua	157,95	Agua	157,95
Arena Rio	750	Arena Rio	660
Grava (3/4")	620	Grava (3/4")	520
Grava Pumita	0	Grava Pumita	35,1
Poliestireno	0	Poliestireno (1%)	1,5
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95	Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%	Aire	4%
TOTAL	1949,90	TOTAL	1806,50

5.

DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1,5%)		DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (2%)	
MATERIAL	PESO (Kg/m3)	MATERIAL	PESO (Kg/m3)

Cemento (Cemex ART)	430	Cemento (Cemex ART)	430
Agua	157,95	Agua	157,95
Arena Rio	660	Arena Rio	660
Grava (3/4")	510	Grava (3/4")	505
Grava Pumita	35,1	Grava Pumita	35,1
Poliestireno (1%)	2,25	Poliestireno (1%)	3
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95	Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%	Aire	4%
TOTAL	1797,25	TOTAL	1793,00

1. La norma es un evidente índice de los resultados experimentales concebidos en laboratorio para determinar los diseños de mezcla más adecuados para el concreto ligero y autocompactante.
2. Es necesario realizar pruebas experimentales con el fin de determinar las mezclas más adecuadas y definir las a partir de estos resultados.
3. Es necesario verificar la seguridad de las mezclas autocompactante debido a que tienen una sensibilidad alta y se pueden ver afectadas por errores mínimos en las dosificaciones o en las condiciones ambientales que se puedan encontrar durante la ejecución del laboratorio
4. Se determina que es un concreto que no es apto para ser fabricado en obra, debido a que necesita especial cuidado y de mucha precaución en las dosificaciones, que adicionalmente al tener las propiedades de un concreto ligero dificultan de manera abrupta su producción.

9.2 REOLOGIA DE LA MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO

Muestra testigo

1. De la muestra testigo se puede determinar que por escurrimiento cumple con las características para ser utilizada en Muros y columnas.
2. Se puede determinar que la viscosidad es media y puede ser utilizado en estructuras muy armadas, con riesgos de segregación o exudación

Muestra con contenido de 1% de poliestireno expandido

1. De la muestra con contenido de 1% de poliestireno expandido se puede determinar que por escurrimiento cumple con las características para ser utilizada en Muros y columnas con altas cuantías de acero de refuerzo.
2. Se puede determinar que la viscosidad es media y puede ser utilizado en estructuras muy armadas, con riesgos de segregación o exudación.

Muestra con contenido de 1.5% de poliestireno expandido

1. De la muestra con contenido de 1.5% de poliestireno expandido se puede determinar que por escurrimiento cumple con las características para ser utilizada en Muros y columnas con altas cuantías de acero de refuerzo.
2. Se puede determinar que la viscosidad es media y puede ser utilizado en estructuras muy armadas, con riesgos de segregación o exudación.

Muestra con contenido de 2% de poliestireno expandido

1. De la muestra con contenido de 2% de poliestireno expandido se puede determinar que tiene un escurrimiento más alto que las demás muestras, lo que da a entender que el poliestireno hace que el concreto pierda propiedades de manejabilidad y fluidez, por lo tanto, según la Tabla No 56 debe ser utilizada en losas o elementos estructurales con estructuras con aceros de refuerzo de cuantías media.
2. La viscosidad da como resultado 10.5 segundos por lo tanto se puede determinar que es un concreto que puede ser utilizado para mejorar la resistencia a la segregación y no puede ser usado para elementos estructurales con altas cuantías de acero de refuerzo

9.3 ENSAYO PARA ESTABLECER LA SEGREGACIÓN, EL FLUJO RESTRINGIDO Y EL FLUJO LIBRE

Muestra No 1

1. Se determina que el concreto autocompactante sin adición de poliestireno expandido cumple con la fluidez para ser un concreto autocompactante

Muestra No 2

1. Se determina que el concreto autocompactante con adición de 1% de poliestireno expandido, tiene una fluidez más alta que el concreto sin adición y por lo tanto cumple con la fluidez necesaria para ser un concreto autocompactante.

Muestra No 3

1. Se determina que la muestra de concreto autocompactante con adición de 1.5% de poliestireno expandido, tiene una fluidez alta y cumple para ser un concreto autocompactante, sin embargo, se puede determinar que el poliestireno expandido en mayores cantidades al 1% pierde fluidez.

Muestra No 4

1. Se determina que la muestra de concreto autocompactante con adición de 2% de poliestireno expandido, tiene una fluidez alta y cumple para ser un concreto autocompactante, sin embargo, a partir de los resultados obtenidos podemos notar en una disminución considerable de la fluidez con respecto a las muestras de 1.5% y 1% de poliestireno expandido

9.4 METODOLOGIA DE LA CAJA EN FORMA DE “L”

Muestra No 1

1. De acuerdo a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra testigo sin porcentaje de poliestireno expandido cumple con la relación para ser concreto autocompactante.

Muestra No 2

1. De acuerdo a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 2 con poliestireno expandido al 1% cumple con la relación para ser concreto autocompactante y es el concreto que más demuestra fluidez en el ensayo.

Muestra No 3

1. De acuerdo a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 3 con poliestireno expandido al 1.5% cumple con la relación para ser concreto autocompactante, sin embargo, esta en el límite del criterio de aceptación.

Muestra No 4

1. De acuerdo a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 4 con poliestireno expandido al 2% cumple con la relación para ser concreto autocompactante, sin embargo, esta muestra se encuentra a un 2% de error de ensayo de no considerarse un concreto autocompactante por el ensayo.

9.5 METODOLOGÍA DEL ANILLO J PARA ESTABLECER LA HABILIDAD DE PASO

1. Para realizar una apreciación significativa de los datos, se toma como referencia a los valores mínimos y máximos de la tabla No 1 Evaluación del bloqueo de la Norma ASTM (C1621)

Tabla 73 Evaluación del bloqueo Adoptado de: Norma ASTM (C1621, 2014)

Habilidad de paso	Evaluación de Bloqueo
Diferencia entre el flujo libre y el anillo J	
0 a 25 mm	Bloqueo No visible
>25mm a 50 mm	Mínimo a bloqueo perceptible
>50 mm	perceptible a bloqueo extremo

2. A Partir de los Valores mínimos y máximos obtenidos de la diferencia de Flujo se puede determinar las siguientes características de cada una de las muestras.
3. La muestra No 1 testigo da como diferencia 10 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.
4. La muestra No 2 Poliestireno a 1% da como diferencia 6 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.
5. La muestra No 3 Poliestireno a 1.5% da como diferencia 12.5 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.
6. La muestra No 4 Poliestireno a 2% da como diferencia 12.5 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria, con resultado bloqueo no visible, pero estando demasiado cerca de presentar un mínimo bloqueo de acuerdo a la Tabla 63 de la Norma ASTM (C1621).
7. De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que las mezclas de concreto dan satisfactoriamente como concreto autocompactante y que la muestra No 2 con poliestireno expandido al 1% es la muestra que más presenta fluidez.

10. CAPITULO. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

10.1 METODO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 673-210

Este laboratorio determina la resistencia a la compresión de los ejemplares en forma cilíndrica del (CAC) y ligero diseñados y evaluados a partir de los ensayos de laboratorio anteriormente descritos, los cuales son cilindros moldeados, este ensayo se encuentra limitado a concretos que tengan un peso unitario mayor a los 800 Kg/m^3 .

El objeto de este ensayo es establecer la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto los cuales fueron mezclados y fundidos a partir del diseño de mezcla anteriormente descrito.

En total se fallaron 128 cilindros de concreto con la finalidad de obtener la suficiente cantidad de resultados para cuantificar una línea base, los cuales fueron distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 74 Distribución de cilindros por muestra-Fuente: Propia

Muestra	Cantidad de cilindros
Muestra No 1 testigo	32
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	32
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	32
Muestra No 3 (2% de poliestireno)	32
TOTAL	128

La metodología adecuada de este laboratorio es realizar la aplicación de una carga en sentido vertical (axial) en la cara superior de los cilindros la cual debe ir a una velocidad prescrita por la normatividad, hasta que ocurra la falla.

10.1.1 Aparatos de laboratorio

- Máquina de ensayo (resistencia a la compresión)

10.1.2 Procedimiento

1. Realizar la verificación de la calibración de la máquina dispuesta para el ensayo.

2. Todos los laboratorios de resistencia a la compresión deben ser inmediatamente realizados cuando las muestras sean retiradas del procedimiento de curado.
3. Todos los cilindros de concreto deben ser ensayados a las edades y tolerancias prescritas en la Tabla No 2 de la Norma NTC-673.

Tabla 75 Edad de ensayo de los cilindros de concreto (Tomado de: NTC-673)

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	$\pm 0,5$ h o 2,1%
3 d	2 h o 2,8%
7 d	6 h o 3,6%
28 d	20 h o 3,0%
90 d	2d o 2,2%

4. Ubicar el cilindro de concreto sobre la cara dispuesta para el apoyo y la superficie que ha tenido el proceso de endurecimiento para en la parte superior y alineada cuidadosamente a los ejes de la maquina de ensayo
5. Aplicar velocidad de carga cuidadosamente y sin impactos.
6. Se debe aplicar la carga nominal dispuesta a compresión hasta que la señal indique la disminución
7. Se debe estimar el tipo de falla a partir de la figura No2 de la Norma NTC-673.

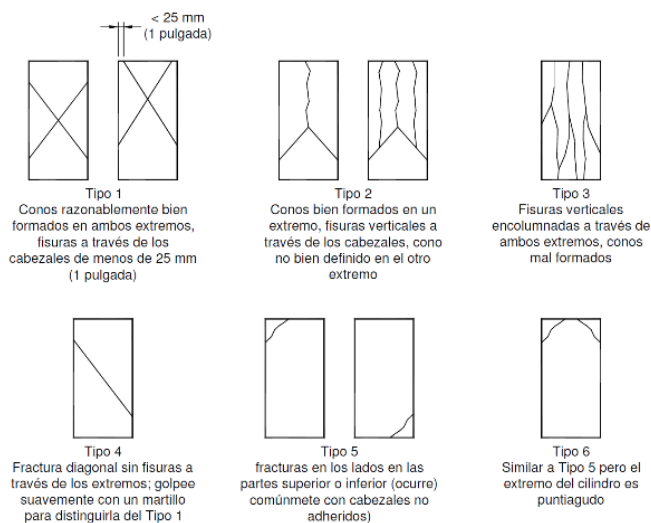


Figura 2 Esquema de los modelos de fractura típicos

Ilustración 30 Modelos de falla (Tomado de: Norma NTC-673)

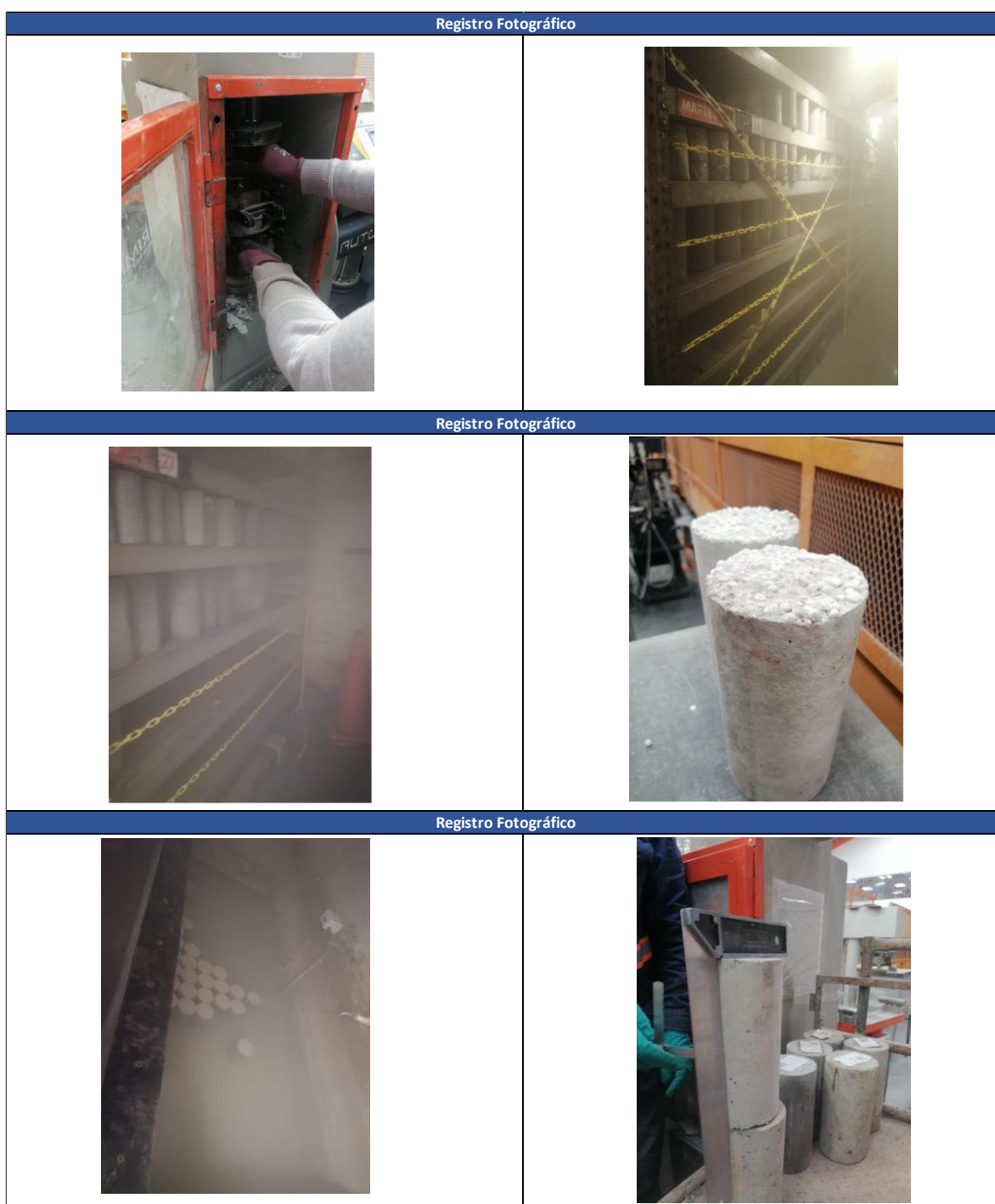


Ilustración 31 Procedimiento Ensayo resistencia a la compresión- Fuente: Propia



Ilustración 32 Procedimiento Ensayo resistencia a la compresión- Fuente: Propia

10.1.3 Cálculos y resultados

De acuerdo a la metodología presentada anteriormente se establecieron los resultados presentados a continuación:

10.1.3.1 Resultados Muestra No 1 (24 horas)

Tabla 76 Resultados Muestra No 1 (24 Horas)-Fuente: Propia

Edad	Días	1	
Diámetro	mm	101,3	102,7
Longitud	mm	202,2	200,4
Área	mm^2	8059,5	8284,6
Relación L/D	-	2	2
Factor de corrección	-	1	1
Carga	Kn	18,5	28,2
Tipo de falla	-	4	3

10.1.3.2 Cálculo de la resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión del cilindro de concreto fallado se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 34 Resistencia a la compresión

$$Resistencia\ a\ la\ compresión = \frac{Carga\ máxima\ KN}{Area\ promedio\ m^2} \quad (33)$$

$$Resistencia\ a\ la\ compresión = \frac{18,5\ KN}{8,0595\ m^2}$$

$$Resistencia\ a\ la\ compresión = 2,295\ MPa \approx 332,9\ PSI$$

10.1.3.3 Resistencia a 24 horas

A partir de los cilindros generados para las 4 (cuatro) muestras diferentes de concreto a partir de los diseños de mezcla, se calcula la resistencia a la compresión a 24 h después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 77 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 24 horas-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESION CILINDROS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	MPa	21		21		21		21	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-09		2021-04-09		2021-04-09		2021-04-09	
Edad	días	1		1		1		1	
Diámetro	mm	101,3	102,7	102,5	102,1	101,5	102,4	101,3	101,1
Longitud	mm	202,2	200,4	200,0	201,4	201,7	202,1	202,2	202,3
Área	mm ²	8059,5	8283,8	8251,6	8187,3	8091,4	8235,5	8059,5	8027,7
Relación L/D	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Factor de corrección	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Carga	KN	18,4	28,2	14,0	18,0	11,2	14,4	8,9	12,0
Tipo de Falla	-	4	3	2	5	2	3	2	2
Resistencia a la compresión	MPa	2,3	3,4	1,7	2,2	1,4	1,7	1,1	1,5
	Psi	331	494	246	319	201	254	160	217
Porcentaje de desarrollo	%	11%	16%	8%	10%	7%	8%	5%	7%
Observaciones	-								

10.1.3.4 Resistencia a 3 días

A partir de los cilindros generados para las 4 (cuatro) muestras de concreto, se calcula la resistencia a la compresión a 3 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 78 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 3 días-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESION CILINDROS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	MPa	21		21		21		21	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-10		2021-04-10		2021-04-10		2021-04-10	
Edad	días	3		3		3		3	
Diámetro	mm	101,2	100,3	102,5	101,6	102,1	101,7	101,4	103,2
Longitud	mm	200,1	201,0	201,5	202,2	201,0	201,9	200,2	201,3
Área	mm ²	8043,6	7901,2	8251,6	8107,3	8187,3	8123,3	8075,4	8364,7
Relación L/D	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Factor de corrección	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Carga	KN	61,1	63,8	56,1	58,4	44,9	46,7	34,7	40,2
Tipo de Falla	-	2	5	3	2	5	4	3	3
Resistencia a la compresión	MPa	7,6	8,1	6,8	7,2	5,5	5,7	4,3	4,8
	Psi	1102	1171	986	1045	795	834	623	697
Porcentaje de desarrollo	%	36%	38%	32%	34%	26%	27%	20%	23%
Observaciones	-								

10.1.3.5 Resistencia a 7 días

A partir de los cilindros generados para las 4 (cuatro) muestras de concreto, se calcula la resistencia a la compresión a 7 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 79 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 7 días-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESION CILINDROS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	MPa	21		21		21		21	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-14		2021-04-14		2021-04-14		2021-04-14	
Edad	días	7		7		7		7	
Diámetro	mm	100,4	102,3	101,1	100,8	101,5	100,9	102,1	101,2
Longitud	mm	202,1	200,4	202,2	202,5	202,1	201,7	201,3	201,1
Área		7916,9	8219,4	8027,7	7980,1	8091,4	7996,0	8187,3	8043,6
Relación L/D	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Factor de corrección	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Carga	KN	95,8	102,7	90,7	93,4	72,6	74,7	69,6	72,4
Tipo de Falla	-	2	5	3	2	5	4	3	3
Resistencia a la compresión	MPa	12,1	12,5	11,3	11,7	9,0	9,3	8,5	9,0
	Psi	1755	1812	1639	1698	1301	1355	1233	1305
Porcentaje de desarrollo	%	58%	59%	54%	56%	43%	44%	40%	43%
Observaciones	-								

10.1.3.6 Resistencia a 14 días

A partir de los cilindros generados para las 4 (cuatro) muestras de concreto, se calcula la resistencia a la compresión a 14 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 80 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 14 días -Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESION CILINDROS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	MPa	21		21		21		21	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21	
Edad	días	14		14		14		14	
Diámetro	mm	101,3	101,5	100,3	101,8	101,5	100,9	101,1	102,4
Longitud	mm	201,9	202,3	201,8	202,1	202,1	201,7	202,3	200,3
Área	mm ²	8059,5	8091,4	7901,2	8139,3	8091,4	7996,0	8027,7	8235,5
Relación L/D	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Factor de corrección	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Carga	KN	147,5	152,1	139,1	145,7	111,3	116,6	99,5	107,1
Tipo de Falla	-	2	5	3	2	5	4	3	3
Resistencia a la compresión	MPa	18,3	18,8	17,6	17,9	13,8	14,6	12,4	13,0
	Psi	2654	2726	2553	2596	1995	2115	1798	1886
Porcentaje de desarrollo	%	87%	90%	84%	85%	66%	69%	59%	62%
Observaciones	-								

10.1.3.7 Resistencia a 28 días

A partir de los cilindros generados para las 4 (cuatro) muestras de concreto, se calcula la resistencia a la compresión a 28 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 81 Resistencia a la compresión cilindros de concreto a 28 días -Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESION CILINDROS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	MPa	21		21		21		21	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21	
Edad	días	28		28		28		28	
Diámetro	mm	100,2	101,4	101,5	102,3	101,7	100,8	100,3	101,2
Longitud	mm	202,0	201,9	200,3	201,2	201,4	200,9	201,2	201,3
Área	mm ²	7885,4	8075,4	8091,4	8219,4	8123,3	7980,1	7901,2	8043,6
Relación L/D	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Factor de corrección	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Carga	KN	193,2	198,7	177,2	183,3	141,8	146,6	128,8	133,5
Tipo de Falla	-	2	5	3	2	5	4	3	3
Resistencia a la compresión	MPa	24,5	24,6	21,9	22,3	17,5	18,4	16,3	16,6
	Psi	3554	3569	3176	3234	2532	2664	2364	2407
Porcentaje de desarrollo	%	117%	117%	104%	106%	83%	87%	78%	79%
Observaciones	-								

10.1.4 Resumen de resultados

Tabla 82 Resumen de cilindros a ensayar por edades Muestras de concreto- Fuente: Propia

Muestra No 1 testigo		Muestra No 2 (1% de poliestireno)		Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)		Muestra No 3 (3% de poliestireno)	
Edad	CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR	Edad	CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR	Edad	CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR	Edad	CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR
24 horas	4	24 horas	4	24 horas	4	24 horas	4
3 días	4	3 días	4	3 días	4	3 días	4
7 días	4	7 días	4	7 días	4	7 días	4
14 días	4	14 días	4	14 días	4	14 días	4
28 días	16	28 días	16	28 días	16	28 días	16
TOTAL	32	3d	32	3d	32	3d	32

10.1.4.1 Muestra No 1 Testigo

A partir de los laboratorios efectuados se obtienen los siguientes resultados para la muestra testigo:

Tabla 83 Resumen de resultados Muestra No 1 Testigo- Fuente: Propia

Muestra No 1 testigo			
Edad	Carga KN	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
24h	18,40	2,283	331,1
24h	28,20	3,404	493,7
24h	24,30	2,982	432,5
24h	29,47	3,656	530,3
3d	61,10	7,596	1101,7
3d	63,20	7,999	1160,1
3d	62,70	7,727	1120,6
3d	63,70	7,850	1138,5
7d	95,80	12,101	1755,1
7d	102,70	12,495	1812,2
7d	98,40	12,125	1758,5
7d	99,60	12,272	1780,0
14 d	147,50	18,301	2654,4
14 d	152,10	18,798	2726,4
14 d	154,30	18,942	2747,3
14 d	148,70	18,250	2646,9
28 d	193,20	24,501	3553,6
28 d	198,70	24,606	3568,7
28 d	192,10	24,313	3526,3
28 d	199,80	24,501	3553,6
28 d	194,20	24,313	3526,4
28 d	193,50	24,265	3519,3
28 d	192,90	24,129	3499,6
28 d	198,40	24,984	3623,6
28 d	196,70	24,625	3571,5
28 d	194,20	24,620	3570,9
28 d	193,70	23,784	3449,6
28 d	194,60	23,951	3473,8
28 d	198,20	24,306	3525,3
28 d	197,50	24,221	3513,0
28 d	196,80	24,770	3592,6
28 d	194,20	24,442	3545,0

Tabla 84 Resistencia a la compresión promedio por edades de la Muestra - Fuente: Propia

Muestra No 1 testigo		
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
Resistencia Promedio a las 24 h	3,081	446,9
Resistencia Promedio a los 3 días	7,79	1130,3
Resistencia Promedio a las 7 días	12,25	1776,4
Resistencia Promedio a los 14 días	18,57	2693,8
Resistencia Promedio a los 28 días	24,396	3538,3

A partir de todos los resultados obtenidos para la muestra testigo sin adiciones de poliestireno expandido se establecen las gráficas de resistencia a la compresión vs edad de la muestra en cada punto, donde se puede apreciar la variación de los resultados dependiendo de la muestra y su carga máxima soportada.

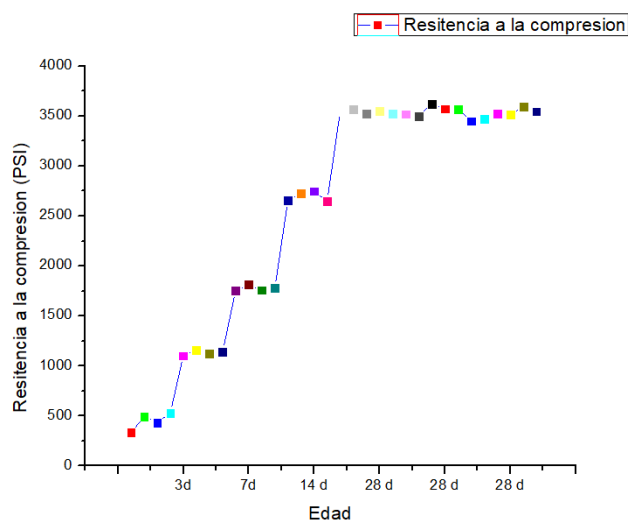


Gráfico 19 Muestra No 1 Testigo-Resumen de resultados- Fuente Propia

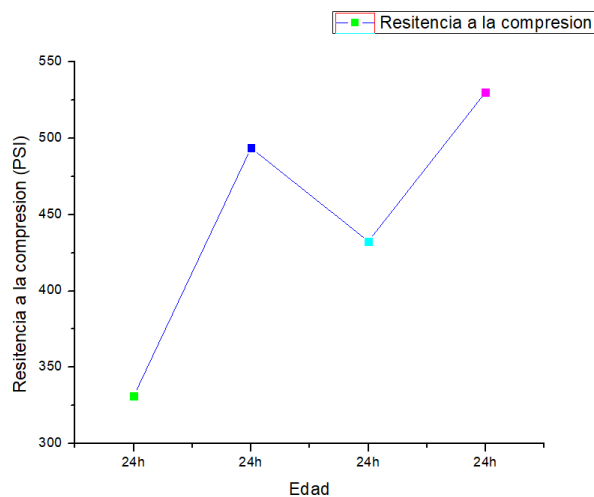


Gráfico 20 Muestra No 1 Testigo a 24 Horas - Fuente: Propia

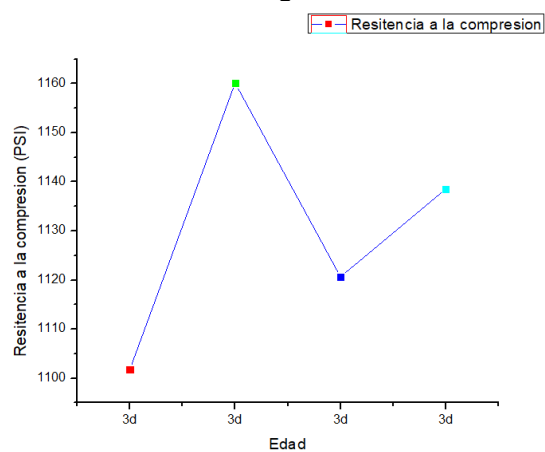


Gráfico 21 Muestra No 1 Testigo a 3 días

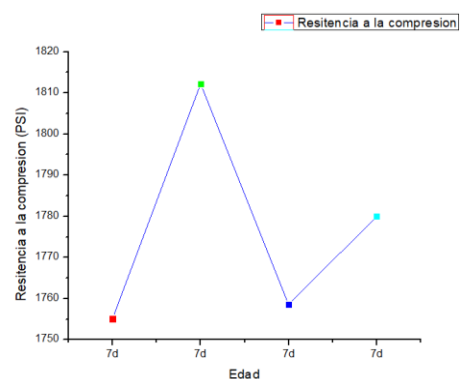


Gráfico 22 Muestra No 1 Testigo a 7 días- Fuente: Propia

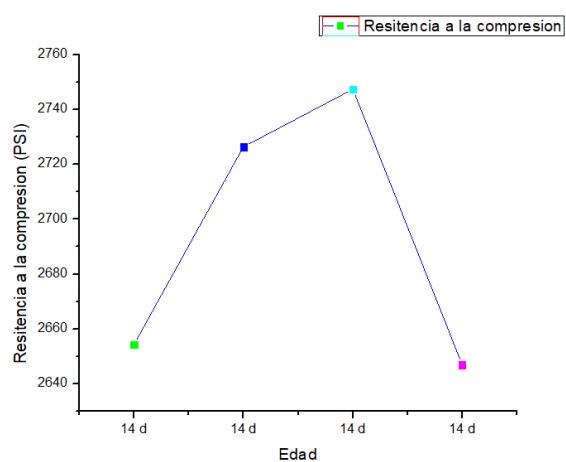


Gráfico 23 Muestra No 1 Testigo a 14 días- Fuente: Propia

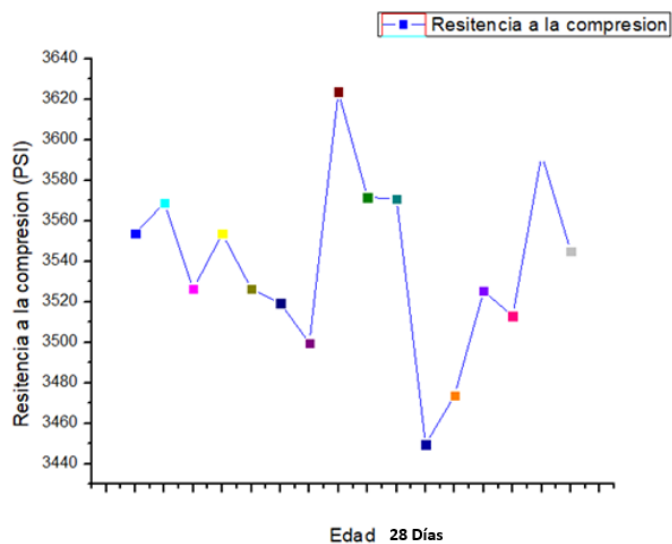


Gráfico 24 Muestra No 1 Testigo a 28 días- Fuente: Propia

10.1.4.2 Muestra No 2 (1% de poliestireno)

A partir de los laboratorios efectuados se obtuvieron los siguientes resultados para la muestra No 2:

Tabla 85 Resumen de resultados Muestra No 2- Fuente: propia

Muestra No 2 (1% de poliestireno)			
Edad	Carga KN	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
24h	14,00	1,730	250,9
24h	18,00	2,199	318,9
24h	16,00	1,959	284,1
24h	18,00	2,181	316,3
3d	56,10	6,799	986,1
3d	58,40	7,203	1044,8
3d	57,20	7,048	1022,3
3d	58,20	7,172	1040,1
7d	90,70	11,298	1638,7
7d	93,40	11,704	1697,5
7d	94,70	11,860	1720,2
7d	95,70	11,986	1738,4
14 d	139,10	17,605	2553,4
14 d	145,70	17,901	2596,3
14 d	142,80	17,532	2542,8
14 d	146,10	18,296	2653,6
28 d	177,20	21,900	3176,3
28 d	183,30	22,301	3234,5
28 d	185,70	22,905	3322,1
28 d	178,90	22,604	3278,5
28 d	181,50	22,282	3231,8
28 d	186,80	23,602	3423,2
28 d	185,80	22,813	3308,7
28 d	184,30	23,112	3352,1
28 d	185,60	22,678	3289,2
28 d	184,70	23,132	3355,0
28 d	186,20	23,322	3382,5
28 d	185,70	22,863	3316,0
28 d	183,90	22,633	3282,6
28 d	182,80	22,895	3320,7
28 d	184,40	23,209	3366,2
28 d	185,20	22,793	3305,9

Tabla 86 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 2- Fuente: Propia

Muestra No 2 (1% de poliestireno)		
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
Resitencia Promedio a las 24 h	2,017	292,6
Resitencia Promedio a los 3 días	7,06	1023,3
Resitencia Promedio a las 7 días	11,71	1698,7
Resitencia Promedio a los 14 días	17,83	2586,5
Resitencia Promedio a los 28 días	22,815	3309,1

A partir de todos los resultados obtenidos para la muestra No 2 con adición de poliestireno expandido al 1% se establecen las gráficas de resistencia a la compresión vs edad de la muestra en cada punto, donde se puede apreciar la variación de los resultados dependiendo de la muestra y su carga máxima soportada:

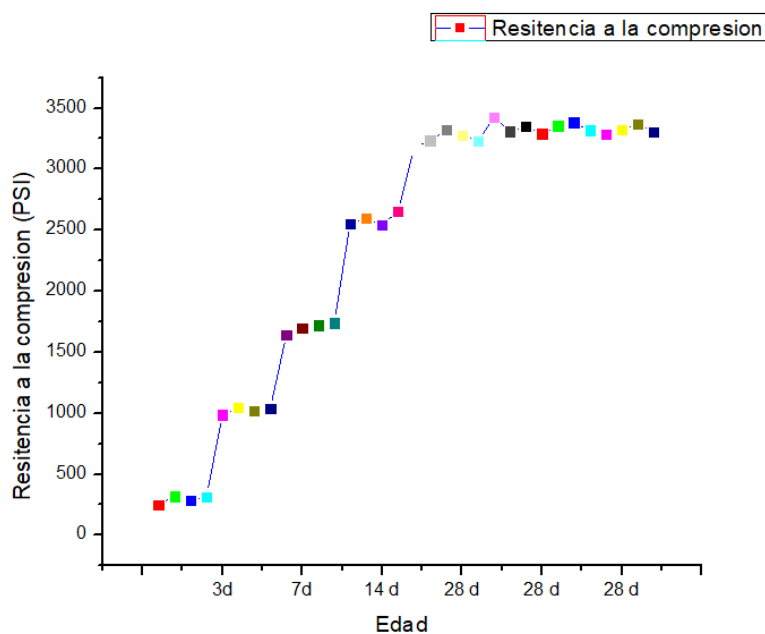


Gráfico 25 Muestra No 2 (resumen de resultados)- Fuente: Propia

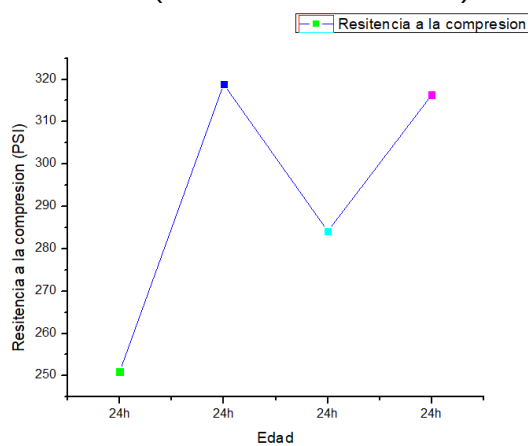


Gráfico 26 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 24 horas- Fuente: propia

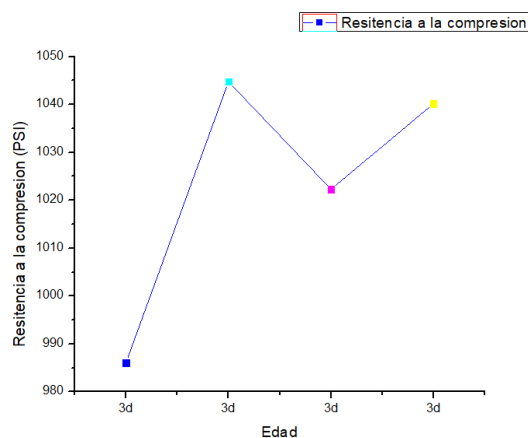


Gráfico 27 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 3 días- Fuente: propia

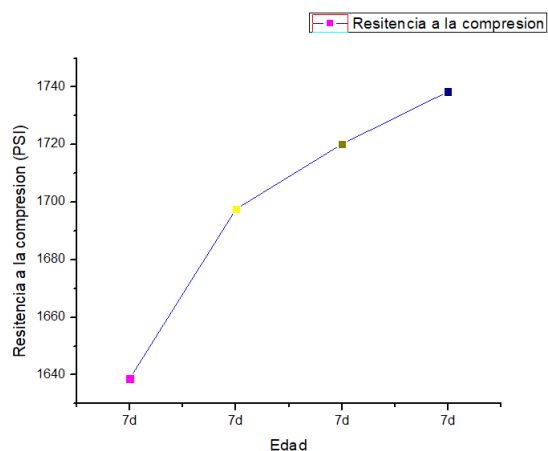


Gráfico 28 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 7 días - Fuente: propia

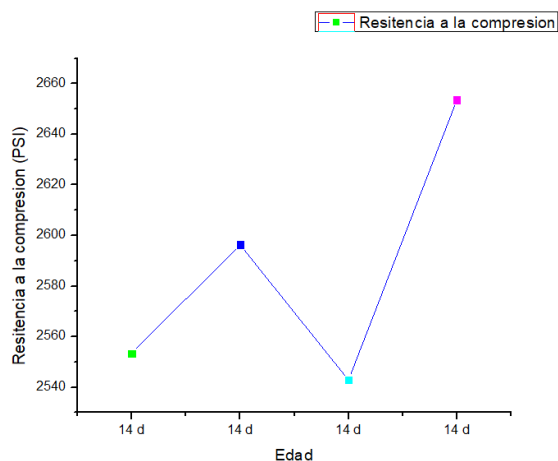


Gráfico 29 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 14 días- Fuente: propia

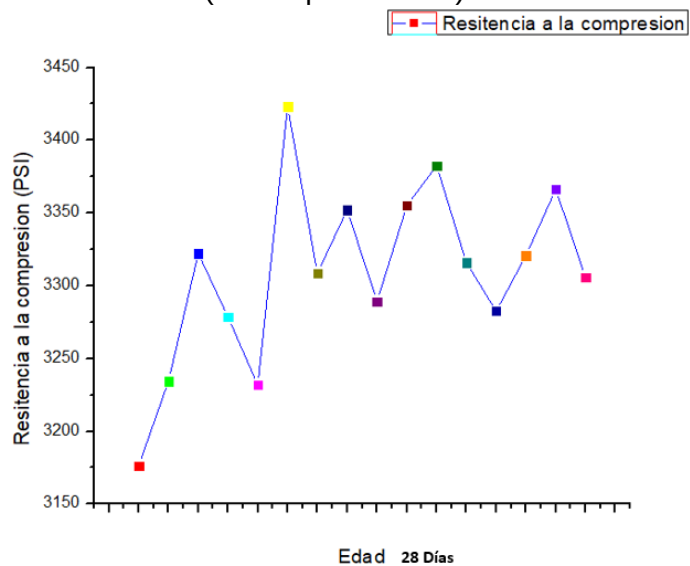


Gráfico 30 Muestra No 2 (1% de poliestireno) a 28 días- Fuente: propia

10.1.4.3 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)

A partir de los laboratorios efectuados se obtuvieron los siguientes resultados para la muestra No 3:

Tabla 87 Resumen de resultados Muestra No 3-
Fuente: Propia

Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)			
Edad	Carga KN	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
24h	11,20	1,384	200,8
24h	14,40	1,749	253,6
24h	12,80	1,567	227,3
24h	14,40	1,745	253,1
3d	44,90	5,484	795,4
3d	46,70	5,749	833,8
3d	45,80	5,644	818,5
3d	46,60	5,742	832,8
7d	72,60	8,972	1301,4
7d	74,70	9,342	1355,0
7d	75,80	9,493	1376,9
7d	76,60	9,594	1391,4
14 d	111,30	13,755	1995,0
14 d	116,60	14,582	2115,0
14 d	114,20	14,021	2033,5
14 d	116,90	14,639	2123,2
28 d	141,80	17,456	2531,8
28 d	146,60	18,371	2664,4
28 d	148,60	18,329	2658,4
28 d	143,10	18,081	2622,4
28 d	145,20	17,826	2585,4
28 d	149,40	18,877	2737,8
28 d	148,60	18,245	2646,2
28 d	147,40	18,485	2681,0
28 d	148,50	18,145	2631,7
28 d	147,80	18,511	2684,7
28 d	149,00	18,662	2706,7
28 d	148,60	18,295	2653,5
28 d	147,10	18,104	2625,7
28 d	146,20	18,311	2655,8
28 d	147,50	18,565	2692,6
28 d	148,20	18,240	2645,4

Tabla 88 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 3-Fuente: Propia

Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)		
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
Resitencia Promedio a las 24 h	1,611	233,7
Resitencia Promedio a los 3 días	5,65	820,1
Resitencia Promedio a las 7 días	9,35	1356,2
Resitencia Promedio a los 14 días	14,25	2066,7
Resitencia Promedio a los 28 días	18,281	2651,5

A partir de todos los resultados obtenidos para la muestra No 3 con adición de poliestireno expandido al 1.5% se establecen las gráficas de resistencia a la compresión vs edad de la muestra en cada punto, donde se puede apreciar la variación de los resultados dependiendo de la muestra y su carga máxima soportada:

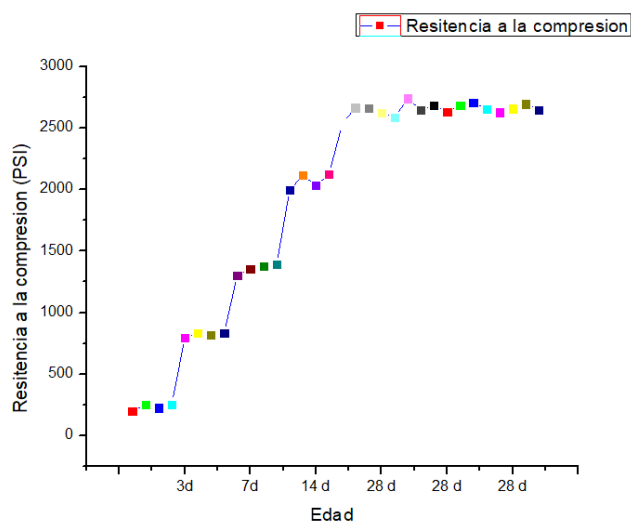


Gráfico 31 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) resumen de resultados- Fuente: Propia

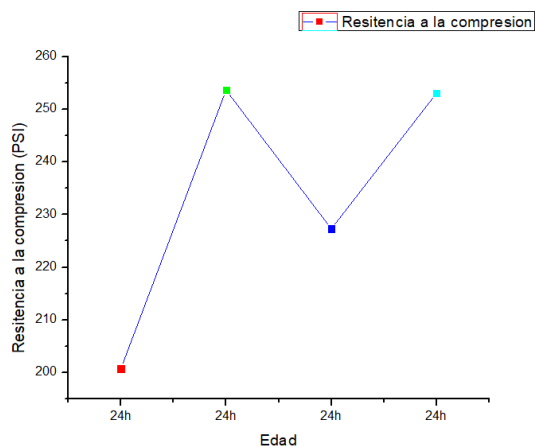


Gráfico 32 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 24 horas- Fuente: Propia

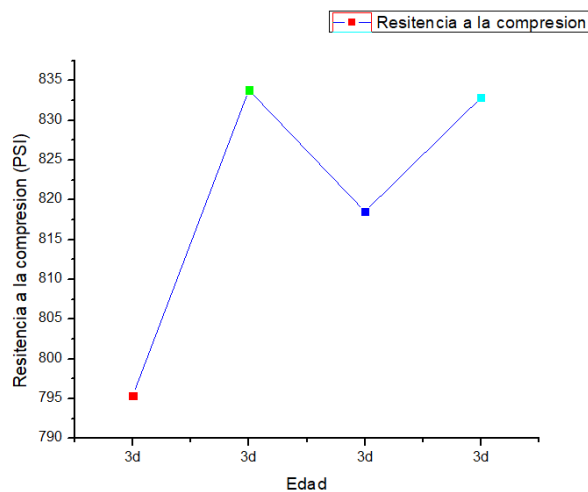


Gráfico 33 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 3 días - Fuente: Propia

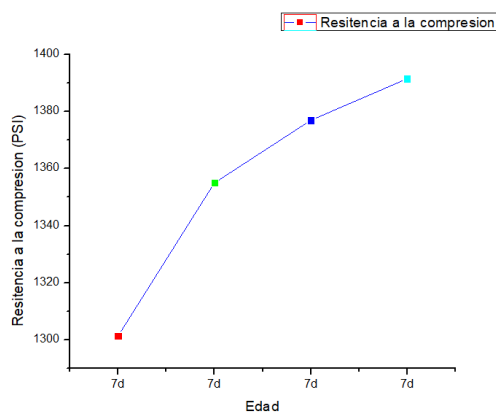


Gráfico 34 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 7 días- Fuente: Propia

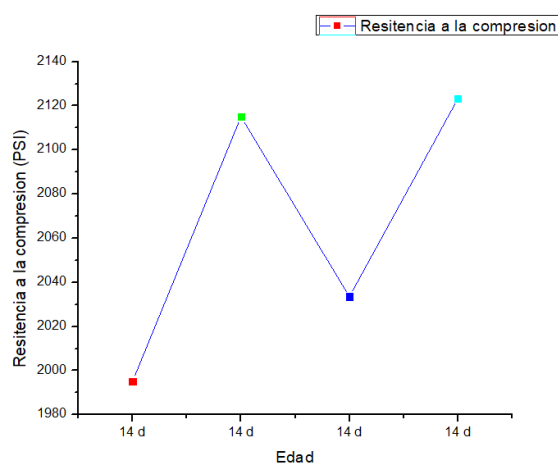


Gráfico 35 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 14 días - Fuente: Propia

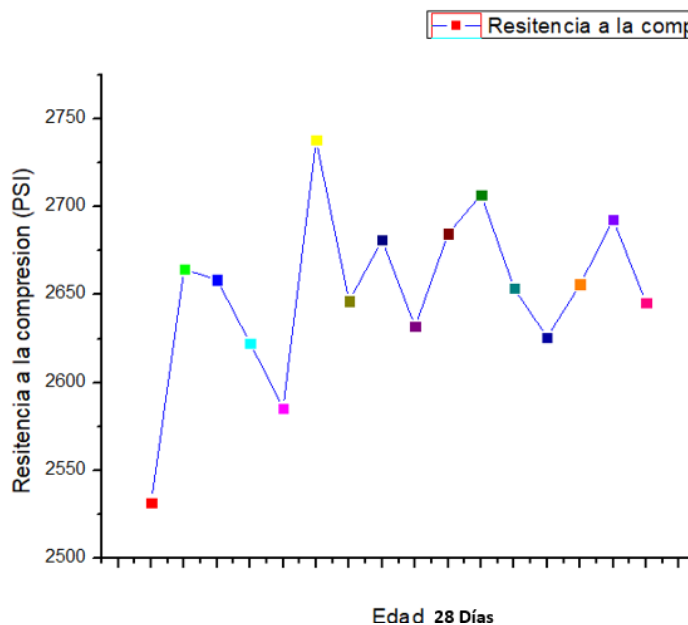


Gráfico 36 Muestra No 3 (1.5% de poliestireno) 28 días - Fuente: Propia

10.1.4.4 Muestra No 4 (2% de poliestireno)

A partir de los laboratorios efectuados se obtuvieron los siguientes resultados para la muestra No 4:

Tabla 89 Resumen de resultados Muestra No 4-
Fuente: Propia

Muestra No 4 (2% de poliestireno)			
Edad	Carga KN	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
24h	8,90	1,104	160,2
24h	12,00	1,495	216,8
24h	11,40	1,400	203,0
24h	12,30	1,526	221,3
3d	34,70	4,297	623,2
3d	40,20	4,806	697,0
3d	38,60	4,699	681,5
3d	39,60	4,821	699,2
7d	69,60	8,501	1233,0
7d	72,40	9,001	1305,5
7d	73,30	8,999	1305,1
7d	74,30	9,121	1322,9
14 d	99,50	12,395	1797,7
14 d	107,10	13,005	1886,2
14 d	105,80	12,988	1883,8
14 d	103,20	12,920	1873,9
28 d	128,80	16,301	2364,3
28 d	135,50	16,846	2443,3
28 d	136,20	16,899	2451,0
28 d	129,70	16,238	2355,1
28 d	128,90	15,890	2304,6
28 d	134,40	16,826	2440,5
28 d	136,10	16,754	2430,0
28 d	135,80	16,673	2418,2
28 d	134,80	2,097	2474,3
28 d	136,40	17,096	2479,6
28 d	132,80	16,352	2371,6
28 d	128,80	15,795	2290,9
28 d	129,60	16,244	2356,0
28 d	133,50	16,742	2428,2
28 d	132,10	16,200	2349,7
28 d	136,20	17,151	2487,6

Tabla 90 Resistencia promedio a la compresión por edades de la muestra No 4-Fuente: Propia

Muestra No 4 (2% de poliestireno)		
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi
Resistencia Promedio a las 24 h	1,381	200,3
Resistencia Promedio a los 3 días	4,66	675,2
Resistencia Promedio a las 7 días	8,91	1291,6
Resistencia Promedio a los 14 días	12,83	1860,4
Resistencia Promedio a los 28 días	15,632	2402,8

A partir de todos los resultados obtenidos para la muestra No 4 con adición de poliestireno expandido al 2% se establecen las gráficas de resistencia a la compresión vs edad de la muestra en cada punto, donde se puede apreciar la variación de los resultados dependiendo de la muestra y su carga máxima soportada:

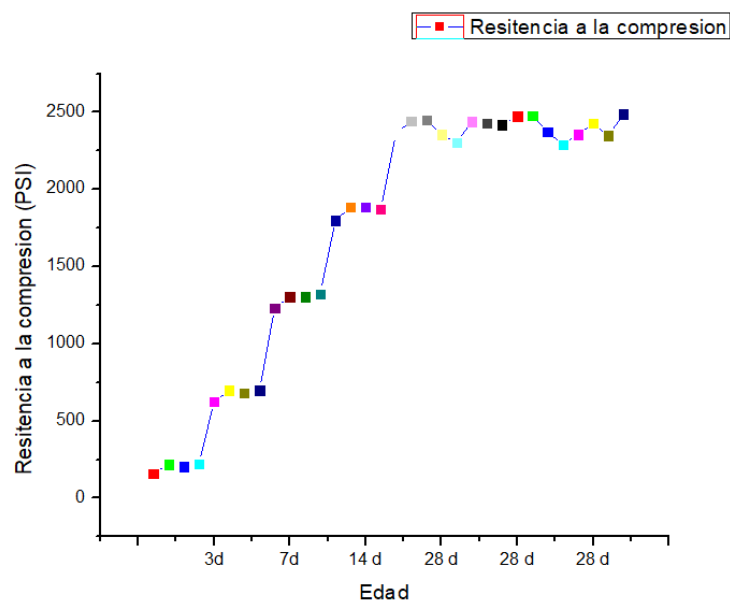


Gráfico 37 Muestra No 4 (2% de poliestireno) resumen de resultados- Fuente: Propia

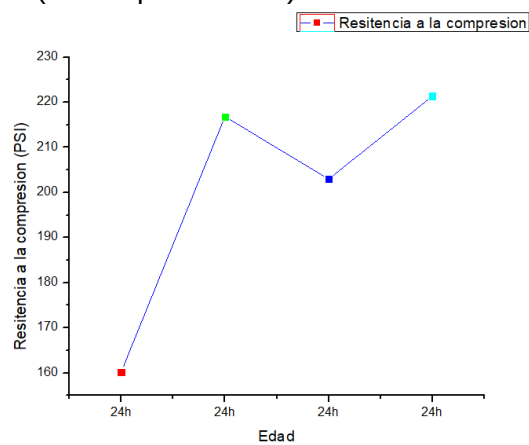


Gráfico 38 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 24 horas- Fuente: Propia

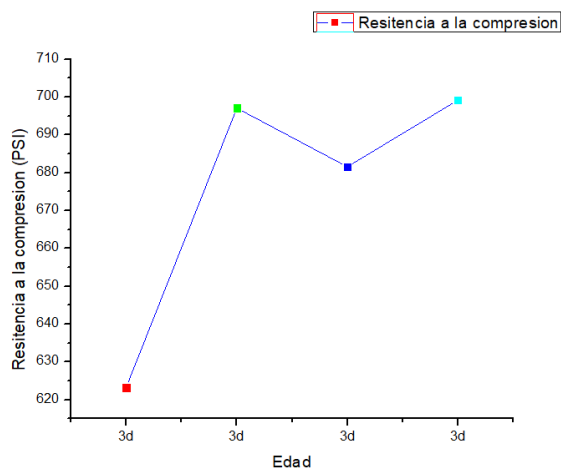


Gráfico 39 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 3 días- Fuente: Propia

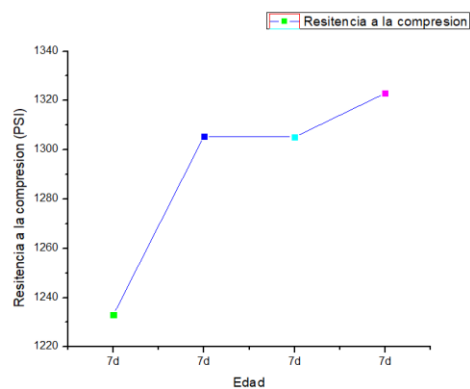


Gráfico 40 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 7 días- Fuente: Propia

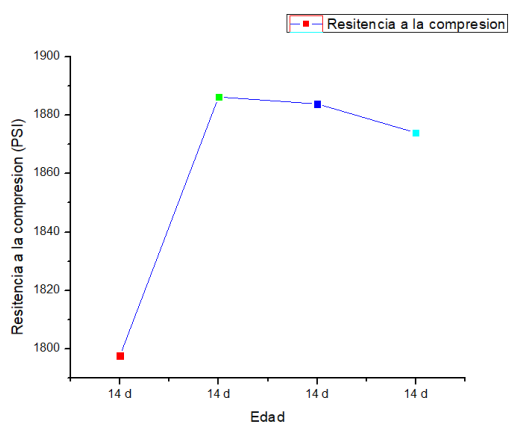


Gráfico 41 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 14 días- Fuente: Propia

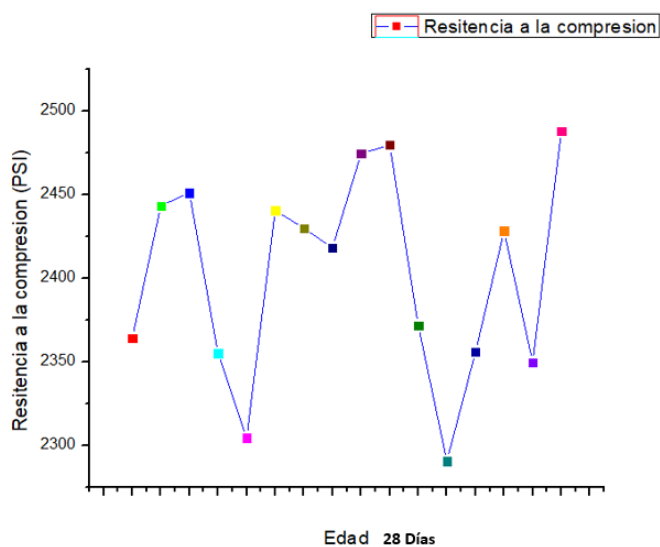


Gráfico 42 Muestra No 4 (2% de poliestireno) a 28 días- Fuente: Propia

10.1.4.5 Comparación de las muestras a diferentes edades de falla.

A partir de los gráficos obtenidos anteriormente se realizan los gráficos comparativos donde se refleja la resistencia obtenida a la compresión de las 4 (cuatro) dosificaciones de concreto autocompactante y ligero a edades diferentes:

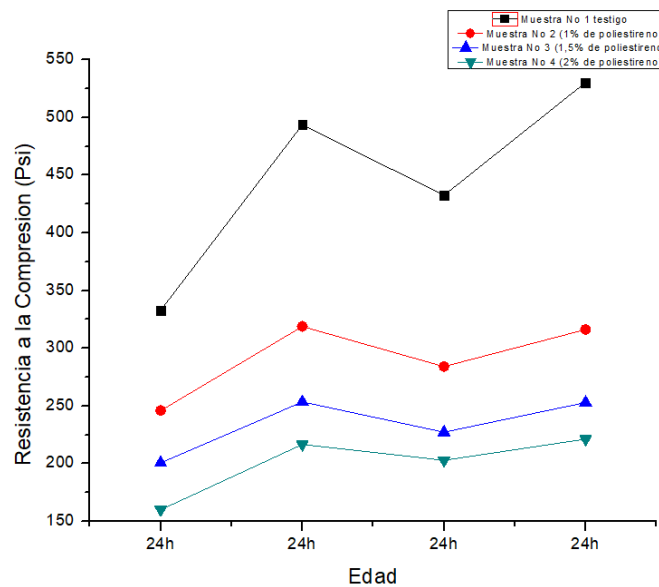


Gráfico 43 Comparación de resultados de las muestras a 24 horas-Fuente: Propia

Análisis de resultados

1. Al evaluar las muestras con diferentes proporciones de poliestireno expandido se puede determinar que la Muestra No 1, la cual no tiene adición de poliestireno expandido, se comporta con una relación de resistencia a la compresión significativamente más alta que las muestras que si tienen adiciones llegando a tener una compresión de 530 Psi en la muestra con el resultado más alto.
2. De acuerdo a los resultados hallados se puede determinar que al adicionarle poliestireno expandido disminuye significativamente la resistencia a la compresión en 24 horas, definiendo un comportamiento de disminución exponencial de su resistencia.
3. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 2% de poliestireno expandido es aproximadamente del 50%.
4. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 1.5% de poliestireno expandido es aproximadamente del 35%.
5. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros de concreto sin adición de poliestireno expandido y las muestras con adición de 1% de poliestireno expandido es aproximadamente del 40%.

6. Se puede determinar que las muestras 1 y 2 vienen presentando una resistencia adecuada a la compresión durante las primeras 24 horas y las muestras No 3 y 4 presentan deficiencias en su resistencia.

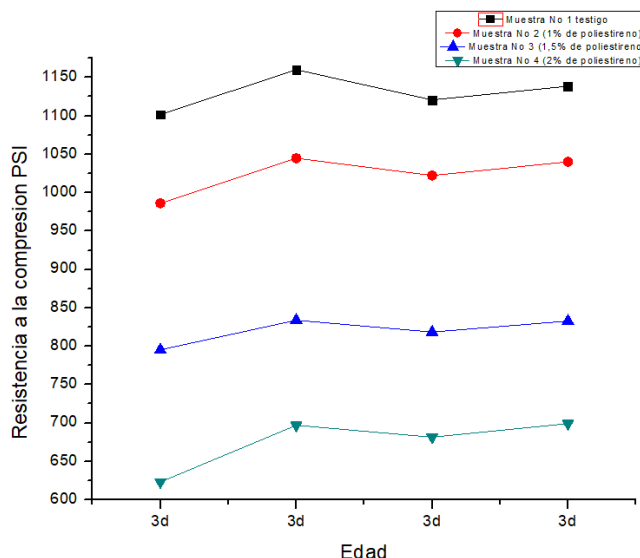


Gráfico 44 Comparación de resultados de las muestras a 3 días- Fuente: Propia

Análisis de Resultados

1. Al evaluar las muestras con diferentes proporciones de poliestireno expandido se puede determinar que la Muestra No 1, la cual no tiene adición de poliestireno expandido, se comporta con una relación de resistencia a la compresión significativamente más alta que las proporciones que si tienen adiciones llegando a tener una compresión de 1138 Psi en la muestra con el resultado más alto.
2. De acuerdo a los resultados hallados se puede determinar que la muestra con poliestireno expandido al 1% presenta un aumento significativo de su resistencia llegando a un 90% de la resistencia de la Muestra sin adiciones.
3. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 1.5% de poliestireno expandido es aproximadamente del 40%.
4. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 2% de poliestireno expandido es aproximadamente del 50%.
5. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros de concreto sin adición de poliestireno expandido y las muestras con adición de 1% de poliestireno expandido es aproximadamente del 90%.
6. Se puede determinar que las muestras 1 y 2 vienen presentando una resistencia adecuada a la compresión durante los primeros tres días y las muestras No 3 y 4 presentan deficiencias en su resistencia.

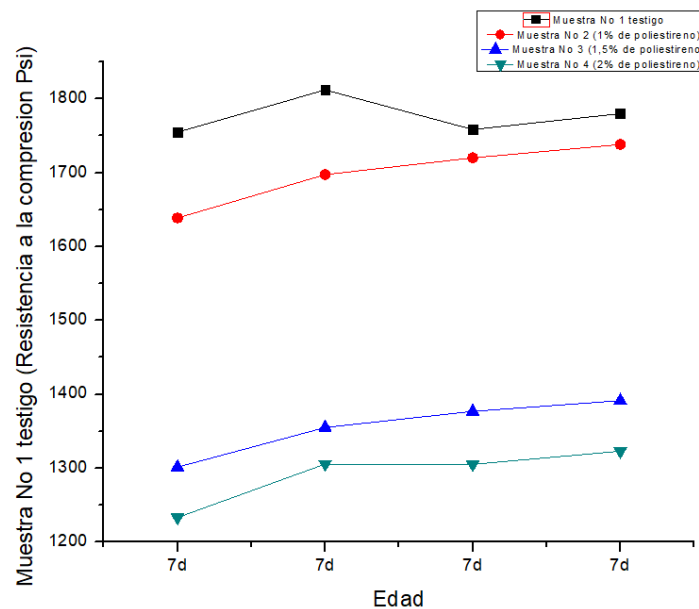


Gráfico 45 Comparación de resultados de las muestras a 7 días- Fuente: Propia

Análisis de Resultados

1. Al evaluar las muestras con diferentes proporciones de poliestireno expandido se puede determinar que la Muestra No 1, la cual no tiene adición de poliestireno expandido, se comporta con una relación de resistencia a la compresión significativamente más alta que las proporciones que si tienen adiciones llegando a tener una compresión de 1812.2 Psi en la muestra con el resultado más alto.
2. De acuerdo a los resultados hallados obtenidos se puede determinar que la muestra con poliestireno expandido al 1% presenta un aumento significativo de su resistencia llegando a un 95% de la resistencia de la Muestra sin adiciones teniendo como resultado una resistencia a la compresión de 1720.22 Psi.
3. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 1.5% de poliestireno expandido es aproximadamente del 70%, el cual tuvo un aumento de resistencia significativo con respecto a las muestras en edades de 24 horas y 3 días.
4. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 2% de poliestireno expandido es aproximadamente del 77%, el cual tuvo un aumento de resistencia significativo con respecto a las muestras en edades de 24 horas y 3 días.
5. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros de concreto sin adición de poliestireno expandido y las muestras con adición de 1% de poliestireno expandido es aproximadamente del 95%.
6. Se puede determinar que las muestras 1 y 2 vienen presentando una resistencia adecuada a la compresión durante los primeros siete días y las muestras No 3 y 4 presentan deficiencias en su resistencia.

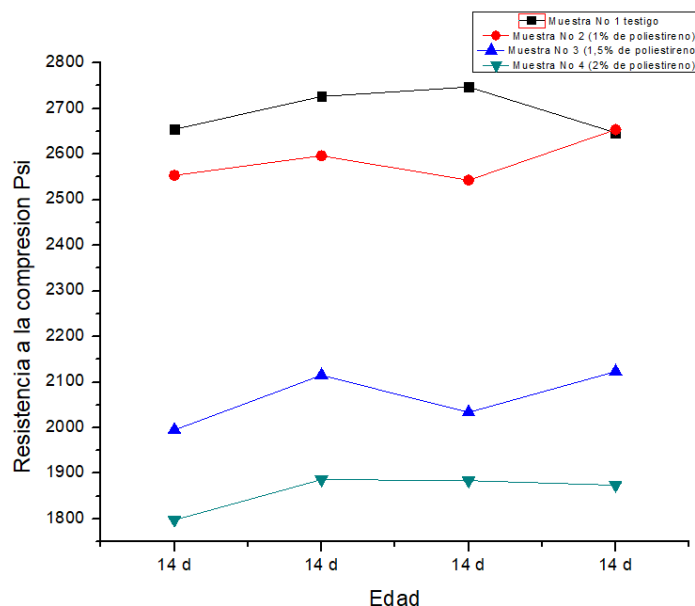


Gráfico 46 Comparación de resultados de las muestras a 14 días- Fuente: Propia

Análisis de resultados

1. Se puede determinar a partir de los resultados obtenidos que la resistencia a la compresión de las Muestras 1 y 2 presentan una diferencia de resistencia que ya no es significativa, y en un punto llegando a ser prácticamente iguales sobre los 2600 Psi.
2. De acuerdo a los resultados hallados se puede determinar que la muestra con poliestireno expandido al 1% presenta un aumento significativo de su resistencia llegando a un 97% de la resistencia de la Muestra sin adiciones teniendo como resultado una resistencia a la compresión de 2653.59 Psi.
3. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 1.5% de poliestireno expandido es aproximadamente del 68%, el cual disminuyo su porcentaje de resistencia de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los cilindros a 7 días
4. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros con 1% de porcentaje de poliestireno expandido y los cilindros de 2% de poliestireno expandido es aproximadamente del 72%, el cual disminuyo su porcentaje de resistencia de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los cilindros a 7 días
5. La diferencia en la resistencia a la compresión entre los cilindros de concreto sin adición de poliestireno expandido y las muestras con adición de 1% de poliestireno expandido es aproximadamente del 97%.
6. Se puede determinar que las muestras 1 y 2 vienen presentando una resistencia adecuada a la compresión durante los primeros siete días y las muestras No 3 y 4 presentan deficiencias en su resistencia.

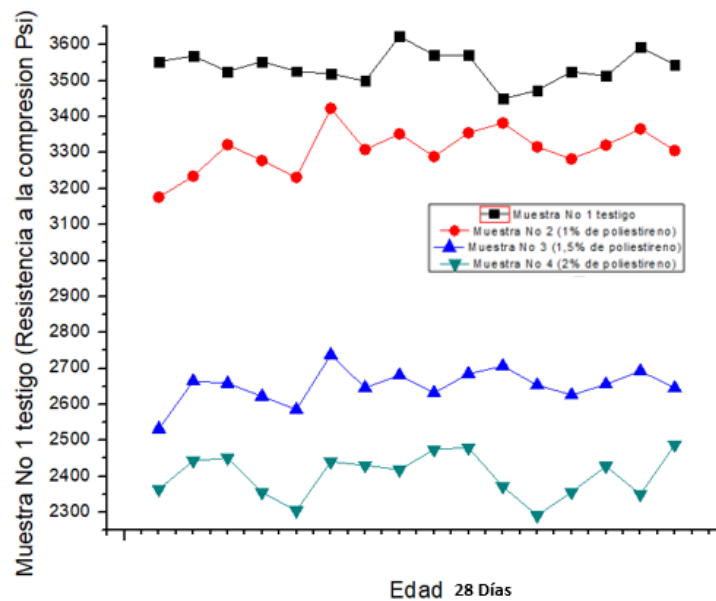


Gráfico 47 Comparación de resultados de las muestras a 28 días- Fuente: Propia

Resumen de resultados encontrados

De acuerdo a los resultados hallados se tiene el siguiente resumen de resultados:

Tabla 91 Resumen de resultados resistencia a la compresión de todas las muestras

Edad	Muestra No 1 testigo	Muestra No 2 (1% de poliestireno)	Muestra No 3 (1,5% de poliestireno)	Muestra No 4 (2% de poliestireno)
	Resistencia a la compresión Psi	Resistencia a la compresión Psi	Resistencia a la compresión Psi	Resistencia a la compresión Psi
24h	331,1	250,9	200,8	160,2
24h	493,7	318,9	253,6	216,8
24h	432,5	284,1	227,3	203,0
24h	530,3	316,3	253,1	221,3
3d	1101,7	986,1	795,4	623,2
3d	1160,1	1044,8	833,8	697,0
3d	1120,6	1022,3	818,5	681,5
3d	1138,5	1040,1	832,8	699,2
7d	1755,1	1638,7	1301,4	1233,0
7d	1812,2	1697,5	1355,0	1305,5
7d	1758,5	1720,2	1376,9	1305,1
7d	1780,0	1738,4	1391,4	1322,9
14 d	2654,4	2553,4	1995,0	1797,7
14 d	2726,4	2596,3	2115,0	1886,2
14 d	2747,3	2542,8	2033,5	1883,8
14 d	2646,9	2653,6	2123,2	1873,9
28 d	3553,6	3176,3	2531,8	2364,3
28 d	3568,7	3234,5	2664,4	2443,3
28 d	3526,3	3322,1	2658,4	2451,0
28 d	3553,6	3278,5	2622,4	2355,1
28 d	3526,4	3231,8	2585,4	2304,6
28 d	3519,3	3423,2	2737,8	2440,5
28 d	3499,6	3308,7	2646,2	2430,0
28 d	3623,6	3352,1	2681,0	2418,2
28 d	3571,5	3289,2	2631,7	2474,3
28 d	3570,9	3355,0	2684,7	2479,6
28 d	3449,6	3382,5	2706,7	2371,6
28 d	3473,8	3316,0	2653,5	2290,9
28 d	3525,3	3282,6	2625,7	2356,0
28 d	3513,0	3320,7	2655,8	2428,2
28 d	3592,6	3366,2	2692,6	2349,7
28 d	3545,0	3305,9	2645,4	2487,6

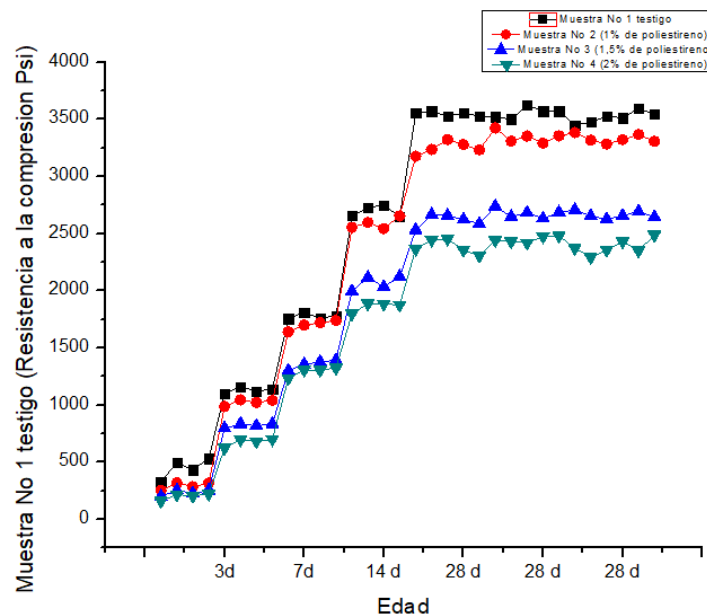


Gráfico 48 Resumen de resultados de todas las muestras a diferentes edades- Fuente: Propia

Análisis de Resultados

1. Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 1 es de: 3538 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 a 3500 Psi de resistencia solicitada
2. Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 2 con adición de poliestireno expandido de 1% es de: 3300 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 Psi de resistencia solicitada
3. Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 3 con adición de poliestireno expandido de 1.5% es de: 2651 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.
4. Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 4 con adición de poliestireno expandido de 2% es de: 2402 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.
5. A partir de los resultados obtenidos, se determina que la muestra No 2 con adición de poliestireno expandido tiene una resistencia muy similar a la muestra sin adiciones llegando a un porcentaje promedio del 94% de las resistencias a la compresión de la muestra testigo, por lo tanto, es una proporción ideal para utilizar en las mezclas de concreto ligero estructural.
6. Se puede inferir a grandes rasgos que realizar un incremento al porcentaje de adición disminuye considerablemente la resistencia del concreto, como se puede evidenciar en las muestras No 3 y No 4 ya que al adicionar el porcentaje adicional de (EPS) disminuye la resistencia de los concretos.

10.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA FLEXION A PARTIR DE LA NTC 2871.

Esta metodología de ensayo es utilizada para obtener la resistencia a la flexión del concreto de las tres muestras a comparar mediante el uso de una viga fundida a partir de los diseños de mezcla expuestos anteriormente con carga en los tercios ubicados en el centro de la viga.

La verificación a flexión da la claridad normativa del cumplimiento de la NSR-10, se puede definir si los elementos que son sometidos a flexión de concreto ligero y autocompactante cumplen con las solicitaciones para ser incluidos en elementos estructurales.

10.2.1 Aparatos de laboratorio

- Aparato de carga (resistencia a la flexión)

10.2.2 Procedimiento

1. Las muestras a ensayar deben ser curadas en ambientes húmedos y se deben fallar inmediatamente después de extraer las muestras de la cámara de humedad.
2. Se coloca la muestra de forma lateral en relación a la posición de fundida y debe ubicarse de manera central encima de los apoyos.
3. Se colocan los bloques de aplicación de carga en los tercios medios de la viga y debe aplicarse la carga que estará entre el 3 y el 6% respectivamente de la carga ultima.
4. Se debe cargar el espécimen de forma continua y sin impactos, esta carga debe ser aplicada en una tasa constante hasta encontrar la falla.
5. Esta carga debe incrementar en una tasa constante entre 0,86 y 1,21MPa/min, hasta que suceda una falla por rotura.



Ilustración 33 Procedimiento ensayo de resistencia a la flexión- Fuente: Propia

10.2.3 CALCULOS Y RESULTADOS

A partir de los procedimientos anteriormente descritos se obtienen los siguientes datos:

Resultados del ensayo Muestra No 1 testigo a 3 días

Tabla 92 Resultados del ensayo a 3 días- Fuente: Propia

Muestra No 1 testigo	
Datos Iniciales	Resultado
Edad (días)	3,00
Distancia entre apoyos L (mm)	459,30
Ancho promedio b (mm)	150,60
Altura promedio d (mm)	153,10
S MPa/min	0,86

A partir de los laboratorios efectuados en la evaluación de la viga, se calcula la tasa de carga utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 35 Tasa de carga

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad (34)$$

Donde:

r = Tasa de aplicación de carga en MN/min.

S = Tasa de incremento en el esfuerzo MPa/min

b = Ancho promedio de la viga en mm

d^2 = Altura promedio de la viga en mm

L = Distancia entre apoyos en mm

Por lo tanto

$$r = \frac{0.86 \text{ Mpa/min} * 150.8 \text{ mm} * 153.20^2}{459.3 \text{ mm}} \quad (34)$$

$$r = 6627.06 \text{ MN/min}$$

Tasa de aplicación de carga en MN/min (r) = 6627.06 MN/min

A partir de la tasa de Aplicación de carga sobre la viga de falla se obtiene la carga de falla al aplicarle la metodología de ensayo a flexión la cual es:

Tabla 93 Resultados carga máxima de ensayo a flexión-Fuente: propia

Muestra No 1 testigo	
Datos Iniciales	Resultado
Edad (días)	3,00
Distancia entre los apoyos L (mm)	459,30
Ancho promedio b (mm)	150,60
Altura promedio d (mm)	153,10
S MPa/min	0,86
r (MN/min)	6609,63
Carga KN	17,7
Muestra No 1 testigo	
Datos Iniciales	Resultado
Carga (KN)	17,7
Carga (N)	17700

Debido a que la se inicia la falla en la superficie que está sujeta a tensión, se evalúa el módulo de rotura mediante la ecuación propuesta a continuación

Ecuación 36 Modulo de rotura

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (35)$$

Donde:

R = Modulo de rotura en MPa

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo en N

L = Distancia entre apoyos en mm

b = Ancho promedio de la probeta en la fractura mm

d = Altura promedio de la viga en el lugar de la fractura en mm

$$R = \frac{17700 \text{ N} * 458,9 \text{ mm}}{150,6 \text{ mm} * 153,1^2} \quad (35)$$

$$R = 2.3 \text{ MPa}$$

Muestra No 1 testigo	
Módulo de Rotura	
Datos Iniciales	Resultado
Módulo de Rotura (MPa)	2,30

A partir de los datos hallados efectuados se presentan los resúmenes de los datos obtenidos para las 4 (cuatro) Muestras de ensayo de concreto:

Resistencia a la Flexión				
Cantidad de especímenes por Muestra				
Muestra/ Edad	3 días	7 días	14 días	28 días
Muestra No 1 testigo	2,0	2,0	2,0	2,0
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	2,0	2,0	2,0	2,0
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	2,0	2,0	2,0	2,0
Muestra No 4 (2% de poliestireno)	2,0	2,0	2,0	2,0

Tabla 94 Cantidad de Muestras ensayadas a Flexión por edad- Fuente: Propia

10.2.4 Resumen de resultados

Resultados a 3 días

A partir de las vigas generadas por los diseños para las 4 (cuatro) proporciones de concreto, se evalúa el módulo de rotura a 3 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 95 Resumen de resultados de las muestras a 3 días-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	kg/cm ²	41		41		41		41	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-10		2021-04-10		2021-04-10		2021-04-10	
Edad	días	3		3		3		3	
Distancia entre apoyos L	mm	459,3	458,5	460,7	457,8	459,7	458,4	457,8	457,8
Ancho promedio, b	mm	150,6	151,8	150,1	151,1	150,8	151,6	150,1	152,4
Altura promedio, d	mm	153,1	152,8	150,4	152,3	151,8	152,1	150,1	152,4
Carga	KN	17,7	18,6	12,5	14,5	11,1	11,5	8,2	10,0
Módulo de rotura	MPa	2,3	2,4	1,7	1,9	1,5	1,5	1,1	1,3
	kg/cm ²	23	24	17	19	15	15	11	13
Porcentaje de desarrollo	%	56%	59%	41%	46%	36%	37%	27%	32%
Observaciones	-								

A partir de los resultados obtenidos se determinan los gráficos comparativos para los resultados establecidos.

Tabla 96 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 3 días –Fuente: Propia

Resistencia a la Flexión				
Módulo de rotura a 3 días de las muestras de concreto				
Muestra	Módulo de rotura (MPa) 1	Módulo de rotura (MPa) 2	Módulo de rotura (Psi) 1	Módulo de rotura (Psi) 2
Muestra No 1 testigo	2,3	2,4	333,6	348,1
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	1,7	1,9	246,6	275,6
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	1,5	1,5	213,0	218,0
Muestra No 4 (2% de poliestireno)	1,1	1,3	159,5	188,5

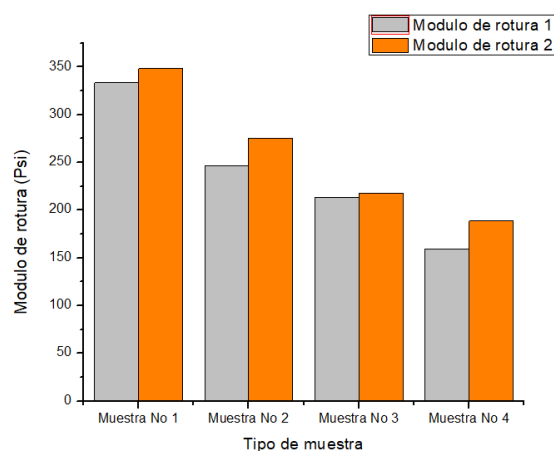


Gráfico 49 Módulo de rotura a 3 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: Propia

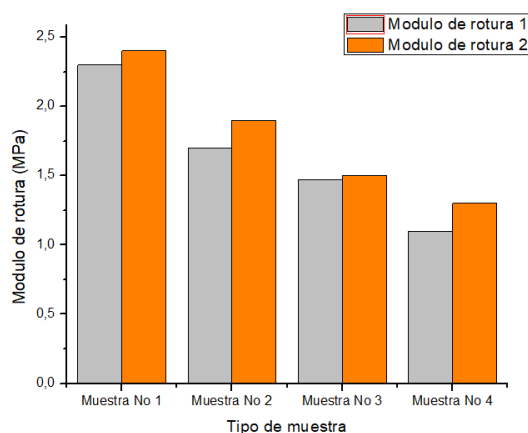


Gráfico 50 Módulo de rotura a 3 días Muestras de concreto en Psi- Fuente: Propia

Resultados a 7 días

A partir de las vigas generadas por los diseños para las 4 (cuatro) proporciones de concreto, se evalúa el módulo de rotura a 7 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 97 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 7 días – Fuente: propia

RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	kg/cm ²	41		41		41		41	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-14		2021-04-14		2021-04-14		2021-04-14	
Edad	días	7		7		7		7	
Distancia entre apoyos L	mm	450,9	450,3	460,7	457,8	456,9	459,9	457,8	457,8
Ancho promedio, b	mm	152,4	152,4	151,3	152,3	151,8	151,6	151,2	152,3
Altura promedio, d	mm	150,3	150,1	151,3	150,3	151,8	150,9	152,3	152,4
Carga	KN	32,1	32,8	17,3	18,8	14,5	15,1	13,0	13,9
Módulo de rotura	MPa	4,2	4,3	2,3	2,5	1,9	2,0	1,7	1,8
	kg/cm ²	43	44	23	26	19	21	17	18
Porcentaje de desarrollo	%	105%	107%	57%	62%	47%	50%	42%	45%
Observaciones	-								

A partir de los resultados obtenidos se determinan los gráficos comparativos para los resultados establecidos.

Tabla 98 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 7 días-Fuente: propia

Resistencia a la Flexión				
Módulo de rotura a 7 días de las muestras de concreto				
Muestra	Módulo de rotura (MPa) 1	Módulo de rotura (MPa) 2	Módulo de rotura (Psi) 1	Módulo de rotura (Psi) 2
Muestra No 1 testigo	4,2	4,3	609,2	623,7
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	2,3	2,5	333,6	362,6
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	1,9	2,0	275,6	290,1
Muestra No 4 (2% de poliestireno)	1,7	1,8	246,6	261,1

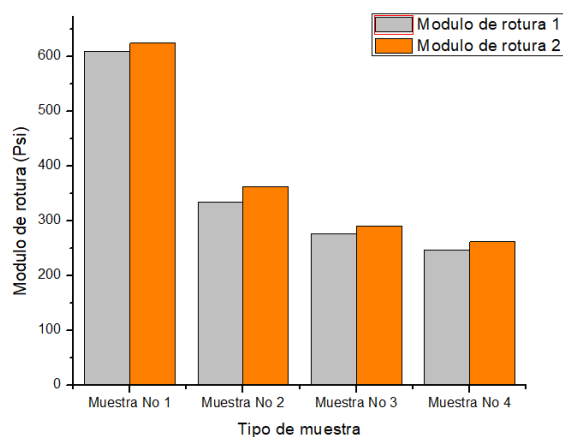


Gráfico 51 Modulo de roturo a 7 días Muestras de concreto en MPa-Fuente: propia

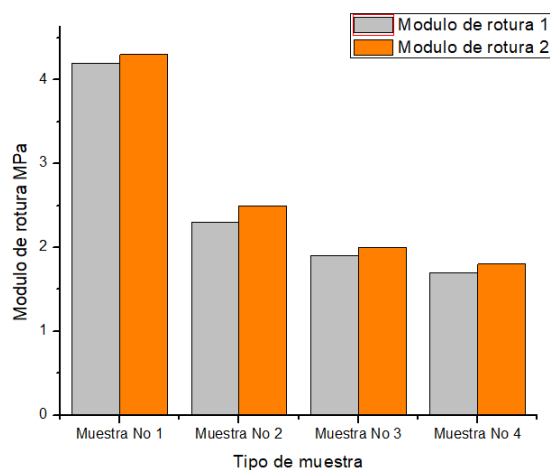


Gráfico 52 Modulo de roturo a 7 días Muestras de concreto en Psi- Fuente: Propia

Resultados a 14 días

A partir de las vigas generadas por los diseños para las 4 (cuatro) proporciones de concreto, se evalúa el módulo de rotura a 14 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 99 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 14 días-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	kg/cm ²	41		41		41		41	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21		2021-04-21	
Edad	días	14		14		14		14	
Distancia entre apoyos L	mm	453,9	451,8	460,7	457,8	457,9	459,9	457,8	457,8
Ancho promedio, b	mm	152,2	151,3	152,4	151,5	152,2	151,6	150,2	150,4
Altura promedio, d	mm	151,3	150,6	151,5	151,8	151,6	151,8	152,3	152,1
Carga	KN	38,6	39,5	27,3	29,0	18,9	21,0	16,0	17,5
Módulo de rotura	MPa	5,0	5,2	3,6	3,8	2,5	2,8	2,1	2,3
	kg/cm ²	51	53	37	39	25	28	21	23
Porcentaje de desarrollo	%	125%	129%	89%	95%	62%	69%	52%	57%
Observaciones	-								

A partir de los resultados obtenidos se determinan los gráficos comparativos para los resultados establecidos.

Tabla 100 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 14 días-Fuente: propia
Resistencia a la Flexión

Módulo de rotura a 14 días de las muestras de concreto				
Muestra	Módulo de rotura (MPa) 1	Módulo de rotura (MPa) 2	Módulo de rotura (Psi) 1	Módulo de rotura (Psi) 2
Muestra No 1 testigo	5,0	5,2	725,2	754,2
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	3,6	3,8	522,1	551,1
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	2,5	2,8	362,6	406,1
Muestra No 4 (2% de poliestireno)	2,1	2,3	304,6	333,6

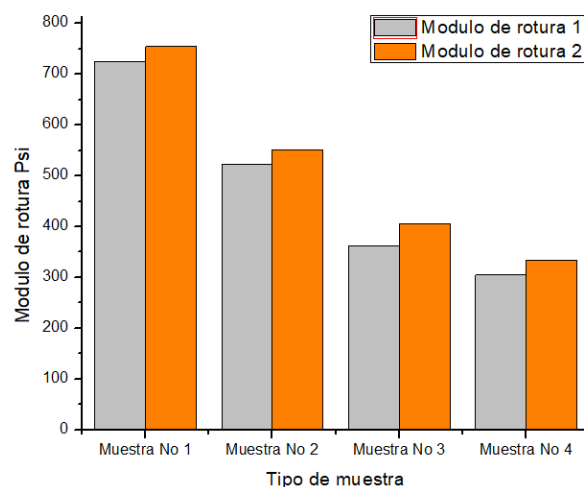


Gráfico 53 Módulo de rotura a 14 días Muestras de concreto en Psi-Fuente: Propia

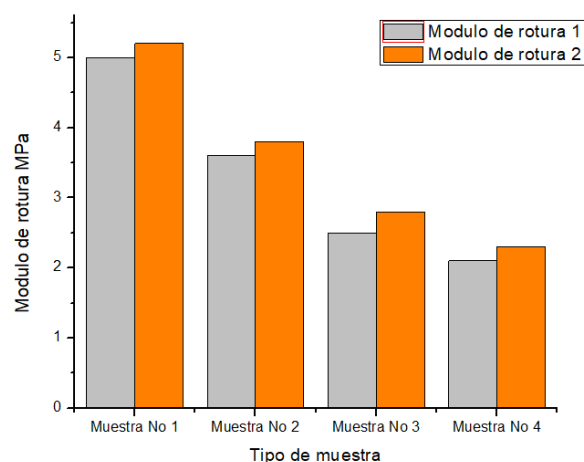


Gráfico 54 Módulo de rotura a 14 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: propia

Resultados a 28 días

A partir de las vigas generadas por los diseños para las 4 (cuatro) proporciones de concreto, se evalúa el módulo de rotura a 28 días después de haber realizado su fundida y curado en la cámara de humedad:

Tabla 101 Resumen resistencia a la flexión Vigas de concreto a 28 días-Fuente: Propia

RESISTENCIA A LA FLEXION VIGAS DE CONCRETO									
Identificación muestra	und	M1 (Patrón)		M2 (1%)		M3 (1.5%)		M4 (2%)	
Localización	-	Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba		Mezcla de Prueba	
Fuente	-	Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio		Elaborado en laboratorio	
Resistencia Nominal	kg/cm ²	41		41		41		41	
Fecha de Toma	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Orden de trabajo	-	-		-		-		-	
Fecha de recepción	-	2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08		2021-04-08	
Fecha de ensayo	-	2021-05-05		2021-05-05		2021-05-05		2021-05-05	
Edad	días	28		28		28		28	
Distancia entre apoyos L	mm	450,9	450,6	460,7	457,8	457,6	456,4	457,8	457,9
Ancho promedio, b	mm	151,3	152,1	151,3	151,1	151,7	152,0	151,2	151,6
Altura promedio, d	mm	150,3	150,2	150,3	150,3	150,1	150,5	150,4	150,2
Carga	KN	50,8	51,8	32,6	34,3	22,9	23,6	20,2	21,7
Módulo de rotura	MPa	6,7	6,8	4,4	4,6	3,1	3,1	2,7	2,9
	kg/cm ²	68	69	45	47	31	32	28	30
Porcentaje de desarrollo	%	167%	169%	109%	114%	76%	78%	67%	72%
Observaciones	-								

A partir de los resultados encontrados se determinan los gráficos comparativos para los resultados establecidos.

Tabla 102 Resumen módulos de rotura de las 4 (cuatro) Muestras a 28 días-Fuente: propia

Resistencia a la Flexión				
Módulo de rotura a 28 días de las muestras de concreto				
Muestra	Módulo de rotura (MPa) 1	Módulo de rotura (MPa) 2	Módulo de rotura (Psi) 1	Módulo de rotura (Psi) 2
Muestra No 1 testigo	6,7	6,8	971,8	986,3
Muestra No 2 (1% de poliestireno)	4,4	4,6	638,2	667,2
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno)	3,1	3,1	449,6	449,6
Muestra No 4 (2% de poliestireno)	2,7	2,9	391,6	420,6

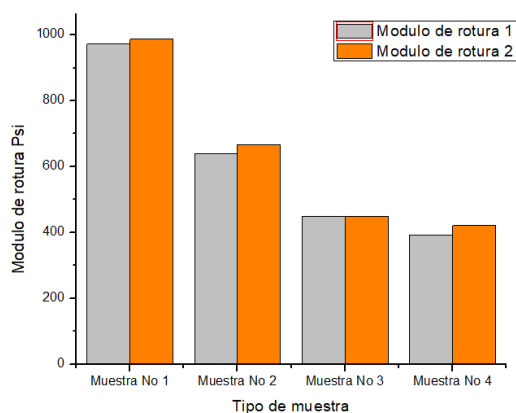


Gráfico 55 Modulo de roturo a 28 días Muestras de concreto en Psi-Fuente: Propia

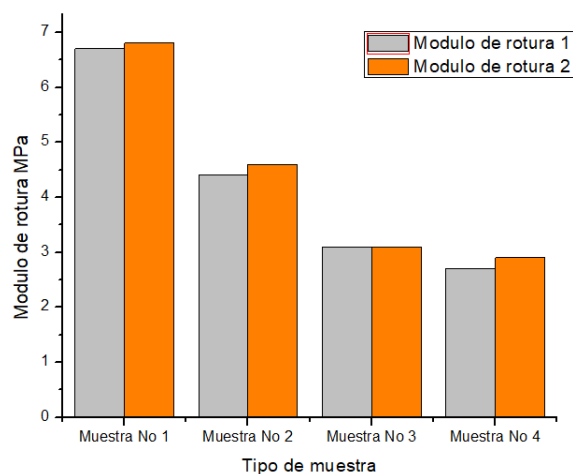


Gráfico 56 Modulo de roturo a 28 días Muestras de concreto en MPa- Fuente: propia

10.3 ENSAYO PARA ESTABLECER EL RENDIMIENTO, LA MASA UNITARIA Y EL CONTENIDO DE AIRE DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC 1926.

Esta metodología tiene como objeto establecer la masa unitaria de una muestra de concreto con la finalidad de evaluar el volumen que produce cada material en relación al peso de la misma, así como la obtención del cemento contenido por cada metro cubico fundido de concreto.

La finalidad de este ensayo es determinar la masa unitaria del concreto, la cual depende de la densidad de los agregados, contenido de aire atrapado, asimismo de la relación agua cemento contenida en la mezcla diseñada.

A partir de este ensayo se puede determinar la densidad del concreto ligero y autocompactante y ser comparada con la densidad de la muestra testigo con el fin de determinar si la mezclas de concreto ligero si cumplen con una densidad considerablemente menor a la de un concreto convencional.

10.3.1 APARATOS DE LABORATORIO

- Balanza
- Varilla de compactación
- Vibrador Interno
- Molde
- Lamina de enrasado

10.3.2 Procedimiento

1. Se debe compactar por apisonado con la finalidad de evitar pérdida excesiva de aire atrapado en la mezcla.
2. Se debe realizar la compactación uniforme del material fundido en el molde a través de 25 golpes, y generar golpes en los bordes laterales con la finalidad de cerrar los vacíos que pueda dejar la varilla
3. Se coloca la última capa de la mezcla con un exceso de concreto no mayor a 3 mm del borde en la cara superior del molde.
4. Se debe vibrar la mezcla en el molde en 2 capas y en tres puntos diferentes por capa, previniendo que el vibrador toque los bordes y el fondo del molde.
5. Se debe enrasar el exceso de concreto en el molde después de la compactación final.

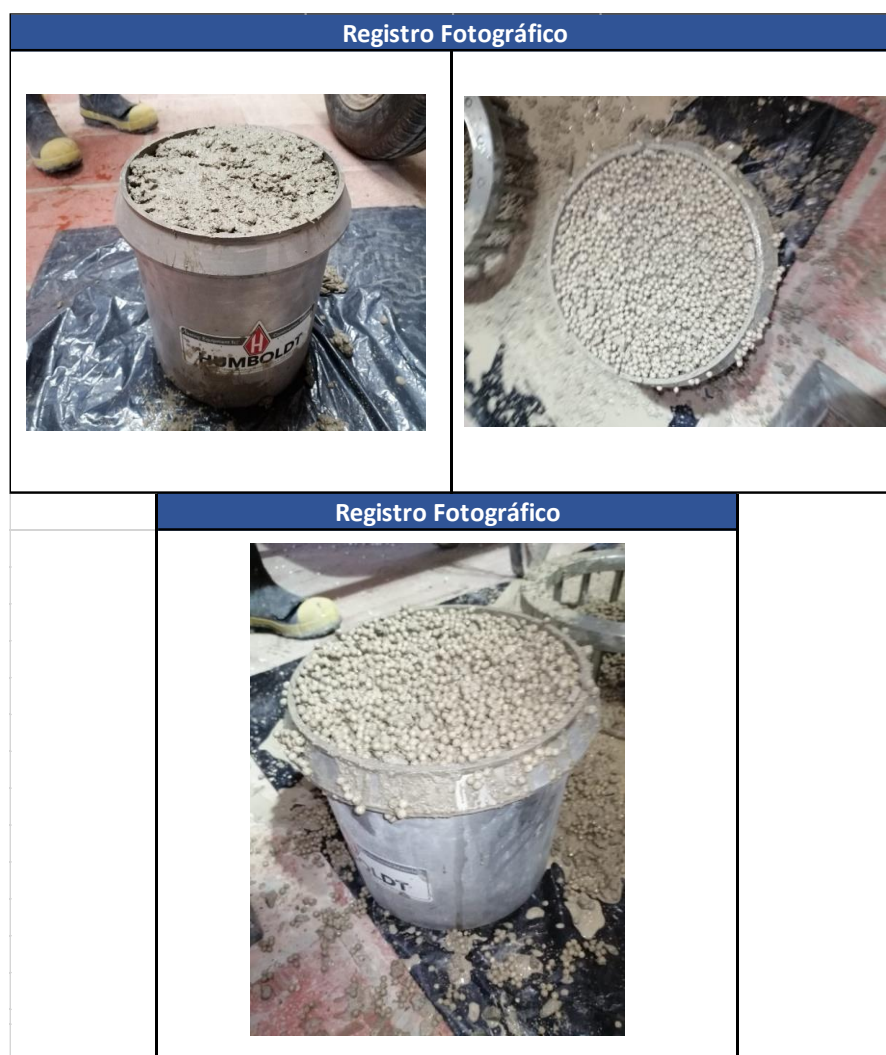


Ilustración 34 Procedimiento Masa Unitaria 3 Muestras de concreto- Fuente: Propia

10.3.3 Cálculos y resultados obtenidos

Al disponer el concreto obtenido de la mezcla, previamente diseñada, se continua con el cálculo la Masa Unitaria y el Rendimiento Volumétrico de las siguientes muestras:

Datos iniciales

Tabla 103 Datos Iniciales Masa unitaria

Mnc= Masa neta del concreto (kg)	16,55
Vm= Volumen del recipiente (m³)	0,007

M1= Masa total de los materiales por bachada (Kg)	2289
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m ³)	2364

Muestra No 1**10.3.3.1 Masa Unitaria**

A continuación, se presenta la ecuación para realizar el cálculo de la masa unitaria:

Ecuación 37 Masa Unitaria

$$M = \frac{Mnc}{Vm} \quad (36)$$

Donde,

M = Masa unitaria del concreto en $\frac{Kg}{m^3}$

Mnc = Masa neta del concreto en Kg

Vm = Volumen del molde usado m^3

$$M = \frac{16,55}{0,007} \quad (36)$$

$$M = 2364 \frac{Kg}{m^3}$$

10.3.3.2 Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico de las mezclas en concreto se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 38 Rendimiento volumétrico

$$Y = \frac{M_1}{M} \quad (37)$$

Donde,

Y = Volumen de concreto producido o mezclado por bachada m^3

M_1 = Masa total de todos los materiales de la bachada en Kg

M = Masa unitaria del concreto en $\frac{Kg}{m^3}$

$$Y = \frac{2289}{2364} \quad (37)$$

$$Y = 0,97 m^3$$

10.3.4 Resumen de resultados

De acuerdo a los resultados hallados, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 104 Resumen de resultados Muestra No 1 (testigo)- Fuente: propia

MASA UNITARIA		
Mnc= Masa neta del concreto (kg)	16,55	$M = \frac{M_{nc}}{V_m}$
Vm= Volumen del recipiente (m³)	0,007	
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	2364	
RENDIMIENTO VOLUMETRICO		
M1= Masa total de los materiales por bachada (Kg)	2289	$Y = \frac{M_1}{M}$
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	2364	
Y= Volumen de concreto producido (m³)	0,97	

Tabla 105 Resumen de resultados muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)
-Fuente: Propia

MASA UNITARIA		
Mnc= Masa neta del concreto (kg)	13,33	$M = \frac{M_{nc}}{V_m}$
Vm= Volumen del recipiente (m³)	0,007	
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1904,285714	
RENDIMIENTO VOLUMETRICO		
M1= Masa total de los materiales por bachada (Kg)	1893	$Y = \frac{M_1}{M}$
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1904,285714	
Y= Volumen de concreto producido(m³)	0,994073518	

Tabla 106 Resumen de resultados muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)-

Fuente: propia MASA UNITARIA		
Mnc= Masa neta del concreto (kg)	13,11	$M = \frac{M_{nc}}{V_m}$
Vm= Volumen del recipiente (m³)	0,007	
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1872,857143	
RENDIMIENTO VOLUMETRICO		
M1= Masa total de los materiales por bachada (Kg)	1891	$Y = \frac{M_1}{M}$
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1872,857143	
Y= Volumen de concreto producido(m³)	1,009687262	

Tabla 107 Resumen de resultados Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido)

Fuente: Propia		
MASA UNITARIA		
Mnc= Masa neta del concreto (kg)	13,01	$M = \frac{M_{nc}}{V_m}$
Vm= Volumen del recipiente (m³)	0,007	
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1858,571429	
RENDIMIENTO VOLUMETRICO		
M1= Masa total de los materiales por bachada (Kg)	1885	$Y = \frac{M_1}{M}$
M= Masa Unitaria del concreto (Kg/m³)	1858,571429	
Y= Volumen de concreto producido(m³)	1,014219831	

10.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DE POISSON Y EL MÓDULO ELÁSTICO DEL CAC Y LIGERO A PARTIR DE LA NTC-4025.

Esta metodología tiene como objeto determinar el módulo elástico, así como la relación de Poisson de los cilindros de concreto, exponiéndolos a esfuerzos de compresión longitudinal, con el fin de tener una realización de esfuerzo deformación, para evaluar el módulo de elasticidad se efectúa el ensayo a 2 cilindros por muestra de concreto.

10.4.1 APARATOS DE LABORATORIO

- Compresómetro
- Extensómetro
- Núcleos de concreto

10.4.2 Procedimiento

1. Se debe establecer una temperatura y humedad constante con el fin de no afectar el ensayo.
2. Se debe colocar la muestra con el equipo de medición dentro de la máquina de ensayo, alineando los ejes de dicha muestra centrando el cilindro de apoyo, asimismo se debe anotar el indicador que exporta el deformímetro.
3. Una vez se tiene la muestra en un correcto apoyo se aplica carga mínima dos veces, a lo cual no se va a tomar registro, dado que el primer ciclo es para ajustar los deformímetros y se corrigen errores para continuar con el segundo ciclo, dado que se tomarán registros utilizando el resultado promedio de las siguientes cargas.
4. Con el fin de obtener la curva de la relación esfuerzo deformación, se toman dos lecturas adicionales en las ubicaciones medias sin intermisión de carga. Una vez se alcance la carga máxima, se debe disminuir la carga aplicada en forma continua hasta llegar a cero.



Ilustración 35. procedimiento Modulo de elasticidad- Fuente: Propia

10.4.3 Cálculos y resultados

A partir de la información obtenida en el ensayo se determinan los siguientes datos iniciales para realizar los cálculos

Muestra No 1

Datos iniciales

Tabla 108 Datos iniciales Muestra No 1-Fuente: Propia

Muestra No 1 (Testigo)			
Dimensiones del espécimen			
No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (g)
1	100,3	198,4	3791
2	100,5	198,6	3799
Promedio	100,4	198,5	3795
Área (mm ²)		7916,9	
Volumen (cm ³)		1571,5	
Densidad (g/cm ³)		2,41	

Resistencia del concreto	
Resultados a compresión	
Carga Max (KN)	245,1
Esfuerzo Max (Mpa)	24
Objetivo del ensayo	
40% de Carga Max (Mpa)	9,6

Resultados y Calculos		
S2	8,48	Mpa
S1	1,68	Mpa

10.4.3.1 Módulo de elasticidad

Se evalúa el módulo elástico aproximado a 350 MPa mediante la ecuación presentada a continuación:

Ecuación 39 Módulo de elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,000050)} \quad (38)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad secante, en MPa (Psi)

S_2 = Corresponde esfuerzo en relación al 40 % de la carga ultima

S_1 = esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ε_1 ,

ε_2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2

$$E = \frac{(13,29 \text{ MPa} - 1,74 \text{ MPa})}{(7,3 * E^{-04} - 0,000050)} \quad (38)$$

$$E = 16.578 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$\text{Modulo de elasticidad } (E) = 16.578 \text{ MPa}$$

10.4.3.2 Relación de Poisson

Se evalúa la relación de Poisson, mediante la ecuación presentada a continuación

Ecuación 40 Relación de Poisson

$$\mu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0,000050)} \quad (39)$$

Donde:

μ = relación de Poisson

ε_{t2} = deformación transversal en la mitad de la altura producida por el esfuerzo S_2

ε_{t1} = deformación transversal en la mitad de la altura producida por el esfuerzo S_1

$$\mu = \frac{(7,3 * E^{-4} - 5,0 * E^{-5})}{(7,3 * E^{-4} - 0,000050)} \quad (39)$$

$$\mu = 0,187$$

$$\text{Relación de Poisson } (\mu) = 0,187$$

10.4.4 Resumen de resultados

Muestra No 1

A partir de los cálculos realizados se obtiene la recopilación de datos para el laboratorio de la Muestra No 1 testigo:

Tabla 109 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson
(Muestra No 1 Testigo)-Fuente: propia

Muestra No 1 (Testigo)				Resultados y Calculos		
Dimensiones del especimen				S2	8,48	Mpa
No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (g)	S1	1,68	Mpa
1	100,3	198,4	3791	E2	0,0008	mm/mm
2	100,5	198,6	3799	E1	0,0002	mm/mm
Promedio	100,4	198,5	3795	Modulo de elasticidad		
Area (mm2)		7916,9		E	16578	Mpa
Volumen (cm3)		1571,5		μ	0,187	-
Densidad (g/cm3)		2,41				
				Instalación para el ensayo		
Resistencia del concreto				er (mm)	104,61	
Resultados a compresión				eg (mm)	105,36	
Carga Max (KN)	245,1			d Factor	0,5	
Esfuerzo Max (Mpa)	24			Distancia anillos (mm)	132,88	
Objetivo del ensayo						
40% de Carga Max (Mpa)	9,6					

De acuerdo a los resultados hallados se puede establecer la relación de esfuerzo vs deformación unitaria:

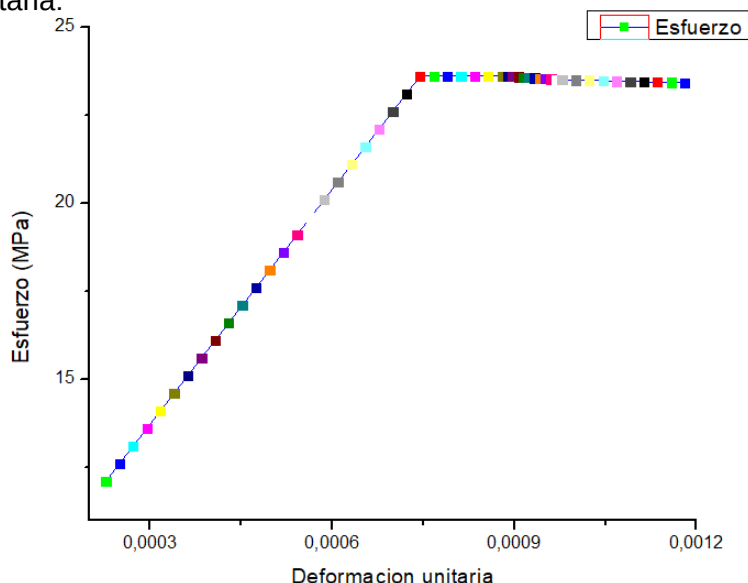


Gráfico 57 Curva esfuerzo deformación Muestra No 1- Fuente Propia

Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)

A partir de los cálculos realizados se obtiene la recopilación de datos para el laboratorio de la Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido):

Tabla 110 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 2 1% de poliestireno expandido)-Fuente: Propia

Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)				Resultados y Calculos		
Dimensiones del espécimen				S2	13,29	Mpa
No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (g)	S1	1,74	Mpa
1	100,1	198,3	3691	E2	0,0008	mm/mm
2	100,2	198,1	3689	E1	0,0002	mm/mm
Promedio	100,15	198,2	3690	Modulo de elasticidad		
Area (mm2)		7877,6		E	15897	Mpa
Volumen (cm3)		1561,3		μ	0,143	-
Densidad (g/cm3)		2,36		Instalación para el ensayo		
Resistencia del concreto				er (mm)	105,91	
Resultados a compresión				eg (mm)	106,03	
Carga Max (KN)	230,95			d Factor	0,5	
Esfuerzo Max (Mpa)	21,22			Distancia anillos (mm)	132,8	
Objetivo del ensayo						
40% de Carga Max (Mpa)	8,488					

De acuerdo a los resultados hallados se puede establecer la relación de esfuerzo vs deformación unitaria:

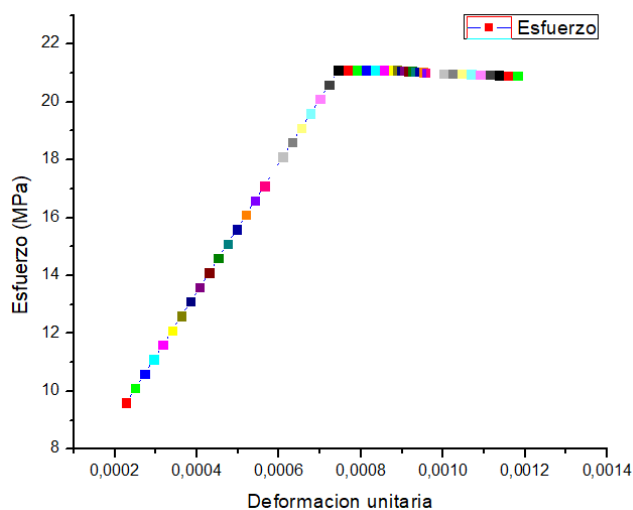


Gráfico 58 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 2)-Fuente Propia

Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)

A partir de los cálculos realizados se obtiene la recopilación de datos para el laboratorio de la Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido):

Tabla 111 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 3-1.5% de poliestireno expandido)-Fuente: Propia

Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)				Resultados y Calculos		
Dimensiones del especimen				S2 S1 E2 E1 Modulo de elasticidad E μ	12,2268 1,74 0,0008 0,0002 15559 0,143	Mpa Mpa mm/mm mm/mm Mpa -
No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (g)			
1	100,15	198,1	3690			
2	100,21	198,15	3689			
Promedio	100,18	198,125	3689,5			
Area (mm2)		7882,3				
Volumen (cm3)		1561,7				
Densidad (g/cm3)		2,36				
				Instalación para el ensayo		
				er (mm)	105,91	
				eg (mm)	106,03	
				d Factor	0,5	
				Distancia anillos (mm)	132,7	

Resistencia del concreto	
Resultados a compresión	
Carga Max (KN)	225,2
Esfuerzo Max (Mpa)	19,5
Objetivo del ensayo	
40% de Carga Max (Mpa)	7,8

De acuerdo a los resultados hallados se puede establecer la relación de esfuerzo vs deformación unitaria:

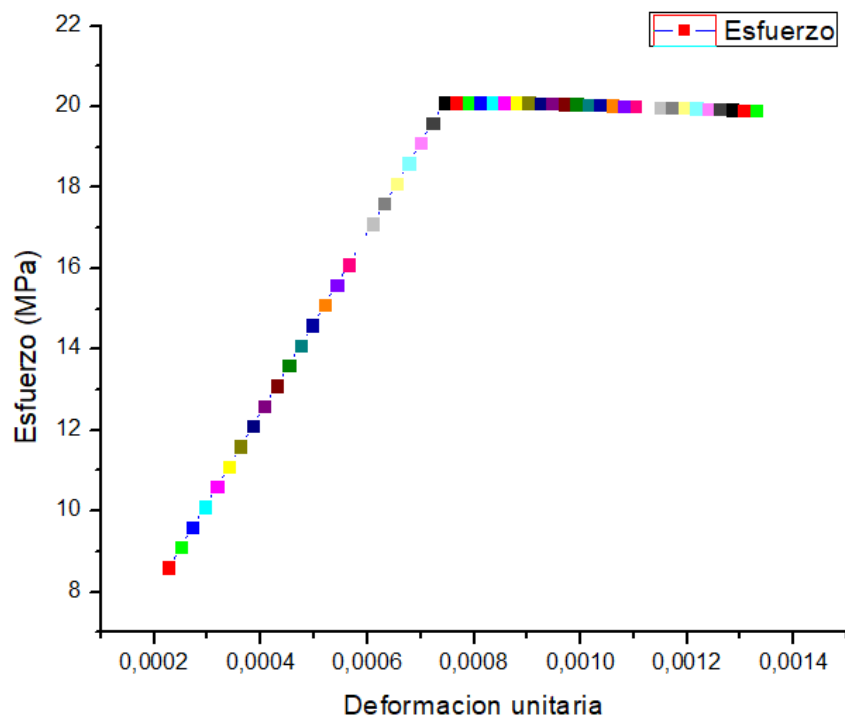


Gráfico 59 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 3)-Fuente Propia

Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido)

A partir de los cálculos realizados se obtiene la recopilación de datos para el laboratorio de la Muestra No 3 (2% de poliestireno expandido):

Tabla 112 Resumen de resultados Módulo de elasticidad y relación de Poisson (Muestra No 3 -2% de poliestireno expandido)- Fuente: Propia

Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido)				Resultados y Calculos		
Dimensiones del espécimen				S2	10,11	Mpa
No	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (g)	S1	1,74	Mpa
1	100,35	198,4	3712	E2	0,0008	mm/mm
2	100,25	198,2	3689	E1	0,0002	mm/mm
Promedio	100,3	198,3	3700,5	Modulo de elasticidad	E	11559
Area (mm2)		7901,2			μ	0,0987
Volumen (cm3)		1566,8				-
Densidad (g/cm3)		2,36		Instalación para el ensayo		
Resistencia del concreto				er (mm)	105,91	
Resultados a compresión				eg (mm)	106,03	
Carga Max (KN)	220,15			d Factor	0,5	
Esfuerzo Max (Mpa)	19,2			Distancia anillos (mm)	132,8	
Objetivo del ensayo						
40% de Carga Max (Mpa)	7,68					

De acuerdo a los resultados hallados se puede establecer la relación de esfuerzo vs deformación unitaria:

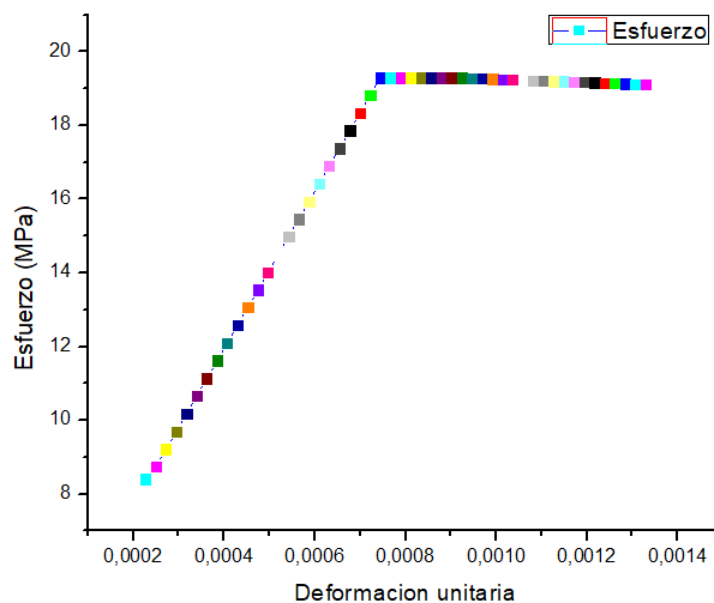


Gráfico 60 Esfuerzo vs Deformación (Muestra No 4)-Fuente Propia

10.5 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA PENETRACION DE IONES CLORURO A PARTIR DE LA ASTM-C1202

El objeto de esta metodología es establecer la capacidad del concreto a resistir la penetración de cloruros a la penetración de cloruros, iniciando una aceleración a la permeabilidad de los mismos acelerando la permeabilidad a cloruros a través de un campo magnético.

10.5.1 APARATOS DE LABORATORIO

- Aparato de saturación de vacío
- Desecador de vacío
- Bomba de vacío o aspirador
- Manómetro
- Aparatos de recubrimiento

10.5.2 Procedimiento

1. La muestra debe encontrarse saturada, y debe ser cortada en una medida circular de 100x50 mm, posicionándose sobre una cobertura que encierra los fluidos en las dos caras.
2. Se debe aplicar una carga potencial de 60VCD a través de la cobertura. La cual tiene dos conexiones finales que realizan un paso de iones cloruros con cargas negativas hacia la muestra colocada.



Ilustración 36 Procedimiento Penetración Ion Cloruro- Fuente: Propia

10.5.3 Resultados

A partir del procedimiento realizado se encontraron los datos presentados continuación:

Tabla 113 Resultados Obtenidos en la penetración de Iones cloruro- Fuente: propia

Muestra No	Muestra	Fecha de ensayo	Carga pasada ajustada (Coulomb)	Clase de permeabilidad
1	Muestra No 1 (Testigo)	20/04/2021	1919	Baja
2	Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)	20/04/2021	1439	Baja
3	Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)	20/04/2021	1431	Baja
4	Muestra No 4 (3% de poliestireno expandido)	20/04/2021	1425	Baja

10.5.4 Análisis de los resultados

Tabla 114 Penetración ion cloruro a partir de la carga que pasa-Adoptada de: Los
ASTMC-1202

resultados se evalúan a partir de la tabla No X1.1 de la Norma ASTM-C1202

Penetrabilidad de iones cloruro	
Base de carga de paso	
Paso de Carga (Coulomb)	Penetrabilidad de iones cloruro
>4000	Alto
2000-4000	Moderado
1000-2000	Bajo
100-1000	Muy bajo
<100	No legible

1. De acuerdo a los datos encontrados se determina que las tres muestras se encuentran en el rango de 1000-2000 Coulomb, por lo tanto, la penetración de ion cloruro para las mezclas de concreto ensayadas es baja por lo tanto se considera que no va a tener un riesgo significativo a la exposición de ion cloruro en diferentes ambientes.

2. Adicionalmente se puede evidenciar que a mayor porcentaje de poliestireno expandido el porcentaje de iones cloruro va disminuyendo, se puede inferir que el poliestireno expandido no permite el paso o la exposición de iones cloruro en el (CAC).

10.6 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CARBONATACION EN EL CAC Y LIGERO

El objeto de esta metodología es establecer si existe una pérdida de pH, producto de la reacción entre hidróxido de calcio con el dióxido de carbono que se produce al hidratarse el cemento, que pueda convertirse en una afectación al acero de refuerzo del Hormigón.

10.6.1 Procedimiento

Para poder detectar la carbonatación del concreto es necesario tener una muestra del concreto, ya sea un núcleo o tomar una muestra del concreto del cual se sospecha que hay carbonatación.

1. Se toma la muestra del concreto y se limpia el polvo residual.
2. Se aplica fenolftaleína sobre el concreto en concentración del 1%
3. Finalmente se evalúa de manera visual si existe o no un cambio de color en el área del concreto en la cual se aplicó la fenolftaleína.
4. Concentración de CO₂ 6.2%, temperatura 20°C, Humedad relativa 65%

Se Obtuvieron los perfiles de avance de carbonatación de 5 mediciones con la finalidad de evaluar los avances del dióxido de carbono sobre la muestra de concreto.

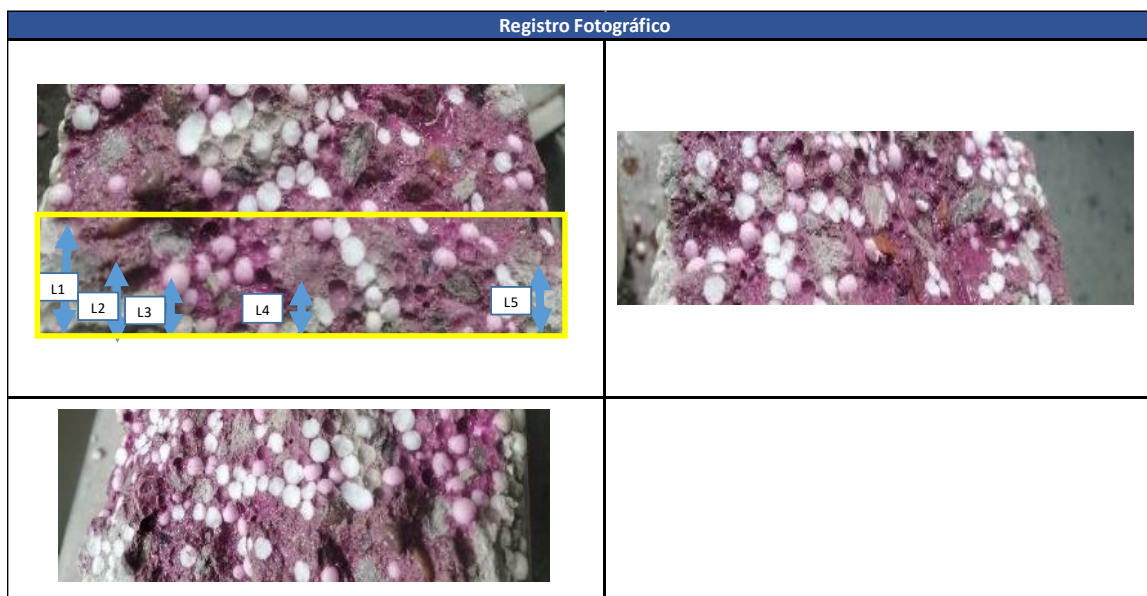


Ilustración 37 Procedimiento carbonatación- Fuente: Propia

10.6.2 Resultados

A partir del procedimiento realizado se pudieron determinar los siguientes resultados

Tabla 115 Resultados carbonatación- Fuente: propia

Muestra	Carbonatación	Longitud de Carbonatación presentada (mm)
Muestra No 1 (Testigo)	No presenta	3
Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)	No presenta	4
Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido)	No presenta	3
Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido)	No presenta	4

11. ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

11.1 METODO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CAC Y LIGERO

11.1.1 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 1 Testigo).

Se evidencia en los cilindros de resistencia a la compresión a 24 horas que la mezcla de concreto tiende a tener diferencias hasta del 100%, razones por las cuales es una resistencia que no refleja realmente un resultado comparativo, debido a que no tiene una concentración fija en un rango establecido.

En los resultados obtenidos a 3 Días se evidencia una concentración de la resistencia de las muestras obteniendo diferencias entre 20 y 60 Psi, lo cual refleja una homogeneidad en la mezcla del procedimiento realizado y un proceso adecuado de curado.

Similar a los resultados encontrados a 3 días, los resultados a 7 días tienen diferencias muy bajas lo cual puede dar indicios de una mezcla adecuada y homogénea para la evaluación del concreto autocompactante, mas no ligero debido a que esta mezcla no contiene adiciones de poliestireno expandido.

A los 14 días se establece un crecimiento exponencial de la resistencia a la compresión, alcanzando hasta 2750 Psi, evidenciando que las resistencias obtenidas pueden cumplir las condiciones necesarias para ser utilizada como concreto estructural.

Evaluando los resultados a los 28 días de curado de las mezclas de concreto de la muestra No 1, se determina que es una mezcla que supera los 3400 Psi, llegando hasta los 3600 Psi, lo cual da cualidades de concretos aún mayores a concretos estructurales básicos, llegando a ser utilizado en elementos que requieran una resistencia diferente a la mínima para un concreto estructural.

11.1.2 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 2. Al 1% de poliestireno expandido).

Se evidencia en los cilindros de resistencia a la compresión a 24 horas que la mezcla de concreto tiende a tener diferencias hasta del 50%, razones por las cuales es una resistencia que no refleja realmente un resultado comparativo, debido a que no tiene una concentración fija en un rango establecido.

En los resultados obtenidos a 3 Días se evidencia una concentración de la resistencia de las muestras obteniendo diferencias entre 100 y 50 Psi, lo cual refleja una homogeneidad en la mezcla del procedimiento realizado y un proceso adecuado de curado, se evidencia un aumento del 350% con respecto a la resistencia a las 24 horas

Similar a los resultados encontrados a 3 días, los resultados a 7 días tienen diferencias muy bajas lo cual puede dar indicios de una mezcla adecuada y homogénea para la evaluación del concreto autocompactante y ligero.

A los 14 días se establece un crecimiento exponencial de la resistencia a la compresión, alcanzando hasta 2660 Psi, evidenciando que las resistencias obtenidas pueden cumplir las condiciones necesarias para ser utilizada como concreto estructural.

Evaluando los resultados a los 28 días de curado de las mezclas de concreto de la muestra No 1, se determina que es una mezcla que supera los 3200 Psi, llegando hasta los 3400 Psi, cumpliendo las especificaciones para ser un concreto autocompactante, ligero y pudiendo ser empleado en elementos estructurales tales como columnas, vigas y placas.

11.1.3 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 3. Al 1.5% de poliestireno expandido).

Se evidencia en los cilindros de resistencia a la compresión a 24 horas que la mezcla de concreto tiende a tener diferencias entre 40 y 60 Psi, a diferencia de las otras muestras, la mezcla con 1.5% de poliestireno expandido, presenta resultados similares en su resistencia a esta edad.

En los resultados obtenidos a 3 Días se evidencia una concentración de la resistencia de las muestras obteniendo diferencias entre 20 y 40 Psi, lo cual refleja una homogeneidad en la mezcla del procedimiento realizado y un proceso adecuado de curado, se evidencia un aumento del 340% con respecto a la resistencia a las 24 horas

A diferencia de los resultados encontrados a 3 días, los resultados a 7 días tienen diferencias altas de hasta 100 Psi y un aumento entre el 40 y 50% con respecto a la edad de 3 días.

A los 14 días se establece un crecimiento exponencial de la resistencia a la compresión, alcanzando hasta 2140 Psi, sin embargo, presenta resistencias bajas con respecto a las otras muestras de concreto ya analizadas

Evaluando los resultados a los 28 días de curado de las mezclas de concreto de la muestra No 3, se determina que es una mezcla que no supera los 3000 Psi, llegando hasta los 2750 Psi, Por lo tanto, es un concreto que cumple las condiciones para ser autocompactante y ligero, pero no tiene la resistencia adecuada para ser un concreto estructural.

11.1.4 Análisis de los resultados Gráficos (Muestra No 4. Al 2% de poliestireno expandido).

Se evidencia en los cilindros de resistencia a la compresión a 24 horas que la mezcla de concreto tiende a tener diferencias entre 40 y 70 Psi, en similitud a la muestra No 3, la mezcla con 2% de poliestireno expandido, presenta resultados similares en su resistencia a esta edad.

En los resultados obtenidos a 3 Días se evidencia una concentración de la resistencia de las muestras obteniendo diferencias entre 40 y 90 Psi, lo cual refleja una homogeneidad en la mezcla del procedimiento realizado y un proceso adecuado de curado, se evidencia un aumento del 300% con respecto a la resistencia a las 24 horas

Similar a los resultados encontrados a 3 días, los resultados a 7 días tienen diferencias altas de hasta 100 Psi y un aumento entre el 50% y 90% con respecto a la edad de 3 días.

A los 14 días se establece un crecimiento exponencial de la resistencia a la compresión, alcanzando hasta 1850 Psi, mostrando una disminución considerable a esta edad con respecto a los demás cilindros de concreto

Evaluando los resultados a los 28 días de curado de las mezclas de concreto de la muestra No 4, se determina que es una mezcla que no supera los 3000 Psi, llegando hasta los 2480 Psi, Por lo tanto, es un concreto que cumple las condiciones para ser autocompactante y ligero, pero no tiene la resistencia adecuada para ser un concreto estructural.

11.2 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA FLEXION

1. A partir de los resultados obtenidos a 3 días se determina que la resistencia a la flexión varía dependiendo de la proporción de adición de poliestireno expandido utilizado.
2. La diferencia en el módulo de rotura encontrado entre la mezcla 1 (testigo) y 2 (muestra con 1% de adición de poliestireno expandido) a las edades realizadas en los ensayos es de un 85% a 90% dando como resultado que el módulo de rotura con adición de poliestireno expandido es más bajo que la muestra sin adiciones.
3. Con el fin de obtener una relación adecuada entre los datos hallados en el ensayo a compresión de los cilindros de concreto y a flexión de las vigas de concreto se realiza un cuadro comparativo exponiendo los porcentajes de diferencia entre las diferentes muestras a diferentes edades de ensayo.

Tabla 116 Relación entre la resistencia a la compresión Psi y el módulo de rotura-
Fuente: propia

Muestra No 1 testigo				
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi	Modulo de rotura (Psi)	% de diferencia
Resitencia Promedio a los 3 días	7,79	1130,3	340,8	30%
Resitencia Promedio a las 7 días	12,25	1776,4	616,4	35%
Resitencia Promedio a los 14 días	18,57	2693,8	746,9	28%
Resitencia Promedio a los 28 días	24,396	3538,3	979	28%

Muestra No 2 (1% de poliestireno)				
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi	Modulo de rotura (Psi)	% de diferencia
Resitencia Promedio a los 3 días	7,06	1023,3	261,1	26%
Resitencia Promedio a las 7 días	11,71	1698,7	348,1	20%
Resitencia Promedio a los 14 días	17,83	2586,5	536,6	21%
Resitencia Promedio a los 28 días	22,815	3309,1	652,7	20%

Muestra No 3 (1,5% de poliestireno)				
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi	Modulo de rotura (Psi)	% de diferencia
Resitencia Promedio a los 3 días	5,65	820,1	215,4914578	26%
Resitencia Promedio a las 7 días	9,35	1356,2	282,8241	21%
Resitencia Promedio a los 14 días	14,25	2066,7	384,3507	19%
Resitencia Promedio a los 28 días	18,281	2651,5	449,6178	17%

Muestra No 4 (2% de poliestireno)				
EDAD	Resistencia a la compresion Mpa	Resistencia a la compresión Psi	Modulo de rotura (Psi)	% de diferencia
Resitencia Promedio a los 3 días	4,66	675,2	174	26%
Resitencia Promedio a las 7 días	8,91	1291,6	253,8	20%
Resitencia Promedio a los 14 días	12,83	1860,4	319,1	17%
Resitencia Promedio a los 28 días	15,632	2402,8	406,1	17%

4. A partir de los resultados obtenidos se determina que en la muestra testigo existe una conexión directa entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura en el rango de 28% a 35%, el cual es adecuado de acuerdo a la norma ASTM C78. Debido a que la proporción encontrada debe estar en el rango del 10% a 20%.

5. A partir de los resultados encontrados se determina que en la muestra No 2 (Adición de poliestireno expando al 1%), existe una conexión directa entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura en el rango de 20% a 26%, el cual es adecuado de acuerdo a la norma ASTM C78.

6. De acuerdo a la resistencia nominal hallada a la flexión solicitada se puede evidenciar que las muestras No 1 y No 2 cumplen con el resultado para ser mezclas utilizadas en elementos estructurales.

7. A partir de los datos encontrados se determina que en la muestra No 3 (Adición de poliestireno expando al 1.5%), tiene una resistencia a la flexión en promedio de 31.5 Kg/m² la cual no es apta para ser utilizada como un elemento estructural, de acuerdo a la resistencia nominal solicitada.

8. A partir de los datos encontrados se determina que en la muestra No 4 (Adición de poliestireno expando al 2%), tiene una resistencia a la flexión en promedio de 29 Kg/m² la cual no es apta para ser utilizada como un elemento estructural, de acuerdo a la resistencia nominal solicitada.

11.3 ENSAYO PARA ESTABLECER EL RENDIMIENTO, LA MASA UNITARIA Y EL CONTENIDO DE AIRE DEL CAC Y LIGERO

1. De acuerdo a los resultados hallados se puede determinar que la Masa unitaria del concreto (Muestra No 1 Testigo), se encuentra dentro del rango promedio de un concreto mezclado para obra el cual es de 2400 Kg/m³.
2. A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1905 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado satisfactorio.
3. A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1873 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado dentro del límite para ser catalogado como concreto ligero.
4. A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1859 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado dentro del límite para ser catalogado como concreto ligero.
5. Se determina que a mayor porcentaje de poliestireno expandido disminuye así mismo la masa unitaria de la muestra de concreto.

11.4 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RELACIÓN DE POISSON Y EL MÓDULO ELASTICO DEL CAC Y LIGERO

1. De acuerdo a los datos encontrados se establece una conexión entre el módulo de elasticidad encontrado al expresado por la norma NSR-10 para el agregado grueso de origen metamórfico con masa unitaria definida, la cual se define mediante la ecuación presentada a continuación

Ecuación 41 Modulo de elasticidad - NSR-10

$$E_c = W_c^{1.5} * 0.041 * \sqrt{f'_c}$$

Tabla 117 Modulo de elasticidad teórico vs experimental

No de Muestra	Módulo de elasticidad Práctico (MPa)	Masa unitaria (Kg/m ³)	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de elasticidad teórico NSR-10
Muestra No 1 (Testigo)	16578	2364	24,396	23276,32312
Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido)	15897	1904	22,815	16273,92302
Muestra No 2 (1.5% de poliestireno expandido)	15559	1873	22,82	15872,81433
Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido)	11559	1859	15,635	12989,77667

2. A partir de la comparación realizada se puede determinar que el Módulo elástico encontrado para la Muestra No 1 testigo tiene una diferencia del 29% la cual es un resultado bastante alto frente al teórico.
3. Sin embargo, la muestra No 2 (1% de poliestireno expandido) presenta una diferencia de 2% la cual es un resultado aceptable frente a las evaluaciones teóricas del (CAC).
4. De acuerdo a los datos encontrados se determina que la Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido) tiene una diferencia con el Módulo de elasticidad teórico del 9%, el cual es menor que el módulo de elasticidad de la muestra No1 testigo.
5. A partir de los productos obtenidos se puede establecer que la Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido) tiene una diferencia con el Módulo de elasticidad teórico del 11%, el cual es menor que el módulo de elasticidad de la muestra No 1 testigo y mayor que las demás muestras de mezclas de (CAC) ligero.
6. Se determina que el Módulo elástico teórico es un aproximamiento al Módulo real elástico encontrado por el método práctico y sencillamente es una base para poder continuar con los análisis estructurales sin tener que realizar los ensayos del concreto que se vaya a utilizar en el proyecto.
7. Se evidencia que la relación entre el módulo elástico y la resistencia a la compresión se mantienen, es decir a mayor resistencia a la compresión se obtuvieron mayores productos en el módulo de elasticidad.
8. Es de notar que el módulo de elasticidad que más se acercó al módulo de elasticidad teórico es la muestra con 1% de poliestireno expandido, y a medida que se aumentaba la adición de poliestireno iba aumentando la diferencia con el teórico.

11.5 ENSAYO PARA ESTABLECER LA RESISTENCIA DEL CAC Y LIGERO A LA PENETRACION DE IONES CLORURO

Los resultados se evalúan a partir de la tabla No X1.1 de la Norma ASTM-C1202

Penetrabilidad de iones cloruro	
Base de carga de paso	
Paso de Carga (Coulomb)	Penetrabilidad de iones cloruro
>4000	Alto
2000-4000	Moderado
1000-2000	Bajo
100-1000	Muy bajo
<100	No legible

3. De acuerdo a los datos encontrados se determina que las tres muestras se encuentran en el rango de 1000-2000 Coulomb, por lo tanto, la penetración de ion cloruro para las mezclas de concreto ensayadas es baja por lo tanto se considera que no va a tener un riesgo significativo a la exposición de ion cloruro en diferentes ambientes.

4. Adicionalmente se puede evidenciar que a mayor porcentaje de poliestireno expandido el porcentaje de iones cloruro va disminuyendo, se puede inferir que el poliestireno expandido no permite el paso o la exposición de iones cloruro en el (CAC).

11.1 ENSAYO PARA ESTABLECER LA CARBONATACION EN EL CAC Y LIGERO

1. Se aprovechan las muestras falladas para realizar el ensayo a carbonatación, verificando la penetración a través de las caras ya fracturadas por el ensayo a compresión
2. De acuerdo a los datos obtenidos se puede establecer que las muestras ensayadas no tienen presencia de carbonatación debido a que la penetración es muy baja y el cambio de pH no es considerable.
3. Debido a que las muestras de concreto no presentan ninguna afectación por carbonatación se puede determinar que no necesitan tratamientos adicionales para evitar la oxidación y corrosión del refuerzo del mismo, con el fin de evitar disminuir la durabilidad del concreto, así como inhibidores de corrosión o tratamientos de hidrófugos a los elementos estructurales.

12. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Objetivo propuesto No 1.

Evaluar el comportamiento reológico del concreto autocompactante y ligero a partir de ensayos de laboratorio, con la finalidad de evaluar y analizar la deformación y el flujo de las mezclas con diferentes porcentajes de poliestireno expandido.

Cumplimiento del Objetivo

Se determina el comportamiento y la fluidez o capacidad de fluir y pasar a través del acero de refuerzo en elementos estructurales del (CAC) ligero a partir de los ensayos realizados en el capítulo 6 Ensayos del concreto ligero y autocompactante en estado fresco, los cuales se pueden evidenciar en la **Tabla 67**

De acuerdo a la muestra testigo se determina que las propiedades de escurrimiento cumplen con las características para ser utilizada como una mezcla de concreto ligero y autocompactante en muros y columnas, debido a que su viscosidad está en un rango medio se determina que puede ser utilizada en estructuras muy armadas, debido a que la viscosidad dio como resultado que se encuentra en un intermedio puede evitar segregaciones en su fundida en elementos estructurales.

A partir de los resultados obtenidos en la muestra con adición de 1% de poliestireno expandido se puede determinar que por escurrimiento cumple con las características de un concreto autocompactante que puede ser utilizado en muros y columnas de concreto con altas cuantías de acero de refuerzo y que a partir de su viscosidad intermedia puede ser usada en elementos estructurales con altas cuantías de acero.

A partir de los resultados obtenidos en la muestra con adición de 1.5% de poliestireno expandido se puede determinar que por escurrimiento cumple con las características de un concreto autocompactante que puede ser utilizado en muros y columnas de concreto con altas cuantías de acero de refuerzo y que a partir de su viscosidad intermedia puede ser usada en elementos estructurales con altas cuantías de acero.

De la muestra con contenido de 2% de poliestireno expandido se puede determinar que tiene un escurrimiento más alto que las demás muestras, lo que da a entender que el poliestireno hace que el concreto pierda propiedades de manejabilidad y fluidez, por lo tanto, según la Tabla No 56 debe ser utilizada en losas o elementos estructurales con estructuras con aceros de refuerzo de cuantías media.

La viscosidad da como resultado 10.5 segundos por lo tanto se puede determinar que es un concreto que puede ser utilizado para mejorar la resistencia a la segregación y no puede ser usado para elementos estructurales con altas cuantías de acero de refuerzo

1. Metodología para determinar el flujo libre, restringido y la segregación en concretos autocompactantes

Se determina que el concreto autocompactante sin adición de poliestireno expandido cumple con la fluidez para ser un concreto autocompactante, debido a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra testigo sin porcentaje de poliestireno expandido cumple con la relación para ser concreto autocompactante.

La muestra No 1 testigo da como diferencia 10 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.

Se determina que el concreto autocompactante con adición de 1% de poliestireno expandido, tiene una fluidez más alta que el concreto sin adición y por lo tanto cumple con la fluidez necesaria para ser un concreto autocompactante, debido a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 2 con poliestireno expandido al 1% cumple con la relación para ser concreto autocompactante y es el concreto que más demuestra fluidez en el ensayo.

La muestra No 2 Poliestireno a 1% da como diferencia 6 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.

Se determina que la muestra de concreto autocompactante con adición de 1.5% de poliestireno expandido, tiene una fluidez alta y cumple para ser un concreto autocompactante, sin embargo, se puede determinar que el poliestireno expandido en mayores cantidades al 1% pierde fluidez, debido a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 3 con poliestireno expandido al 1.5% cumple con la relación para ser concreto autocompactante, sin embargo, esta en el límite del criterio de aceptación.

La muestra No 3 Poliestireno a 1.5% da como diferencia 12.5 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria con resultado bloqueo no visible.

Se determina que la muestra de concreto autocompactante con adición de 2% de poliestireno expandido, tiene una fluidez alta y cumple para ser un concreto autocompactante, sin embargo, a partir de los resultados obtenidos podemos notar en una disminución considerable de la fluidez con respecto a las muestras de 1.5% y 1% de poliestireno expandido, debido a que la relación entre (H_x/h_o) debe estar entre el margen de 0.8 - 1 para ser criterio de aceptación para ser considerado como autocompactante, la muestra No 4 con poliestireno expandido al 2% cumple con la relación para ser concreto autocompactante, sin embargo, esta muestra se encuentra a un 2% de error de ensayo de no considerarse un concreto autocompactante por el ensayo.

La muestra No 4 Poliestireno a 2% da como diferencia 12.5 mm debido a que para considerarse un concreto autocompactante necesita estar en el rango 0 a 25 mm podemos considerar que la muestra testigo da como resultado ser una mezcla de concreto autocompactante satisfactoria, con resultado bloqueo no visible, pero estando demasiado cerca de presentar un mínimo bloqueo de acuerdo a la Tabla 63 de la Norma ASTM (C1621).

De acuerdo a los datos encontrados se puede establecer que las mezclas de concreto dan satisfactoriamente como concreto autocompactante y que la muestra No 2 con poliestireno expandido al 1% es la muestra que más presenta fluidez.

Objetivo propuesto No 2.

Determinar la variación del peso de las muestras diseñadas de concreto autocompactante y ligero con diferentes porcentajes de poliestirenos expandidos los cuales son (1%, 1.5% y 2%), con respecto al concreto de la muestra testigo.

Cumplimiento del Objetivo

Se determina el peso de las muestras de concreto a través del ensayo Método de ensayo para determinar la masa unitaria, el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto (NTC 1926) realizado en el capítulo 7 Ensayos en estado endurecido, en el cual se determinan los siguientes parámetros para las tres mezclas con adición de poliestireno expandido y para la muestra testigo

1. Masa neta del concreto (Kg)
2. Masa unitaria del concreto (kg/m^3)
3. Masa total de los materiales por batchada (Kg)
4. Masa unitaria del concreto

De acuerdo a los datos encontrados se puede establecer que la Masa unitaria del (CAC) (Muestra No 1 Testigo), se encuentra dentro del rango promedio de un concreto mezclado para obra el cual es de 2400 Kg/m³.

A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1905 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado satisfactorio.

A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 3 (1.5% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1873 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un

concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado dentro del límite para ser catalogado como concreto ligero.

A partir de los resultados obtenidos para la Muestra No 4 (2% de poliestireno expandido), se encuentra una masa unitaria de 1859 kg/m³ el cual se encuentra en el rango de un concreto ligero de 1800 Kg/m³ a 2000 Kg/m³, obteniendo un resultado dentro del límite para ser catalogado como concreto ligero.

Se determina que a mayor porcentaje de poliestireno expandido disminuye así mismo la masa unitaria de la muestra de concreto.

Objetivo propuesto No 3.

Evaluar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y ligero con diferentes porcentajes de poliestirenos expandidos (1%, 1.5% y 2%), a partir de los ensayos de laboratorio propuestos por la normatividad vigente.

Se determina la resistencia a la compresión del (CAC) ligero y autocompactante a partir del ensayo de resistencia a la compresión (NTC 673-210) presentado en el capítulo No 7 ensayos al concreto endurecido:

1. Muestra No 1 testigo
2. Muestra No 2 Mezcla de concreto ligero y autocompactante con 1% de poliestireno expandido
3. Muestra No 3 Mezcla de concreto ligero y autocompactante con 1.5% de poliestireno expandido
4. Muestra No 4 Mezcla de concreto ligero y autocompactante con 2% de poliestireno expandido

En los cuales Se realiza un análisis de 128 cilindros distribuidos de a 32 muestras por cada mezcla de concreto, los cuales se fallaron a compresión y se analizó el tipo de falla que presentaba al llegar al límite de resistencia de cada muestra de concreto autocompactante y ligero.

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 1 es de: 3538 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 a 3500 Psi de resistencia solicitada

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 2 con adición de poliestireno expandido de 1% es de: 3300 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 Psi de resistencia solicitada

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 3 con adición de poliestireno expandido de 1.5% es de: 2651 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 4 con adición de poliestireno expandido de 2% es de: 2402 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.

A partir de los resultados obtenidos, se determina que la muestra No 2 con adición de poliestireno expandido tiene una resistencia muy similar a la muestra sin adiciones llegando a un porcentaje promedio del 94% de la resistencia a la compresión de la muestra testigo, por lo tanto, es una proporción ideal para utilizar en las mezclas de concreto ligero estructural.

Se puede inferir a grandes rasgos que al aumentar la proporción de adición disminuye considerablemente la resistencia del concreto, como se puede evidenciar en las muestras No 3 y No 4 ya que al adicionar el porcentaje adicional de poliestireno expandido disminuye la resistencia de los concreto.

13. CONCLUSIONES

1. AGREGADO FINO

De acuerdo a los ensayos realizados en el agregado fino se analizan los resultados de la Tabla 5 Resumen de resultados coeficientes granulométricos materiales analizados, la arena utilizada es uniforme y bien gradada, por lo tanto, la arena utilizada para el diseño de mezcla, es una arena adecuada para ser utilizada como agregado fino en mezclas de concreto estructural convencional.

De acuerdo a las delimitaciones dadas por del Artículo 630 de la norma Invías 2012, se tienen las siguientes especificaciones para el agregado fino en mezclas de concreto estructural convencional.

Tabla 118 Granulometría del agregado fino para concreto estructural-Adoptado de: Artículo 630 Invías 2012)

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
PORCENTANJE QUE PASA (%)							
UNICA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10
Resultado	100	97	94	85	34	13	4
Cumplimiento	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple	cumple

Por lo tanto, la granulometría del agregado fino cumple con las especificaciones dadas por el Artículo 630 de la norma Invías 2012.

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO	resultado	Análisis de resultados
Porcentaje máximo part liv. (%)	E-221	0,5	0,10%	Cumple con la especificación
Material que pasa el Tam de 75 um Porcentaje máximo %	E-214	5	1.2%	Cumple con la especificación
Contenido de material orgánica (F)				
Oscuridad permisible	INV E-212	Igual a Muestra Patrón	CUMPLE	Cumple con la especificación

Tabla 119 Requisitos del agregado fino-Fuente: Artículo 630 Invías 2012)

A partir de los datos encontrados, en el agregado fino empleado en la investigación se puede concluir que la arena cumple las cualidades de uniformidad y gradación para ser utilizada en concretos estructurales y que es un agregado adecuado para realizar los diseños de mezcla de los concretos autocompactantes y ligeros.

A partir de los resultados obtenidos por granulometría y por partículas livianas obtenemos los siguientes parámetros a partir del Artículo 630 de la norma Invías 2012.

2. AGREGADO GRUESO

De acuerdo a los resultados encontrados en los ensayos y los laboratorios realizados al agregado grueso los cuales evidencian en la Tabla 5 Resumen de resultados coeficientes granulométricos materiales analizados, se tiene una grava uniforme y bien gradada, por lo tanto, es apta para ser utilizada en el diseño de la mezcla y en la mezcla de concreto autocompactante y ligero.

De acuerdo a las especificaciones del Artículo 630 de la norma Invías 2012, se tienen las siguientes especificaciones para el agregado fino en concreto estructural convencional.

Tabla 120 Requisitos del agregado grueso-Fuente: Artículo 630 Invías 2012)

REQUISITO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO		
Dureza (O)	E-218		Resultado	Análisis de resultados
Porcentaje máximo de desgaste (%)				
500 RV Max (%)		40	25,00%	Cumple con la especificación
100 RV Max (%)		8	4%	Cumple con la especificación
Porcentaje de pat liv Max (%)		1,0	0,02%	Cumple con la especificación
Geometría de las partículas (F)				
Porcentaje de alargamiento Max (%)	E-230	25	19,2	Cumple con la especificación
Porcentaje de aplanamiento Max (%)	E-230	25	29,9	No Cumple con la especificación

A partir de las especificaciones dadas por el Artículo invías se puede definir que no cumple con el porcentaje de índice de aplanamiento, por lo tanto, con la finalidad de evitar disminución excesiva de su resistencia o de la durabilidad del mismo se realiza una extracción de las partículas planas del agregado grueso.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm/ U.S Standard)								
	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36
	2,5"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8
	PORCENTAJE QUE PASA (%)								
AG-19	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
AG-25	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-10	0-5
AG-38	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG-50-1	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
AG-63-1	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
AG-50-2	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
AG-63-2	100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-

A partir de las franjas granulométricas se puede especificar que el agregado grueso pertenece a una gradación AG-19, la cual es una gradación adecuada para establecer el diseño de mezcla de (CAC) ligero.

3. ROCA PUMITA

Evaluando los productos obtenidos en los ensayos realizados para esta investigación al agregado grueso los cuales evidencian en la Tabla 5 Resumen de resultados coeficientes granulométricos materiales analizados, se tiene una roca pumita uniforme y bien gradada, por lo tanto, es apta para ser utilizada en el diseño de mezcla y en la mezcla de concreto autocompactante y ligero.

A partir de las franjas granulométricas se puede especificar que la roca pumita pertenece a una gradación AG-19, la cual es una gradación adecuada para establecer el diseño de (CAC) ligero.

Es posible establecer que la roca pumita es un agregado que aporta una gradación uniforme, que es una roca con una densidad baja, adecuada para obtener un concreto ligero.

4. DENSIDAD Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

En base a los ensayos de densidad y absorción se obtiene la siguiente tabla resumen de resultados.

Tabla 121 Resumen de resultados (Densidad y absorción)-Fuente: Propia

ARENA		GRAVA		ROCA PUMITA	
Densidad aparente	2,57	Ds Bulk	2,63	Ds Bulk	0,69
Densidad aparente (Base sss)	2,61	Ds Aparente (S y Sup Seca)	2,65	Ds Aparente (S y Sup Seca)	1,15
Densidad Nominal	2,67	Ds Nominal	2,69	Ds Nominal	1,27
Absorción %	1,42%	Absorción %	0,91%	Absorción %	66,51%

Nota: Las Unidades en la tabla que hacen referencia a la densidad están en (g/cm^3)

A partir de los productos establecidos en la Tabla 128, se establece que son adecuados para realizar el diseño de mezcla, sin embargo, es de notar que la roca pumita es un agregado que tiene una densidad demasiado baja para ser un agregado adecuado para el concreto, por lo tanto, debe tener una dosificación que lo único que aporta en la mezcla es disminuir la densidad del concreto disminuyendo la cantidad de grava del concreto.

5. DISEÑO DE MEZCLA

De acuerdo a inconvenientes encontrados en el diseño de mezcla de (CAC) en la experimentación se establece que es necesario contar con el adecuado espacio para elaborar las mezclas de CAC debido a la sensibilidad de las dosificaciones, así como las condiciones ambientales a las que se vayan a disponer las mezclas de ensayo, debido a las dificultades presentadas fue necesario evaluar una cantidad alta de mezclas con la finalidad de determinar adecuadamente los parámetros evaluados en los ensayos a concreto en estado fresco.

Al realizar la evaluación de las diferentes mezclas se obtienen las dosificaciones optimas ver tabla 63 Resumen Diseños de mezcla, en función de las propiedades reológicas del concreto autocompactante y que tuvieran la proporción adecuada de poliestireno expandido para ser un concreto ligero.

6. REOLOGÍA DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE Y LIGERO

Evaluando los productos hallados en la **Tabla 67**, se establece que las mezclas de (CAC) ligero tienen las características para ser utilizados en muros y columnas de concreto para edificaciones.

A partir de los productos encontrados en los laboratorios realizados de flujo libre y restringido de las mezclas de concreto, se determina que las mezclas de concreto autocompactante tienen resultados satisfactorios y cumplen con las condiciones para ser utilizados en obras con necesidades de esta mezcla.

7. RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

A partir de los productos hallados en las mezclas de concreto sometidas a compresión presentadas en el grafico 48 Resumen de resultados de todas las muestras a diferentes edades Se evalúa que:

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 1 es de: 3538 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 a 3500 Psi de resistencia solicitada, en comparación con la resistencia promedio de la Muestra No 2 con adición de poliestireno expandido de 1% es de: 3300 Psi, la cual cumple con las especificaciones para las cuales se diseñó y es adecuada para su uso en concretos estructurales de 3000 Psi de resistencia solicitada.

Evaluando la resistencia promedio de la Muestra No 3 con adición de poliestireno expandido de 1.8%, se establece que su resistencia promedio a 28 días es de: 2651.5 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.

Se determina que la resistencia promedio de la Muestra No 3 con adición de poliestireno expandido de 2% es de: 2402 Psi, por lo tanto, la muestra no es adecuada para la especificación técnica exigida y su resistencia no es adecuada para ser usada en elementos estructurales.

A partir de los resultados obtenidos, se determina que la muestra No 2 con adición de poliestireno expandido tiene una resistencia muy similar a la muestra sin adiciones llegando a un porcentaje promedio del 94% de la resistencia a la compresión de la muestra testigo, por lo tanto, es una proporción ideal para ser usadas en mezclas (CAC) ligero y estructural.

Las muestras No 3 y No 4 se descarta debido a que no son mezclas adecuadas para realizar concreto estructural y sus especificaciones no cumplen con los requerimientos solicitados.

Por lo tanto, la mezcla No 2 es la más adecuada para ser utilizada en obras con necesidades de un concreto autocompactante y ligero con resistencias en el rango de 3000 a 3300 Psi.

8. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Evaluando los productos hallados en los ensayos de la resistencia a la flexión se determina que las Muestras 1 y 2 cumplen la resistencia Nominal dada la cual es de $41Kg/cm^2$, pero las Muestras 3 y 4 se encuentran por debajo de la resistencia nominal entre un 22% y 33% por lo tanto no cumplen las características para ser utilizadas en concretos estructurales. Ver Tabla 100

9. MASA UNITARIA

A partir de los productos encontrados por el ensayo de masa unitaria se determina que la mezcla de concreto más adecuada para ser un concreto ligero es la muestra No 2, ver Tabla 102 Resumen de resultados muestra No 2.

La masa unitaria de la Muestra No 2 (1% de poliestireno expandido es de 1904 Kg/m³), la cual adicionalmente tiene la resistencia adecuada para ser considerada una mezcla de concreto estructural ligero.

10. MÓDULO DE ELASTICIDAD.

De acuerdo con el ensayo para obtener el módulo elástico se establece que la Muestra No 2 tiene una diferencia mínima con el módulo elástico teórico hallado mediante la ecuación dispuesta por la NSR-10.

Se evidencia que la relación entre el módulo elástico y la resistencia a la compresión son consecuentes, es decir a mayor resistencia a la compresión se obtuvieron mayores resultados en el módulo de elasticidad.

11. PENETRACIÓN ION CLORURO

Evaluando resultados hallados en el ensayo de penetración de iones cloruro en las mezclas de (CAC) ligero, se determina que los agregados utilizados y las adiciones de la mezcla no presentan riesgo a la penetración de iones cloruro en diferentes ambientes.

12. CARBONATACIÓN

De acuerdo al ensayo de carbonatación realizado a las mezclas de concreto las muestras de concreto no presentan longitudes de carbonatación penetradas, por lo tanto, no se considera un riesgo para las estructuras construidas a partir de los materiales utilizados para este diseño de mezcla.

13. CONCLUSIONES A LA MUESTRA OPTIMA DE CONCRETO LIGERO Y AUTOCOMPACTANTE (MUESTRA No 2 ADICION DE 1% DE POLIESTIRENO EXPANDIDO).

De acuerdo a los productos encontrados en la presente investigación se puede obtener que la dosificación idónea para la mezcla de (CAC) ligero a base de poliestireno expandido es la Mezcla No 2 con 1% de poliestireno expandido, la cual se concibe autocompactante a partir del uso de 1.95 Kg/m³ de Plastol Hr/Df de Toxement, la cual cumple con las especificaciones para adecuar la fluidez de la mezcla y se determina como adecuada.

Tabla 122 Mezcla más adecuada para concreto ligero y autocompactante-Fuente: Propia

DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1%)	
MATERIAL	PESO (Kg/m ³)
Cemento (cemex ART)	430
Agua	157,95
Arena Rio	660
Grava (3/4")	520
Grava Pumita	35,1
Poliestireno (1%)	1,5
Plastol Hr/Df (toxement)	1,95
Aire	4%
TOTAL	1806,50

La resistencia a la compresión de la mezcla de concreto (Muestra No 2 1% de poliestireno expandido) da en promedio 3300 Psi, la cual es una resistencia satisfactoria y superior a la buscada, realizando una comparación entre la resistencia promedio de la muestra de concreto ligero escogida y la muestra testigo sin porcentaje de poliestireno, se puede determinar que la diferencia entre las resistencias no es significativa en comparación con las resistencias nominales obtenidas.

La resistencia a la flexión obtenida de la mezcla de concreto (Muestra No 2 1% de poliestireno expandido), es de 652.7 Psi, la cual se considera adecuada de acuerdo a las dimensiones del espécimen fallado para obtener el ensayo.

Tabla 123 Comparación de costos Muestra testigo y Muestra no 2 1% de poliestireno expandido-
Fuente: propia

Comparación de precios							
DISEÑO DE MEZCLA (Testigo)				DISEÑO DE MEZCLA Poliestireno (1%)			
MATERIAL	PESO (Kg/m3)	Valor unitario	Valor total	MATERIAL	PESO (Kg/m3)	Valor unitario	Valor total
Cemento (cemex)	420	576,471	\$ 242.117,82	Cemento (cemex ART)	430	576,471	\$ 247.882,53
Agua	157,95	25,00	\$ 3.948,75	Agua	157,95	25,00	\$ 3.948,75
Arena Rio	750	63,3	\$ 47.475,00	Arena Rio	660,00	63,3	\$ 41.778,00
Grava (3/4")	620	43	\$ 26.660,00	Grava (3/4")	520,00	43	\$ 22.360,00
Grava Pumita	0	3000	\$ -	Grava Pumita	35,1	3000	\$ 105.300,00
Poliestireno	0	18750	\$ -	Poliestireno (1%)	1,50	18750	\$ 28.125,00
Plastor Hr/Df (toxeme)	1,95	8800	\$ 17.160,00	Plastor Hr/Df (toxement)	1,95	8800	\$ 17.160,00
Aire	4%	0,00	\$ -	Aire	4%	0,00	\$ -
TOTAL	1949,90	TOTAL	\$ 337.361,57	TOTAL	1806,50	TOTAL	\$ 466.554,28

1. A partir de la mezcla de concreto encontrada se determina una comparación de precios por metro cubico, respecto al concreto tradicional Autocompactante.
 - Por lo tanto, para realizar la mezcla de concreto Autocompactante convencional se necesitan \$337.361,57 en materias primas (**Trescientos treinta y siete mil trescientos sesenta y un con cincuenta y siete centavos M/CTE**).
 - Para realizar la mezcla de concreto autocompactante ligero con 1% de poliestireno expandido se necesitan \$466.554,28 pesos **M/CTE**)
 - A partir de los resultados obtenidos se determina una diferencia de \$129.192,71 (**Ciento veintinueve mil ciento noventa y dos con setenta y un centavos M/CTE**).
2. A pesar de ser una diferencia significativa el concreto ligero da cualidades en el diseño de una estructura las cuales son:
 - Disminución considerable del peso total de los elementos estructurales (vigas, Columnas y placas).
 - A partir de la disminución de cargas en las estructuras pueden disminuir las secciones de los elementos estructurales necesitando menos cantidad de concreto en los elementos estructurares.

- Disminución de las reacciones sísmicas y cortante basal en las estructuras de concreto, reduciendo los costos en cimentación de concreto.
 - Disminución de las dimensiones en cimentación, debido a que al reducir las cargas transmitidas al suelo se pueden optimizar el tamaño de las cimentaciones (cimentaciones superficiales y profundas).
 - Al contar con porcentajes de poliestireno expandido la estructura va a tener mejores comportamientos acústicos y térmicos.
3. Al realizar la comparación costo beneficio de la estructura en concreto convencional, con la estructura en concreto ligero y autocompactante se puede determinar que la estructura en concreto ligero va a tener mejores resultados económicos y en optimización de tiempos de obra, al tener secciones más reducidas y menores cantidades de concreto.

14. RECOMENDACIONES

1. Al realizar la mezcla de concreto ligero se debe tener definidas las dosificaciones de poliestireno expandido, así como las de roca Pumita, debido a que un cambio mínimo en la mezcla puede afectar en gran impacto la densidad y la resistencia de la misma.
2. Se recomienda utilizar una gradación adecuada de los agregados debido a que tanto los agregados finos como los gruesos influyen en la homogeneidad y resistencia del concreto obtenido.
3. Se recomienda verificar las calidades de los agregados previos a realizar la mezcla de concreto, debido a que sus diferentes características pueden afectar significativamente el comportamiento del (CAC) ligero en resistencia y durabilidad.
4. Se debe determinar el adecuado diseño de mezcla de concreto autocompactante a partir de los agregados suministrados, debido a que es una mezcla que se debe evaluar con prioridad debido a su alta sensibilidad a los errores o condiciones del espacio donde se realice la muestra.

15. BIBLIOGRAFÍA

- ACI, A. C. (2004). *ACI 211.2-98 - Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*.
- ACI, A. C. (2007). *ACI 237R-07 - SELF CONSOLIDATING CONCRETE*. Emerging Technology Series.
- ASTM, C. -1. (2012). *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. ASTM Int'l.
- ASTM, C. -1. (2019). *ASTM 1611/C1611M - 18 - Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. ASTM Int'l.
- ASTM, C. -1. (2019). *ASTM C138/C138M - 17a - Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*. ASTM Int'l.
- ASTM, C.-1. (2019). *Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring*. ASTM Int'l.
- GUZMÁN, D. S. (2001). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. BHANDAR EDITORES.
- ICONTEC, I. C. (1994). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 130 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método de ensayo para la determinación de partículas livianas en los agregados*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1994). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 77 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 129 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Práctica para la toma de muestras de agregados*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 176 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1926 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método para determinar la masa unitaria, rendimiento y contenido de aire por gravimetría del concreto*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 237 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados*. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.
- ICONTEC, I. C. (1995). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 93 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados*.

- gruesos mayores de 19 mm, utilizando la máquina de los ángeles. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- ICONTEC, I. C. (1997). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 111 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- ICONTEC, I. C. (1997). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 33 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Método para determinar la finura del cemento hidráulico por medio del aparato blaine de permeabilidad al aire. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- ICONTEC, I. C. (1998). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 118 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Cementos. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de vicat. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- ICONTEC, I. C. (1999). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 221 - INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA - Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- ICONTEC, I. C. (2000). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 127 - Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2003). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5222 - Concretos. Métodos de ensayo para medir el flujo libre, flujo restringido y segregación en concretos autocompactantes. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2004). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 220 - Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2004). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2871 - Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2006). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4025 - Concretos. Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y la relación de POISSON en concreto a compresión. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2010). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 673 - Concretos. Ensayo de Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2014). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 121 - Especificación de desempeño para cemento hidráulico. Santafé de Bogotá D.C.*
- ICONTEC, I. C. (2019). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 78 - Método de ensayo para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 μ m (No. 200) en agregados minerales. Santafé de Bogotá D.C.: Ingeniería Civil y Arquitectura.*
- INVIAS, I. N. (2007). *I.N.V. E - 227 - 07 - Porcentaje de caras fracturadas en los agregados. Bogotá D.C.*
- INVIAS, I. N. (2007). *I.N.V. E - 230 - 07 - Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras. Bogotá D.C.*

INVIAS, I. N. (2013). *CONCRETO ESTRUCTURAL / ARTÍCULO 630-13 - Estructuras y Drenajes*. Bogotá D.C.