

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE EL COSTO, PESO UNITARIO, ASENTAMIENTO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN UN CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Kevin David Chuquizapon Suarez
Christian Ayrton Max Ibañez Moreno

Asesor:

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

- ✓ A Dios, quién fue el creador de todas las cosas, por darme la vida, salud y oportunidad de realizar este proyecto, que siempre está conmigo para lograr todas mis metas proyectadas.
- ✓ A mis padres, quiénes día a día lucharon por darme lo mejor, ellos que siguieron adelante y derrumbaron barreras para darme la educación, les agradezco por enseñarme que uno nunca debe tener límites, y nunca retroceder.
- ✓ A mis hermanos Cesar y Helen, y a mi prima Marjorie, quiénes me apoyaron incondicionalmente.
- ✓ A mi mamá Rosario, quién fue una abuela única e incondicional y por darme los mejores momentos de mi niñez.
- ✓ A mis sobrinos Luhana y Zayd, quiénes siempre me sacan una sonrisa en el peor momento en el que esté, gracias por estar conmigo mis traviesos.

- Kevin David Chuquizapon Suarez

- ✓ A Dios, que me dio las fuerzas para seguir adelante y por permitirme continuar con este proyecto.
- ✓ A mis padres, que con todo amor y esfuerzo me apoyaron hasta cumplir mis metas, ellos quiénes me aconsejaron para siempre hacer lo correcto.
- ✓ A mi hermano Boris, que me acompañó en este camino de la vida, gracias por estar siempre conmigo.

- Christian Ayrton Ibañez Moreno

AGRADECIMIENTO

- ✓ A nuestros familiares, gracias por su apoyo incondicionalmente.
- ✓ A nuestro asesor Wiston Azañedo Medina, por compartir sus conocimientos con nosotros para la elaboración de este proyecto, gracias de todo corazón por permitirnos ser sus tesis.
- ✓ A la Universidad Privada del Norte, Facultad de ingeniería, por permitirnos estudiar en su prestigiosa Universidad la carrera de Ingeniería Civil y poder lograr nuestros objetivos. Así también agradecemos a todos los docentes que formaron parte de nuestra enseñanza para ser unos profesionales de calidad y con capacidad.
- ✓ A nuestros amigos, quiénes confiaron y creyeron en nosotros durante el desarrollo de la tesis.

Gracias a todos (as).

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Justificación	22
1.4. Objetivos.....	24
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	24
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	24
1.5. Hipótesis	24
1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	24
1.5.2. <i>Hipótesis específicas</i>	24
1.6. Antecedentes	25
1.6.1. <i>Nivel Internacional</i>	25
1.6.2. <i>Nivel Nacional</i>	28
1.6.3. <i>Nivel Local</i>	32
1.7. Bases teóricas.....	35
1.7.1. <i>Concreto</i>	35
1.7.2. <i>Concreto ligero estructural</i>	56
1.7.3. <i>Poliestireno expandido</i>	61
1.7.4. <i>Losas aligeradas</i>	72
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	74
2.1. Operacionalización de variables	74
2.2. Tipo de investigación	75
2.3. Unidad de estudio, población y muestra	75
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	77
2.5. Procedimiento	83
2.6. Aspectos éticos	104

CAPÍTULO III. RESULTADOS	105
3.1. Caracterización de agregados	105
3.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012:2013	105
3.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012:2013	108
3.1.3. Contenido de humedad de los agregados según la norma NTP 339.185:2013	112
3.1.4. Peso unitario suelto y compactado de los agregados según la norma NTP 400.017:2011	112
3.1.5. Peso específico y absorción del agregado fino según la norma NTP 400.022:2013	114
3.1.6. Peso específico y absorción del agregado grueso según la norma NTP 400.021:2013	115
3.2. Diseño de mezcla según ACI 211	115
3.3. Determinación de porcentajes con perlas de poliestireno	119
3.4. Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de poliestireno	120
3.4.1. Perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m³	120
3.4.2. Perlas de poliestireno con densidad de 21.12 kg/m³	121
3.5. Ensayos al concreto en estado fresco	123
3.5.1. Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035:2009	123
3.5.2. Peso unitario del concreto según la norma NTP 339.046:2008	124
3.6. Ensayos al concreto en estado endurecido	125
3.6.1. Resistencia a compresión según la norma NTP 339.034:2015	125
3.6.2. Resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo según la norma NTP 339.078:2012	126
3.7. Análisis de costos	128
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	133
4.1. Discusión	133
4.1.1. Análisis granulométrico	133
4.1.2. Contenido de humedad de los agregados	134
4.1.3. Peso unitarios suelto y compactado de los agregados	135
4.1.4. Peso específico y absorción de los agregados	136
4.1.5. Diseño de mezcla	139
4.1.6. Asentamiento del concreto	140
4.1.7. Densidad del concreto en estado fresco	141
4.1.8. Resistencia a compresión	147
4.1.9. Resistencia a la flexión	155
4.3. Conclusiones	159
RECOMENDACIONES	163
REFERENCIAS	164
APÉNDICE	173
ANEXOS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Densidades del hormigón en kg/m^3 , según la edad, para cada porcentaje de sustitución.....	25
Tabla 2: Resistencia a compresión del hormigón en kg/cm^2 , según la edad, para cada porcentaje de sustitución....	26
Tabla 3: Peso unitario y resistencia a compresión promedio con porcentajes 30%, 50% y 70% de poliestireno.....	27
Tabla 4: Resistencia promedio a tracción por flexión con diferentes porcentajes de poliestireno.....	28
Tabla 5: Resistencia a compresión promedio de probetas patrón y con sustitución del agregado grueso por tecnopor en un 10% y 15%.....	29
Tabla 6: Asentamiento, resistencia a la flexión y compresión promedio a 28 días de curado.....	30
Tabla 7: Resistencia a la compresión y flexión a 28 días de curado.....	31
Tabla 8: Propiedades físicas y mecánicas del concreto a 28 días de curado.....	32
Tabla 9: Resistencia a compresión de probetas sin aditivos y con aditivos superplastificante.....	33
Tabla 10: Asentamiento, peso unitario y resistencia a compresión con diferentes porcentajes de perlas de poliestireno reciclado.....	34
Tabla 11: Husos granulométricos del agregado fino.....	36
Tabla 12: Husos granulométricos del agregado grueso.....	38
Tabla 13: Componentes principales del cemento portland.....	39
Tabla 14: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación.....	54
Tabla 15: Dosificación para hormigón liviano por m^3	58
Tabla 16: Estabilidad del EPS frente a sustancias activas.....	64
Tabla 17: Clasificación del EPS según la norma ASTM C578.....	65
Tabla 18: Tamaño de las perlas de EPS según el grado de expansión.....	66
Tabla 19: Agua absorbida por el EPS a los 7 y 28 días, para diferentes densidades.....	70
Tabla 20: Pesos unitarios de losas aligeradas en una sola dirección con respectivos espesores.....	73
Tabla 21: Operacionalización de variables.....	74
Tabla 22: Resistencia a compresión promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno.....	76
Tabla 23: Sumatoria de resistencias a compresión menos el promedio, al cuadrado.....	76
Tabla 24: Número de ensayos.....	78
Tabla 25: Técnicas, instrumentos y recolección de datos.....	81
Tabla 26: Formato para el análisis granulométrico del agregado fino.....	84
Tabla 27: Formato del análisis granulométrico para agregado grueso.....	85
Tabla 28: Formato de contenido de humedad para agregado fino y grueso.....	86
Tabla 29: Formato para el peso unitario suelto y compactado de los agregados.....	88
Tabla 30: Formato para el peso específico y absorción del agregado fino.....	90
Tabla 31: Formato para el peso específico y absorción del agregado grueso.....	92
Tabla 32: Cálculo de la resistencia promedio f'_{cr}	92
Tabla 33: Contenido de aire.....	92
Tabla 34: Volumen unitario de agua.....	93
Tabla 35: Relación agua-cemento por resistencia.....	93
Tabla 36: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	94
Tabla 37: Formato para el diseño de la mezcla en estado seco.....	95
Tabla 38: Formato para los materiales corregidos por humedad.....	96
Tabla 39: Formato para la proporción en peso por bolsa de cemento.....	96
Tabla 40: Formato para muestra piloto de concreto a base de perlas de poliestireno con 7.35 kg/m^3 a 7 días de curado.....	97
Tabla 41: Formato para muestra piloto de concreto a base de perlas de poliestireno con 21.12 kg/m^3 a 7 días de curado.....	97

Tabla 42: Formato para el diseño de mezcla con 2 densidades de tecnopor para los diferentes porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60%.....	97
Tabla 43: Formato para el ensayo de asentamiento del concreto.....	100
Tabla 44: Formato para el peso unitario del concreto fresco.....	101
Tabla 45: Formato para el ensayo de resistencia a compresión para concreto elaborados con dos densidades.....	102
Tabla 46: Formato para el ensayo de resistencia a la flexión para vigas elaboradas con dos densidades.....	104
Tabla 47: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 1.....	105
Tabla 48: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 2.....	106
Tabla 49: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 3.....	107
Tabla 50: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 1.....	109
Tabla 51: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 2.....	110
Tabla 52: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 3.....	111
Tabla 53: Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado fino.....	112
Tabla 54: Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado grueso.....	112
Tabla 55: Resultados del ensayo peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	113
Tabla 56: Resultados del ensayo peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.....	113
Tabla 57: Resultados del ensayo peso unitario suelto de las perlas y microperlas de poliestireno.....	114
Tabla 58: Resultados del ensayo peso específico y absorción del agregado fino.....	114
Tabla 59: Resultados del ensayo peso específico y absorción del agregado grueso.....	115
Tabla 60: Datos requeridos para el diseño de mezcla.....	115
Tabla 61: Diseño en estado seco del concreto.....	117
Tabla 62: Diseño corregido por humedad.....	118
Tabla 63: Proporción de diseño por bolsa de cemento.....	118
Tabla 64: Resistencia a compresión de las muestras pilotos con densidad 7.35 kg/m ³ de perlas de poliestireno.....	119
Tabla 65: Resistencia a compresión de las muestras pilotos con densidad 21.12 kg/m ³ de perlas de poliestireno.....	119
Tabla 66: Diseño de mezcla con el 15% de perlas de Poliestireno.....	120
Tabla 67: Diseño de mezcla con el 30% de perlas de Poliestireno.....	120
Tabla 68: Diseño de mezcla con el 45% de perlas de Poliestireno.....	121
Tabla 69: Diseño de mezcla con el 50% de perlas de Poliestireno.....	121
Tabla 70: Diseño de mezcla con el 60% de perlas de Poliestireno.....	121
Tabla 71: Diseño de mezcla con el 15% de perlas de Poliestireno.....	121
Tabla 72: Diseño de mezcla con el 30% de perlas de Poliestireno.....	122
Tabla 73: Diseño de mezcla con el 45% de perlas de Poliestireno.....	122
Tabla 74: Diseño de mezcla con el 50% de perlas de Poliestireno.....	122
Tabla 75: Diseño de mezcla con el 60% de perlas de Poliestireno.....	122
Tabla 76: Resultados de asentamiento del concreto con perlas de poliestireno con densidad 7.35 kg/m ³	123
Tabla 77: Resultados de asentamiento del concreto con perlas de poliestireno con densidad 21.12 kg/m ³	123
Tabla 78: Resultados del ensayo peso unitario del concreto con perlas de poliestireno de 7.35 kg/m ³ de densidad.....	124
Tabla 79: Resultados del ensayo peso unitario del concreto con perlas de poliestireno de densidad 21.12 kg/m ³	124
Tabla 80: Resistencia a compresión (kg/cm ²) de probetas con perlas de poliestireno densidad 7.35 kg/m ³	125
Tabla 81: Resistencia a compresión (kg/cm ²) de probetas con perlas de poliestireno densidad 21.12 kg/m ³	126
Tabla 82: Resultados de resistencia a la flexión (kg/cm ²) del concreto con perlas de poliestireno con una densidad de 7.35 kg/m ³	127
Tabla 83: Resultados de resistencia a la flexión (kg/cm ²) del concreto con perlas de poliestireno con una densidad de 21.12 kg/m ³	127
Tabla 84: Análisis de costos de un concreto convencional.....	128
Tabla 85: Análisis de costos de un concreto con perlas de poliestireno.....	129
Tabla 86: Análisis de costos de un concreto con microperlas de poliestireno.....	130
Tabla 87: Clasificación del concreto ligero.....	145
Tabla 88: Relación del módulo de rotura con la resistencia a compresión (%).....	156
Tabla 89: Nivel de confianza Z.....	173
Tabla 90: Densidad del concreto convencional (kg/m ³).....	173

<i>Tabla 91: Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 1</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 92: Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 2</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 93: Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 3</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 94: Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 1</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 95: Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 2</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 96: Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 3</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 97: Resistencia a compresión del concreto convencional</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 98: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 99: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 100: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 101: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 102: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 103: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 104: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 105: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 106: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 107: Resistencia a compresión del concreto ligero con el</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 108: Resistencia a la flexión del concreto convencional</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 109: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 110: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 111: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 112: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 113: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 114: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 115: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 116: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 117: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 118: Resistencia a la flexión del concreto ligero con el</i>	<i>186</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Comportamiento esfuerzo - deformación del EPS</i>	68
<i>Figura 2: Secuencia experimental</i>	82
<i>Figura 3: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 1</i>	106
<i>Figura 4: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 2</i>	107
<i>Figura 5: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 3</i>	108
<i>Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 1</i>	109
<i>Figura 7: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 2</i>	110
<i>Figura 8: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 3</i>	111
<i>Figura 9: Precio unitario de cada material por metro cúbico</i>	131
<i>Figura 10: Costos de concreto convencional y ligero por metro cúbico</i>	132
<i>Figura 11: Contenido de humedad (%) de los agregados</i>	135
<i>Figura 12: Peso unitario suelto y compactado de los agregados</i>	136
<i>Figura 13: Peso específico (kg/m³) de los agregados</i>	137
<i>Figura 14: Absorción de agregados (%)</i>	139
<i>Figura 15: Asentamiento del concreto convencional y con porcentajes de perlas de poliestireno</i>	141
<i>Figura 16: Peso unitario del concreto convencional y con porcentajes de perlas de poliestireno</i>	142
<i>Figura 17: Resistencia a compresión del concreto convencional y ligero</i>	147
<i>Figura 18: Punto de equilibrio del porcentaje óptimo con respecto a la resistencia y asentamiento del concreto</i> ..	149
<i>Figura 19: Módulo de rotura del concreto convencional y del concreto ligero</i>	155
<i>Figura 20: Cuarteo del agregado fino</i>	187
<i>Figura 21: Cuarteo del agregado grueso</i>	188
<i>Figura 22: Análisis granulométrico</i>	188
<i>Figura 23: Contenido de humedad</i>	188
<i>Figura 24: Peso unitario suelto del agregado fino</i>	188
<i>Figura 25: Peso unitario compactado del agregado fino</i>	188
<i>Figura 26: Peso unitario suelto del agregado grueso</i>	188
<i>Figura 27: Peso unitario compactado del agregado grueso</i>	188
<i>Figura 28: Peso unitario suelto de las perlas de poliestireno</i>	188
<i>Figura 29: Peso unitario suelto de las microperlas de poliestireno</i>	188
<i>Figura 30: Peso del molde + agua + vidrio para el volumen del recipiente</i>	188
<i>Figura 31: Prueba de humedad superficial del agregado fino</i>	188
<i>Figura 32: Peso de fiola + muestra sss del agregado fino + agua</i>	188
<i>Figura 33: Peso de la muestra sss del agregado fino</i>	188
<i>Figura 34: Muestra saturada superficialmente seca</i>	188
<i>Figura 35: Peso de la muestra suspendida en agua</i>	188
<i>Figura 36: Asentamiento del concreto convencional</i>	188
<i>Figura 37: Peso unitario del concreto convencional</i>	188
<i>Figura 38: Mezcla del concreto con microperlas de poliestireno</i>	188
<i>Figura 39: Asentamiento del concreto con perlas de poliestireno</i>	188
<i>Figura 40: Asentamiento del concreto con microperlas de poliestireno</i>	188
<i>Figura 41: Elaboración de probetas de 4x8 pulgadas</i>	188
<i>Figura 42: Elaboración de vigas de concreto 15x50 centímetros</i>	188
<i>Figura 43: Curado de probetas y vigas</i>	188
<i>Figura 44: Desmolde de probetas</i>	188
<i>Figura 45: Secado de probetas y vigas de concreto</i>	188
<i>Figura 46: Medición de probetas de concreto</i>	188

<i>Figura 47: Medidas al tercio medio de la viga de concreto.....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 48: Resistencia a compresión del concreto convencional</i>	<i>188</i>
<i>Figura 49: Resistencia a la compresión del concreto con perlas de poliestireno</i>	<i>188</i>
<i>Figura 50: Resistencia a la compresión del concreto con microperlas de poliestireno</i>	<i>188</i>
<i>Figura 51: Distribución de las perlas de poliestireno en la probeta de concreto en estado endurecido</i>	<i>188</i>
<i>Figura 52: Resistencia a la flexión del concreto con perlas de poliestireno.....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 53: Distribución de las perlas de poliestireno en la viga de concreto en estado endurecido</i>	<i>188</i>
<i>Figura 54: Distribución de las microperlas de poliestireno en el concreto en estado endurecido</i>	<i>188</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Tamaño de muestra</i>	75
<i>Ecuación 2: Fórmula para hallar el módulo de</i>	84
<i>Ecuación 3: Fórmula para hallar el módulo de finura del</i>	85
<i>Ecuación 4: Fórmula para hallar el</i>	86
<i>Ecuación 5: Fórmula para hallar el volumen del molde</i>	87
<i>Ecuación 6: Fórmula para</i>	88
<i>Ecuación 7: Fórmula para</i>	88
<i>Ecuación 8: Fórmulas para hallar la densidad seca, densidad SSS, densidad aparente y absorción del agregado fino</i>	90
<i>Ecuación 9: Fórmulas para hallar la densidad seca, densidad SSS, densidad aparente y absorción del agregado grueso</i>	91
<i>Ecuación 10: Fórmula para hallar la cantidad de cemento</i>	94
<i>Ecuación 11: Fórmulas para hallar el volumen absoluto de la pasta</i>	94
<i>Ecuación 12: Fórmula para hallar el peso del agregado fino</i>	95
<i>Ecuación 13: Fórmula para la corrección por humedad de los agregados</i>	95
<i>Ecuación 14: Fórmula para hallar el aporte de agua en la mezcla</i>	95
<i>Ecuación 15: Fórmula para hallar el agua efectiva</i>	96
<i>Ecuación 16: Fórmula para hallar el peso del concreto en estado fresco</i>	101
<i>Ecuación 17: Fórmulas para hallar la resistencia a compresión</i>	102
<i>Ecuación 18: Fórmula para hallar el módulo de rotura</i>	103

RESUMEN

La presente tesis fue realizada en la ciudad de Trujillo, donde se realizaron los ensayos en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, y tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la densidad de las perlas de poliestireno sobre el costo, peso unitario, asentamiento, resistencia a compresión y flexión en un concreto ligero estructural para losas aligeradas.

Los agregados fueron conseguidos de la cantera León Dormido. Lo primero que se hizo fue la caracterización de los agregados fino y grueso (granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción) de acuerdo a la NTP, con el fin de comprobar si el material es apto para la elaboración del concreto. Después se elaboró el diseño de mezcla para un concreto de resistencia 210 kg/cm^2 por el método ACI 211.

Este proyecto se hizo con el fin de conseguir un concreto ligero estructural en losas aligeradas, lo cual se utilizaron dos tipos de densidades de perlas de poliestireno de 7.35 kg/m^3 y 21.12 kg/m^3 , y se sustituyó por agregado fino por porcentajes de 15%, 30%, 45%, 50% y 60% en función del volumen de la arena.

Se realizó la mezcla de todos los materiales en la mezcladora, seguido después se hizo el ensayo de asentamiento y peso unitario en estado fresco del concreto según la norma NTP 339.035 y NTP 339.046 respectivamente. Paso posterior se elaboraron las probetas de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro para la resistencia a compresión del concreto según la norma NTP 339.034, así como también se elaboró vigas de 15 cm de ancho, 15 cm de altura y 50 cm de largo para medir su resistencia a la flexión según la norma NTP 339.078 a 28 días de curado.

El concreto convencional, se obtuvo un asentamiento de 8 cm, un peso unitario de 2350 kg/m^3 , una resistencia a la compresión de 412 kg/cm^2 y una resistencia a la flexión de 55 kg/cm^2 . Por otra parte, el concreto elaborado con distintas densidades de poliestireno, presentaron reducciones en su peso unitario y resistencia a compresión, pero su asentamiento iba aumentando, aunque el concreto elaborado con poliestireno de densidad 21.12 kg/m^3 , su asentamiento es mayor que las muestras elaboradas con perlas de poliestireno de densidad 7.35 kg/m^3 .

Según Rivera (2013), el asentamiento permitido en losas está entre 5 cm y 10 cm. Asimismo según ACI 213; mencionan que se considera un concreto ligero cuando su peso es menor a la de un concreto convencional cuyo peso está entre 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 ; según la norma NTE E.060 un concreto estructural no debe ser inferior a 175 kg/cm^2 . Por lo tanto, de acuerdo a la gráfica $f'c$ – asentamiento, se determinó el punto de equilibrio concluyendo que el 40% de perlas de poliestireno, es el reemplazo adecuado. Mediante tabulaciones con los resultados de los ensayos realizados con los porcentajes de reemplazo con perlas de poliestireno, se puede deducir que su asentamiento es de 10 cm, peso unitario de 2170 kg/m^3 , resistencia a compresión puede llegar a 287 kg/cm^2 y resistencia a la flexión con 43 kg/cm^2 .

Palabras clave: Concreto ligero, poliestireno, asentamiento, peso unitario, resistencia a compresión y flexión.

ABSTRACT

The present thesis was carried out in the city of Trujillo, where the tests were carried out in the concrete laboratory of the Universidad Privada del Norte, and its main objective was to determine the influence of the density of polystyrene pearls on cost, unit weight, Settlement, Compressive and Bending Strength in Lightweight Structural Concrete for Lightweight Slabs.

The aggregates were obtained from the Sleeping Lion quarry. The first thing that was done was the characterization of the fine and coarse aggregates (granulometry, moisture content, unit weight, specific weight and absorption) according to the NTP, in order to check if the material is suitable for making concrete. Then the mix design for a concrete of resistance 210 kg/cm^2 was elaborated by the ACI 211 method.

This project was done in order to achieve lightweight structural concrete in lightweight slabs, which used two types of polystyrene bead densities of 7.35 kg/m^3 and 21.12 kg/m^3 , and was replaced by fine aggregate with percentages of 15 %, 30%, 45%, 50% and 60% depending on the volume of the sand.

All the materials were mixed in the mixer, followed by the settlement test and the unit weight in the fresh state of the concrete according to the NTP 339.035 and NTP 339.046 standards, respectively. Subsequent step, the 20 cm high and 10 cm diameter specimens for the compressive strength of concrete according to the NTP 339.034 standard were prepared, as well as 15 cm wide, 15 cm high and 50 cm long beams. to measure its flexural strength according to NTP 339.078 at 28 days of curing.

Conventional concrete obtained a settlement of 8 cm, a unit weight of 2350 kg/m^3 , a compressive strength of 412 kg/cm^2 and a flexural strength of 55 kg/cm^2 . On the other hand, the concrete made with different densities of polystyrene, presented reductions in its unit weight and resistance to compression, but its settlement was increasing, although the concrete made with polystyrene of density 21.12 kg/m^3 , its settlement is greater than the samples made with polystyrene beads of density 7.35 kg/m^3 .

According to Rivera (2013), the allowed settlement in slabs is between 5 cm and 10 cm. Also according to ACI 213; they mention that it is considered a light concrete when its weight is less than that of a conventional concrete whose weight is between 2200 kg/m^3 and 2400 kg/m^3 ; According to the NTE E.060 standard, a structural concrete must not be less than 175 kg/cm^2 . Therefore, according to the graph f'_c - settlement, the equilibrium point was determined concluding that 40% of polystyrene beads is the appropriate replacement. By means of tabulations with the results of the tests carried out with the percentages of replacement with polystyrene beads, it can be deduced that its settlement is 10 cm, unit weight of 2170 kg/m^3 , compressive strength can reach 287 kg/cm^2 and resistance to flexion with 43 kg/cm^2 .

Key words: Lightweight concrete, polystyrene, settlement, unit weight, resistance to compression and bending.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto actualmente es el material más usado en la industria de la construcción debido a la versatilidad en cuanto a forma (moldeable), la facilidad de su producción y al precio que representa este frente a otro tipo de materiales, sin embargo la alta densidad de los concretos convencionales, aproximadamente 2350 kg/m^3 puede ser inconveniente en proyectos donde la carga muerta es un factor importante, sobre todo en la construcción de losas, ya que, éstas están diseñadas para soportar las cargas vivas, que se transmiten a las vigas, luego a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno, resultando elementos muy pesados, con lo que es difícil alcanzar grandes luces (Arbitó,2016).

La gran demanda de concreto promovió más investigaciones para obtener concretos más resistentes, manejables y durables, teniendo como resultado la fabricación de los aditivos químicos y de las adiciones naturales o artificiales, que mejoran las propiedades del concreto. Con el paso del tiempo, el desarrollo de la tecnología fomentada por el aumento de las investigaciones ayudó en la búsqueda de soluciones frente a los problemas que se presentaban día a día en la construcción, entre éstas la de conseguir materiales más ligeros, que también sean resistentes, permitieran una reducción en el presupuesto de una estructura y garantizaran una adecuada seguridad, presentándose el concreto ligero como la gran solución alternativa (Martínez,2010).

Al rededor del año 273 A.C los ingenieros romanos introdujeron por primera vez el hormigón ligero, al utilizar roca volcánica poroso, toba volcánica y arcilla como áridos ligeros para el hormigón, cabe recordar no existía aún el acero como refuerzo, por lo que

hacer más ligeras las construcciones era fundamental para la construcción de las grandes obras que les permitirían imponerse como la primera potencia en ese tiempo (Subhan, nd).

En Hungría se utilizaron durante 1907 las escorias de altos hornos como base para formar estructuras ligeras. En Alemania, Dinamarca, Gran Bretaña, Estado Unidos y Rusia, durante el periodo 1910 – 1940, se desarrollaron técnicas para elaboración de concretos ligeros celulares, aireados o a base de agregados o procesados.

A mediados del año 1922 luego de la Primera Guerra Mundial se construyó la ampliación del Gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas, este fue catalogado como el primer edificio construido a base de concreto ligero estructural en la historia. El principal motivo que recurrió a utilizar este nuevo método de construcción fue la baja capacidad portante del suelo, por ello se innovó el concreto ligero como una alternativa para reducir el peso que transmitía al suelo (Valdez y Suarez, 2010).

Conforme pasaban los años las alternativas para concretos ligeros iban siendo más abundantes como en 1924, Erikson obtuvo un concreto celular a base de sílice y cal que combinados con arcillas bituminosas dieron lugar al concreto ligero conocido como Ytong. En 1934 se patentó en Suiza el concreto Siporex, elaborado mediante un proceso de curado a vapor ideado por Eklund. En la Unión Soviética se empezó a usar concreto ligero espumoso en forma de unidades reforzadas durante 1938, con métodos introducidos por Kudriashoff. (Veliz y Vázquez, 2018).

A partir de los años 50, se construyó gran variedad de edificios con concreto ligero y concreto ligero prefabricado, como la Australia Square Tower (Australia) en 1967, el Park Regis (Australia) en 1968, el Standart Bank (Sudáfrica) en 1970 y el BMW Building (Alemania) en 1972. En Sudamérica, los estudios y la utilización de los hormigones ligeros

comenzaron alrededor de 1970, en Brasil, con la implantación de una unidad de producción de áridos ligeros de arcilla expandida por el Grupo Rabello, actual CINEXPAN S.A, para la producción de elementos estructurales de hormigón prefabricado ligero (Angelin, 2014).

Material que fue muy usado en la construcción de Brasilia entre los años de 1968 y 1972. El hormigón con agregados livianos se utilizó en diversos edificios de la nueva capital, incluyendo 120 edificios de apartamentos, partes de la Catedral de Brasilia, del Instituto de Ciencias de la Universidad de Brasilia y del Palacio Itamaraty 18 (Solak, 2017).

En la ruta 33 sobre el río Mattaponi se construyó un puente, con una longitud total de 1052 m. Para este puente, la resistencia para las vigas de concreto fue de 56 MPa con una densidad de 2000 kg/m³, 24 GPa de módulo de elasticidad y un contenido de aire de 4,5 ± 1,5% (Veliz y Vazquez, 2018).

Obra icónica de carácter residencial que aportó un nuevo concepto de hábitat para la época, localizada al oeste de la ciudad de Caracas y nombrada Residencial Juan Pablo II en 1985. Una de las características fundamentales de estas residencias, es su novedoso y funcional diseño urbanístico por parcelas, transformando el sistema de 4 edificaciones aisladas en una estructura de súper manzanas, integradas por espacios públicos y semipúblicos, donde destaca la llamada pirámide invertida. Sus arquitectos fueron Wenceslao López Suárez, Juan José Ramírez y Ramón Manaure Trujillo. Con propiedades del concreto a los 28 días de una densidad igual a 1700 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 250 kg/cm² (Veliz y Vazquez, 2018).

Las Torres Gemelas de Parque Central – Caracas, son edificaciones tipo rascacielos de 225 metros de altura y 59 pisos. Un incendio consumió casi un tercio de la Torre Oeste de Parque Central, los materiales empleados demostraron su eficacia al evitar el colapso de la

estructura. La torre estuvo en una fase de reconstrucción con mezcla de concreto liviano estructural. Se usó agregados livianos en la ejecución de las torres (años 1969/72): Concreto sobre losa colaborante ($f^c = 250 \text{ kg/cm}^2$), vaciado por gravedad y concreto de relleno para prefabricados laterales de fachada, densidad 650 kg/m^3 . Reparación de torre oeste (2005): Concreto sobre losa colaborante ($f^c = 250 \text{ kg/cm}^2$), vaciado por gravedad, en reparación de las losas del piso 38 al 59. Propiedades del concreto a los 28 días, una densidad de 1620 kg/m^3 y resistencia a la compresión final a los 28 días de 250 kg/cm^2 (Veliz y Vazquez, 2018).

Una gran revelación nos hace Ghio (1994) citado por Ramírez (2018), nos dice que el costo de los materiales ligeros es más caro con respecto al concreto normal, pero tiene una influencia en la reducción del costo total de la estructura (reduciendo costo de cimentaciones, acero de refuerzo y construcción en general). Un ejemplo es la construcción de un puente en 1936 que une San Francisco con Oakland, el cual tuvo un ahorro de 3 millones de dólares en costos de acero, a partir de esta experiencia, diversos puentes en todo el mundo se han construido total o parcialmente con concretos ligeros para reducir el peso, como fue en el edificio Lake Point Tower en Chicago. Todas las losas, a partir del segundo piso hasta el piso setenta, fueron construidas con un concreto cuya densidad fue de 1730 kg/m^3 , con una resistencia a la compresión de 20 a 22 MPa a 7 días. El Australian Square, Sídney, Australia, construido en 1967 es una torre circular de 50 pisos (184m. de altura). Un ahorro de 13% del coto fue obtenido a través del uso de $31\,000 \text{ m}^3$ de concreto ligero en vigas, columnas, y losas a partir del séptimo piso de la estructura. El concreto tiene una resistencia a la compresión promedio de 34.4 MPa y una densidad promedio de 1792 kg/m^3 .

Por otro lado, el aumento de la demanda de construcciones cada vez más altas, es la alternativa más recurrente para afrontar la sobrepoblación que se ve cada año en la ciudad

de Trujillo, motivo por el cual se requiere innovar nuevos materiales de construcción con el fin de obtener un concreto ligero. De acuerdo con los resultados del censo 2017 elaborado por el INEI, la provincia que concentra el mayor número de habitantes es Trujillo, con 970 016 personas, agrupando poco más de la mitad de la población del departamento (54,5%). Durante el periodo intercensal 2007-2017, se observa que la tasa de crecimiento promedio anual es mayor en la provincia de Virú, con un aumento de la población de 20,4%, creciendo a un ritmo promedio anual de 1,9%; le sigue Trujillo que presenta un aumento de la población de 19,5%. Según el Plan Bicentenario – Perú 2021, Trujillo es la tercera provincia más importante del Perú poblacionalmente, albergando en su territorio el 2.9 % del total poblacional. Asimismo, según ODEI La Libertad, se estima que para el 2022 se tendrá 1,082,736 de habitantes.

Debido a la pésima planeación, por parte de las autoridades encargadas, las personas tienden a migrar a las ciudades más importantes en busca de mejorar su calidad de vida, presentando un crecimiento poblacional mayor de lo que fueron planeadas. Es por esto la necesidad de construir verticalmente es la tendencia que tienen las grandes ciudades para acoger a grandes cantidades de personas. Por otro lado, construir verticalmente en Trujillo representa un gran reto para el sector construcción debido a que su suelo tiene una capacidad portante admisible entre 0.794 kg/cm^2 a 1.328 kg/cm^2 en promedio, lo que indica que Trujillo es una zona con suelos no recomendables para construcciones de grandes cargas (Luján, 2011, p. 7).

A esto le podemos sumar que, según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 “diseño sismorresistente” Trujillo se encuentra en la zona 4, siendo más vulnerable a riesgo sísmico de alta intensidad. Como solución, algunas construcciones utilizan otro tipo de

cimentación, lo cual es muy costosa como por ejemplo plateas o pilotes para soportar las cargas con suelos con baja capacidad portante. Algunos ejemplos son: la construcción del proyecto Villa Bolivariana que consta de 6 torres de 12 a 18 pisos, y la torre de la Universidad Privada Antenor Orrego del Centro Especializado de Servicios Jurídicos que posee quince pisos y 60 metros de altura.

Si bien es cierto, la mayoría de edificios modernos usan un concreto liviano, debido a la ventaja de su peso propio que resulta beneficioso en términos de carga de elementos de secciones transversales y la reducción del peso de los materiales a manipularse lo que provoca un incremento en la productividad. Por lo tanto, el uso de concreto liviano a base de agregados ligeros como por ejemplo ceniza volantes, perlita, piedra pómez, perlas de poliestireno, etc. se presentan como alternativas adecuadas para obtener concreto con un peso menor a la de un concreto convencional, siendo adecuados para la ciudad de Trujillo al tener un suelo con baja capacidad portante (Sahin y Karaman, 2012).

Según Schackow , Effting , Folgueras , Güths y Méndez (2014), nos muestran un estudio comparativo de las propiedades mecánicas y térmicas del concreto alivianando con vermiculita y EPS (perlas de poliestireno), concluyendo que el concreto liviano de EPS tiene mayor resistencia y es más liviano que con vermiculita, pero el concreto ligero de vermiculita tenía una conductividad térmica menor que con EPS.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la densidad de las perlas de poliestireno sobre el costo, peso unitario, asentamiento, resistencia a compresión y flexión en un concreto ligero estructural para losas aligeradas, Trujillo 2020?

1.3. Justificación

Esta investigación se realiza para ampliar el conocimiento que se tiene hasta la fecha del uso de perlas de poliestireno expandido como agregado ligero en el concreto estructural, la ciudad de Trujillo es una de las ciudades más pobladas del Perú como consecuencia esta tiende a crecer verticalmente sin embargo se ubica en una zona altamente sísmica, por lo que queremos saber cómo se desenvuelven dos densidades diferentes de poliestireno expandido que son usados como agregado ligero en el concreto por sustitución de la arena, a través de distintos ensayos de laboratorio.

Las construcciones en Trujillo utilizan poco el concreto con perlas de poliestireno como agregado ligero de uso estructural, ya sea por falta de conocimiento o por el uso tradicional de otros métodos, pero actualmente es necesario crecer verticalmente para abastecer toda la demanda de viviendas, y uno de los agregados ligeros más fácil de conseguir son las perlas de poliestireno que se presenta como solución accesible para reducir las cargas muertas que tiene que soportar el suelo trujillano, el cual tiene una capacidad portante muy baja (0.794 kg/cm^2 a 1.328 kg/cm^2), esta desventaja limita el crecimiento de la edificación por los grandes costos que tienen que realizarse en cimentaciones robustas que abarcan grandes cantidades de material y mano de obra, es por ello que es necesario determinar si las dos densidades más accesibles en el mercado del poliestireno, cumplen con las propiedades que un concreto ligero de uso estructural debería tener.

La ciudad se encuentra ubicada dentro de la zona 4, que significa que presenta alto riesgo sísmico, en consecuencia la reducción del peso de la estructura con materiales ligeros en el concreto, como el perlas de poliestireno en las losas es una gran alternativa para disminuir las fuerzas inerciales que presenta la edificación frente a la acción del sismo y a su vez

absorber mejor las ondas de choques, para esto mediante ensayos de laboratorio se busca determinar cómo influyen las dos densidades diferentes de poliestireno expandido en el concreto, de esta manera los resultados del trabajo permitirán verificar si las propiedades mecánicas cumplen para uso estructural.

El uso de perlas de poliestireno en el concreto favorece arquitectónicamente a la reducción de las dimensiones en la edificación, las cuales transmiten una imagen de esbeltez en la estructura, esta se aprovecha en el aumento del área de espacios disponibles, también si el proyecto lo requiere se podría ampliar las luces al tener que soportar menores cargas, lo cual sumado a que las perlas de poliestireno están compuestas en su mayoría por estireno, un material reciclable, es una solución favorable que podría usarse en la construcción y así se reduciría grandes cantidades de desechos que contaminan el medio ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la densidad de las perlas de poliestireno sobre el costo, peso unitario, asentamiento, resistencia a compresión y flexión en un concreto ligero estructural para losas aligeradas, Trujillo 2020.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados según la NTP y determinar la densidad del EPS.
- Calcular el diseño de mezcla por el método ACI para un concreto simple con resistencia $f'c$: 210 kg/cm² y un diseño de mezcla para el concreto con EPS.
- Elaborar las probetas y vigas con los porcentajes de perlas de poliestireno 15%, 30%, 45%, 50% y 60% por sustitución a la arena.
- Determinar el asentamiento y peso unitario en estado fresco; y resistencia a compresión y flexión de las probetas y vigas en estado endurecido.
- Evaluar y comparar el concreto con diferentes densidades de EPS con el fin de obtener mejores propiedades físicas y mecánicas, así como también el costo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La densidad de las perlas de poliestireno influye en el costo, peso unitario, asentamiento, resistencia a compresión y flexión en un concreto ligero estructural para losas aligeradas.

1.5.2. Hipótesis específicas

El incremento de porcentajes de perlas de poliestireno en la mezcla de concreto reduce el peso unitario, resistencia a compresión y flexión, y aumenta el asentamiento.

1.6. Antecedentes

1.6.1. Nivel Internacional

TÍTULO: “INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN” (Lituma y Zhunio, 2015)

En la presente tesis realizada en Ecuador, usaron ensayos a los 7, 14 y 28 días, a los cuales se le incorporó EPS y aditivo químico con el fin de homogenizar la mezcla. La máxima reducción se da al 100% de sustitución, con una disminución a los 28 días de edad casi el 17% de la densidad del concreto convencional y una resistencia de 205 kg/cm². Presentó un rango crítico alrededor del 75% al 90% de sustitución, donde la caída en el valor de la densidad se incrementó significativamente, lo cual puede ser deberse a que superado el 60% de sustitución, el volumen de EPS se vuelve mayor al volumen de arena en el hormigón. La densidad promedio a los 28 días en este punto es de aproximadamente 2000 kg/m³. Asimismo, la densidad del hormigón endurecido también disminuye conforme el porcentaje de sustitución aumenta para cada una de las edades.

Tabla 1: *Densidades del hormigón en kg/m³, según la edad, para cada porcentaje de sustitución*

Días	Porcentaje de Sustitución						
	0	30	45	60	75	90	100
7	2151	2070	1975	1948	1873	1850	1790
14	2175	2100	2047	1982	1907	1878	1806
28	2209	2134	2062	2019	1993	1901	1836

Fuente: Lituma y Zhunio, 2015

En lo que se refiere a la resistencia, a la edad de 28 días, para los porcentajes de sustitución de 30%, 45%, 60%, 75%, 90% y 100% se observaron, respectivamente,

disminuciones del 2,84%, 4,28%, 7,52%, 14,73%, 17,58% y 19,08% del valor de la resistencia a compresión del hormigón de peso normal (control). El punto crítico de la resistencia se dio entre el 60% al 75% de sustitución, donde la caída en el valor de la resistencia se incrementó significativamente, lo cual puede ser deberse a que superado el 60% de sustitución, el volumen de EPS se vuelve mayor al volumen de arena en el hormigón. La resistencia a compresión promedio a los 28 días en este punto es de aproximadamente 234 kg/cm².

Tabla 2: Resistencia a compresión del hormigón en kg/cm², según la edad, para cada porcentaje de sustitución

Días	Porcentaje de Sustitución						
	0	30	45	60	75	90	100
7	161	153	148	142	121	114	107
14	229	220	213	208	193	185	179
28	253	246	243	234	216	209	205

Fuente: Lituma y Zhunio, 2015

TÍTULO: “CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES LIVIANOS, USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS)”
(Vidal, 2010)

Concluye que la adición de poliestireno expandido modificado reduce la densidad del concreto, pero por otro lado afecta en la resistencia a compresión axial, disminuyendo en las series C y D (50% y 70% de EPS expandido modificado), llegando casi un 35% de pérdida de resistencia a compresión axial. En las mezclas de la serie D, no adquiere resistencias a temprana edad, debido a que el poliestireno expandido modificado no absorbe agua en el proceso de fraguado, estando un 77% bajo la resistencia de

referencia de la serie A, pero a la vez el hormigón, al pasar los días, sigue tomando una mayor resistencia, alcanzando a estar solo un 35% más bajo que la mezcla referencial de la serie A, a los 28 días. Las mezclas de la serie C (50% de reemplazo de gravilla por poliestireno expandido modificado), superan los 17,2 Mpa, donde el hormigón es un 21% más liviano que un hormigón tradicional, lo que se deduce en un 500 kg/m³ menos, por lo que ayuda considerablemente en la economía de la estructura por peso propio.

Tabla 3: *Peso unitario y resistencia a compresión promedio con porcentajes 30%, 50% y 70% de poliestireno*

Serie	Días de curado	Peso unitario promedio (kg/m ³)	Resistencia a compresión promedio (Mpa)
A	7	2440	18
B	7	2160	14
C	7	1930	11
D	7	1740	4
A	14	2440	22
B	14	2160	17
C	14	1930	14
D	14	1740	12
A	28	2440	26
B	28	2160	22
C	28	1930	18
D	28	1740	17

Fuente: Vidal, 2010

De acuerdo con la resistencia a la tracción por flexión, se observó que la adición de poliestireno expandido modificado, en reemplazo del material natural granular, afecta en las resistencias de tracción por flexión, donde se presenta la mayor pérdida en la serie D, con un 70% de presencia de MEPS, obteniéndose una resistencia de 32,7 kg/cm² afectando en una pérdida de un 25%, en comparación con la serie A (serie

patrón). La serie C, tiene mayor resistencia a la flexión en comparación con la serie B, esto puede decir que el hormigón con MEPS en un 50%, presenta un mejor rendimiento en el conjunto completo de materiales.

Tabla 4: *Resistencia promedio a tracción por flexión don diferentes porcentajes de poliestireno*

Serie	Promedio Resistencia tracción por flexión (kg/cm ²)
A	44
B	38
C	39
D	33

Fuente: Vidal, 2010

1.6.2. Nivel Nacional

TÍTULO: “RESISTENCIA DEL CONCRETO DE F’C=210 KG/CM² CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO GRUESO POR TECNOPOR EN 10% Y 15%, HUARAZ” (Vásquez, 2018)

Determinó que el peso unitario del concreto patrón fresco es 2390.00 kg/m³, del concreto experimental con sustitución de 10% de EPS fresco 2290.00 kg/m³ y del concreto experimental con sustitución de 15% de EPS fresco 2250.00 kg/m³. De acuerdo a su resistencia, obtuvo que el concreto patrón a los 28 días tiene una resistencia a la compresión de 218.85 kg/cm² en promedio, el concreto con la sustitución del agregado grueso por EPS (perlas de poliestireno) en un 10% tiene una resistencia a compresión de 212.87 kg/cm² y el concreto con la sustitución del agregado grueso por EPS en un 15% tiene una resistencia a la compresión de 208.34 kg/cm².

Tabla 5: Resistencia a compresión promedio de probetas patrón y con sustitución del agregado grueso por tecnopor en un 10% y 15%

Edad en días	Concreto		
	Patrón	Sustitución del 10% agregado grueso (kg/cm ²)	Sustitución del 15% del agregado grueso (kg/cm ²)
7	146.96	136.42	129.15
14	189.93	184.35	180.80
28	218.85	212.87	208.34

Fuente: Vásquez, 2018

TÍTULO: “DISEÑO DE UN CONCRETO LIVIANO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA LA EJECUCIÓN DE LOSAS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO AMAUTA-ATE-LIMA ESTE” (Vera, 2018)

Determinó que el asentamiento del concreto incrementa al aumentar los porcentajes de tecnopor, con relación al diseño patrón con relación agua/cemento de 0.56 se obtuvo un asentamiento de 3,0”, sustituyendo la piedra con distintos porcentajes por EPS con el diseño DPE-01(0,5%), DPE-02(0,6%) y DPE-03(0,8%) se obtuvo un asentamiento de 6”, 6.5” y 7.0” respectivamente, pero al adicionarle el 1% del aditivo plastificante Viscocrete 1110 y realizar una reducción del 25% de agua para cambiar la relación a/c a 0,43 se obtuvieron los siguientes resultados, con el diseño DPEA-01(0,6%), DPEA-02(0,7%) y DPEA-03(0,8%) se obtuvo un asentamiento de 6.5”, 7.0” y 7,0” respectivamente. Concluyendo que adicionando EPS incrementa el asentamiento al no absorber agua, sin embargo, se puede optimizar la resistencia manteniendo el asentamiento del concreto con la reducción de agua y adición de aditivo plastificante Viscocrete 1110. Asimismo, observó que los pesos unitarios del concreto liviano disminuyen significativamente y que la resistencia es directamente proporcional al

peso unitario debido a que a mayor peso unitario mayor es la resistencia. Finalmente, de acuerdo a la tabla N°06 el tesista recomienda que los concretos de la serie DPE- 01, DPEA-01 y DPEA-02 recomendables para elementos estructurales. No obstante, los diseños DPE-02, DPE-03 Y DPEA-03 no superan la resistencia $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ debido a esto se pueden emplear en elementos no estructurales.

Tabla 6: *Asentamiento, resistencia a la flexión y compresión promedio a 28 días de curado*

Serie	Asentamiento (pulgadas)	Peso unitario en estado fresco (kg/m^3)	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm^2)
PATRÓN	3	2350	49	408
DPE-01 (0.5%)	6	1970	30	215
DPE-02 (0.6%)	6.5	1880	26	182
DPE-03 (0.8%)	7	1680	16	123
DPEA-01(0.5%)	6	2010	34	276
DPEA-02(0.6%)	6.5	1900	28	234
DPEA-03(0.8%)	7	1700	20	168

Fuente: Vera, 2018

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETO ALIVIANADO CON PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO” (Bustamante y Diaz,2014).

De acuerdo con la investigación realizada en Arequipa buscaron resultados a los 7 y 28 días de curado, con adición de perlas de poliestireno expandido reciclado y haciendo uso de un aditivo reductor de agua y un aditivo retardante. Llegaron a resultados como el peso unitario, que oscila entre 1100 y 1500 kg/m^3 . El aumento de la dosificación de EPS disminuye la resistencia a la compresión, siendo menor que la de un concreto convencional, teniendo valores entre 80 a 190 kg/cm^2 a 28 días, no adecuados para morteros convencionales. Al igual reduce los resultados del módulo

de rotura a 28 días, oscilando entre 21 y 32 kg/cm² fluctuando entre un rango de 16 a 27% la relación MR/f^c dentro de lo normal.

Tabla 7: Resistencia a la compresión y flexión a 28 días de curado

Serie	Resistencia a la compresión a 28 días(kg/cm ²)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Relación MR /F ^c (%)
CONCRETO 1	87	23.89	27.46
CONCRETO 2	126	27.16	21.56
CONCRETO 3	141	28.24	20.03
CONCRETO 4	187.5	31.18	16.63

Fuente: Bustamante y Díaz, 2018

TÍTULO: “CONCRETO LIVIANO DE ALTA RESISTENCIA EMPLEANDO NANOSÍLICE Y PUZOLANA NATURAL EN EL PERÚ”
(Ramírez, 2018).

La tesis realizada en la Universidad Nacional Federico Villarreal elabora ensayos a 3, 7, 28 y 56 días, para concretos de alta resistencia adicionando nano sílice con 5 dosificaciones diferentes, a su vez utiliza puzolana y micro sílice para mejorar sus propiedades en diferentes proporciones. Utilizando nano sílice en un rango de dosificaciones que van desde los de 56.30 kg por m³ de concreto (5.98% respecto al material cementicio) hasta 67.87 kg por m³ de concreto (6.46% respecto al material cementicio). Para el concreto a 28 días se obtuvo resistencias a compresión entre (469-780) kg/cm², resistencia a la tracción por compresión diametral entre (37,1-48,3) kg/cm² y resistencia a la flexión entre (49,4-104,6) kg/cm², cuya relación con la resistencia a la compresión oscila entre 10% al 15%. Una densidad de equilibrio entre (1700 -1850) kg/m³. Las reducciones en peso obtenidas equivalen a más de media tonelada de diferencia por metro cúbico para el diseño más pesado y para el más liviano una reducción de hasta 680 kg/m³ respecto a la densidad del concreto convencional de

2400 kg/m³. Los resultados indican que, para valores menores del material, en la mayoría de casos, no se consiguen concretos suficientemente plásticos o con un nivel de cohesión aceptable para formar una masa, mientras para valores mayores del material, se pueden obtener concretos más fluidos que decaen en sus niveles de resistencia.

Tabla 8: *Propiedades físicas y mecánicas del concreto a 28 días de curado*

Mezcla	Concreto a 28 días			
	Densidad equilibrio (kg/m ³)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a tracción (kg/cm ²)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
D1PZ	1810	705	37,1	72,3
D2PZ	1780	650	48,3	-
D3PZ	1720	469	40,4	49,4
D4PPZ	1830	750	37,2	76,1
D5PPZ	1840	780	48,5	104,6

Fuente: Ramírez, 2018

1.6.3. Nivel Local

TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO SOBRE EL ASENTAMIENTO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN EN UN CONCRETO LIGERO, TRUJILLO-2017” (Velarde, 2017)

En la presente tesis, se diseñó y elaboró una mezcla de concreto 210 kg/cm² a partir del método ACI 211, donde se obtuvo un asentamiento de 4” con una resistencia de 224 kg/cm² a 28 días, con la incorporación del aditivo superplastificante EUCO37 al 1% del peso del cemento se logró un asentamiento de 4.50” con una resistencia de 214 kg/cm² a 28 días. Así mismo una densidad en estado endurecido de 2270.00 kg/m³. Por lo tanto, dedujo que el porcentaje más óptimo de polvo de aluminio en un concreto ligero resulta al añadir 1.5 % con superplastificante al 1% dando como resultado un asentamiento de 4.00” y alcanzando una resistencia a compresión de 236 kg/cm² a 28

días y una densidad seca encontrada a 28 días de 1780.00 kg/m^3 , lográndose así un concreto ligero. Por otro lado, concluyó que el concreto con 1.5% de polvo de aluminio más superplastificante puede ser utilizado en concretos ligeros aplicados en viviendas unifamiliares, almacenes industriales, hostales y alojamientos. Mientras que el concreto con 1.5% de polvo de aluminio sin aditivo puede utilizarse en concretos de losas aligeradas, deportivas, entre otras.

Tabla 9: *Resistencia a compresión de probetas sin aditivos y con aditivos superplastificante*

Aluminio (%)	Densidad del concreto sin aditivo (kg/m^3)	Densidad del concreto con aditivo (kg/m^3)	Resistencia a compresión promedio sin aditivo (kg/cm^2)	Resistencia a compresión promedio con aditivo (kg/cm^2)
0.00%	2270	2130	224	214
1.50%	1830	1758	195	236
3.00%	1710	1720	173	173
4.50%	1640	1677	106	109
6.00%	1550	1569	91	102

Fuente: Velarde, 2017

TÍTULO: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018” (Chuquilin, 2018)

Elaboró un diseño de mezcla para una resistencia de 210 kg/cm^2 para un concreto convencional y uno con porcentajes de perlas de poliestireno en función del volumen del agregado fino, a partir del método ACI 211. En el concreto convencional, obtuvo un asentamiento de 80 mm, un peso unitario de 2430 kg/m^3 y una resistencia a compresión de 283 kg/cm^2 . Comprobó que, a mayores porcentajes de perlas de

poliestireno, la resistencia a compresión y el peso unitario disminuyen, mientras que el asentamiento aumenta. Concluyó que el porcentaje óptimo de perlas de poliestireno para un concreto liviano estructural para losas aligeradas en el diseño de mezcla es del 40%, ya que presenta un asentamiento de 100 mm, el cual cumple con el indicado según norma ACI para losas aligeradas. El peso unitario fue de 2160 kg/m^3 , el cual es menor al peso unitario del concreto convencional, que está en un rango de 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 , por lo que ya es considerado un concreto liviano. Finalmente, la resistencia a compresión fue de 242 kg/cm^2 , la cual es mayor a la resistencia estructural mínima que indica la norma E.060 Concreto armado.

Tabla 10: *Asentamiento, peso unitario y resistencia a compresión con diferentes porcentajes de perlas de poliestireno reciclado*

% Perlas de poliestireno	Asentamiento (mm)	Peso unitario (kg/m³)	Resistencia a compresión (kg/m³)
0%	80	2430	283
10%	86	2380	276
20%	90	2320	264
30%	93	2250	256
40%	100	2160	242
50%	110	2060	222

Fuente: Chuquilin, 2018

1.7. Bases teóricas

1.7.1. Concreto

1.7.1.1. Definición

El concreto es un material pétreo, artificial obtenido de la mezcla de cemento, arena, piedra y agua. El cemento y el agua forma una pasta que rodea a los agregados, y en algunas ocasiones se le añade aditivos para mejorar sus propiedades. El peso volumétrico del concreto oscila entre 1.9 y 2.5 ton/m³, dependiendo principalmente de los agregados que se emplean. El concreto es resistente a la compresión, pero es débil a la flexión y tracción, por lo que para compensar esa desventaja se le añade refuerzo de acero en las zonas donde se desarrollarán dichas tensiones (Gonzales y Robles, 2012, p. 31).

Asimismo, la Asociación Colombiana de Productores de Concreto (Sánchez de Guzmán, 2011) menciona que los porcentajes de los componentes del volumen de la mezcla comprenden: El cemento oscilan entre el 7% al 15 %, los agregados oscilan entre el 59% y 76%, el agua ocupa entre el 14% al 18%. Por otro lado, el concreto también contiene un cierto porcentaje de aire atrapado que está entre 1% al 3%.

1.7.1.2. Materiales del concreto

1.7.1.2.1. Agregado fino

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.011:2008) “El agregado fino es un material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8 pulgadas) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037”.

La arena a utilizar en la mezcla de concreto deberá estar libre de sustancias dañinas, por lo que sus partículas serán limpias. Asimismo, el agregado fino deberá cumplir con ciertos requisitos para que sea apto y proporcione buenas propiedades en el concreto. Por lo tanto, la arena no deberá exceder más del 45% en 2 tamices sucesivos, el módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1, el porcentaje de peso retenido del fondo del plato será menor del 3% y deberá tener la gradación según los límites en la Tabla N° 11 (NTP 400.037:2014)

Tabla 11: *Husos granulométricos del agregado fino*

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que masa
N.º 3/8"	9.52	100
N.º 4	4.75	95-100
N.º 8	2.36	80-100
N.º 16	1.18	50-85
N.º 30	0.60	25-60
N.º 50	0.30	10-30
N.º 100	0.15	2-10

Fuente: NTP 400.037:2014

Si el agregado fino no cumple con los estándares de la normativa NTP 400.037, podrá ser utilizado para la mezcla del concreto, siempre y cuando el Constructor demuestre con estudios que los concretos elaborados con dicho agregado tienen las mismas propiedades similares a las que un concreto elaborado con un agregado fino que si cumpla con los requisitos indicados (Rivva, 2013, p.26). Asimismo, la arena se clasifica según el tamaño de sus granos:

- Arenas gruesas: las que pasan una malla de 5mm y son retenidas por otra de 2mm.
- Arenas medias: las que pasan una malla de 2mm y son retenidas por otra de 0.5mm.
- Arenas finas: las que pasan una malla de 0.5mm y son retenidas por otra de 0.02mm.

1.7.1.2.2. Agregado grueso

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.011:2008) define que “El agregado grueso es aquel que está retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca”.

El agregado grueso deberá estar libre de polvo, limo, tierra, humos y otras partículas dañinas que afecten en las propiedades del concreto, asimismo la granulometría a ensayar deberá ser de preferencia continua (Rivva, 2013, p.27).

El agregado grueso deberá cumplir con los requisitos según los husos granulométricos en la siguiente Tabla N° 12, caso contrario se permitirá su uso de los agregados que no cumplan con lo especificado en la norma, siempre y cuando, existan resultados parecidos a las que un concreto elaborado con piedra que si cumpla con los requisitos especificados (NTP 400.037:2014).

Tabla 12: *Husos granulométricos del agregado grueso*

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90mm (3 ½ pulg)	75mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 um (No. 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 mm a 19 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 mm a 4 mm (3/4 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9 A..	4.75 mm a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

1.7.1.2.3. Cemento Portland

1.7.1.2.3.1. Definición

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 19). Según Abanto (2008), el cemento Portland es un producto comercial, que cuando se mezcla con agua, agregado fino y grueso, forma una masa endurecida. Los materiales principales para la elaboración del cemento Portland es la piedra caliza y arcilla que recibe el nombre de “clínker”.

1.7.1.2.3.2. Características

Montalvo (s.f), menciona que el cemento Portland es un polvo de color gris y un peso de 42.5 kg. Se considera un valor de 3.15 para el peso específico si no se conoce. Los componentes principales del clínker portland se menciona en la siguiente Tabla N° 13.

Tabla 13: *Componentes principales del cemento portland*

Nombre	Composición	Peso Molecular	Fórmula abreviada	Nombre del mineral
Silicato tricálcico	3CaO, SiO ₂	228	C3S	Alita
Silicato bicálcico	2CaO, SiO ₂	172	C2S	Belita
Aluminato tricálcico	3CaO, Al ₂ O ₃	270	C3A	
Ferrito aluminato tetracálcico	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	486	C4AF	Ceñita
Ferrito bicálcico	2CaO, Fe ₂ O ₃	272	C2F	

Fuente: Hormigón, 2010

1.7.1.2.3.3. Propiedades

a) Propiedades químicas

- Hidratación del cemento

“Cuando se mezcla el cemento con agua, los silicatos y el aluminato se hidratan dando lugar a una masa rígida y dura conocida como cemento endurecido. La hidratación se produce mediante la reacción con el agua y una hidrólisis” (Fernández, 2013, p.53).

- Formación de la pasta de cemento

“Es la mezcla de agua, cemento, aire y aditivos si se requiere. Depende de la composición del cemento y de las condiciones de hidratación, lo cual hace que la pasta sea un sistema dinámico que cambia con el tiempo” (Sánchez, 2001, p. 38).

- Calor de hidratación

Durante el proceso de hidratación liberan reacciones exotérmicas, lo cual hace que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura. Este incremento es importante en construcciones donde se requiere grandes volúmenes de concretos, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y empieza el descenso de la temperatura, puede conducir a la formación de grietas y fisuras. El calor de hidratación es la cantidad de calor, en calorías por gramo de

cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada (Niño, 2010, p. 34).

b) Propiedades físicas y mecánicas

- Densidad

Es la división entre la masa y el volumen del mismo. El valor del cemento Portland normal se aproxima a 3.15 gr/cm³. Asimismo, la densidad del cemento no indica la calidad del mismo su uso principal radica en dosificación y control de mezclas (Niño, 2010, p. 36).

- Finura

La importancia de la finura en el cemento es que a mayor finura el cemento tiende a tener mejor resistencia, pero libera más calor; esto se debe a que granos gruesos pueden durar muchos años en hidratarse o nunca completar su proceso de hidratación. Mientras que, cuanto más fino sea el cemento, mayor será la cantidad de material que se hidrata, logrando una resistencia elevada y un mayor calor desprendido (Rivera, 2013, p. 27).

- Consistencia

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004) “La consistencia se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento o su habilidad de fluir”.

La pasta de consistencia normal se determina usando la aguja de Vicat y consiste en determinar la cantidad de agua en porcentaje con respecto a la masa de cemento usada, por lo general, el porcentaje de agua varía entre 23 y 33% (NTP 334.074:2004).

- Tiempos de fraguado y endurecimiento

Es la determinación del tiempo en que la mezcla pasa del estado fluido o plástico al estado sólido. Durante el fraguado la pasta pierde su plasticidad y adquiere resistencias; mientras que el endurecimiento se caracteriza por la ganancia de resistencia de una pasta fraguada. Asimismo, se tiene en cuenta que el inicio del fraguado se caracteriza por la rigidez de la pasta, y el final del fraguado por la pérdida de plasticidad (Fernández, 2013, p. 57-58).

- Falso fraguado

Se le da el nombre de rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta en los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua (Gutiérrez, 2003, p. 43).

El falso fraguado da como resultado una pérdida de plasticidad, sin generar mucho calor. Cuando esta pasta endurecida se remezcla, su plasticidad se recupera y fragua sin perder su resistencia. Si, por el contrario, la mezcla no recupera su plasticidad y desprende calor en forma apreciable

se dice que lo que ocurrió fue un fraguado relámpago, esto se debe principalmente a falta de yeso al molerse Clinker y yeso (Rivera, 2013, p. 28)

- Fraguado rápido

El fraguado rápido genera una pérdida rápida de trabajabilidad en la pasta a una edad aún temprana. Esto genera un aumento de calor por la rápida reacción de los aluminatos. El fraguado rápido no se lo puede disipar, ni tampoco se puede recuperar la plasticidad sin la adición de agua (Kosmatka et.al., 2004).

- Expansión

La expansión es una falla que a veces presentan las pastas de cemento endurecidas y pueden provocar la destrucción de las mismas. La expansión puede ser causada por la hidratación de la cal o magnesianas libres, exceso en el contenido de yeso, etc. (Fernández, 2013, p. 63).

- Retracción

“Las retracciones se originan cuando los esfuerzos y tensiones internas que se producen en el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento son superiores a la resistencia de la propia masa” (Gutiérrez, 2003, p. 44).

- Resistencia a compresión

La resistencia a compresión es aquella obtenida por la prueba, de cubos o cilindros de mortero de acuerdo con la NTP 334.051. El tipo de cemento, finura y la composición de los compuestos influyen en la resistencia a compresión (Kosmatka et.al., 2004).

1.7.1.2.3.4. Tipos de cemento

Al hablar de tipos de Cemento Portland, Abanto (2008) define lo siguiente:

- ✓ Tipo I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando no se especifica la utilización de los 4 tipos de cemento.
- ✓ Tipo II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.
- ✓ Tipos III: es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II.
- ✓ Tipo IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- ✓ Tipo V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.

1.7.1.2.3.5. Proceso de fabricación

Según Sánchez de Guzmán (2001), define los siguientes procesos de fabricación del Cemento Portland:

- Explotación de materias primas

Se extraen de las canteras, de tal manera que se pueda ser uso de explosivos y luego trituración cuando las calizas sean de alta dureza. Las arcillas están en buenas condiciones en mezclarse rápidamente con la caliza y su extracción es por arrastre.

- Preparación y dosificación de materias primas

Después de ser explotada la caliza, se realiza la trituración primara que la deja con un TM cerca de 1", ates de pasarla a molienda con la arcilla. El proceso por vía húmeda, la arcilla que tiene la propiedad de derretirse con el agua, debe ser sometida a la acción de mezcladores para formar la lechada. La mezcla de la caliza triturada y la lechada de arcilla se lleva a un molino de cuerpos moledores dejándolo en tamaño medio de 0.05 mm.

En el proceso por vía seca, las materias se trituran y adicionan en las proporciones correctas en el molino de crudo, donde se secan y se reduce su tamaño a un polvo fino que tiene por nombre grano molido.

- Homogeneización

Las materias primas correctamente proporcionadas y molidas, deben homogeneizarse adecuadamente, ya que, en las reacciones químicas durante el proceso, es de importancia el contacto íntimo entre los distintos componentes. En el proceso de fabricación vía húmeda, la pasta es bombeada a tanques de homogeneización llamados “balsas”, lo cual es importante este proceso porque impide la sedimentación de los sólidos mediante agitación mecánica y burbujeo de aire comprimido.

En el proceso por vía seca, el grano molido, se transporta por medios mecánicos a unos silos de homogeneización, donde se hacen los ajustes finales y la mezcla se homogeneiza inyectando aire a presión por la parte inferior del silo.

- Clinkerización

Después de la obtención de la pasta en el proceso por vía húmeda y la harina en el proceso por vía seca se someten a un tratamiento térmico en grandes hornos rotatorios para conservar mejor el calor. El horno tiene un diámetro interior hasta 5 m y una longitud aproximadamente 150 m y se construyen con una ligera inclinación para que el material fluya lentamente.

- Enfriamiento

A la salida del horno del material que se presenta en forma de bolas de dimensión aproximada entre 3 y 30 mm que se conoce como Clinker, el cual sale con una temperatura de 1200 °C a 1300 °C, debe ser enfriado rápidamente hasta 50 °C o 70°C para garantizar que el cemento fabricado, después de fraguado, no presente cambio de volumen.

- Adiciones finales y molienda

Durante este proceso se transforma el Clinker en polvo y se agregan las adiciones como por ejemplo puzolanas naturales o artificiales, cenizas volantes o escoria de alto horno. Luego se le añade una porción de yeso de 2 % a 5 % para evitar el fraguado relámpago del cemento y regular la velocidad de endurecimiento. El producto así obtenido es lo que se conoce como cemento portland.

- Empaque y distribución

El cemento resultante del molino se transporta en forma mecánica a silos de almacenamiento y una vez hechos los ensayos requeridos de control de calidad, es empacado o distribuido a granel en camiones especiales. La operación de empacado se hace en maquina especiales que llenan los sacos.

1.7.1.2.4. Agua

1.7.1.2.4.1. Agua de amasado

El agua de amasado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario del concreto que requiere el cemento y tiene las siguientes misiones: La primera, hidratación de los componentes activos del cemento; la segunda, de actuar como lubricante para que la masa fresca sea trabajable y, la tercera, de formar un espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento (Fernández, 2013, p. 101).

1.7.1.2.4.2. Agua de curado

El agua de curado es el mismo con la que se utiliza para la dosificación de la mezcla de concreto, y después de 28 días de curado el concreto alcanza su resistencia máxima (Fernández, 2013, p. 104).

Según la instrucción española EHE proporciona unos valores estimados del concreto según los días de curado en relación con su resistencia a los 28 días:

- 3 día de curado, se obtiene el 40% de su resistencia
- 7 días de curado, se obtiene el 65% de su resistencia
- 28 días de curado, se obtiene el 100% de su resistencia
- 90 días de curado, se obtiene el 120% de su resistencia
- 360 días de curado, se obtiene el 135% de su resistencia

1.7.1.2.4.3. Agua para el lavado de áridos

El agua usada para el lavado de áridos no debe contener muchas sustancias en suspensión que produzcan películas dañinas o poco adherentes sobre las superficies de los áridos (Fernández, 2013, p. 105).

1.7.1.2.4.4. Requisitos

Según Montalvo (s.f), hace mención de los siguientes requisitos del agua en la dosificación de la mezcla.

- Deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. Por ende, el agua no debe presentar espuma cuando se agita.
- El agua de mar no es apropiada para la mezcla del concreto debido a que las sales que contiene pueden corroer el fierro.
- El nivel de pH del agua de amasado no debe ser ni menor de 6 ni mayor de 9; la Instrucción española del hormigón indica que el pH no será inferior a 5.

1.7.1.3. Propiedades del concreto

1.7.1.3.1. En estado fresco

- **Trabajabilidad**

La facilidad con la que el concreto es transportado, colocado y consolidado, a su vez el grado que resiste a la segregación. Los factores más influyentes en la trabajabilidad son el método y la

duración de transporte, la cantidad y características de los materiales, la consistencia del concreto y el aire incluido en la mezcla. El uso del cono de Abrams se usa como medida de la consistencia y humedad lo cual está directamente relacionado con la trabajabilidad que este concreto proporcionará (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, p. 3).

- **Segregación**

Es la separación de los materiales que conforman una mezcla heterogénea, debido al tamaño de las partículas, mala distribución, mal mezclado o sobre vibración la mezcla deja de ser uniforme por falta de cohesión de los materiales (Sánchez de G., 2001, p. 123).

- **Exudación**

En el libro Tecnología del concreto difundido por la Asociación colombiana de concreto (ASOCRETO, p. 108). También se le conoce como el efecto de la segregación en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de la mezcla recién colocada, debido a que los sólidos no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado. Es poco deseable cuando se presenta en altas tasas como debilitar la parte superior de una porción del concreto que se vuelve demasiado húmeda reduciendo la resistencia a la abrasión, aumentando la porosidad y mayor susceptibilidad a agentes agresivos presentes en el ambiente. A su vez si la evaporación

del agua en la superficie es más rápida que la velocidad de exudación, se produce fisuras por retracción.

1.7.1.3.2. En estado endurecido

- **Permeabilidad**

Permite el agua y sustancias químicas penetren en él, haciendo propenso a reactividad álcali-árido, ataques de químicos y congelamiento. El agua que penetra el concreto provoca la corrosión de la armadura de acero (Mamlouk y Zanieswki, 2009, p. 289).

- **Resistencia a compresión**

La resistencia del concreto es bastante elevada, siendo esta de sus mejores características para soportar las cargas pretendidas para el diseño estructural, cifrándose en unas diez veces la tracción aproximadamente, siendo los principales influyentes en este la dosificación de materiales, curado, calidad de materiales, edad del hormigón, dimensiones de las probetas y ejecución del ensayo (Fernández, 2013, p. 367).

- **Resistencia a la flexión**

En el libro Diseño y construcción de pisos en concreto publicado por la Asociación de Concreto Colombiana (Farny, 2007). En algunos elementos como losas y vigas la flexión es más importante que la compresión, aun cuando este es mucho menor que la compresión, consecuentemente el esfuerzo a la flexión y la resistencia a la flexión

(módulo de rotura) del concreto se utilizan para el diseño de pisos para determinar el espesor de la losa.

- **Durabilidad**

Es la habilidad que presenta el concreto en resistir a la interacción con el ambiente (congelamiento y deshielo), alguna presencia de ataque químico (reactividad álcali-agregado, carbonatación, sulfatación, etc.) y a la abrasión, de tal manera que mantenga sus propiedades, mientras más resistentes sean mayor será su vida útil (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

1.7.1.4. Etapas de la producción del concreto

1.7.1.4.1. Dosificación

La dosificación es el proceso de medida, por masa o por volumen, de los componentes del concreto en la mezcladora. Para producirse un concreto con calidad uniforme, los materiales se deben medir con precisión para cada amasado (Kosmatka et.al., 2004).

1.7.1.4.2. Mezclado

Según la norma de concreto armado E 0.60, define lo siguiente:

El concreto deberá ser mezclado en una mezcladora capaz de lograr una combinación total de los materiales, formando una masa uniforme dentro del tiempo especificado y descargando el concreto sin segregación. Asimismo, el concreto deberá ser mezclado en cantidades adecuadas para su empleo inmediato. El concreto cuyo fraguado ya se ha iniciado en la

mezcladora no deberá ser remezclado ni utilizado. Por ningún motivo deberá agregarse agua adicional a la mezcla.

1.7.1.4.3. Transporte y colocación

“El concreto deberá ser transportado y colocado desde la mezcladora hasta su ubicación final en la estructura, empleando procedimientos que prevengan la segregación y la pérdida de materiales y garanticen la calidad deseada para el concreto” (Norma E 0.60).

1.7.1.4.4. Compactación

La compactación es el conjunto de operaciones mediante las cuales se reducirá la cantidad de vacíos, con el objeto de tener un concreto más resistente. La compactación manual se hace con barras, lo cual consiste en introducir la barra en el concreto una y otra vez según la norma. La compactación mecánica por vibración es el método más usado, y los vibradores pueden ser: de inmersión (que actúan sumergidos en el concreto), externos (que se fijan a la formaleta) y de superficie, que se emplean apoyados sobre el concreto (Gutiérrez, 2003, p. 84-85).

1.7.1.4.5. Curado

El concreto debe estar permanentemente húmedo por lo menos los 7 primeros días, cuidando que la temperatura sea mayor a 10 °C. Por otro lado, es el conjunto de procedimiento tendientes a mantener un ambiente que favorezca la hidratación del cemento. Asimismo, es el proceso a realizar después del desencofrado de probetas para obtener mejores propiedades mecánicas del concreto (Gutiérrez, 2003, p. 85).

1.7.1.5. Tipos de ensayos en el concreto

1.7.1.5.1. En estado fresco

a) Ensayo de asentamiento

Es el ensayo donde permite medir la consistencia del concreto, lo cual debe ser lo suficientemente trabajable para que la compactación sea realizada correctamente y obtener buenas propiedades según lo esperado. Si es demasiado fluida la mezcla no tendrá la consistencia necesaria (NTP 339.035:2009).

Tabla 14: *Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación*

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0 - 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta: concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20 - 35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones a vibración intensa.
Semiseca	35 - 50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simples reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50 - 100	Pavimentos, losas, muro, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simples reforzadas con vibración.
Húmeda	100 - 150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastantes reforzadas con vibración.
Muy húmeda	150 - 200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y no adecuado para vibrarse.

Fuente: Rivera, 2013

b) Contenido de aire

En este ensayo se determina el contenido de aire del concreto, lo cual se basa en la medición del cambio de volumen del concreto sometido a un cambio de presión, medio con un manómetro (ASTM C 231, 2014).

c) Determinación de la temperatura

Es la medición de la temperatura del concreto en estado fresco, lo cual se realiza con un termómetro especial (NTP 339.184, 2002).

d) Determinación de la densidad

Este ensayo permite conocer el Peso Unitario real, utilizando un molde rígido, se determina el peso total del concreto y el molde para después restarle el molde y luego se divide entre el volumen del molde. Normalmente un concreto convencional pesa entre 2200 a 2400 kg/m³ (NTP 339.046:2008, revisada en 2018).

1.7.1.5.2. En estado endurecido

a) Ensayo de resistencia a compresión

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento (NTP 339.034:2015).

b) Ensayo de resistencia a la flexión

Ensayo que determina la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo. El

módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión (NTP 339.078:2012).

1.7.2. Concreto ligero estructural

1.7.2.1. Definición

Al llegar los 28 días la resistencia mínima supera los 175 kg/cm^2 con un peso unitario menor de 1850 kg/m^3 . Están compuestos por agregados ligeros, los cuales sus propiedades influyen en el concreto ligero, como: masa unitaria, absorción, forma, textura y densidad aparente, asimismo tiene la ventaja de utilizar menos refuerzo, aunque el costo es más elevado que un concreto convencional (Rivera, 2013, p.263).

Según American Concrete Institute (ACI 213R-14) define a un concreto liviano estructural, el cual está integrado por agregados liviano, parcial o totalmente. A su vez, presenta una densidad menor a la convencional, y con una resistencia que supera a los 17 MPa. (p.5).

Según Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.060) “para un concreto estructural el $f'c$ no debe ser inferior a 17 MPa o 175 kg/cm^2 y tiene una densidad que no excede 1850 kg/m^3 ” (p. 26-66).

1.7.2.2. Reglamento y Normativas

- Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete (ACI 213 R – 14) que nos dan alcances de concretos ligeros para uso estructural.
- La norma ASTM C567 establece un método de ensayo para determinar las densidades seca al horno del concreto estructural liviano.

- La norma peruana hace unas cortas referencias al uso de concreto liviano estructural, NTE. E.060 concreto armado.

1.7.2.3. Diseño de mezcla de un concreto liviano

Según Neville (1977) existen tres métodos para obtener lo que es el concreto liviano estos son: El primero corresponde al concreto liviano con agregado liviano, el cual reemplaza en su totalidad al agregado grueso y está destinado para usos estructurales. El segundo responde al concreto aireado, celular o espumoso, en el cual se le introducen grandes vacíos por la inclusión de tradicional de aire al concreto, de tal manera que se produce un concreto poroso y liviano. Por último, se tiene el concreto sin finos, donde se mantienen los agregados gruesos de peso normal, se omiten los agregados finos y por lo tanto hay un gran número de vacíos intersticiales presentes.

Según la ficha técnica Techmo, las perlas de poliestireno expandido permiten su mezcla con cemento y arenas, proporcionando una perfecta homogeneización sin segregación ni flotaciones. Las perlas de poliestireno expandido son sometidas a un tratamiento físico-químico que asegura una excelente adherencia al cemento.

Según la ficha técnica de ExpanPol, un fabricante de perlas de poliestireno expandido en Chile, siguiendo la norma chilena NCh 1070 y su experiencia en con el producto la dosificación para hormigón de concreto liviano por m³ es la siguiente:

Tabla 15: *Dosificación para hormigón liviano por m³*

Densidad aparente del Hormigón kg/m ³	Perlas ExpanPol		Cemento	Arena		Agua	Resistencia compresión	Coefficiente de conduc. Térmica
	(Lt)	bolsas	(kg)	(kg)	(Lt)	(Lt)	(kg/cm ²)	(Kcal*m/m ² *h°C)
600	1170	4.7	320	142	89	138	14	0.16
700	1105	4.6	320	239	149	141	20	0.18
800	1040	4.2	320	336	210	144	23	0.22
900	1000	4.0	330	415	259	155	33	0.26
1000	950	3.8	330	508	318	162	38	0.29
1100	900	3.6	330	598	374	172	48	0.34
1200	810	3.2	330	695	434	175	59	0.40

Fuente: Ficha técnica ExpanPol

1.7.2.4. Ventajas

- Según Bossio, Acierno, Pecce, & Bellucci, F. (2014), expresa que la principal ventaja del concreto ligero es su baja densidad, esto está asociada directamente al peso del concreto lo cual es una ventaja en la producción de elementos con menor masa y dimensiones más esbeltas.
- De acuerdo con Subhan (2006), el transporte y manipulación de elementos prefabricados con hormigón ligero tiene mejores beneficios frente a los producidos con concreto convencional. Dentro de los beneficios esta la reducción en costos para el transporte, sabiendo que es posible transportar mayores cantidades de elementos prefabricados por viaje, porque en carreteras existen restricciones de peso establecidas; y la maquinaria utilizada para la manipulación no será forzada debido al elevado peso del elemento.
- De acuerdo lo dicho por Subhan (2006), al tener en cuenta al concreto colocado en sitio, la reducción de la densidad a su vez reduce la cantidad de elementos de apoyo utilizados para soportar el encofrado en la etapa de

endurecimiento, aumentado la luz en las que se encuentran separados. En proyectos en donde el peso era el factor limitante en el diseño, el concreto liviano ha sido la solución más recurrida. En el caso de estructuras reticulares, por ejemplo, los marcos deben llevar las cargas de pisos y muros; en ellos se pueden obtener considerables ahorros en su precio si se emplean losas de entrepiso, muros divisorios y acabados exteriores a base de concreto liviano Short & Kinniburgh (1963) citado por Lituma y Zhunio (2015)

- La reducción en las cargas muertas de una estructura disminuye el tiempo, tamaño y costo de las cimentaciones, acero de refuerzo estructural y todo elemento que sirva como apoyo en la estructura (Subhan, 2006), esta disminución en cantidad trae consigo una reducción directa en costos. Además, se pueden lograr reducciones significativas en el tamaño de elementos como columnas, lo cual aumenta el área disponible para la circulación en edificios.
- Es apto para producir elementos aislantes capaces de absorber energía, dicha capacidad permite obtener una elevada capacidad de aislamiento acústico y también térmico (Al-Jabri, Hago, Al-Nuaimi, y Al-Saidy, 2005). Si la estructura elaborada cuenta con el adecuado aislamiento es posible reducir la energía empleada para climatizar. En este aspecto interviene también la porosidad del hormigón según Lakatos y Kalmár (2013), entonces al ser los hormigones ligeros más porosos que los hormigones de

peso normal, introducen al material cantidades considerables de aire, el cual es un mal conductor de calor, lo que aumenta el aislamiento térmico.

1.7.2.5.Desventajas

- Aumento de los costos producidos por obtener el material liviano y en algunos casos también es requerido aditivo. Todo esto llega a inflar más el presupuesto.
- Dependiendo el agregado ligero que se utilice, depende bastante a la disponibilidad que se tenga dependiendo la ubicación de la obra, puesto que agregados ligeros naturales no se obtienen en todas las zonas y si en caso sean artificiales la disponibilidad de un fabricante o vendedor accesible.
- Tiende a bajar resistencia a la compresión y flexión a medida que reducimos la densidad de manera proporcional a su pérdida de peso.
- Baja resistencia a la abrasión.
- La obtención de una mezcla homogénea es más difícil de obtener debido a que las perlas de poliestireno son bastante livianas con una baja densidad, por lo que pueden causar segregación en la mezcla, por lo tanto, es necesario el uso de un aditivo que controle este fenómeno.
- Hohwiller & Köhling (1969) recomienda envolver las perlas de EPS en una capa de conglomerante (cemento), para lo cual se han de utilizar aditivos con dispersiones de materias sintéticas y los adhesivos de resinas sintéticas, para que así las perlas se adhieran al material y no puedan flotar cuando se somete a compactación. Por lo tanto, gracias a la capa de conglomerante es

posible que la resistencia a la compresión de las perlas de EPS se incremente.

- Según, Miled, K., Sab, K. y Le Roy, R. (2007), sugieren el uso de un aditivo superplastificante que mejore las propiedades de la mezcla, con el fin de obtener un hormigón más trabajable y que impida que las perlas floten y suban a la superficie del hormigón creando una capa débil.

1.7.3. Poliestireno expandido

1.7.3.1. Definición

Es un polímero, la base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión: el hidrocarburo pentano C₅H₁₂. Al ser un material que no encontramos naturalmente, se recurre a procesos de sinterización donde se calienta a temperaturas de (90°C-150°C) aumentando su volumen hasta 50 veces, seguido por un tiempo de reposo (Aramayo, Buncuga, Cahuapé, Forgione y Navarrete, 2003). Sus principales características son la baja densidad aproximadamente 10-40 kg/m³; alta porosidad al estar compuesto de 3 a 6 millones de celdillas cerradas y no conectadas llenas de aire; bastante blando y elástico; presenta una superficie bastante lisa lo cual dificulta la adherencia; forma irregular esférica; es un material de baja absorción; granulometría en intervalos de 2-8mm y tiene la posibilidad de reciclarse.

1.7.3.2. Proceso de la obtención del poliestireno

- Según Polioles S.A (2013) citado por Lituma y Zhunio (2015), el EPS se consigue mediante el proceso de polimerización del monómero de estireno (un hidrocarburo aromático de fórmula C_8H_8 , un anillo de benceno con un sustituyente etileno, manufacturado por la industria química del petróleo) con adición de un agente expansor denominado pentano, a través de un reactor con agua.
- La materia prima es colocada en máquinas especiales denominadas pre-expansores, estas máquinas son generalmente cilíndricas de 1m de diámetro y 2m de altura, en donde es sometida a altas temperaturas generadas por el vapor de agua, estas temperaturas oscilan entre los $80^{\circ}C$ a $100^{\circ}C$, aumentando su volumen hasta 50 veces (Barnetson, 2004). Factores como el tiempo de exposición de la materia prima y la intensidad de la temperatura, la densidad aparente puede disminuir desde los 630 kg/m^3 a valores entre los 10 a 35 kg/m^3 , concluyendo en una esfera porosa compuesta de varios polígonos combinados entre sí sin dejar ningún espacio (Lituma y Zhunio, 2015).
- Al culminar la etapa de pre-expansión, el EPS es casi enfriado y secado con corriente de aire ascendente. Así, se obtiene una estabilización del EPS que seguidamente son transformadas a silos de reposo. Luego, se les aplica aire por difusión para compensar las presiones de vacío generando en el proceso de enfriamiento y secado hasta que estas presiones se equilibren con la presión atmosférica.

En este proceso las perlas adquieren una mayor estabilidad mecánica y están listas para el proceso de expansión y moldeo final (Andrews, Gibson y Ashby, 1999).

- Por último, las perlas pre-expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes o bloques cuya geometría depende del uso que vaya a dársele al producto final. Para el caso de aplicaciones del poliestireno expandido se utiliza en bloques rectangulares de dimensiones variadas. Al estar confinadas en los moldes y por el efecto de la temperatura las perlas se fusionan entre si formando un cuerpo solido el cual puede someterse a procesos de corte y acabado según la aplicación en que vaya a ser utilizado. Al final del proceso de molde las perlas se han volatilizado casi en su totalidad sin embargo algunas fabricantes del poliestireno expandido realizan un proceso de reposo adicional durante algunos días para garantizar su eliminación total. La temperatura y el tiempo de expansión son dos parámetros que debe ser estrictamente controlados durante el proceso de fabricación del poliestireno expandido ya que estos intervienen en el comportamiento mecánico del material (Rossacci y Shivkumar, 2003 citado por Ñaupá, 2018).

1.7.3.3. Propiedades

a) Propiedades químicas

El poliestireno es susceptible a daños frente a la radiación UV, al exponerse un largo de tiempo se torna amarillo, lo cual es un indicativo de la degradación del polímero. Pero, al ser usado en el concreto, es menos

probable que este efecto ocurra ya que las perlas no se encuentran expuestas directamente a los efectos de la radiación UV. En la industria de la construcción, el EPS es compatible con materiales tales como el cemento, yeso, agua dulce o salada, etc., pero no es compatible con solventes (Bartnetson, 2004).

Es así como según (ANAPE, 2015), relaciona en una tabla la estabilidad del EPS frente a varias sustancias químicas.

Tabla 16: *Estabilidad del EPS frente a sustancias activas*

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución salina (agua de mar)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de parafina, vaselina	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: el EPS se contrae o disuelve
Disolventes orgánicos (acetona, estrés...)	No estable: el EPS se contrae o disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: el EPS se contrae o disuelve
Aceite de diesel	No estable: el EPS se contrae o disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o disuelve
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: ANAPE, 2015

b) Propiedades físicas

- Densidad

La densidad de las perlas de poliestireno es una característica que depende de varios factores presentes durante el proceso de producción, específicamente durante el proceso de pre-expansión. En esta etapa, la

cantidad de agente expansivo (pentano), el tiempo de exposición y la temperatura (más temperatura menos densidad), a las que han sido sometidas las perlas determinan su densidad. Así, una pérdida mínima de agente expansivo (Lynwood, 2014).

La estructura en volumen es de 98% aire y 2% estireno en las perlas de poliestireno, y consecuentemente densidades entre los 10-35 kg/m³. Perlas con valores inferiores a este rango no son recomendadas pues provocan dificultades en su manipulación y transporte (Ossa, 2009).

El EPS está formado por numerosas microestructuras poliédricas en las que pueden existir canales que permitan la transmisión de aire al interior de la microestructura. La dimensión de estos canales dependerá del grado de fusión alcanzado en el proceso expansión. Estos canales crean un sistema de interconexión al interior de la estructura del EPS, lo que favorece el proceso de su moldeo para ser convertidas en productos para el embalaje, productos para el aislamiento, etc. (Lituma y Zhunio, 2015).

La norma ASTM C 578-92 ha clasificado al EPS de acuerdo con su densidad nominal para estandarizar los límites de la densidad de la siguiente manera:

Tabla 17: *Clasificación del EPS según la norma ASTM C578*

Tipo	Densidad Nominal (kg/m ³)	Densidad Mínima (kg/m ³)	
XI	12	12	
I	16	15	
VIII	20	18	
II	24	22	Fuente:
IX	32	29	ASTM C578

De la misma manera que la densidad, un mayor grado de expansión en la en la etapa de expansión contribuye a perlas de mayor tamaño, esto nos dice (Baculima, 1985 citado por Lituma & Zhunio, 2015)

Tabla 18: *Tamaño de las perlas de EPS según el grado de expansión*

Tamaño (mm)	Grado de expansión
0.8 - 2.5	95%
0.8 - 1.6	94%
0.4 - 1.0	92%
0.4 - 0.8	91%

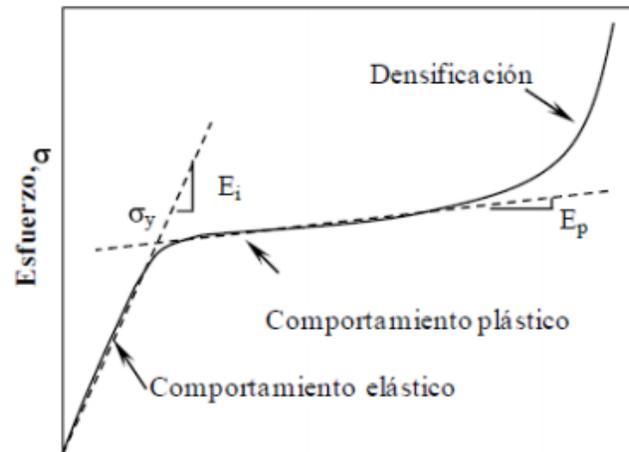
Fuente: Baculima, 1985

- Resistencia a compresión

Por otro lado, la resistencia a compresión del EPS resuelve que la curva esfuerzo-deformación en compresión varía significativamente, aumentado sus valores cuando el valor de la densidad lo hace. Esto lo confirman otros autores como (Cofre, 2003; Bartnetson, 2004 y ANAPE, 2015). Además, Ossa (2009) explica como la mayor resistencia observada, al incrementar la densidad, se produce debido al aumento en el espesor de las paredes de las celdas de la estructura de EPS, la cual se produce con el incremento en su densidad. Otras características que

contribuyen con la resistencia a la compresión del EPS son su forma esférica, estructura celular y especialmente su capacidad de absorción de energía (Bartnetson, 2004; Ossa, 2009).

De acuerdo con (Andrews, Gibson y Ashby, 1999) mediante la exposición de fuerzas externas el EPS tiende a absorber energía de manera óptima, proveniente de la fuerza aplicada, y disiparla por medio de la flexión, pandeo y posterior rompimiento de las paredes de su estructura celular, lo que desencadena en la expulsión de aire al interior de la estructura de celdillas. Este comportamiento en el EPS se manifiesta cuando el material se encuentra en el rango elástico-lineal de la curva de esfuerzo deformación, satisfaciendo la ley de Hooke y donde los esfuerzos no superan el 2% de la deformación axial máxima (Ossa, 2009). Gracias a este comportamiento, las deformaciones resultantes en esta etapa volverán a su estado inicial una vez se produzca la descarga en el material. La curva esfuerzo-deformación en el EPS representa un comportamiento elástico, seguido por un comportamiento plástico, visto en la figura de esfuerzo- deformación del EPS.



Deformación axial, ϵ

Figura 1: Comportamiento esfuerzo - deformación del EPS

Fuente: Ossa, 2009

Dicha curva presenta tres etapas, donde la primera corresponde a la etapa elástico-lineal ya descrita. En la segunda etapa, se produce un comportamiento plástico, presente a partir del esfuerzo de fluencia (σ_y), donde las deformaciones alcanzan valores de hasta el 70% de la deformación axial máxima, las paredes de la estructura celular se flexionan hasta el pandeo, el aire incluido se comprime y atraviesa las paredes celulares y por último las paredes se rompen por el esfuerzo y la estructura colapsa, produciendo deformaciones irreversibles y una pérdida de volumen en el material. En la tercera etapa “densificación”, debido a la pérdida de volumen, el material sigue disipando energía a través de la expulsión de aire y la deformación de la estructura colapsa, estas deformaciones sobrepasan el 70% de la deformación axial máxima (Ossa, 2009).

- Aislante térmico y acústico

El aire en reposo es un excelente aislante térmico, debido a la estructura celular cerrada del EPS (perlas de poliestireno), conformada por 98% de aire y 2% de poliestireno, el empleo del EPS en la construcción principalmente ha sido como material aislante en paredes, techos y pisos. Por ejemplo, al usar el EPS en paredes, permite que el ambiente tenga una temperatura deseada dentro de la construcción. La capacidad de aislamiento térmico está caracterizada por el coeficiente de conductividad térmica (λ), el mismo que varía con la densidad aparente del material (incluido el EPS). Mientras menor sea la densidad más bajo será el valor de la conductividad térmica, por ende, las propiedades aislantes del EPS serán mejores (Valdez y Suárez, 2010).

De acuerdo al tema acústico del material, se tiene la investigación de (Herrera,2015), donde considera que el EPS no es un aislante acústico porque para serlo debería tener más masa y tampoco un absorbente porque no tiene permeabilidad, pero estudios revelan que el EPS tiene un coeficiente de absorción acústica de 0.88 para la frecuencia que mejor escucha el oído humano que es 1,000 Hz. También puede absorber sonidos con frecuencias de 3,500 y 4,500 Hz.

- Comportamiento frente al agua

El comportamiento del EPS frente al agua, en cualquiera de sus estados, es de gran importancia, especialmente si se pretende utilizarlo como árido ligero en el hormigón, donde la cantidad de agua en la

mezcla influye directamente en la resistencia de esta. Así, a pesar de que varios estudios (Hohwiller y Köhling, 1969; Chen y Liu, 2013) determinan a las perlas de EPS como un árido no absorbente o también no higroscópico, específicamente del agua en estado líquido. De otra forma, el vapor de agua si puede llegar a difundirse en el interior de la estructura del EPS bajo ciertas condiciones. Según el (ANAPE, 2015) el EPS bajo inmersión de agua durante 28 días alcanza una absorción entre el 1-3% en volumen, lo que se considera niveles mínimos de absorción. La investigación de (Baculima, 1985 citado por Lituma & Zhunio, 2015) obtuvo valores de absorción en peso, para una inmersión de 7 y 28 días, más bajos que se muestran a continuación:

Tabla 19: *Agua absorbida por el EPS a los 7 y 28 días, para diferentes densidades*

Densidad (kg/m ³)	Agua absorbida	
	7 días	28 días
30	0.358	0.388
25	0.434	0.513
20	0.624	0.699
13	0.917	1.003

Fuente: Baculima, 1985

Los valores de absorción son bastante bajos debido a los canales ubicados entre las paredes de la estructura del EPS. El vapor puede difundirse en la estructura del EPS cuando se presenta un gradiente de temperatura entre ambos lados de la estructura, tendiendo a ir a los lugares de alta presión hacia otros donde hay menor presión por tener una estructura que no presenta propiedades de barrera de gases,

fenómeno denominado difusión del EPS (ANAPE, 2015; Ossa, 2009; Cofre, 2003).

- Estabilidad frente a la temperatura

El EPS se ablanda y luego se contrae por efecto de la temperatura a partir de los 100°C para temperaturas de corta duración, si la temperatura continúa subiendo el material se funde, colapsando así su estructura. Alrededor de los 80°C el calor en cualquiera de sus formas no afecta al EPS, incluso si la temperatura se mantiene por varios días y bajo acción de carga. Las investigaciones al EPS lo determinan como un elemento con gran respuesta al fuego. Está compuesta de polímeros de poliestireno por los que se generan dudas de su resistencia al fuego, estos contienen hidrocarburos, productos inflamables, al igual que su agente expansivo. Pero en su reposo la mayor parte del agente expansivo se ha evaporado dejando una estructura de 98% de aire y 2% de polímero, la influencia de estos agentes inflamables en el EPS es mínima (Ossa, 2009).

A su vez, la respuesta del EPS ante el fuego depende de otros factores físicos como la disponibilidad de oxígeno, la exposición del material, su cohesión con otros materiales y la aplicación o no de elementos ignífugos disminuye las probabilidades de incendio. Cuando una edificación se enfrenta a un incendio, muchas veces lo importante no es controlar el fuego en sí, sino la cantidad de humo producido por el mismo, este es más peligroso debido a la asfixia mata a más personas

que el mismo fuego. Es así como en la implementación del EPS en la construcción se debe proporcionar el recubrimiento adecuado con el fin de evitar la generación de humo y su propagación (Bartnetson, 2004).

1.7.3.4. Usos del EPS en el hormigón

Por lo general el EPS en la construcción es usado para:

- Paneles de revestimiento
- Bloques portantes
- Estructuras marinas flotantes
- Material de subbase para pavimentos
- Capa protectora para elementos sujetos a impacto
- Aislamiento térmico de techos (bovedillas para losas prefabricadas)
- Líneas ferroviarias

1.7.4. Losas aligeradas

1.7.4.1. Definición

Según (Santeliz, 2001) las losas aligeradas en donde se tiene luces grandes son necesario espesores mayores, por lo que esto hace tener que utilizar materiales más ligeros o ladrillos huecos para reducir el peso de la losa, teniendo entre sus principales virtudes es el bajo peso volumétrico, facilidad de transporte, reducción de desperdicios, menor costo, menor tiempo de construcción y fácil adhesión para acabados.

1.7.4.2. Reglamentos y Normativa

La Norma Técnica de Edificaciones (NTE. E.060) de concreto armado da como normativa de losas aligeradas en una sola dirección la siguiente tabla:

Tabla 20: *Pesos unitarios de losas aligeradas en una sola dirección con respectivos espesores*

Losas aligeradas armadas en una sola dirección de concreto armado		
Con vigueta de 0.10 m de ancho y 0.40 m entre ejes		
Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso Propio Kpa (kgf/m²)
0.17	0.05	2.8 (280)
0.20	0.05	3.0 (300)
0.25	0.05	3.5 (350)
0.30	0.05	4.2 (420)

Fuente: NTE. E.060

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Operacionalización de variables

Tabla 21: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	
Variable independiente	Densidad de las perlas de poliestireno con distintos porcentajes: 15%, 30, 45%, 50% y 60%.	Compuesto de 98% aire y 2% estireno en las perlas de EPS, y densidades entre los 10-35 kg/m ³ (Ossa, 2009). La densidad del tecnopor influye de alguna en las propiedades del hormigón al ser usado en la mezcla de concreto. Según la ficha técnica Techmo, las perlas de poliestireno expandido permiten su mezcla con cemento y arenas, proporcionando una perfecta homogeneización sin segregación ni flotaciones.	Según estudios (basándonos en los antecedentes) el tecnopor será añadido en la mezcla de concreto en cierto porcentaje en sustitución del volumen del agregado fino.	Propiedades del tecnopor	15%, 30%, 45%, 50% y 60% de sustitución de tecnopor por el agregado fino en función a su volumen para la elaboración de probetas y vigas.	¿Cuál fue el % óptimo según la densidad del EPS que se obtuvo mejores resultados?
	Costo	Según (Guio, 1994), el uso de EPS como agregado aumenta el costo de la partida de concreto, pero a su vez reduce costos en otras partidas (reduciendo costo de cimentaciones, acero de refuerzo y construcción en general).	Según estudios (basándonos en los antecedentes) se realizará el costo de un concreto ligero a base de tecnopor por m ³ .	Tamaño de las partículas	Costo	¿Cuán costoso es un concreto liviano a base de poliestireno?
Variable dependiente	Peso unitario	Según (Pecce et al., 2014), el concreto ligero está asociada directamente al peso del concreto lo cual es una ventaja en la producción de elementos con menor masa y dimensiones más esbeltas.	El ensayo se realizará según la norma NTP 339.046:2008 en el laboratorio de UPN	Propiedades del concreto ligero	Peso unitario	Peso (kg/m ³)
	Asentamiento	Según (Rivera, 2013) el asentamiento permite medir la consistencia del concreto, lo cual debe ser trabajable según lo requerido, como para losas el asentamiento según norma es de 3" a 4".	El ensayo se realizará de acuerdo a la norma NTP 339.035:2009 en el laboratorio de UPN.	Propiedades físicas de los agregados	Manejabilidad	Asentamiento (cm)
	Resistencia a compresión	Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento (NTP 339.034:2015).	El ensayo se realizará con la máquina de compresión de acuerdo a la norma NTP 339.034:2015.	Propiedades mecánicas	Esfuerzo compresión en probetas de 10 cm x 20 cm	Fuerza (kg) Área (cm ²)
Resistencia a la flexión	Ensayo que determina la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo. El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión (NTP 339.078:2012, revisada 2017).	El ensayo se realizará según la norma (NTP 339.078:2012, revisada 2017)		Esfuerzo flexión en vigas de 15 x 15 x 50 cm		

Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.2. Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación es de tipo experimental, ya que las variables dependientes dependen de la densidad de perlas de poliestireno para ellos se utilizaron porcentajes de 15%, 30%, 45%, 50% y 60% de perlas de poliestireno por agregado fino en función a su volumen.

2.3. Unidad de estudio, población y muestra

2.3.1. Unidad de estudio

Probetas cilíndricas de concreto 10 cm de diámetro x 20 cm de altura. Vigas de concreto 15 cm ancho x 15 cm altura x 50 cm largo.

2.3.2. Población

Todas las probetas y vigas de concreto, sede Trujillo, 2020.

2.3.3. Muestra

Para determinar la muestra se utilizarán las siguientes fórmulas:

Ecuación 1: Tamaño de muestra

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2} \quad S = \sqrt{\frac{\sum(X - X')^2}{N - 1}}$$

Fuente: Manual de Estadística UPN, 2014

Donde:

n_0 = Tamaño de muestra

Z = Valor de distribución normal estandarizada (nivel de confianza) elegido por el investigador. En nuestro caso 1.96 (95% de confiabilidad).

Ver tabla N°89

S = Desviación estándar, la cual se aplicará a los valores de resistencia a

compresión del antecedente “Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018”.

E = Error del muestreo en porcentaje del estimador

X' = Promedio de valores de resistencia a compresión.

N = número de muestras.

A continuación, la siguiente tabla muestra los valores de resistencia a compresión con distintos porcentajes de perlas de poliestireno a 28 días de curado del antecedente antes indicado:

Tabla 22: *Resistencia a compresión promedio del concreto convencional y con*

% perlas de poliestireno	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	283	276	264	256	242	222

perlas de poliestireno

Fuente: Chuquilin, 2018

✓ **Calculando desviación estándar “S”:**

Tabla 23: *Sumatoria de resistencias a compresión menos el promedio, al cuadrado*

x	x-x'	(x-x') ²
283	25.833	667.361
276	18.833	354.694
264	6.833	46.694
256	-1.167	1.361
242	-15.167	230.028
222	-35.167	1236.694
TOTAL		2536.833

Fuente: Elaboración propia, 2020

$$S = \sqrt{\frac{2536.833}{7-1}}$$

$$S = 20.56$$

✓ **Calculando Error del muestreo en porcentaje del estimador “E”**

En nuestro caso como el valor de confiabilidad es del 95%, se deduce que el 5% será el error de muestreo del promedio de los valores de resistencia a compresión del antecedente antes mencionado.

$$X' = \frac{283 + 276 + 264 + 256 + 242 + 222}{7}$$

$$X' = 257.17$$

Entonces:

$$E = 5\% (X')$$

$$E = 5\% (257.17)$$

$$E = 12.86$$

✓ **Hallando el número de muestras “n₀”:**

$$n_0 = \frac{1.96^2 * 20.56^2}{12.86^2}$$

$$n_0 = 9.82 \approx 10 \text{ especímenes de repeticiones}$$

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Según nuestras bases teóricas hemos podido observar todos los aspectos referentes al concreto, los componentes de su mezcla, los diferentes ensayos que se le realizan, sus características físicas y químicas, para poder entender cuál sería su comportamiento del concreto mezclado con dos clases de densidades de perlas de poliestireno y con diferentes porcentajes de tecnopor, pues se pretende mejorar las propiedades que permita obtener un

hormigón ligero. Por ello en este presente capítulo analizaremos como influye la densidad en el concreto mezclado con perlas de poliestireno sustituyéndolo por agregado fino en porcentajes de 15%, 30%, 45%, 50% y 60%, para ello se utilizarán diversos ensayos, teniendo así la siguiente tabla:

Tabla 24: *Número de ensayos*

Descripción	0	15%	30%	45%	50%	60%	Ensayos para	Ensayos para	Total
							EPS densidad 7.35 kg/m ³	EPS densidad 21.12 kg/m ³	
Concreto en estado fresco	Asentamiento	3	3	3	3	3	15	15	33
	Densidad	3	3	3	3	3	15	15	33
Concreto en estado endurecido	Resistencia a compresión	10	10	10	10	10	50	50	110
	Resistencia a la flexión	10	10	10	10	10	50	50	110

Fuente: Elaboración propia, 2020

2.4.1. Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos se optó por observación directa para luego tomar información y hacer el breve análisis sobre el concreto elaborado con diferentes densidades de tecnopor, por el cual el investigador se apoya en bases teóricas, antecedentes y experiencia para estar pendiente de los sucesos.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos necesarios para la recolección de datos fueron una planilla de observación, la cual contiene datos referentes al diseño de mezcla, resistencia a la compresión y flexión, si resultó factible o no al agregar tecnopor, es decir la dosificación óptima con los resultados obtenidos y lograr a obtener un concreto ligero. Por otro lado, los equipos y/o herramientas necesarias para la recolección de datos de cada prueba a realizar fueron:

2.4.2.1. Caracterización de materiales

a) Análisis granulométrico

- Equipo
 - ✓ Juego de tamices.
 - ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.

b) Contenido de humedad

- Equipo
 - ✓ Recipientes metálicos.
 - ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.
 - ✓ Horno.

c) Peso unitario suelto y compacto

- Equipo
 - ✓ Recipiente cilíndrico.
 - ✓ Balanza electrónica.
 - ✓ Varilla compactadora 5/8".
 - ✓ Mazo de goma.

d) Peso específico y absorción del agregado fino

- Equipo
 - ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.
 - ✓ Cocina eléctrica.
 - ✓ Fiola.
 - ✓ Molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad.

- ✓ Recipientes metálicos.
- ✓ Horno a temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

e) Peso específico y absorción del agregado grueso

➤ Equipo

- ✓ Recipientes metálicos.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- ✓ Balanza de Arquímedes.
- ✓ Horno a temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.4.2.2. Ensayos en estado fresco

a) Asentamiento

➤ Equipo

- ✓ Base plana, cono de Abrams, varilla para chucear 5/8" y wincha.

b) Densidad

➤ Equipo

- ✓ Recipiente cilíndrico.
- ✓ Varilla compactadora 5/8" y mazo de goma.
- ✓ Balanza universal.

2.4.2.3. Ensayos en estado endurecido

a) Resistencia a compresión

➤ Equipo

- ✓ Neopreno, micrómetro.
- ✓ Máquina a compresión.

b) Resistencia a la flexión

➤ Equipo

- ✓ Máquina a flexión de vigas y micrómetro.

2.4.3. Análisis de datos

Para el análisis de datos se hizo uso de la estadística descriptiva, así como de la estadística inferencial. Las primeras conclusiones obtenidas, es un estudio calculando los datos para observar y organizar en qué medida se agrupan en torno a un valor central. Por otro lado, la segunda comprende los métodos y procedimientos. Por último, la presentación de resultados se hará haciendo uso de tablas y gráficos, de los cuales se hará su breve análisis y discusión de datos en función a nuestras bases teóricas, objetivos, antecedentes e hipótesis planteadas.

Tabla 25: *Técnicas, instrumentos y recolección de datos*

Técnicas	Observación directa, aplicación de fórmulas y análisis de resultados.
Instrumentos	Plantilla de resultados de los ensayos a realizar.
Ensayos de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis Granulométrico • Contenido de humedad • Peso unitario suelto y compactado • Peso específico y absorción • Asentamiento en estado fresco • Densidad en estado fresco • Resistencia a la compresión • Resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración propia, 2020

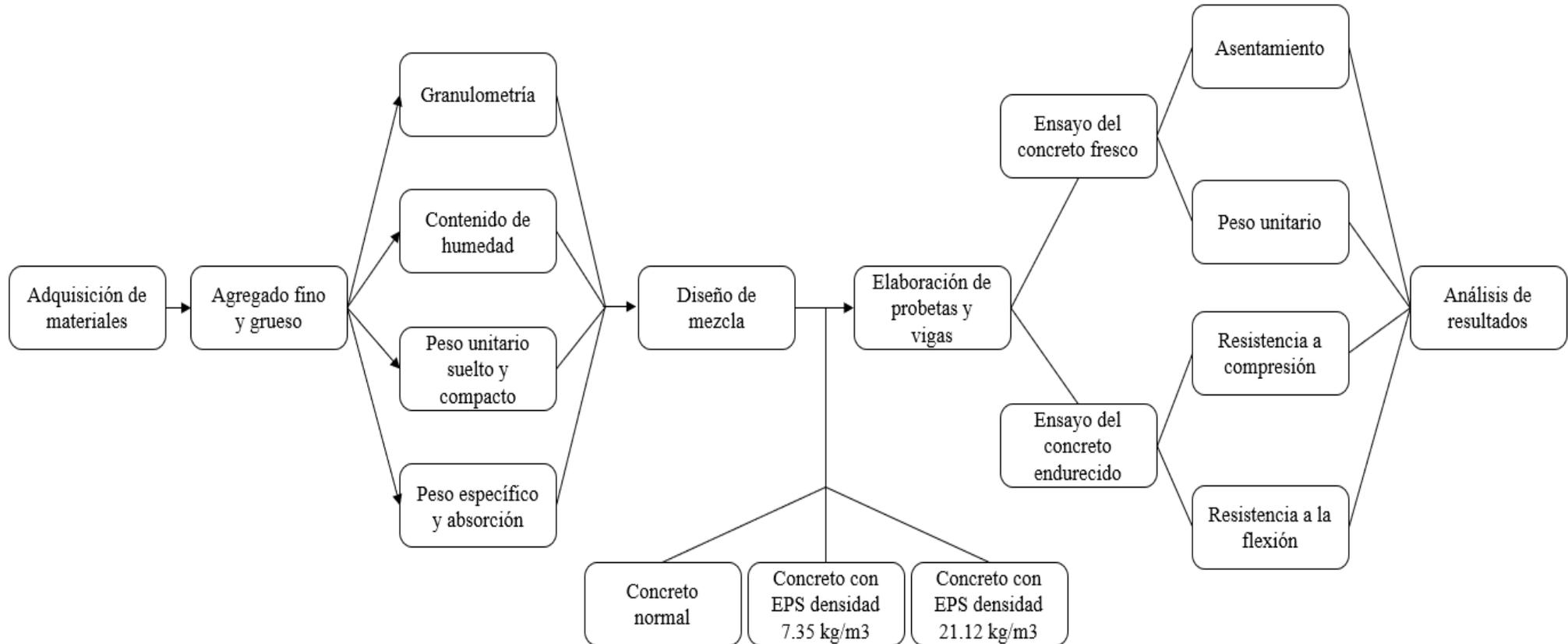


Figura 2: Secuencia experimental

Fuente: Elaboración propia, 2020

2.5. Procedimiento

2.5.1. Caracterización de agregados

Se realizarán ensayos a los agregados fino y grueso, por lo que tienen que cumplir con los requisitos según la norma NTP para la elaboración de moldes de concreto y vigas con diferentes porcentajes de perlas de poliestireno, estos ensayos se desarrollarán en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte, las cuales se describen a continuación:

2.5.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino según la norma NTP

400.012:2013

- ✓ Se realizará el muestreo del agregado fino según la norma NTP 400.010:
 - Se tomará 10 kg de muestra y ponerla en una base plana y limpia.
 - Se mezclará la muestra 3 veces, en la última mezcla se formará tipo pila cónica.
 - Se aplanará cuidadosamente la pila cónica (con ayuda de una espátula) hasta uniformizar el espesor y diámetro.
 - Se dividirá el material en cuatro partes iguales y se limpiará los bordes con una brocha. Se seleccionará dos muestras diagonalmente opuestas.
 - Se repetirá el proceso hasta conseguir la cantidad deseada.
- ✓ Se seleccionará los tamices necesarios para la ejecución del ensayo (N°3/8, N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y fondo), posteriormente se pesará cada tamiz con los que se realizará el ensayo, luego se ordenará los tamices de forma decreciente.
- ✓ Se pesará la muestra, no menor de 500 gr. y no mayor a 1000 gr.

- ✓ Se colocará la muestra en los tamices y agitar manualmente por 5 minutos.
- ✓ Luego se pesará cada tamiz con la muestra retenida.
- ✓ Se realizará 3 veces el mismo ensayo.
- ✓ El módulo de finura se determinará con la siguiente fórmula:

Ecuación 2: Fórmula para hallar el módulo de finura del agregado fino

$$MF = \frac{\sum PRA \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100}{100}}$$

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 26: Formato para el análisis granulométrico del agregado fino

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N°3/8"							
N°4							
N°8							
N°16							
N°30							
N°50							
N°100							
Fondo							
		PESO RETENIDO (g) =					
		MÓDULO DE FINURA =					

Fuente: NTP 400.012:2013

2.5.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso según la norma NTP

400.012:2013

- ✓ Se realizará el muestreo del agregado fino de acuerdo a la NTP 400.010:
 - Se tomará 15 kg de muestra para ponerla en una base plana y limpia.
 - Se dividirá el material en cuatro partes iguales y se seleccionará dos muestras diagonalmente opuestas.

- Se repetirá el proceso hasta conseguir la cantidad deseada.
- ✓ Se seleccionará los tamices necesarios para la ejecución del ensayo (1 ½’’; 1’’; ¾’’; ½’’; 3/8’’; N°4 y fondo), luego se pesará cada tamiz con los que se realizará el ensayo, luego se ordenará los tamices de forma decreciente.
- ✓ Se pesará 2 kg. de muestra del agregado grueso según norma y se colocará la muestra en los tamices y agitar manualmente durante 5 minutos.
- ✓ Luego se pesará cada tamiz con la muestra retenida.
- ✓ Se realizará 3 veces el mismo ensayo.
- ✓ El módulo de finura se determinará con la siguiente fórmula:

Ecuación 3: Fórmula para hallar el módulo de finura del agregado grueso

$$MF = \frac{\sum P.R.A. \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8}{100}$$

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 27: *Formato del análisis granulométrico para agregado grueso*

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 1 1/2"							
N° 1"							
N° 3/4"							
N° 1/2"							
N° 3/8"							
N° 4							
N° 8							
Fondo							
		PESO RETENIDO (g) =					
		MÓDULO DE FINURA =					

Fuente: NTP 400.012:2013

2.5.1.3. Contenido de humedad de los agregados según la norma NTP

339.185:2013

- ✓ El muestreo se efectuará de acuerdo a la norma, con excepción del tamaño de la muestra. Entonces, primero se pesará un recipiente vacío.
- ✓ Se deberá tomar el peso de la muestra en estado natural + el recipiente.
- ✓ Poner en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas. Después se tomará el peso de la muestra seca.
- ✓ El ensayo se hace para el agregado fino (3 repeticiones) y el agregado grueso (3 repeticiones).

Ecuación 4: Fórmula para hallar el contenido de humedad

$$\%W = \frac{(A - B)}{(B - C)} * 100$$

Fuente: NTP 339.185:2013

Donde:

A: lata con la muestra húmeda

B: lata con la muestra seca

C: peso de la lata

Tabla 28: *Formato de contenido de humedad para agregado fino y grueso*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO TARA	gr.			
PESO TARA + MUESTRA HÚMEDA	gr.			
PESO TARA + MUESTRA SECA	gr.			
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.			
PROMEDIO C. DE HUMEDAD	gr.			

Fuente: NTP 339.185:2013

2.5.1.4. Peso unitario suelto y compactado de los agregados según la norma NTP

400.017:2011

- ✓ Se determinará el volumen interno del recipiente en m³
 - Se tomará el peso del molde.
 - Se tomará el peso de una placa de vidrio.
 - Se llenará de agua en el molde y luego se tapaná con la placa de vidrio para eliminar las burbujas y exceso de agua. Luego se tomará el peso del molde + agua + placa de vidrio.
 - Se tomará la temperatura y densidad del agua.
 - La fórmula para hallar el volumen del molde es la siguiente:

Ecuación 5: Fórmula para hallar el volumen del molde

$$\text{Volumen recipiente} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{densidad del agua}}$$

Fuente: NTP 400.017:2011

- ✓ Se llenará la muestra en el recipiente, después se enrazaará la superficie (peso unitario suelto). Para el peso unitario compactado se verterá la muestra en el recipiente cilíndrico en 3 capas. Cada una compactada con una varilla de fierro (5/8") 25 veces en toda el área y 16 golpes al exterior en el contorno del recipiente con un mazo de goma.
- ✓ Se procederá a pesar la muestra + el molde. El ensayo se deberá repetir mínimo 3 veces.
- ✓ La fórmula para hallar el peso unitario suelto y compacto es la siguiente:

Ecuación 6: Fórmula para hallar el PUSS

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{(G - T)}{V}$$

Fuente: NTP 400.017:2011

Ecuación 7: Fórmula para hallar el PUCS

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{(G' - T)}{V}$$

Fuente: NTP 400.017:2011

Donde:

G: Peso del agregado suelto + recipiente (Kg)

G': Peso del agregado compactado + recipiente (Kg)

T: Peso del recipiente (Kg)

V: Volumen del recipiente (m³)

Tabla 29: *Formato para el peso unitario suelto y compactado de los agregados*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MOLDE	kg.			
MOLDE+AGUA+VIDRIO	kg.			
VIDRIO	kg.			
TEMPERATURA	°C			
DENSIDAD AGUA	kg/m ³			
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³			
MOLDE + MUESTRA SUELTA	kg.			
MOLDE + MUESTRA COMPACTA	kg.			
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m ³			
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m ³			

Fuente: NTP 400.017:2011

2.5.1.5. Peso específico y absorción del agregado fino según la norma NTP

400.022:2013

- ✓ Se sumergirá el agregado fino en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
- ✓ Se secará la muestra con una cocina eléctrica.
- ✓ Se realizará la prueba de humedad superficial colocando la muestra en un cono en tres capas, cada una con 25 golpes con el pisón.
- ✓ Se retirará el cono, y si al derrumbarse la tercera parte de la muestra significa que está saturada superficialmente seca.
- ✓ Si la muestra cumple con el paso anterior, entonces se procederá a verter la muestra saturada superficialmente seca $500 \text{ gr.} \pm 10 \text{ gr.}$ (A) en una fiola, pero antes se tomará el peso de la fiola y peso de fiola + agua hasta el menisco (B).
- ✓ Se tomará el peso de fiola + muestra SSS. Luego con la muestra SSS en la fiola se llenará con agua aproximadamente 90 % de su capacidad y se empezará a rodar manualmente para eliminar las burbujas del aire durante 15 a 20 minutos. Después se agregará agua hasta el menisco y esperar unos minutos hasta que las burbujas ya hayan sido eliminadas y se tomará el peso de fiola + muestra SSS + agua hasta el menisco (C).
- ✓ Se verterá la muestra de la fiola en un recipiente metálico y se colocará en el horno a una temperatura $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, pero antes se tomará el peso del recipiente. Después de ese tiempo se pesará la muestra seca (A).
- ✓ El ensayo se deberá repetir mínimo 3 veces.

Ecuación 8: Fórmulas para hallar la densidad seca, densidad SSS, densidad aparente y absorción del agregado fino

$$\text{Densidad seca al horno (kg/m}^3\text{)} = \frac{A}{B + S - C} \times 1000$$

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca (kg/m}^3\text{)} = \frac{S}{B + S - C} \times 1000$$

$$\text{Densidad aparente (kg/m}^3\text{)} = \frac{A}{B + A - C} \times 1000$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Fuente: NTP 400.022:2013

Donde:

A: Peso de muestra seca.

B: Peso de fiola + agua hasta el menisco.

C: Peso de fiola + muestra SSS + agua hasta el menisco.

S: Peso de muestra SSS.

Tabla 30: *Formato para el peso específico y absorción del agregado fino*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Volumen de fiola	cm ³			
Peso de Fiola	gr.			
Peso de Fiola + agua (menisco) (B)	gr.			
Peso de fiola + muestra SSS	gr.			
Peso fiola + muestra SSS + agua (menisco) (C)	gr.			
Peso de agua	gr.			
Peso de recipiente	gr.			
Peso de recipiente + muestra seca	gr.			
Peso de muestra seca (A)	gr.			
Peso de muestra SSS (S)	gr.			
Densidad seca al horno	Kg/m ³			
Densidad saturada superficialmente seca	Kg/m ³			
Densidad aparente	Kg/m ³			
Absorción	%			

Fuente: NTP 400.022:2013

2.5.1.6. Peso específico y absorción del agregado grueso según la norma NTP

400.021:2013

- ✓ Se sumergirá el agregado grueso en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
- ✓ Luego se sacará el agregado grueso con una franela y después se pesará 2 kg. según la norma NTP 400.010:2001 en una balanza de precisión de 0.01 g para tener su peso saturado superficialmente seco (B).
- ✓ Posteriormente se colocará el agregado grueso en una balanza hidrostática para anotar el peso de la muestra sumergido en agua (C).
- ✓ Finalmente se pondrá la muestra al horno por 24 horas a una temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, pasado el tiempo se pesará la muestra seca (A).

Ecuación 9: Fórmulas para hallar la densidad seca, densidad SSS, densidad aparente y absorción del agregado grueso

$$\text{Densidad seca al horno (kg/m}^3\text{)} = \frac{A}{B - C} \times 1000$$

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca (kg/m}^3\text{)} = \frac{B}{B - C} \times 1000$$

$$\text{Densidad aparente (kg/m}^3\text{)} = \frac{A}{A - C} \times 1000$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Fuente: NTP 400.021:2013

Donde:

A: Peso de muestra seca.

B: Peso de muestra SSS

C: Peso de muestra suspendida en agua

Tabla 31: *Formato para el peso específico y absorción del agregado grueso*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Peso de muestra SSS (B)	gr.			
Peso de muestra suspendida en agua (C)	gr.			
Muestra seca (A)	gr.			
Peso específico de masa	Kg/m ³			
Peso específico de masa SSS	Kg/m ³			
Peso específico aparente	Kg/m ³			
Absorción	%			

Fuente: NTP 400.021:2013

2.5.2. Diseño de mezcla según ACI 211.1, 2016

- 1) Se seleccionará la resistencia del diseño y se calculará la resistencia promedio requerida con la tabla N° 32:

Tabla 32: *Cálculo de la resistencia promedio f'_{cr}*

f'_c	f'_{cr}
<210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
>350	$1.10f'_c + 50$

Fuente: Adaptada del ACI 318, 2014

- 2) Se hallará el contenido de aire atrapado en el concreto en función al TMN del agregado grueso con la tabla N° 33:

Tabla 33: *Contenido de aire*

TMN del A. Grueso	Aire atrapado
N°3/8"	3.0%
N°1/2"	2.5%
N°3/4"	2.0%
N° 1"	1.5%
N° 1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 3) Se determinará el contenido de agua en función al asentamiento del concreto y el TMN de agregado grueso con la tabla N° 34:

Tabla 34: *Volumen unitario de agua*

Slump	Agua en l/m ³ para los diferentes TMN de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	***
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	***

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 4) Se hallará la relación agua/cemento en función a la resistencia promedio requerida con la tabla N° 35. Se realizará la interpolación si el caso lo requiera.

Tabla 35: *Relación agua-cemento por resistencia*

f'cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	concretos sin aire incorporado	concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	***
450	0.38	***

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 5) Se calculará el contenido de cemento con la siguiente fórmula:

Ecuación 10: Fórmula para hallar la cantidad de cemento

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{\text{volumen de agua (litros)}}{\text{relación a/c}}$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 6) Se calculará el peso y volumen del agregado grueso en función al TMN del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fin con la tabla N° 36.

Tabla 36: *Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto*

TMN	Vol. Del agregado. Grueso, seco y compactado, por unid. De vol. Del concreto para diferentes M.F.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
N°3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
N°1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
N°3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
N° 1"	0.71	0.69	0.67	0.65
N° 1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 7) Se hallará el volumen absoluto de la pasta con las siguientes fórmulas:

Ecuación 11: Fórmulas para hallar el volumen absoluto de la pasta

$$\text{volumen}_{\text{cemento}} (m^3) = \frac{\text{cantidad cemento}}{\text{peso específico cemento} \times 1000}$$

$$\text{volumen}_{\text{agua}} (m^3) = \frac{\text{cantidad de agua}}{1000}$$

$$\text{aire} (m^3) = \frac{\% \text{ aire atrapado}}{100}$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 8) Se calculará el peso del agregado fino

Ecuación 12: Fórmula para hallar el peso del agregado fino

$$\mathbf{Peso_{AF} = volumen_{AF} \times peso\ específico_{AF}}$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 9) Presentación del diseño en estado seco del concreto

Tabla 37: Formato para el diseño de la mezcla en estado seco

Cemento	kg/m ³
Agregado fino	kg/m ³
Agregado grueso	kg/m ³
Agua	L/m ³

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 10) Se hará la corrección por humedad de los agregados con la siguiente fórmula:

Ecuación 13: Fórmula para la corrección por humedad de los agregados

$$\text{Agregado fino} = \text{peso seco}_{AF} \times \left(1 + \frac{C.\text{humedad}_{AF}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{peso seco}_{AG} \times \left(1 + \frac{C.\text{humedad}_{AG}}{100} \right)$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

- 11) Aporte de agua en la mezcla

Ecuación 14: Fórmula para hallar el aporte de agua en la mezcla

$$\text{Agregado fino} = \text{peso húmedo}_{AF} \times \left(\frac{C.\text{humedad}_{AF} - \text{absorción}_{AF}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado grueso} = \text{peso húmedo}_{AG} \times \left(\frac{C.\text{humedad}_{AG} - \text{absorción}_{AG}}{100} \right)$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

12) Se calculará el agua efectiva con la siguiente fórmula:

Ecuación 15: Fórmula para hallar el agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{contenido de agua} - \sum \text{aporte de agua a la mezcla}$$

Fuente: ACI 211.1, 2016

13) Diseño de mezcla

Tabla 38: *Formato para los materiales corregidos por humedad*

Cemento	kg/m ³
Ag. Fino	kg/m ³
Ag. Grueso	kg/m ³
Agua	L/m ³

Fuente: ACI 211.1, 2016

14) Proporción en peso por bolsa de cemento

Tabla 39: *Formato para la proporción en peso por bolsa de cemento*

Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
---------	----------	------------

Fuente: ACI 211.1, 2016

2.5.2.1. Prueba piloto para los porcentajes de perlas de poliestireno

Para determinar los porcentajes de sustitución de las perlas de poliestireno por agregado fino se realizará pruebas piloto con 30% y 60% y así identificar el límite de porcentaje en un concreto a base de perlas de poliestireno. La siguiente tabla N° 40 y N° 41 es el formato que recopilará el ensayo de resistencia a compresión a 7 días de curado.

Tabla 40: *Formato para muestra piloto de concreto a base de perlas de poliestireno con 7.35 kg/m³ a 7 días de curado*

Descripción	Resistencia a compresión con perlas (7.35 kg/m ³)		
	0%	30%	60%
Probeta 1			
Probeta 2			
Probeta 3			
Promedio			

Fuente: Propia

Tabla 41: *Formato para muestra piloto de concreto a base de perlas de poliestireno con 21.12 kg/m³ a 7 días de curado*

Descripción	Resistencia a compresión con perlas (21.12 kg/m ³)		
	0%	30%	60%
Probeta 1			
Probeta 2			
Probeta 3			
Promedio			

Fuente: Propia

2.5.2.1.1. Diseño de mezcla con perlas de poliestireno con dos tipos de densidades 7.35 kg/m³ y 21.12 kg/m³

Después de realizar las muestras pilotos, se procederá a elaborar el diseño de mezcla con los porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60% de perlas de poliestireno por sustitución del agregado fino.

Tabla 42: *Formato para el diseño de mezcla con 2 densidades de tecnopor para los diferentes porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60%*

Cemento	kg/m ³
Ag. Fino	kg/m ³
Ag. Grueso	kg/m ³
Agua	L/m ³

Fuente: Propia

2.5.3. Elaboración de probetas y vigas según la norma NTP 339.183/ASTM C-31

Según la norma ASTM C-31, describe las características de las probetas y vigas a elaborar para los ensayos de resistencia a compresión y flexión. Los moldes cilíndricos serán de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. Los moldes vigas serán de 15 cm de ancho, 15 cm de altura y 50 cm de largo. Los porcentajes de tecnopor que se le aplicó al concreto fueron 0%, 15%, 30%, 45%, 50% y 60% reemplazado por agregado fino en función al peso volumétrico para cada densidad de las perlas de poliestireno (7.35 kg/m^3 y 21.12 kg/m^3). Los días de curado serán 28 días.

✓ **Proporcionamiento y pesado de materiales**

Se procedió a pesar los materiales para una tanda de 35 litros

✓ **Mezclado de materiales**

Para el mezclado de materiales se utilizó el trompo, pero humedecerlo antes de utilizarlo. Para la mezcla de concreto ligero se utilizó agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y porcentaje de perlas de poliestireno. Para un concreto convencional, primero se echó el agregado grueso con la tercera parte de agua, después de un minuto se echó el agregado fino, posteriormente el cemento y agua. Para un concreto ligero, las perlas de poliestireno se echaron al final.

✓ **Moldes de probetas**

Se echarán aceite en los moldes antes de colocar el concreto fresco. Para la elaboración de probetas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, se llenaron en dos capas con 25 chuceadas (varilla de $3/8''$) y 15 golpes en el exterior con el martillo de goma. Para la elaboración de vigas de 15 cm de ancho, 15 cm de

altura y 50 cm de largo, se llenaron en 2 capas “según norma que dice 1 por cada 14 cm² según el área superficial de la viga”, serán 54 chuceadas (varilla de 5/8”) y 15 golpes al exterior con el martillo de goma. El acabado final al elaborar las probetas y vigas será enrasando la superficie con la varilla compactadora y se empareja con una llana o un palustre. Asimismo, se identificará poniendo nombres en cada muestra según el diseño.

✓ **Desencofrado**

Después de 24 ± 8 horas después de su elaboración, se desencofrarán las probetas y vigas de manera cuidadosa evitando dañar al concreto.

✓ **Curado**

Se pondrá a curar las probetas y vigas en una poza por inmersión en agua con cal por 28 días desde su elaboración. Las muestras se deben mantener en condiciones de humedad con temperatura de $23.0^\circ \pm 2.0^\circ\text{C}$ desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

2.5.4. Ensayos al concreto en estado fresco

2.5.4.1. Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035:2009

- ✓ Se humedeció todos los equipos para el ensayo.
- ✓ Colocar el cono en la bandeja metálica (base plana).
- ✓ Apoyar firmemente el molde sujetándolo bien para evitar que se mueva.
- ✓ Se llenó la mezcla en el cono en tres capas aproximadamente iguales. Por cada capa se chuceó 25 veces en forma espiral. En la última capa, se chucea cuidadosamente y después se nivela.
- ✓ Después se levantó el cono verticalmente con cuidado.

- ✓ Finalmente se procedió a tomar la distancia con la ayuda de una wincha o un centímetro entre la altura del cono invertido y el centro de la parte superior del concreto.
- ✓ El ensayo se deberá repetir mínimo 3 veces.

Tabla 43: *Formato para el ensayo de asentamiento del concreto*

Porcentaje de tecnopor	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0%				
15%				
30%				
45%				
50%				
60%				

Fuente: Propia

2.5.4.2. Peso Unitario del concreto según la norma NTP 339.046:2008

- ✓ Se deberá pesar el molde cilíndrico para el ensayo y determinar su volumen antes del llenado de concreto.
- ✓ Se vaciará el concreto en el molde por cada 3 capas, en cada capa se deberá chucear con la varilla de fierro 25 veces de forma espiral x 15 golpes al exterior con un mazo de goma.
- ✓ Cuando se realice el llenado de la mezcla en las probetas, se deberá pesar molde + mezcla de concreto.
- ✓ El ensayo se deberá repetir mínimo 3 veces.
- ✓ La fórmula para hallar la densidad o peso unitario del concreto en estado fresco es la siguiente:

Ecuación 16: Fórmula para hallar el peso del concreto en estado fresco

$$Densidad = \frac{(P. molde + concreto) - (P. molde)}{Volumen del molde}$$

Fuente: NTP 339.046:2008

Tabla 44: *Formato para el peso unitario del concreto fresco*

Probetas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
0%				
15%				
30%				
45%				
50%				
60%				

Fuente: Propia

2.5.5. Ensayos al concreto en estado endurecido

2.5.5.1. Resistencia a compresión según la norma NTP 339.034:2015

- ✓ Después que se elaboraron las muestras en los moldes de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura, con ciertos porcentajes de tecnopor, según su densidad, a 28 días de curado, se procederá a retirar las muestras de la poza de curado y esperar mínimo 6 horas de secado al aire libre.
- ✓ Se tomó las medidas de los moldes de concreto con la ayuda de un micrómetro.
- ✓ Luego se procedió a colocar las probetas en la máquina universal y se le aplicó una carga constante hasta su rotura.
- ✓ La fórmula para calcula la resistencia a compresión es la siguiente:

Ecuación 17: Fórmulas para hallar la resistencia a compresión

$$f'c \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{área}}$$

$$\text{área (cm}^2\text{)} = \frac{\pi d^2}{4}$$

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 45: *Formato para el ensayo de resistencia a compresión para concreto elaborados con dos densidades*

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Probeta 1						
Probeta 2						
Probeta 3						
Probeta 4						
Probeta 5						
Probeta 6						
Probeta 7						
Probeta 8						
Probeta 9						
Probeta 10						
PROMEDIO						

Fuente: Propia

2.5.5.2. Resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo según la norma NTP 339.078:2012

- ✓ Después que se elaboraron las muestras en los moldes de 15 cm de ancho x 15 cm de altura y 15 cm de largo con ciertos porcentajes de tecnopor, según su densidad, a 28 días de curado, se procederá a retirar las muestras de la poza de curado y esperar mínimo 6 horas de secado al aire libre.
- ✓ Se tomó las medidas (ancho, altura, luz libre entre apoyos) de los moldes prismáticos con la ayuda de un micrómetro y se marcó con un plumón las divisiones a lo largo de la viga, teniendo en cuenta que se deja 2.5 cm en cada borde y luego repartirlo en 3 partes.
- ✓ Luego se procedió a colocar los moldes prismáticos en la máquina universal y se le aplicó una carga constante hasta su rotura.
- ✓ La fórmula para calcular la resistencia a la flexión es la siguiente:

Ecuación 18: Fórmula para hallar el módulo de rotura

$$Mr = \frac{PL}{bh^2}$$

Fuente: NTP 339.078:2012

Donde:

Mr: Módulo de rotura (kg/cm²).

P: Carga máxima de rotura (kg).

L: Luz libre entre apoyos (cm).

b: Ancho promedio de la probeta en la sección de falla (cm).

h: Altura promedio de la probeta en la sección de falla (cm).

Tabla 46: *Formato para el ensayo de resistencia a la flexión para vigas elaboradas con dos densidades*

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Viga 1						
Viga 2						
Viga 3						
Viga 4						
Viga 5						
Viga 6						
Viga 7						
Viga 8						
Viga 9						
Viga 10						
PROMEDIO						

Fuente: Propia

2.6. Aspectos éticos

Esta tesis de investigación es original, no ha sido copia de otros estudios, asimismo busca brindar la información pertinente a todos los ingenieros y constructores del uso de las perlas de poliestireno por sustitución al agregado fino, haciendo que el concreto sea ligero y sea una opción para construir y optimizar costos.

Se contó con el acompañamiento y supervisión del asesor de esta investigación para realizar los ensayos pertinentes para llevar a cabo con los objetivos. Asimismo, los resultados del estudio son reales y fidedignos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de agregados

3.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo y para la ejecución se utilizó los tamices N°3/8", N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y fondo. Los resultados de este ensayo se muestran en las tablas N°47; N°48 y N° 49 con sus respectivas curvas granulométricas y husos granulométricos en las figuras N° 3; N° 4 y N° 5.

Tabla 47: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 1

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N°3/8"	9.50	523.20	523.20	0	0	0	100
N°4	4.75	502.90	557.00	54.10	5	5	95
N°8	2.36	476.80	625.48	148.68	15	20	80
N°16	1.18	403.90	582.85	178.95	18	39	61
N°30	0.60	372.50	550.89	178.39	18	57	43
N°50	0.30	342.60	545.30	202.70	20	77	23
N°100	0.15	319.70	475.15	155.45	16	93	7
Fondo	menor de 0.08	437.10	508.10	71.00	7	100	0
PESO RETENIDO (g) =				989.27	100		
MÓDULO DE FINURA =				2.91			

Fuente: NTP 400.012:2013

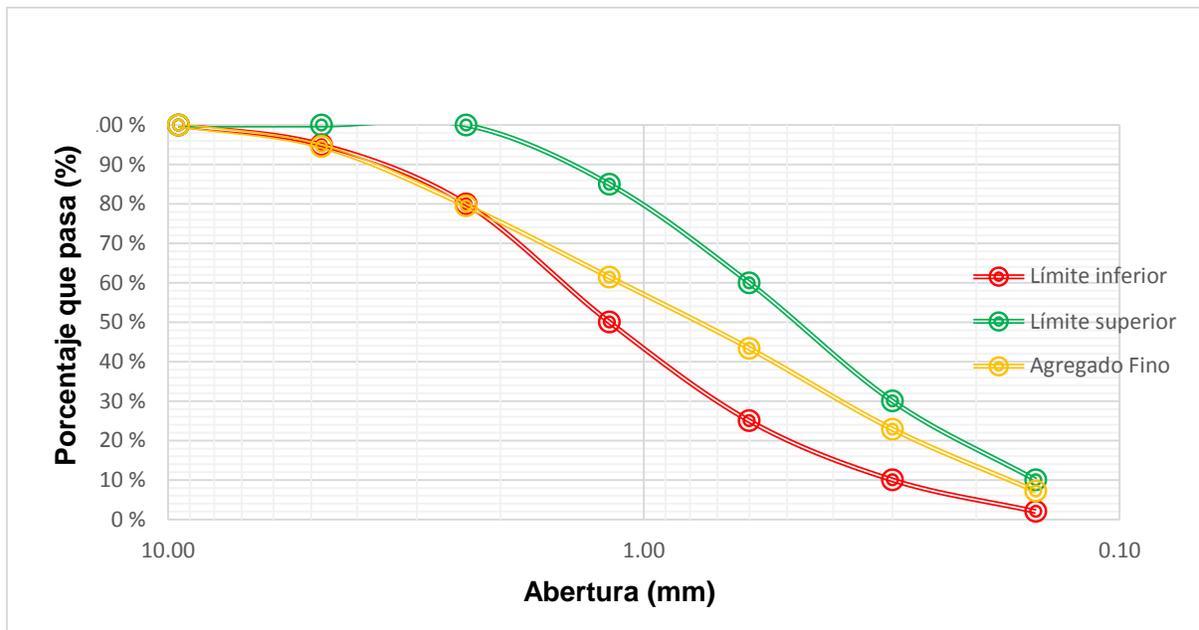


Figura 3: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 1

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 48: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 2

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N°3/8"	9.50	523.20	523.20	0	0	0	100
N°4	4.75	502.80	539.00	36.20	4	4	96
N°8	2.36	476.90	614.40	137.50	14	17	83
N°16	1.18	403.90	542.20	138.30	14	31	69
N°30	0.60	372.50	543.60	171.10	17	48	52
N°50	0.30	342.50	583.40	240.90	24	72	28
N°100	0.15	319.80	537.90	218.10	22	94	6
Fondo	menor de 0.08	437.20	494.40	57.20	6	100	0
PESO RETENIDO (g) =				999.30	100		
MÓDULO DE FINURA =				2.67			

Fuente: NTP 400.012:2013

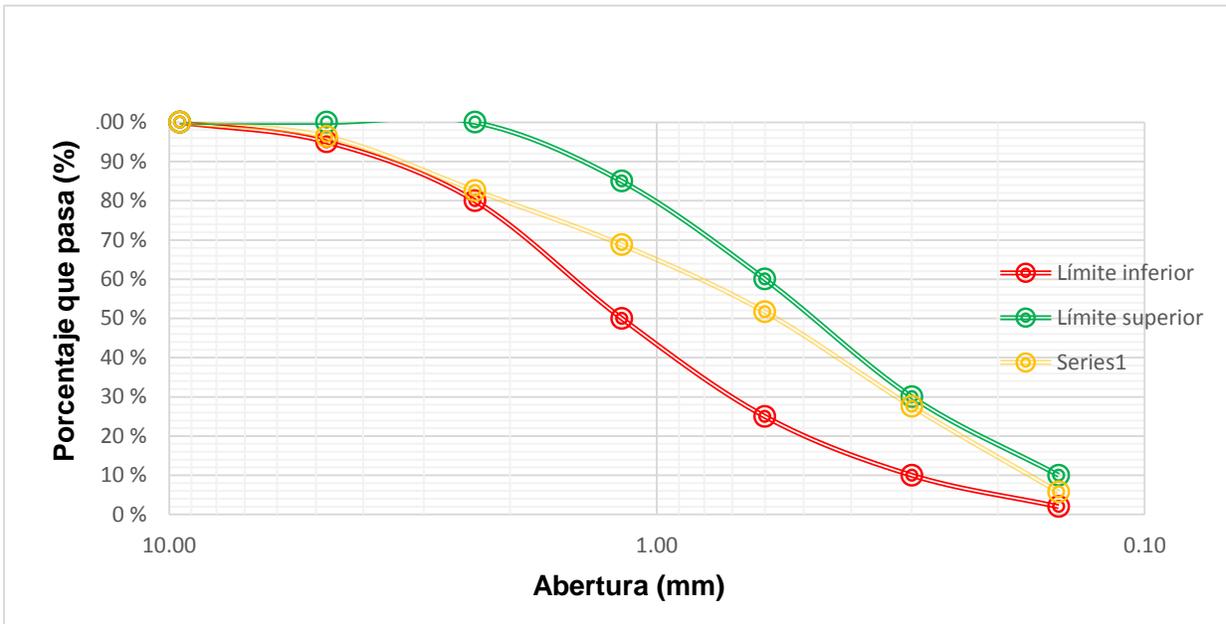


Figura 4: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 2

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 49: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - muestra 3

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N°3/8"	9.50	523.20	523.20	0	0	0	100
N°4	4.75	502.70	536.80	34.10	3	3	97
N°8	2.36	477.00	615.60	138.60	14	17	83
N°16	1.18	404.10	537.50	133.40	13	31	69
N°30	0.60	372.70	542.80	170.10	17	48	52
N°50	0.30	342.60	585.40	242.80	24	72	28
N°100	0.15	319.70	516.70	197.00	20	92	8
Fondo	menor de 0.08	437.10	520.50	83.40	8	100	0
PESO RETENIDO (g) =				999.40	100		
MÓDULO DE FINURA =				2.63			

Fuente: NTP 400.012:2013

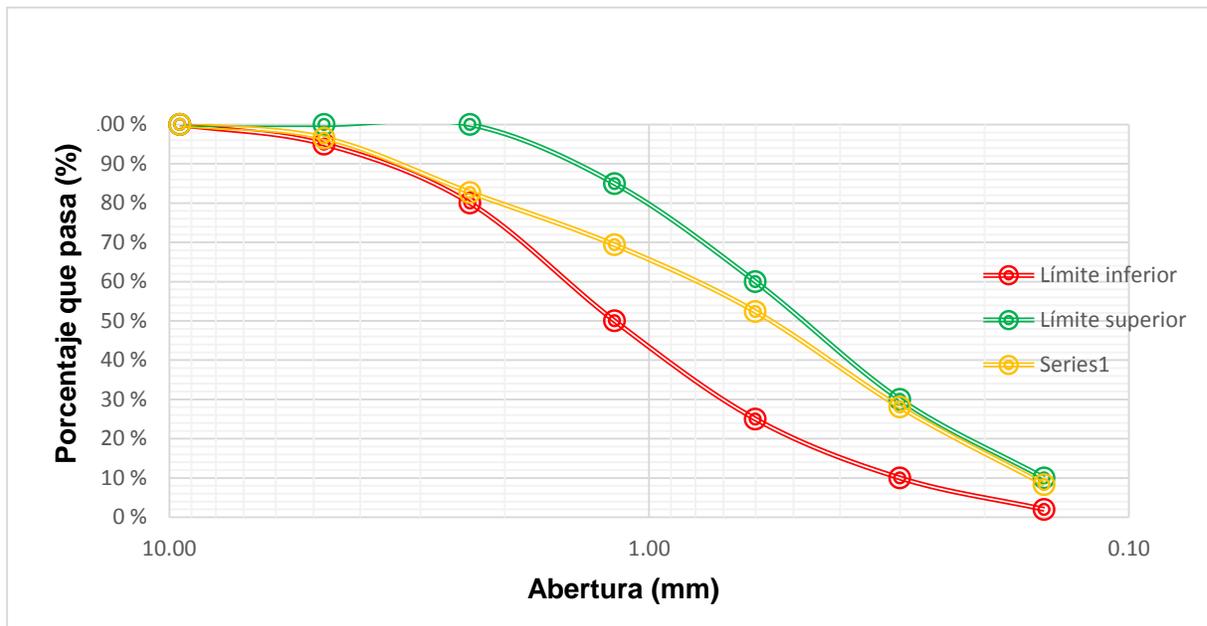


Figura 5: Curva granulométrica del agregado fino - muestra 3

Fuente: NTP 400.012:2013

3.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo y para la ejecución se utilizó los tamices N°1 ½"; N°1"; N°3/4"; N°1/2"; N°3/8"; N°4; N°8 y fondo. Los resultados de este ensayo se muestran en las tablas N° 50; N° 51 y N° 52 con sus respectivas curvas granulométricas y husos granulométricos en las figuras N° 6; N° 7 y N° 8.

Tabla 50: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 1

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 1 1/2"	37.50	562.40	562.40	0	0	0	100
N° 1"	25.00	534.40	534.40	0	0	0	100
N°3/4"	19.00	546.10	546.10	0	0	0	100
N°1/2"	12.50	524.10	1125.60	602	30	30	70
N°3/8"	9.50	523.20	1287.40	764	38	68	32
N°4	4.75	509.20	1130.30	621.10	31	99	1
N°8	2.36	451.90	451.90	0.00	0	99	1
Fondo	menor de 0.08	432.90	445.80	12.90	1	100	0
PESO RETENIDO (g) =				1999.70	100		
MÓDULO DE FINURA =				2.97			

Fuente: NTP 400.012:2013

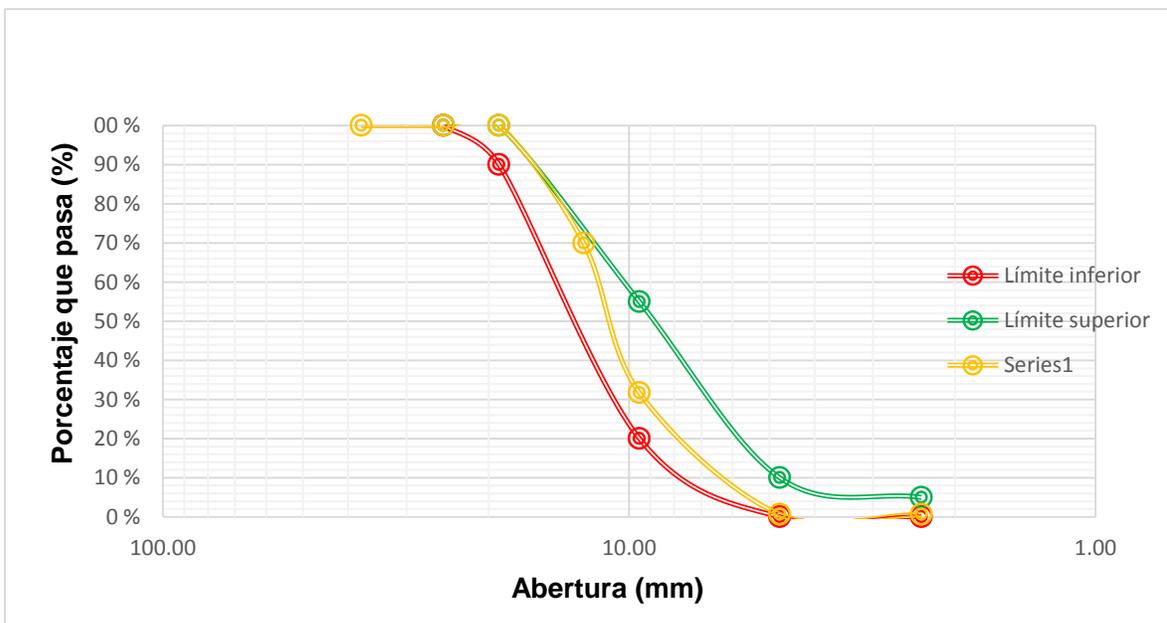


Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 1

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 51: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 2

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 1 1/2"	37.50	562.40	562.40	0	0	0	100
N° 1"	25.00	534.40	534.40	0	0	0	100
N°3/4"	19.00	546.10	546.10	0	0	0	100
N°1/2"	12.50	524.10	1260.80	737	37	37	63
N°3/8"	9.50	523.20	1310.00	787	39	76	24
N°4	4.75	509.20	976.00	466.80	23	100	0
N°8	2.36	451.90	451.90	0.00	0	100	0
Fondo	menor de 0.08	432.90	442.20	9.30	0	100	0
PESO RETENIDO (g) =				1999.60	100		
MÓDULO DE FINURA =				3.12			

Fuente: NTP 400.012:2013

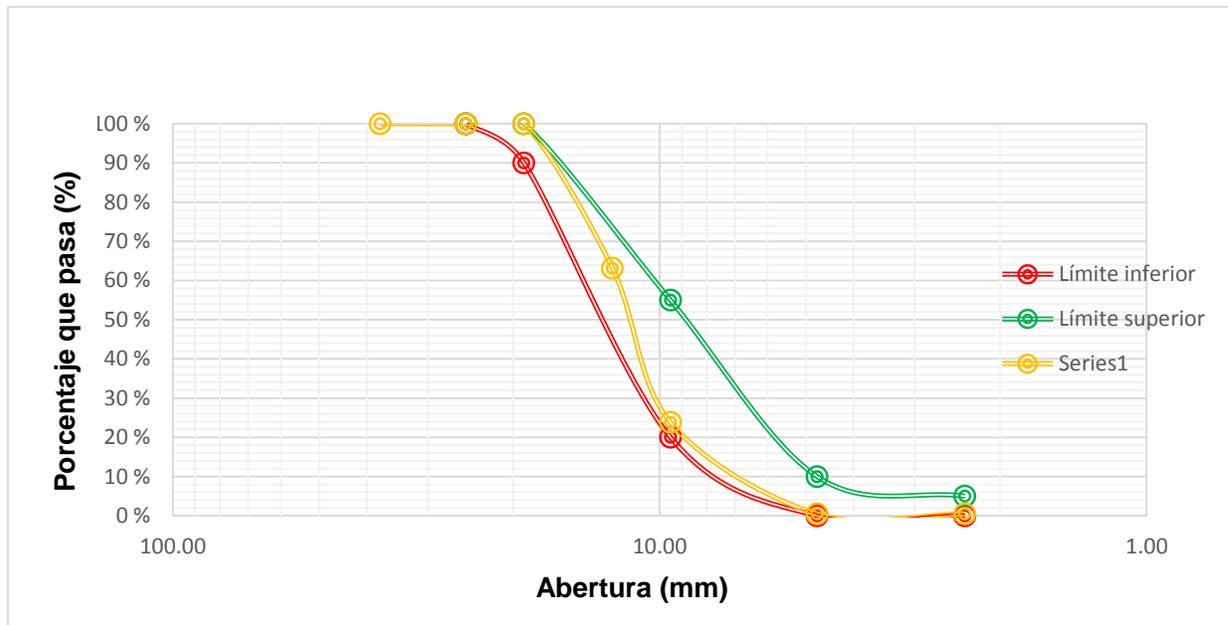


Figura 7: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 2

Fuente: NTP 400.012:2013

Tabla 52: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - muestra 3

TAMIZ	Abertura	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + Peso retenido	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
N° 1 1/2"	37.50	562.40	562.40	0	0	0	100
N° 1"	25.00	534.40	534.40	0	0	0	100
N°3/4"	19.00	546.10	546.10	0	0	0	100
N°1/2"	12.50	524.10	1199.80	676	34	34	66
N°3/8"	9.50	523.20	1301.40	778	39	73	27
N°4	4.75	509.20	1041.70	532.50	27	99	1
N°8	2.36	451.90	451.90	0.00	0	99	1
Fondo	menor de 0.08	432.90	446.10	13.20	1	100	0
PESO RETENIDO (g) =				1999.60	100		
MÓDULO DE FINURA =				3.05			

Fuente: NTP 400.012:2013

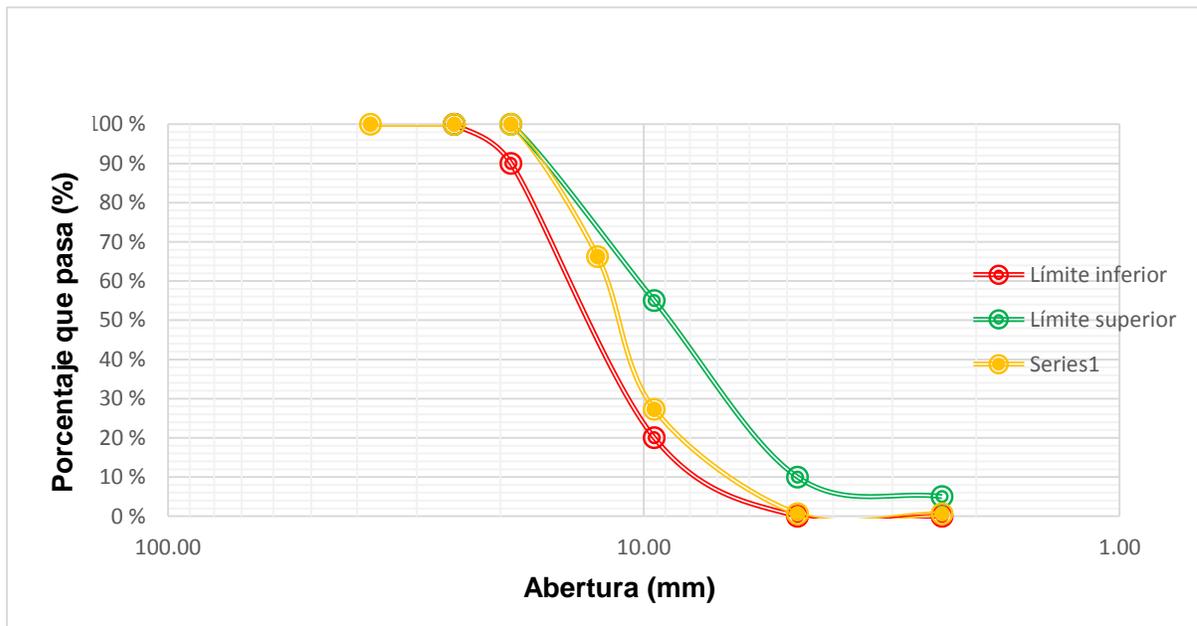


Figura 8: Curva granulométrica del agregado grueso - muestra 3

Fuente: NTP 400.012:2013

3.1.3. Contenido de humedad de los agregados según la norma NTP 339.185:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en las tablas N° 53 y N° 54.

Tabla 53: *Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado fino*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO TARA	gr.	294.73	121.42	171.81
PESO TARA + MUESTRA HÚMEDA	gr.	797.14	637.89	678.57
PESO TARA + MUESTRA SECA	gr.	793.64	634.15	675.02
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.	0.70	0.73	0.71
PROMEDIO C. HUMEDAD	gr.		0.71	

Fuente: NTP 339.185:2013

Tabla 54: *Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado grueso*

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PESO TARA	gr.	131.32	289.87	146.9
PESO TARA + MUESTRA HÚMEDA	gr.	2134.63	2300.18	2147.21
PESO TARA + MUESTRA SECA	gr.	2126.36	2291.67	2139.3
CONTENIDO DE HUMEDAD	gr.	0.41	0.43	0.40
PROMEDIO C. HUMEDAD	gr.		0.41	

Fuente: NTP 339.185:2013

3.1.4. Peso unitario suelto y compactado de los agregados según la norma NTP 400.017:2011

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en las tablas N° 55; N° 56 y N° 57.

Tabla 55: Resultados del ensayo peso unitario suelto y compactado del agregado fino

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	
MOLDE	kg.	4.795	4.795	4.795	
MOLDE+AGUA+VIDRIO	kg.	17.650	17.650	17.650	
VIDRIO	kg.	3.215	3.215	3.215	
TEMPERATURA	°C	21.1	21.1	21.1	
DENSIDAD AGUA	kg/m ³	997.97	997.97	997.97	
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.00966	0.00966	0.00966	
MOLDE + MUESTRA SUELTA	kg.	21.145	21.130	21.125	
MOLDE + MUESTRA COMPACTA	kg.	23.845	23.905	23.870	PROMEDIO
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m ³	1693.00	1691.00	1691.00	1690.00
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m ³	1972.00	1978.00	1975.00	1980.00

Fuente: 400.017:2011

Tabla 56: Resultados del ensayo peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	
MOLDE	kg.	4.795	4.795	4.795	
MOLDE+AGUA+VIDRIO	kg.	17.650	17.650	17.650	
VIDRIO	kg.	3.215	3.215	3.215	
TEMPERATURA	°C	21.1	21.1	21.1	
DENSIDAD AGUA	kg/m ³	997.97	997.97	997.97	
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.00966	0.00966	0.00966	
MOLDE + MUESTRA SUELTA	kg.	18.99	18.775	18.88	
MOLDE + MUESTRA COMPACTA	kg.	20.535	20.500	20.550	PROMEDIO
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m ³	1470.00	1447.00	1458.00	1460.00
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m ³	1629.00	1626.00	1631.00	1630.00

Fuente: 400.017:2011

Tabla 57: Resultados del ensayo peso unitario suelto de las perlas y microperlas de poliestireno

DESCRIPCION	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MOLDE	Kg.	4.795	4.795	4.795
MOLDE+AGUA+VIDRIO	Kg.	17.650	17.650	17.650
VIDRIO	Kg.	3.215	3.215	3.215
TEMPERATURA	°C	21.1	21.1	21.1
DENSIDAD AGUA	Kg/m3	997.97	997.97	997.97
VOLUMEN DEL MOLDE	m3	0.00966	0.00966	0.00966
MOLDE + PERLAS DE TECNOPOR	Kg.	4.866	4.865	4.867
MOLDE + MICROPERLAS TECNOPOR	Kg.	4.999	4.998	5.000
DENSIDAD PERLAS TECNOPOR	Kg/m3	7.35	7.25	7.45
DENSIDAD MICROPERLAS TECNOPOR	Kg/m3	21.12	21.02	21.22

Fuente: 400.017:2011

3.1.5. Peso específico y absorción del agregado fino según la norma NTP

400.022:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en la tabla N° 58.

Tabla 58: Resultados del ensayo peso específico y absorción del agregado fino

DESCRIPCIÓN	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	
Volumen de fiola	cm3	500	500	500	
Peso de Fiola	gr.	147.64	157.98	168.96	
Peso de Fiola + agua (menisco) (B)	gr.	645.94	655.53	667	
Peso de fiola + muestra SSS	gr.	647.69	658.02	669.43	
Peso fiola + muestra SSS + agua (menisco) (C)	gr.	960.08	969.03	981.26	
Peso de agua	gr.	312.39	311.01	311.83	
Peso de recipiente	gr.	72.85	121.48	152.32	
Peso de recipiente + muestra seca	gr.	568.76	617.20	648.44	
Peso de muestra seca (A)	gr.	495.91	495.72	496.12	
Peso de muestra SSS (S)	gr.	500.05	500.04	500.47	PROMEDIO
Densidad seca al horno	kg/m ³	2667.00	2657.00	2664.00	2663.00
Densidad saturada superficialmente seca	kg/m ³	2690.00	2681.00	2688.00	2686.00
Densidad aparente	kg/m ³	2728.00	2720.00	2728.00	2725.00
Absorción	%	0.83	0.87	0.88	0.86

Fuente: NTP 400.022:2013

3.1.6. Peso específico y absorción del agregado grueso según la norma NTP

400.021:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en la tabla N° 59.

Tabla 59: Resultados del ensayo peso específico y absorción del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	Und.	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	
Peso de muestra SSS (B)	gr.	2000	2000	2000	
Peso de muestra suspendida en agua (C)	gr.	1264	1265	1266	
Muestra seca (A)	gr.	1977.75	1977.72	1977.86	PROMEDIO
Peso específico de masa	kg/m ³	2687.00	2691.00	2695.00	2691.00
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2717.00	2721.00	2725.00	2721.00
Peso específico aparente	kg/m ³	2771.00	2775.00	2778.00	2775.00
Absorción	%	1.13	1.13	1.12	1.12

Fuente: NTP 400.021:2013

3.2. Diseño de mezcla según ACI 211

Después de la caracterización de los agregados, se tiene la descripción de los datos necesarios para el diseño de mezcla en la tabla N° 60.

Tabla 60: Datos requeridos para el diseño de mezcla

DESCRIPCION	ARENA	PIEDRA
TMN	-	1/2"
Módulo de finura	2.74	3.1
Peso unitario suelto (kg/m3)	1690	1460
Peso unitario compactado (kg/m3)	1980	1630
Peso específico (kg/m3)	2663	2691
% Contenido de humedad	0.71	0.41
% Absorción	0.86	1.12

Fuente: Propia

- 1) Se eligió la resistencia de diseño para un concreto 210 kg/cm^2 , debido a que la resistencia mínima para un concreto ligero estructural es de 17 Mpa (ACI 213R-14) Asimismo, se calculó la resistencia promedio requerido con la tabla N° 32. Se encontró entre 210 kg/cm^2 a 350 kg/cm^2 . Teniendo un $f'_{cr} 294 \text{ kg/cm}^2$.
- 2) De acuerdo al TMN del agregado grueso $\frac{1}{2}$ " y la tabla N° 33 el contenido de aire atrapado es de 2.5%.
- 3) Se determinó la cantidad de agua en función al TMN $\frac{1}{2}$ " de agregado grueso y el asentamiento escogido de 3" a 4" (losas) con la tabla N° 34: 216 L/m^3 .
- 4) Se halló la relación agua/cemento con ayuda de la tabla N° 35.

250-----	0.62
294-----	X
300-----	0.55

Interpolando:

$$\frac{250 - 294}{294 - 300} = \frac{0.62 - x}{x - 0.55}$$

$$x = 0.56$$

- 5) Se determinó la cantidad de cemento

$$\text{Cemento} = \frac{216}{0.56}$$

$$\text{Cemento} = 386 \text{ kg}$$

$$\text{Factor cemento} = \frac{386}{42.5} = 9 \text{ bolsas}$$

- 6) Se calculó el peso del agregado grueso con la ayuda de la tabla N° 36.

2.60-----	0.57
2.74-----	X
2.80-----	0.55

Interpolando:

$$\frac{2.60 - 2.74}{2.74 - 2.80} = \frac{0.57 - x}{x - 0.55}$$

$$x = 0.556$$

Peso A. Grueso = PUSC de la piedra x volumen

$$\text{Peso A. Grueso} = 1630 \times 0.556 = 906 \text{ kg.}$$

7) Se halló el volumen absoluto de la pasta para 1 m^3 con la ecuación N° 11.

$$\begin{array}{r} \text{Cemento} = 0.124 \text{ m}^3 \\ \text{Agua} = 0.216 \text{ m}^3 \\ \text{Aire} = 0.025 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen Ag. Grueso} = 0.337 \text{ m}^3 \\ \hline \text{Total} = 0.702 \text{ m}^3 \end{array}$$

$$\text{Volumen del Ag. Fino} = 1 - 0.702 = 0.298 \text{ m}^3.$$

8) Aplicando la ecuación N° 12, se calculó el peso del agregado fino.

$$\text{Peso}_{AF} = 0.298 \times 2663 = 794 \text{ kg}$$

Presentación del diseño en estado seco.

Tabla 61: *Diseño en estado seco del concreto*

Cemento	kg/m ³	386
Agregado fino	kg/m ³	794
Agregado grueso	kg/m ³	906
Agua	L/m ³	199

Fuente: Propia

9) Se determinó la corrección por humedad de los agregados utilizando las fórmulas en la ecuación N° 13.

$$\text{Agregado fino} = 800 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 912 \text{ kg}$$

10) Se calculó el aporte agua en la mezcla de los agregados utilizando las fórmulas en la ecuación N° 14.

$$\begin{array}{r}
 \text{Agregado fino} = \quad -1.200 \\
 \text{Agregado grueso} = \quad -6.475 \\
 \hline
 \text{Total} = \quad -7.675 \text{ L}
 \end{array}$$

11) Se calculó el agua efectiva en la mezcla del concreto con la ecuación N° 15.

$$\text{Agua efectiva} = \text{contenido de agua} - \sum \text{aporte de agua a la mezcla}$$

$$\text{Agua efectiva} = 199 - (-7.675) = 206 \text{ litros}$$

12) Diseño de mezcla

Tabla 62: *Diseño corregido por humedad*

Cemento	kg/m ³	386
Ag. Fino	kg/m ³	800
Ag. Grueso	kg/m ³	912
Agua	L/m ³	206

Fuente: Propia

13) Proporcionamiento en peso por bolsa de cemento

Tabla 63: *Proporción de diseño por bolsa de cemento*

Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
1.0	: 2.1	: 2.4

Fuente: Propia

NOTA: De acuerdo a la cantidad de agua que fue de 216 L/m³, se hizo un reajuste en el diseño de mezcla en estado seco, por el motivo que el Slump era más de lo esperado, es decir no estaba en el rango de 50mm - 100mm para losas según la tabla N°14, por ello se aplicó reducir 2% por cada pulgada (según norma ACI 211.1). Por lo tanto, se redujo 8% de 216 L/m³, lo cual dio como resultado 199 L/m³.

3.3. Determinación de porcentajes con perlas de poliestireno

Se elaboró pruebas piloto con 30% y 60% para así identificar el límite de porcentaje en un concreto a base de perlas de poliestireno a 7 días de curado, para luego realizar el ensayo de resistencia a compresión y tomar los datos correspondientes.

Tabla 64: *Resistencia a compresión de las muestras pilotos con densidad 7.35 kg/m³ de perlas de poliestireno*

Descripción	Resistencia a compresión con perlas (7.35 kg/m ³)		
	0%	30%	60%
Probeta 1	310.61	194.24	128.48
Probeta 2	304.49	204.30	152.62
Probeta 3	316.04	208.47	162.19
Promedio (kg/cm²)	310.38	202.34	147.76

Fuente: Propia

Tabla 65: *Resistencia a compresión de las muestras pilotos con densidad 21.12 kg/m³ de perlas de poliestireno*

Descripción	Resistencia a compresión con perlas (21.12 kg/m ³)		
	0%	30%	60%
Probeta 1	310.61	201.48	140.89
Probeta 2	304.49	206.84	155.14
Probeta 3	316.04	207.65	152.34
Promedio (kg/cm²)	310.38	205.33	149.46

Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla N° 63, las probetas realizadas con el 60 % de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m³ a 7 días de curado se obtuvo una resistencia promedio de 148 kg/cm², sabiendo que a ese tiempo de curado se obtiene el 65% de resistencia, se estima que para los 28 días de curado puede tener una resistencia aproximada de 228 kg/cm², lo que indica que si cumple con el diseño de mezcla que fue de 210 kg/cm². Por otro lado, en la tabla N° 64, las probetas realizadas con el 60 % de poliestireno con

densidad de 21.12 kg/m^3 a 7 días de curado se obtuvo una resistencia promedio de 149 kg/cm^2 , por ende, se estima que para 28 días de curado tendrá una resistencia aproximada de 229 kg/cm^2 , cumpliendo con el diseño de mezcla. Por lo tanto, con los resultados del ensayo a compresión se determinó que el límite máximo de reemplazo de perlas de poliestireno por agregado fino según su volumen sería el 60 %.

3.4. Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de poliestireno

3.4.1. Perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m^3

Para tener la proporción de un concreto con porcentajes de perlas de poliestireno, se tuvo que realizar otro diseño de mezcla incluyendo el tecnopor con el 15%, 30%, 45%, 50% y 60% por reemplazo del volumen del agregado fino, estos porcentajes fueron seleccionados con la muestra piloto realizada.

Tabla 66: *Diseño de mezcla con el 15% de perlas de Poliestireno*

Cemento	Kg/m^3	386
Ag. Fino	Kg/m^3	680
Ag. Grueso	Kg/m^3	912
Agua	L/m^3	206
Perlas de poliestireno	Kg/m^3	0.33

Fuente: Propia

Tabla 67: *Diseño de mezcla con el 30% de perlas de Poliestireno*

Cemento	Kg/m^3	386
Ag. Fino	Kg/m^3	562
Ag. Grueso	Kg/m^3	912
Agua	L/m^3	206
Perlas de poliestireno	Kg/m^3	0.65

Fuente: Propia

Tabla 68: *Diseño de mezcla con el 45% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	442.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	0.980

Fuente: Propia

Tabla 69: *Diseño de mezcla con el 50% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	400.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	1.100

Fuente: Propia

Tabla 70: *Diseño de mezcla con el 60% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	324.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	1.310

Fuente: Propia

3.4.2. Perlas de poliestireno con densidad de 21.12 kg/m³

Tabla 71: *Diseño de mezcla con el 15% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	680.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	0.95

Fuente: Propia

Tabla 72: *Diseño de mezcla con el 30% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	562.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	1.880

Fuente: Propia

Tabla 73: *Diseño de mezcla con el 45% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	442.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	2.830

Fuente: Propia

Tabla 74: *Diseño de mezcla con el 50% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	400.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	3.150

Fuente: Propia

Tabla 75: *Diseño de mezcla con el 60% de perlas de Poliestireno*

Cemento	kg/m ³	386.00
Ag. Fino	kg/m ³	324.00
Ag. Grueso	kg/m ³	912.00
Agua	L/m ³	206.00
Perlas de poliestireno	kg/m ³	3.760

Fuente: Propia

3.5. Ensayos al concreto en estado fresco

3.5.1. Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035:2009

3.5.1.1. Asentamiento del concreto con perlas de poliestireno con densidad 7.35

kg/m³

Se realizó el ensayo de asentamiento al concreto con perlas de poliestireno cuya densidad es 7.35 kg/m³. Los resultados se visualizan en la tabla N° 76.

Tabla 76: *Resultados de asentamiento del concreto con perlas de poliestireno con densidad 7.35 kg/m³*

Porcentaje de tecnopor	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)	Muestra 3 (cm)	Promedio (cm)
0%	8.00	8.00	8.00	8.00
15%	9.00	9.00	9.00	9.00
30%	9.50	9.50	9.50	9.50
45%	10.00	10.50	10.50	10.50
50%	10.50	11.00	11.50	11.00
60%	13.50	12.50	15.50	14.00

Fuente: Propia

3.5.1.2. Asentamiento del concreto con microperlas de poliestireno con densidad

21.12 kg/m³

Se realizó el ensayo de asentamiento al concreto con microperlas de poliestireno. Los resultados se visualizan en la tabla N° 77.

Tabla 77: *Resultados de asentamiento del concreto con perlas de poliestireno con densidad 21.12 kg/m³*

Porcentaje de tecnopor	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)	Muestra 3 (cm)	Promedio (cm)
0%	8.00	8.00	8.00	8.00
15%	9.50	10.50	10.00	10.00
30%	13.50	13.50	13.50	13.50
45%	16.50	16.50	16.50	16.50
50%	18.00	18.00	18.00	18.00
60%	20.00	20.00	20.00	20.00

Fuente: Propia

3.5.2. Peso unitario del concreto según la norma NTP 339.046:2008

3.5.2.1. Peso unitario del concreto elaborado con perlas de poliestireno con

densidad 7.35 kg/m^3

Se realizó el ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco elaborado con perlas de poliestireno. Los resultados se visualizan en la tabla N° 78.

Tabla 78: *Resultados del ensayo peso unitario del concreto con perlas de poliestireno de 7.35 kg/m^3 de densidad*

Probetas	Muestra 1 (kg/m^3)	Muestra 2 (kg/m^3)	Muestra 3 (kg/m^3)	Promedio (kg/m^3)
0%	2350	2350	2340	2350
15%	2240	2240	2240	2240
30%	2190	2160	2190	2180
45%	2150	2140	2150	2150
50%	2110	2090	2110	2100
60%	2040	2030	2030	2030

Fuente: Propia

3.5.2.2. Peso unitario del concreto elaborado con perlas de poliestireno con

densidad 21.12 kg/m^3

Se realizó el ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco elaborado con microperlas de poliestireno. Los resultados se visualizan en la tabla N° 79.

Tabla 79: *Resultados del ensayo peso unitario del concreto con perlas de poliestireno de densidad 21.12 kg/m^3*

Probetas	Muestra 1 (kg/m^3)	Muestra 2 (kg/m^3)	Muestra 3 (kg/m^3)	Promedio (kg/m^3)
0%	2350	2350	2340	2350
15%	2250	2240	2240	2250
30%	2200	2190	2190	2190
45%	2160	2160	2150	2160
50%	2130	2130	2130	2130
60%	2040	2040	2040	2040

Fuente: Propia

3.6. Ensayos al concreto en estado endurecido

3.6.1. Resistencia a compresión según la norma NTP 339.034:2015

3.6.1.1. Resistencia a compresión del concreto elaborado con perlas de poliestireno con densidad 7.35 kg/m³

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión al concreto convencional y al concreto a base de porcentajes de perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m³. Las probetas estuvieron a un curado de 28 días para poder obtener su resistencia máxima. En la tabla N° 80 muestra los resultados del ensayo.

Tabla 80: Resistencia a compresión (kg/cm²) de probetas con perlas de poliestireno densidad 7.35 kg/m³

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Probeta 1	421.86	347.47	348.23	256.95	290.27	257.08
Probeta 2	411.75	366.27	307.24	264.08	229.58	190.25
Probeta 3	395.09	357.47	312.21	273.74	239.42	231.63
Probeta 4	399.27	367.27	311.56	264.23	251.38	243.68
Probeta 5	414.19	370.73	326.93	266.73	272.46	264.14
Probeta 6	411.57	383.49	314.69	261.40	248.07	218.62
Probeta 7	403.83	361.00	324.76	252.38	313.06	239.01
Probeta 8	419.18	379.48	338.75	283.96	234.45	238.98
Probeta 9	443.01	368.52	343.94	251.33	240.17	245.01
Probeta 10	404.77	372.32	327.96	300.62	276.46	241.76
PROMEDIO	412.45	367.40	325.63	267.54	259.53	237.02

Fuente: Propia

3.6.1.2. Resistencia a compresión del concreto elaborado con perlas de poliestireno con densidad 21.12 kg/m³

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión al concreto convencional y al concreto a base de porcentajes de perlas de poliestireno con densidad de 21.12 kg/m³. Las probetas estuvieron a un curado de 28 días para poder obtener su resistencia máxima. En la tabla N° 81 muestra los resultados del ensayo.

Tabla 81: Resistencia a compresión (kg/cm²) de probetas con perlas de poliestireno densidad 21.12 kg/m³

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Probeta 1	421.86	379.52	298.78	294.54	278.10	245.42
Probeta 2	411.75	377.83	340.58	287.34	274.58	241.32
Probeta 3	395.09	362.05	316.91	252.33	250.85	202.71
Probeta 4	399.27	370.43	316.08	271.11	235.69	246.50
Probeta 5	414.19	371.82	342.78	292.40	268.72	237.61
Probeta 6	411.57	364.41	351.93	272.58	221.82	247.09
Probeta 7	403.83	369.77	335.76	277.32	264.83	226.47
Probeta 8	419.18	374.47	357.13	290.03	237.97	253.58
Probeta 9	443.01	370.16	308.11	289.66	305.22	246.72
Probeta 10	404.77	363.28	342.21	285.33	276.02	230.02
PROMEDIO	412.45	370.37	331.03	281.26	261.38	237.74

Fuente: Propia

3.6.2. Resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo según la norma NTP 339.078:2012

3.6.2.1. Resistencia a la flexión del concreto elaborado con perlas de poliestireno con densidad 7.35 kg/m³

Se realizó el ensayo de resistencia a la flexión en vigas de 15 x 15 x 50 cm, fueron elaboradas con porcentajes de tecnopor con una densidad de 7.35 kg/m³. Las vigas estuvieron a un curado de 28 días para poder obtener su resistencia máxima. En la tabla N° 82 muestra los resultados del ensayo.

Tabla 82: *Resultados de resistencia a la flexión (kg/cm^2) del concreto con perlas de poliestireno con una densidad de 7.35 kg/m^3*

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Viga 1	56.49	51.33	42.74	37.11	36.26	34.85
Viga 2	61.04	45.83	55.95	41.43	48.03	35.85
Viga 3	59.12	50.99	53.10	46.67	46.26	43.95
Viga 4	51.39	47.62	48.84	37.27	51.58	36.13
Viga 5	50.19	47.61	39.29	38.41	33.71	31.78
Viga 6	58.52	47.02	52.91	37.89	41.62	34.81
Viga 7	51.80	49.06	37.71	45.18	39.31	45.48
Viga 8	59.25	42.79	37.64	41.10	33.58	32.15
Viga 9	52.62	46.32	38.43	41.36	37.83	37.03
Viga 10	50.12	41.32	41.36	46.02	31.88	41.83
PROMEDIO	55.05	46.99	44.80	41.24	40.01	37.39

Fuente: Propia

3.6.2.2. Resistencia a la flexión del concreto elaborado con perlas de poliestireno con densidad 21.12 kg/m^3

Se realizó el ensayo de resistencia a la flexión en vigas de $15 \times 15 \times 50 \text{ cm}$, fueron elaboradas con porcentajes de tecnopor con una densidad de 21.12 kg/m^3 . Las vigas estuvieron a un curado de 28 días para poder obtener su resistencia máxima. En la tabla N° 83 muestra los resultados del ensayo.

Tabla 83: *Resultados de resistencia a la flexión (kg/cm^2) del concreto con perlas de poliestireno con una densidad de 21.12 kg/m^3*

Descripción	0%	15%	30%	45%	50%	60%
Viga 1	56.49	55.08	51.85	40.06	39.00	39.07
Viga 2	61.04	43.30	52.64	44.11	38.98	39.69
Viga 3	59.12	37.00	45.17	39.91	49.51	37.11
Viga 4	51.39	57.32	41.99	40.29	39.08	37.20
Viga 5	50.19	39.13	42.32	43.82	39.20	38.45
Viga 6	58.52	41.58	37.97	51.50	42.45	36.85
Viga 7	51.80	41.04	42.33	57.22	41.33	33.51
Viga 8	59.25	51.59	50.29	40.32	40.13	36.56
Viga 9	52.62	56.25	49.97	42.77	38.58	40.95
Viga 10	50.12	54.35	50.75	40.45	37.90	37.00
PROMEDIO	55.05	47.66	46.53	44.05	40.62	37.64

Fuente: Propia

3.7. Análisis de costos

La incidencia de los costos indispensable para determinar la viabilidad del proyecto, en la mayoría de los casos se intenta minimizar la cantidad de materiales que se va a utilizar sin afectar la calidad. Lo más común es que el proyectista escoja la alternativa de materiales y proceso de acuerdo con su experiencia, la partida de concreto en un proyecto normalmente es de las que más incidencia tiene en el presupuesto, por lo que la viabilidad del uso de perlas de poliestireno en el concreto dependerá de cuánto es su costo. Para esto se realizó el análisis de precio entre un concreto convencional, un concreto con perlas de poliestireno (40%) y un concreto con microperlas de poliestireno (40%) destinado para el uso de losas aligeradas.

Tabla 84: *Análisis de costos de un concreto convencional*

Concreto en losas aligeradas $f'c=210.0$ kg/cm ²					
Rendimiento: m ³ /Día	MO:10	EQ:10	Costo unitario directo por m ³		S/ 329.65
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	1.0000	0.8000	22.94	18.35
Oficial	hh	1.0000	0.8000	18.14	14.51
Peón	hh	4.0000	3.2000	16.39	52.45
					S/ 85.31
Materiales					
Piedra chancada de 1/2"	m ³		0.3400	30.00	10.20
Agua	m ³		0.2060	10.00	2.06
Arena gruesa	m ³		0.3000	15.00	4.50
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bol		9.0823	22.72	206.35
					S/ 223.11
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	85.31	2.56
Vibrador de concreto 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.2667	20.00	5.33
Mezcladora de concreto tambor 18HP 11P3	hm	1.0000	0.5333	25.00	13.33
					S/ 21.23

Fuente: Propia

Tabla 85: *Análisis de costos de un concreto con perlas de poliestireno*

Concreto con perlas de poliestireno (densidad 7.35 kg/m³) al 40% en losas aligeradas f'c=210.0 kg/cm²					
Rendimiento: m³/Día	MO:10	EQ:10	Costo unitario directo por m³		S/ 340.13
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	1.0000	0.8000	22.94	18.35
Oficial	hh	1.0000	0.8000	18.14	14.51
Peón	hh	4.0000	3.2000	16.39	52.45
					S/85.31
Materiales					
Piedra chancada de 1/2"	m ³		0.3400	30.00	10.20
Agua	m ³		0.2060	10.00	2.06
Arena gruesa	m ³		0.1810	15.00	2.72
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bol		9.0823	22.72	206.35
Perla EPS 40% (densidad 7.35)	Kg		0.8760	14.00	12.264
					S/233.59
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	85.31	2.56
Vibrador de concreto 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.2667	20.00	5.33
Mezcladora de concreto tambor 18HP 11P3	hm	1.0000	0.5333	25.00	13.33
					S/21.23

Fuente: Propia

Tabla 86: *Análisis de costos de un concreto con microperlas de poliestireno*

Concreto con perlas de poliestireno (densidad 21.12 kg/m3) al 40% en losas aligeradas f'c=210.0 kg/cm2					
Rendimiento: m3/Día	MO:10	EQ:10	Costo unitario directo por m3		S/ 428.58
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	1.0000	0.8000	22.94	18.35
Oficial	hh	1.0000	0.8000	18.14	14.51
Peón	hh	4.0000	3.2000	16.39	52.45
					S/85.31
Materiales					
Piedra chancada de 1/2"	m3		0.3400	30.00	10.20
Agua	m3		0.2060	10.00	2.06
Arena gruesa	m3		0.1810	15.00	2.72
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bol		9.0823	22.72	206.35
Perla EPS 40% (densidad 21.12)	Kg		2.5180	40.00	100.72
					S/322.04
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	85.31	2.56
Vibrador de concreto 4 HP 1.50"	hm	1.0000	0.2667	20.00	5.33
Mezcladora de concreto tambor 18HP 11P3	hm	1.0000	0.5333	25.00	13.33
					S/21.23

Fuente: Propia

En la siguiente figura N° 9, tenemos la comparación de precios unitarios de cada material para los diferentes tipos de concreto, donde se observa claramente que las microperlas de poliestireno es más costosa que las perlas de poliestireno para realizar un concreto ligero.

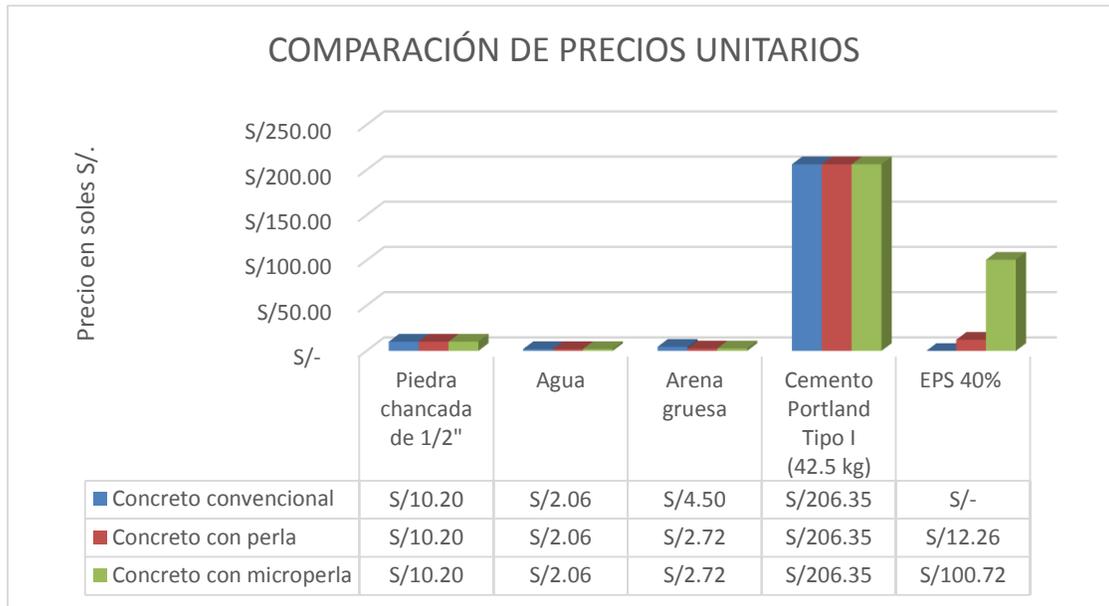


Figura 9: Precio unitario de cada material por metro cúbico

Fuente: Propia

De acuerdo a la figura N° 10, en los análisis de costos para un concreto convencional, un concreto con perlas de poliestireno (40%) y un concreto con microperlas de poliestireno (40%) destinado para el uso de losas aligeradas, el concreto con perlas es 3% más costoso con respecto al concreto convencional, mientras que el concreto con microperlas es 30% mucho más costoso con respecto al concreto convencional. Conociendo los resultados, los ingenieros tienen la opción de escoger la viabilidad del concreto con perlas de poliestireno en losas aligeradas, sabiendo los beneficios mencionados en esta investigación.

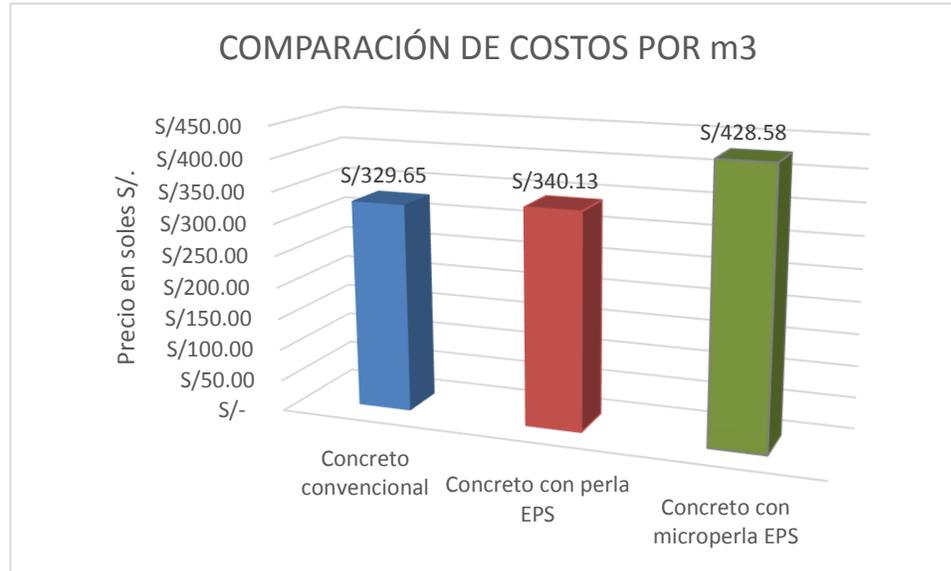


Figura 10: Costos de concreto convencional y ligero por metro cúbico

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Análisis granulométrico

Para elaborar el diseño de mezcla es necesario realizar la caracterización del agregado fino y grueso para concluir si el material a usar es el adecuado. Los ensayos a realizar son: El análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción según la Norma Técnica Peruana.

De acuerdo al análisis granulométrico del agregado fino, tiene que cumplir ciertos requisitos, uno de ellos es el módulo de finura donde se obtuvo 2.74 en promedio, lo cual está dentro del rango a lo que estipula la norma NTP 400.037:2014, donde indica que el módulo de finura de la arena no será menor de 2,3 ni mayor de 3,1. La norma también indica que, la arena no deberá exceder más del 45% en 2 tamices sucesivos, lo cual en las tablas N° 47; N° 48 y N° 49 se puede observar que cumple según lo mencionado. Otro aspecto importante es verificar que el porcentaje del fondo del plato del tamiz sea menor que 3%, en el ensayo realizado se pudo constatar que el porcentaje parcial del fondo es del 7%, lo cual no cumple con lo que especifica la NTP. Asimismo, el % pasante debe cumplir de acuerdo a los husos granulométricos de acuerdo a la tabla N° 11. En las figuras N° 3; N° 4 y N° 5 se puede apreciar las curvas granulométricas del agregado fino y están dentro del límite especificado según la norma.

En el ensayo de granulometría del agregado grueso, se obtuvo un módulo de finura promedio de 3.10 y un tamaño máximo nominal de 1/2". Asimismo, según

la norma NTP 400.037:2014 con el huso 67 deberá cumplir con los requisitos según los husos granulométricos en la tabla N° 12. Por ello se realizó las gráficas correspondientes donde se puede visualizar en las figuras N° 6; N° 7 y N° 8 las curvas granulométricas del agregado grueso y están dentro de los límites según la norma. Otro aspecto importante es verificar que el porcentaje del fondo del plato del tamiz sea menor que 1%, por lo cual en el ensayo realizado se pudo constatar que el porcentaje parcial del fondo es del 1 %, lo cual cumple con lo que especifica la norma.

Como se puede observar el análisis granulométrico del agregado fino y grueso cumplen según los requisitos de la norma, entonces se puede concluir que el material es apto para el uso del diseño de mezcla.

4.1.2. Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad del agregado fino y grueso es de vital importancia para la elaboración del diseño de mezcla del concreto, ya que es dato clave para la corrección de la cantidad de agua destinada que necesita los agregados en el diseño de mezcla. Es por ello que se realizó el ensayo de acuerdo a la norma NTP 339.185:2013 donde se obtiene que el contenido de humedad del agregado fino es 0.71% y del agregado grueso es 0.41%.

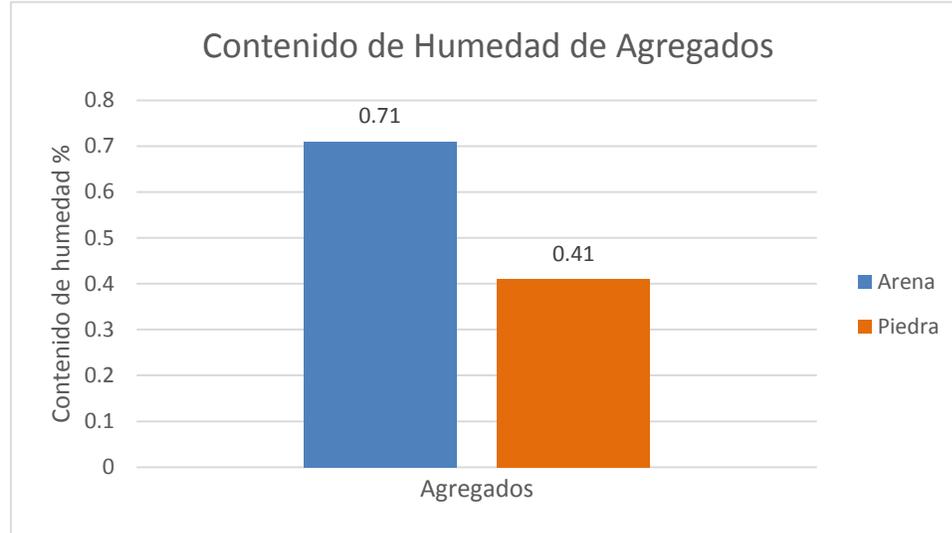


Figura 11: Contenido de humedad (%) de los agregados

Fuente: Propia

4.1.3. Peso unitarios suelto y compactado de los agregados

En este ensayo se busca determinar la masa por unidad de volumen y los vacíos en los agregados según la norma NTP 400.017:2011.

En la figura N° 12, se puede observar que el peso unitario suelto y compactado del agregado fino es 1690 kg/m^3 y 1980 kg/m^3 respectivamente. Asimismo, Polanco (2012) citado por Fernandez y Ramos (2019) recomienda que el peso unitario suelto debe estar en un rango de 1300 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 , mientras que el peso unitario compactado esté entre 1600 kg/m^3 y 1900 kg/m^3 . Donde se puede observar que cumple según lo mencionado a excepción del peso unitario compactado, teniendo un resultado mayor, por lo que se deduce que el agregado fino se acomoda de tal manera que no deja muchos vacíos y esto debido a una buena distribución de sus partículas.

De acuerdo al peso unitario suelto y compactado del agregado grueso es 1460 kg/m³ y 1630 kg/m³ respectivamente. Según Carrasco (2012) citado por Fernandez y Ramos (2019), menciona que el peso unitario suelto debe estar en un rango de 1400 kg/m³ y 1600 kg/m³, mientras que el peso unitario compactado esté entre 1500 kg/m³ y 1700 kg/m³, cumpliendo así lo que indica.

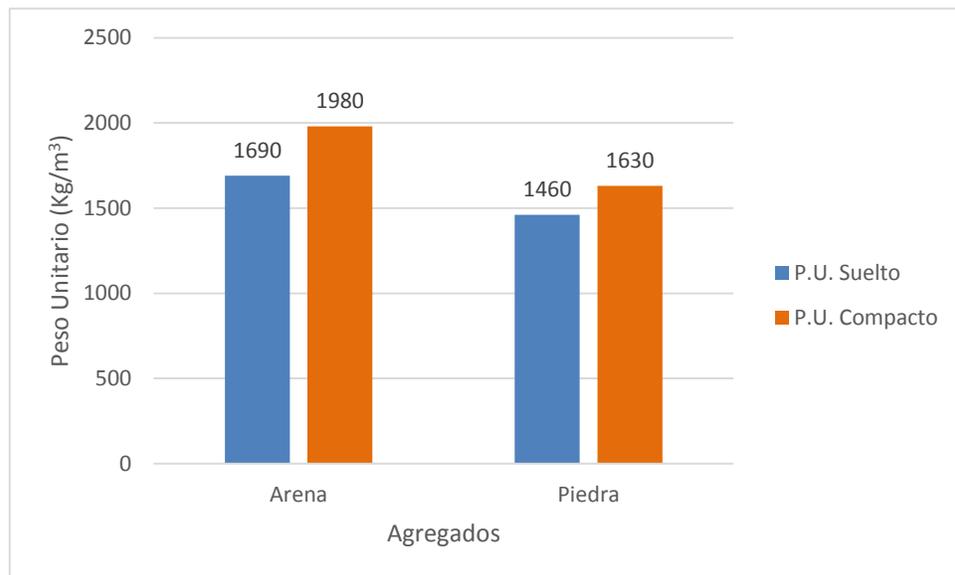


Figura 12: Peso unitario suelto y compactado de los agregados

Fuente: Propia

4.1.4. Peso específico y absorción de los agregados

De acuerdo con el peso específico de los agregados, es la propiedad que nos indica la calidad del material, por lo que se deduce que mientras mayor sea el peso específico, tendrá un mejor comportamiento en el diseño de mezcla. Según la norma NTP 400.022:2013, define que el peso específico es la masa de las partículas de agregado seco al horno, por unidad de volumen, de partículas de agregado, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas.

De acuerdo con nuestros resultados en la siguiente figura N° 13 el peso específico de la arena es 2663 kg/m^3 , lo cual es buen material y está dentro del rango según lo indicado por Polanco (2012) citado por Fernandez y Ramos (2019), recomienda que los valores de peso específico del agregado fino deben estar entre $2500 \text{ kg/m}^3 - 2900 \text{ kg/m}^3$. Por lo que se concluye que es una arena gruesa, debido a su buen acomodo de sus partículas por lo que disminuirá la porosidad del concreto obteniendo mayores resistencias.

Por otro lado, tenemos que el peso específico del agregado grueso dio como resultado 2691 kg/m^3 , cuyo dato está dentro del rango según Huamaní (2016) citado por Fernandez y Ramos (2019), que recomienda que los valores del peso específico del agregado grueso deben estar entre 2300 kg/m^3 y 2800 kg/m^3 . Concluyendo así que la piedra, es el material adecuado para el diseño de mezcla de un concreto convencional obteniendo resistencias favorables.



Figura 13: Peso específico (kg/m^3) de los agregados

Fuente: Propia

Con respecto a la absorción de los agregados, Mamluk & Zaniewski (2009) menciona que la cantidad de agua que absorbe la arena y la piedra es importante en el diseño de mezcla del concreto, ya que la humedad detenida en los huecos del agregado no estará disponible para mejorar la facilidad de trabajar el concreto en estado fresco ni para reaccionar químicamente con el cemento.

En la norma menciona que, si la absorción es mayor al 3%, entonces contiene mayores poros, por la variación del peso a la hora de saturarlo y por ende genera mayor absorción de agua lo cual debe considerarse a la hora de hacer la mezcla ya que se necesitará mayor cantidad de agua para la reacción del cemento.

De acuerdo al agredo fino, según la norma NTP 400.022:2013, define que la absorción es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca.

En la figura N° 14 se puede visualizar que el % de absorción del agregado fino es 0.86% y del agregado grueso es 1.12%, lo que nos indica que ambos resultados son mayores que el contenido de humedad respectivamente, indicando que deberá haber una corrección por humedad en el diseño de mezcla.

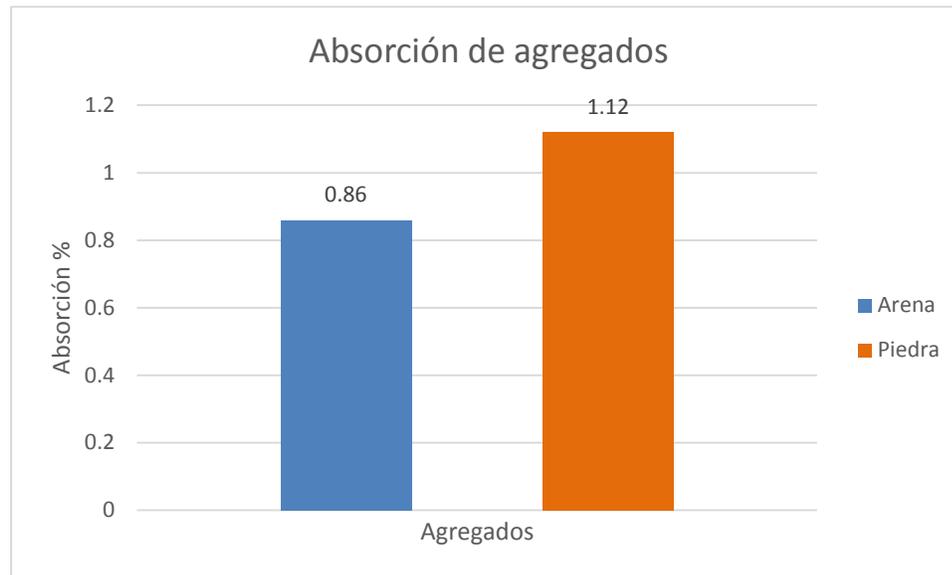


Figura 14: Absorción de agregados (%)

Fuente: Propia

4.1.5. Diseño de mezcla

Al tener todos los datos de la caracterización de los agregados y que éstos cumplan los requisitos establecidos por la norma NTP, se procedió a realizar el diseño de mezcla por el método ACI 211 para una resistencia de 210 kg/cm².

Luego se procedió a realizar la prueba de asentamiento del concreto convencional en estado fresco, donde se obtuvo un asentamiento más de lo esperado, es por ello que se hizo un reajuste en la cantidad de agua en el diseño de mezcla en estado seco para disminuir el Slump, por ello se aplicó reducir 2% por cada pulgada (según norma). Por lo tanto, se redujo 8% de 216 L/m³, lo cual dio como resultado 199 L/m³. Entonces al tener el nuevo diseño de mezcla, se procedió a realizar el asentamiento del concreto, donde se obtuvo un valor de 8 cm en promedio, lo cual está dentro del rango según la tabla N° 14 para losas.

Por consiguiente, se realizó de la misma manera un diseño de mezcla para un concreto ligero estructural, con los porcentajes de perlas de poliestireno incluido por reemplazo al volumen agregado fino, estos porcentajes son 15%, 30%, 45%, 50% y 60%.

Para el reemplazo se utilizaron dos tipos de perlas de poliestireno, la perla normal que presentaba una densidad de 7.35 kg/m^3 con un tamaño de 5-8mm, y la microperla con una densidad de 21.12 kg/m^3 con un tamaño de 1-5mm.

4.1.6. Asentamiento del concreto

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.035:2009 a un concreto ligero a base de perlas de poliestireno con dos tipos de densidades y con distintos porcentajes. Como se puede observar, en la siguiente figura N° 15 se tiene el ensayo del asentamiento del concreto con cada porcentaje de tecnopor a una relación agua-cemento 0.53, donde el asentamiento del concreto va aumentando cada vez que se le proporciona más tecnopor, por lo que se puede decir que el agregado fino al ser reemplazado con distintos porcentajes por este material, la mezcla se vuelve más trabajable. Sin embargo, se puede notar que las microperlas con densidad de 21.12 kg/m^3 es más fluida, por lo tanto, su asentamiento es mayor que las perlas de 7.35 kg/m^3 , esto se puede deber a que las perlas con más densidad tienen menor porcentaje de aire atrapado.

Por otro lado, el aumento del asentamiento conforme se adiciona más porcentaje de perlas de poliestireno es porque son materiales no absorbentes e higroscópicos, por lo que no absorben mucha agua, y al reemplazar al agregado fino que, si tiene

capacidad de absorción, toda esta agua que no es absorbida desencadena en un concreto más fluido y con mayor asentamiento (ANAPE,2015).

De acuerdo a la tabla N° 14, el asentamiento del concreto para losas es de 50 mm a 100 mm. Según la figura N° 15, el asentamiento del concreto con las perlas con densidad 7.35 kg/m^3 cumplen aproximadamente hasta el 45%. En cambio, el asentamiento del concreto con microperlas cuya densidad es 21.12 kg/m^3 cumple hasta el 15%.

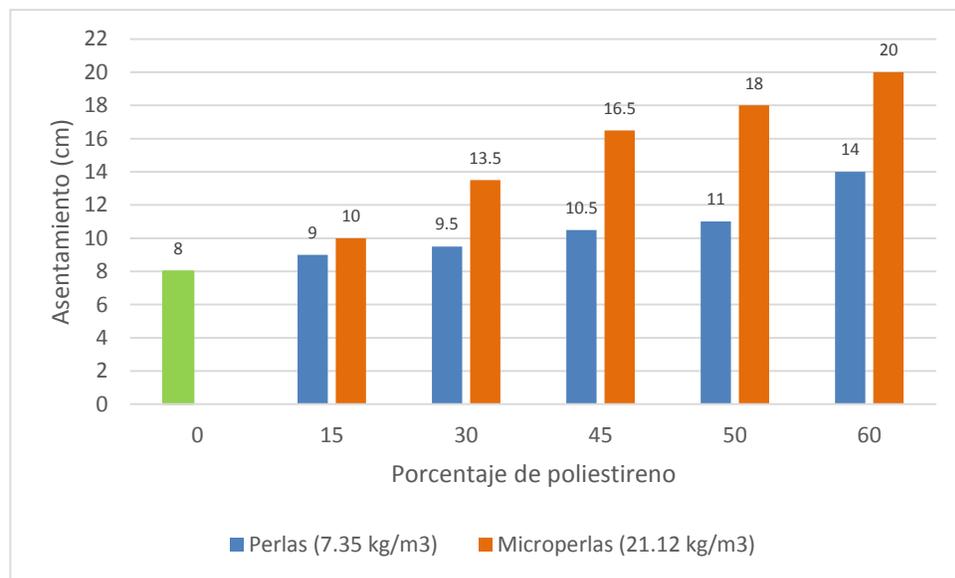


Figura 15: Asentamiento del concreto convencional y con porcentajes de perlas de poliestireno

Fuente: Propia

4.1.7. Densidad del concreto en estado fresco

En este ensayo de laboratorio tuvo como propósito identificar, observar y experimentar el peso volumétrico del concreto con distintos porcentajes de tecnopor con 2 tipos de densidades. Este ensayo se realizará según la Norma ASTM C138, que consiste en determinar el volumen del concreto producido, con el fin de

verificar la correcta dosificación y rendimiento de los materiales. Por ello en la siguiente figura N° 16 se muestran los resultados de los ensayos realizados según los porcentajes de perlas de poliestireno utilizado:

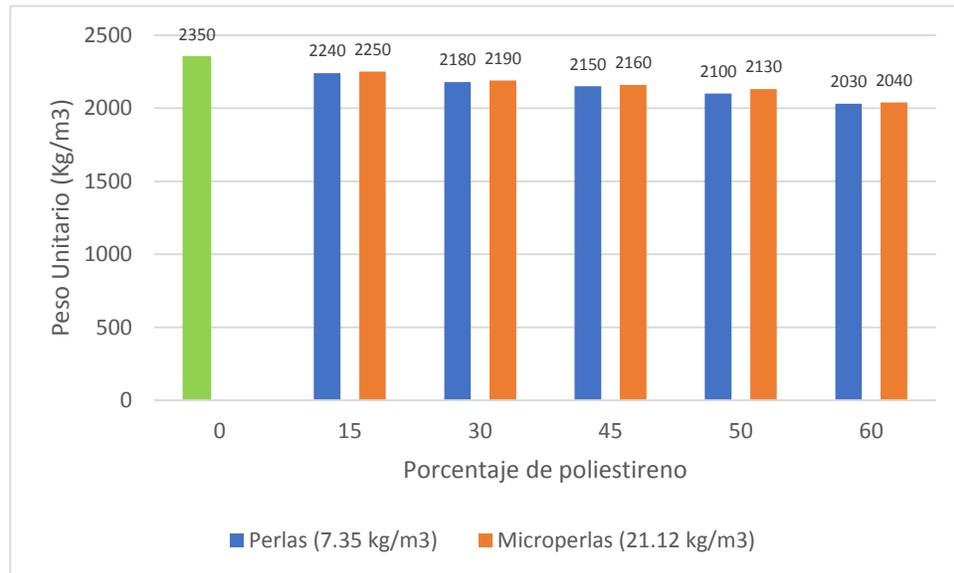


Figura 16: Peso unitario del concreto convencional y con porcentajes de perlas de poliestireno

Fuente: Propia

En esta figura tenemos la relación entre el peso unitario con respecto a la cantidad de porcentaje de tecnopor utilizado en la mezcla de concreto. Además, se puede observar que el peso volumétrico del concreto va disminuyendo a medida que va aumentando el porcentaje de perlas de poliestireno.

Según Lituma & Zhunio (2015), indica que se considera concreto ligero, aquel que posee pesos unitarios menores a los del concreto convencional que está entre 2200 kg/m^3 y 2600 kg/m^3 . Por lo tanto, los únicos que cumplirían como concreto ligero es a partir del 30%.

Asimismo, se concluye que en la figura N° 16 el peso unitario del concreto con el 15%, 30 %, 45%, 50% y 60 % de microperlas de poliestireno con densidad de 21.12 kg/m³ se obtuvo disminuciones del 4.26%, 6.56%, 8.18%, 9.21% y 13.00% con respecto al valor del concreto convencional. El peso unitario del concreto con el 15%, 30 %, 45%, 50% y 60 % de perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m³ se obtuvo disminuciones del 4.69%, 6.95%, 8.53%, 10.36% y 13.30% con respecto al valor del concreto convencional. Tal como lo dice Ossa (2009), el volumen de la perla de poliestireno expandido es de 98% aire y 2% estireno, por lo que la mezcla tendrá más aire reduciendo así la densidad del concreto.

Al determinar que las perlas de poliestireno hace más ligero al concreto, podemos afirmar lo mismo que Lituma y Zhunio (2015) en su tesis “Influencia de las perlas de poliestireno expandido (eps) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón”, donde concluye que a medida que se incrementa más porcentaje de perlas de poliestireno en la mezcla de concreto, su peso disminuye considerablemente, donde se puede observar en la tabla N° 1 los resultados del ensayo, donde se visualiza que a partir del 30% de tecnopor en la mezcla de concreto se puede obtener un concreto ligero estructural.

Vidal (2010) en su tesis “Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (meps)” concluye que la adición de EPS reduce la densidad del concreto, lo cual determina que al 30%, 50% y 70% de EPS, el hormigón es un 11%, 21% y 29% respectivamente más liviano que un hormigón tradicional. Mientras que en nuestros resultados de acuerdo a los porcentajes del 30% y 50%

del concreto a base de perlas de poliestireno se obtiene 7% y 9% respectivamente más liviano que un hormigón tradicional, esto se debe a que Vidal (2010) en su tesis reemplaza el poliestireno por el agregado grueso y nosotros por el agregado fino.

Vásquez (2018) en su tesis “Resistencia del concreto de $f'c=210$ kg/cm² con sustitución del agregado grueso por tecnopor en 10% y 15%, Huaraz”, concluye que el peso unitario del concreto patrón fresco es 2390.00 kg/m³, el concreto con 10% y 15% de perlas de poliestireno en estado fresco es 2290.00 kg/m³ y 2250.00 kg/m³ respectivamente. Por lo tanto, se considera que no es un concreto ligero debido a que la densidad supera los 2200 kg/m³ y que las proporciones de sustitución son muy bajas. A diferencia de nuestros resultados reemplazamos el agregado fino por perlas de poliestireno y los porcentajes fueron 15%, 30 %, 45%, 50% y 60 %, teniendo un concreto ligero a partir del 30% de sustitución.

Vera (2018) en su tesis “Diseño de un concreto liviano con poliestireno expandido para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta-Ate-Lima este”, concluye que, al incrementar el porcentaje de las perlitas de poliestireno expandido, los pesos unitarios del concreto liviano disminuyen significativamente. Asimismo, observó que la resistencia es directamente proporcional al peso unitario debido a que a mayor peso unitario mayor es la resistencia. De acuerdo con la tabla N° 06, el concreto patrón tiene una densidad de 2350 kg/m³, el concreto sin aditivo con 0.5%, 0.6% y 0.8% de poliestireno expandido tiene un peso de 1970 kg/m³, 1880 kg/m³ y 1680 kg/m³ correspondientemente. El concreto con aditivo con 0.5%, 0.6% y 0.8% de poliestireno expandido tiene un peso de 2010 kg/m³, 1900 kg/m³ y 1700 kg/m³ relativamente. Como se puede observar, las densidades son muchos

menores de acuerdo a nuestros resultados, esto se debe a que Vera (2018) reduce el agregado grueso del 35%, 41% y 53% en las series DPE-01, DPE-02 y DPE-03 (concretos sin aditivo) respectivamente; y 27%, 33% y 45% reducción de agregado grueso en las series DPEA-01, DPEA-02 y DPEA -03 (concretos con el 1% de aditivo) respectivamente.

Bustamante y Diaz (2014) en su tesis “Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado” mencionan que a mayor cantidad de perlas de poliestireno menor será su peso unitario en estado fresco, donde obtuvo resultados entre 1100 kg/m^3 y 1500 kg/m^3 . De acuerdo a nuestros resultados son muy diferentes, esto se debe a que los tesisistas realizaron su diseño de mezcla para un concreto de $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$, enfocándose en obtener un concreto ligero, es por ello que las resistencias mecánicas que obtuvieron no fueron favorables para ser denominado un concreto estructural, sin embargo, de acuerdo a la tabla N° 87 consideran que obtuvieron un concreto ligero con resistencia moderada.

Tabla 87: *Clasificación del concreto ligero*

Tipo de concreto ligero	Peso volumétrico kg/m^3	Resistencia a la compresión kg/cm^2
Concreto ligero estructural	1400 a 1850	175
Concreto ligero de resistencia moderada	800 a 1400	70 a 175
Concreto ligero aislante	300 a 800	≤ 70

Fuente: Bustamante y Diaz (2014)

Por otro lado, es importante mencionar que hay otros materiales que los testistas usan para aligerar el peso unitario del concreto.

Ramírez (2018) en su tesis “Concreto liviano de alta resistencia empleando nano-sílice y puzolana natural en el Perú” obtuvo resultados favorables con respecto a la densidad, pues los resultados de los 5 diseños que realizó, el testista obtuvo valores entre 1700 kg/m^3 a 1850 kg/m^3 , deduciendo así un concreto ligero. Estos resultados de densidad son menores con lo que obtuvimos nosotros, esto se debe a que Ramírez usa puzolana natural, como roca volcánica, cuyo material se acomoda mejor a la obtención de concretos ligeros. Asimismo, es preciso detallar que el proporcionamiento mínimo de piedra que usó en su diseño de mezcla es de 133 kg/m^3 y 244 kg/m^3 en las series D4PPZ y D5PPZ respectivamente, mientras que en los otros diseños no usó piedra. Es por ello que al visualizar la tabla N° 08 se aprecia que en esas series la densidad del concreto es un poco mayor que en los otros diseños de mezcla.

Velarde (2017) en su tesis “Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo-2017” concluye que el polvo de aluminio es un material que aligera significativamente en la densidad del concreto dando resultados entre 1500 kg/m^3 a 1850 kg/m^3 . De acuerdo con nuestros resultados obtuvimos un concreto ligero cuya densidad es de 2030 kg/m^3 con el 60% de sustitución de perlas. Esta diferencia nos hizo concluir que el polvo de aluminio hace un concreto mucho más ligero que las microperlas de poliestireno.

En cambio, en la tesis de Chuquilin (2018), concluye que a partir del 40% se obtiene un concreto ligero estructural 11% más liviano que el concreto convencional, mientras que en nuestros resultados se da a partir del 30% con 7% más liviano que el concreto convencional.

4.1.8. Resistencia a compresión

En el ensayo de resistencia a compresión para los porcentajes de sustitución de 15%, 30 %, 45%, 50% y 60 % cuya densidad de las perlas de poliestireno es de 7.35 kg/m³, se observaron respectivamente disminuciones del 10.92%, 20.87%, 35.19%, 37.14% y 42.48% con respecto al valor del concreto convencional. En el ensayo de resistencia a compresión para los porcentajes de sustitución de 15%, 30 %, 45%, 50% y 60 % cuya densidad de las microperlas de poliestireno es de 21.12 kg/m³ se observaron respectivamente disminuciones del 10.19%, 19.66%, 31.80%, 36.65% y 42.23% con respecto al valor del concreto convencional.

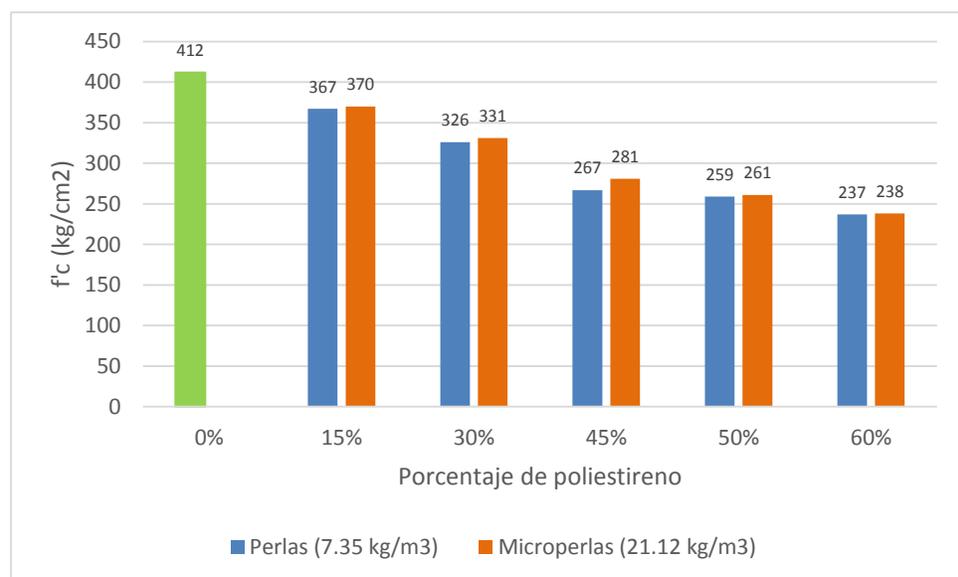


Figura 17: Resistencia a compresión del concreto convencional y ligero

Fuente: Propia

En esta figura se tiene la resistencia a compresión del concreto convencional y del concreto ligero a base de perlas de poliestireno elaboradas con diferentes porcentajes de perlas de poliestireno para cada densidad.

Se obtuvo la resistencia del concreto convencional siendo de 412 kg/cm^2 , por lo que se dedujo que los materiales para elaborar un concreto eran los adecuados para la elaboración de un concreto ligero con perlas de poliestireno. Conforme al diseño inicial de la mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, se visualiza claramente que todas las probetas de concreto a base de perlas de poliestireno cumplen según lo indicado. Asimismo, se puede apreciar que las perlas con mayor densidad darán más resistencia a la compresión en el concreto, aunque al comparar las resistencias de ambos concretos con diferentes densidades de tecnopor no varían mucho. La máxima resistencia a compresión del concreto ligero se da al ser elaboradas con las microperlas cuya densidad es de 21.12 kg/cm^2 , teniendo una resistencia máxima de 370 kg/cm^2 con el 15% de perlas de poliestireno, y un mínimo de 238 kg/cm^2 con el 60% de perlas de poliestireno. Sin embargo, un concreto ligero es más económico al elaborarlas con las perlas cuya densidad es 7.35 kg/cm^2 , de acuerdo con el asentamiento del concreto y su resistencia se realizó una gráfica para determinar el punto de equilibrio donde cumplan con las características de un concreto para losas, donde se obtuvo en la figura N° 18 que el 40 % es el óptimo para elaborar un concreto a base de tecnopor, lo cual mediante tabulaciones con los resultados de los ensayos realizados con los porcentajes de reemplazo con perlas de poliestireno, se puede

deducir que su asentamiento aproximado es de 10cm con una resistencia a compresión aproximada de 287 kg/cm².

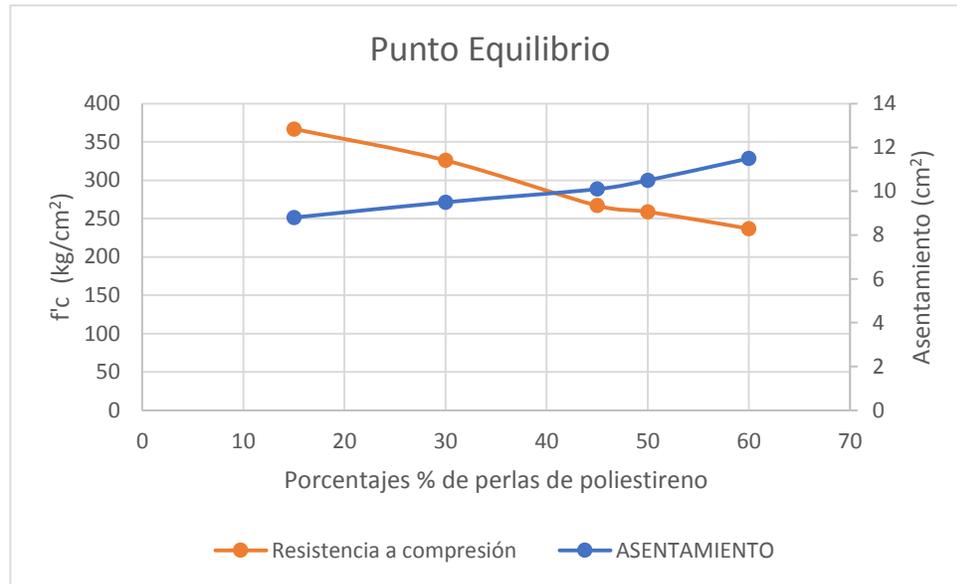


Figura 18: Punto de equilibrio del porcentaje óptimo con respecto a la resistencia y asentamiento del concreto

Fuente: Propia

Según American Concrete Institute (ACI 213R-14), menciona que un concreto liviano es considerado estructural, siempre y cuando tenga una resistencia mínima a compresión de 17 MPa (173 kg/cm²). De acuerdo con los resultados en la gráfica, todas las probetas cumplen con cierto requisito.

Al obtener estos resultados de resistencia a compresión en la figura N° 17, podemos afirmar lo mismo que Lituma y Zhunio (2015) en su tesis “Influencia de las perlas de poliestireno expandido (eps) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón” donde concluye que mientras aumenta el porcentaje de sustitución de arena por EPS en el hormigón, la resistencia a compresión disminuye. El punto crítico de la resistencia se dio entre el 60% al 75% de sustitución, esto puede deberse

a que superado el 60% de sustitución, el volumen de las perlas de poliestireno se vuelve mayor al volumen de arena en el hormigón. Su resistencia en ese punto es 234 kg/cm^2 , teniendo una reducción de 7.52% con respecto a la resistencia del concreto convencional. La resistencia del concreto a 60% con las perlas y microperlas es de 237 kg/cm^2 y 238 kg/cm^2 respectivamente, por lo que deducimos que si se usa más del 60% de sustitución la resistencia será menor de 210 kg/cm^2 .

Vidal (2010) en su tesis “Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (meps)”, concluye que el EPS expandido modificado afecta en la resistencia a compresión, teniendo disminuciones en un 15% y 31% con respecto a la resistencia del concreto convencional (265 kg/cm^2) en las series B y C (30% y 50% de EPS) respectivamente. En nuestros resultados tuvimos disminuciones aproximadamente de 21% y 37% con respecto a la resistencia del concreto convencional (412 kg/cm^2) en los porcentajes de 30% y 50% de sustitución de arena por tecnopor correspondientemente. Asimismo, se tiene que tener en cuenta que Vidal en su tesis hace el reemplazo de perlas de poliestireno por agregado grueso.

Vásquez (2018) en su tesis “Resistencia del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con sustitución del agregado grueso por tecnopor en 10% y 15%, Huaraz” deduce que el tecnopor reduce significativamente la resistencia a compresión. Los resultados que obtuvo fueron 212.87 kg/cm^2 y 208.34 kg/cm^2 en un 10% y 15% de sustitución respectivamente. En nuestro caso nuestras resistencias a compresión con el 15% con las perlas y microperlas son de 367 kg/cm^2 y 370 kg/cm^2 respectivamente. Esto se debe a que en la tesis de Vásquez (2018), hace el reemplazo de tecnopor por

agregado grueso. Pero también se debe a las propiedades físicas de los materiales para realizar el diseño de mezcla, ya que la resistencia del concreto patrón le dio como resultado 219 kg/cm^2 aproximadamente, es por ello que la resistencia del concreto con porcentajes tecnopor cumple solo con el 10% de sustitución.

Vera (2018) en su tesis “Diseño de un concreto liviano con poliestireno expandido para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta-Ate-Lima este”, indica que la resistencia a compresión del concreto reduce considerablemente al incrementar la adición de poliestireno expandido, sin embargo, la resistencia del concreto ligero con adición de poliestireno expandido se puede optimizar empleando un aditivo plastificante reductor de agua con el cual se reduce la relación agua/cemento. De acuerdo a la tabla N° 06, la resistencia patrón del concreto fue 408 kg/cm^2 , y los concretos a base de tecnopor que cumplen con el diseño de mezcla “ $f'c \ 210 \text{ kg/cm}^2$ ” son las series DPEA-01 y DPEA-02 que se usaron aditivo teniendo una resistencia de 276 kg/cm^2 y 234 kg/cm^2 respectivamente, aunque también la serie DPE-01 “concreto a base de tecnopor sin aditivo” cumple con el diseño de mezcla teniendo una resistencia de 215 kg/cm^2 . De acuerdo con nuestros resultados, la resistencia del concreto patrón nos dio un resultado de 412 kg/cm^2 , asimismo, de acuerdo a la figura N° 17 los concretos elaborados con dos tipos de densidades de tecnopor con los porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60% cumplen con la resistencia especificada. Si bien es cierto, los resultados de ambos proyectos con respecto a la resistencia a compresión son totalmente diferentes, esto se debe a que Vera (2018) hace reducciones en el agregado grueso para aligerar el peso del concreto, es por ello que obtiene resistencias menores a la de nosotros. Por otro

lado, es preciso indicar que en el diseño de mezcla Vera usa proporciones de 0.5%, 0.6% y 0.8% en función al peso del cemento incorporándose en el volumen absoluto como agregado.

Bustamante y Diaz (2014) en su tesis “Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado” indica que la resistencia a compresión disminuye al aumentar el contenido de perlas de poliestireno. De acuerdo a sus resultados en la tabla N°07 obtiene resistencias que oscilan entre 80 a 190 kg/cm² a 28 días de curado. De acuerdo a nuestros resultados nuestra resistencia a compresión de un concreto ligero fueron mayores al diseño inicial $f'c=210$ kg/cm². Esto se debe a que los tesisas Bustamante y Diaz se enfocaron en obtener un concreto ligero y realizaron un diseño de mezcla teniendo en cuenta la desviación estándar del control de un concreto (de muy bueno a deficiente) para un concreto de $f'c=100$ kg/cm². Asimismo, adicionó perlas de poliestireno en el volumen absoluto del concreto. Las proporciones para 1m³ fueron, 0.37 m³, 0.32 m³, 0.31 m³ y 0.29 m³ para las series concreto 1, concreto 2, concreto 3 y concreto 4 respectivamente. Es por ello que los tesisas concluyen que los valores alcanzados no son adecuados para los requerimientos mecánicos de un concreto convencional. Sin embargo, cumplen los requisitos para morteros de revoco, enlucido y de albañilería.

Es importante mencionar que, aparte de usar las perlas de poliestireno para obtener concretos livianos, también hay otros tipos de materiales que se usan para obtener concretos livianos, dicho lo mencionado hay autores que han realizado estudios donde obtuvieron resultados esperados para un concreto ligero.

Ramírez (2018) en su tesis “Concreto liviano de alta resistencia empleando nano-sílice y puzolana natural en el Perú” concluyó que de los diseños de concretos estudiados, cuatro han alcanzado la denominación de alta resistencia, y obtuvo resistencias a compresión entre (469- 780) kg/cm² a 28 días de curado. No obstante, según ACI (Instituto Americano del Concreto) describe que el concreto de alta resistencia, es aquel que tiene una resistencia a la compresión, $f'c \geq 420$ kg/cm², entonces se puede afirmar que los resultados de resistencia a compresión según la tabla N° 08 son concretos de alta resistencia. De acuerdo con nuestros resultados se puede apreciar que son diferentes ya que nuestra máxima resistencia para un concreto ligero fue de 370 kg/cm² al 15% de sustitución de microperlas de poliestireno. Esto se debe a que Ramírez (2018) se enfoca en obtener un concreto de alta resistencia y a la vez que sea ligero es por ello que una nano sílice que ayuda a tener concreto con mejores propiedades a compresión superando los 55 MPa. Así también, usa puzolanas naturales, ya que es un material, como roca volcánica, que se acomoda a la obtención de los concretos ligeros de alta resistencia.

Velarde (2017) en su tesis “Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo-2017” indica que el polvo de aluminio en la mezcla de concreto sin utilizar aditivo superplastificante reduce su resistencia a compresión llegando al punto de que ningún concreto a base de porcentajes de aluminio cumple con el diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm². Es por ello que recomienda utilizar aditivo para obtener mejores resultados ya que determinó que el porcentaje más óptimo de polvo de aluminio en un concreto ligero resulta al añadir 1.5 % con aditivo superplastificante al 1%

teniendo una resistencia a compresión de 236 kg/cm^2 a 28 días de curado, lográndose así un concreto ligero, concluyendo así que usar polvo de aluminio reduce significativamente su resistencia a compresión. De acuerdo con nuestros resultados tuvimos una resistencia a compresión de 238 kg/cm^2 con el 60% de sustitución con las microperlas. Esta diferencia que existe nos hace concluir que el polvo de aluminio afecta más en la resistencia a compresión que las perlas de poliestireno, además al usar polvo de aluminio se obtiene un concreto poroso con baja densidad, es por ello que su resistencia es menor. Por otro lado, también puede deberse a las propiedades de los materiales que usa Velarde (2017) en su diseño de mezcla teniendo una resistencia patrón de 224 kg/cm^2 , en cambio nosotros obtuvimos una resistencia de 412 kg/cm^2 . Es preciso detallar que Velarde utiliza un agregado grueso con TMN de 3/8", en cambio nosotros el TMN del agregado grueso es de 1/2".

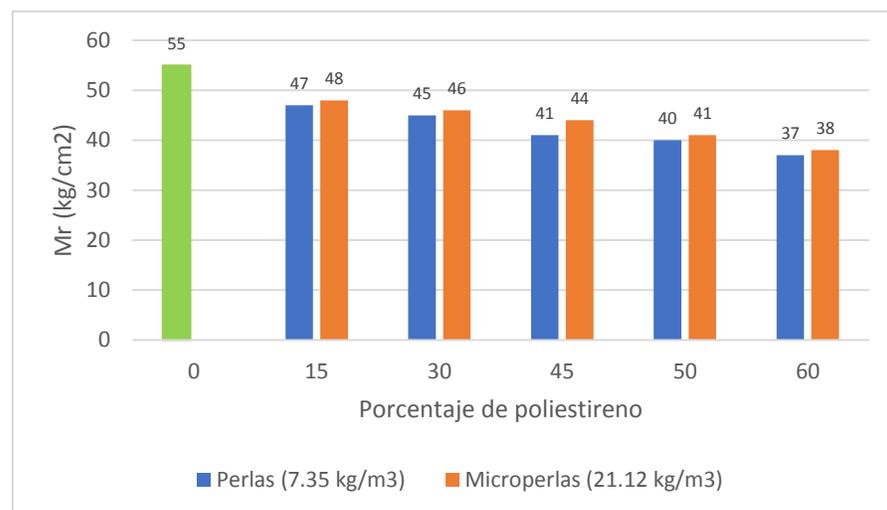
Chuquilin (2018) en su tesis "Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018" determinó que las perlas de poliestireno en el concreto disminuyen su resistencia a compresión obteniendo resultados de 276 kg/cm^2 , 264 kg/cm^2 , 256 kg/cm^2 , 242 kg/cm^2 y 222 kg/cm^2 en los porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% respectivamente. Concluyendo que el óptimo sería con el 40% de sustitución ya que cumple con el asentamiento 10 cm y peso unitario 2160 kg/m^3 según la tabla N° 10. Con respecto a nuestros resultados obtuvimos mejores resistencias con las microperlas teniendo así resistencias de 370 kg/cm^2 , 331 kg/cm^2 , 281 kg/cm^2 , 261 kg/cm^2 y 238 kg/cm^2 en los porcentajes de

15%, 30%, 45%, 50% y 60% respectivamente. La diferencia de resultados es notable de acuerdo a los porcentajes usados, por ello se concluye que se debe a la densidad del tecnopor utilizado, ya que en nuestra tesis las microperlas tienen una densidad de 21.12 kg/m^3 y la que usó Chuquilin (2018) es de 9.52 kg/m^3 , pero también se debe a que la resistencia patrón del tesista es de 283 kg/cm^2 a diferencia de nosotros obtuvimos una resistencia de 412 kg/cm^2 .

4.1.9. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión de las vigas se realizó según lo indicado por la NTP 339.078, la falla de todas las vigas ocurrió dentro del tercio medio de la luz. De acuerdo con la sustitución de la perla el módulo de rotura disminuye 14.55%, 18.18%, 25.45%, 27.27%, 32.73% con respecto al 15%, 30%, 45%, 50%, 60%. De acuerdo con la sustitución de la microperla el módulo de rotura disminuye 12.73%, 16.36%, 20.00%, 25.45%, 30.91% con respecto al 15%, 30%, 45%, 50%, 60% de reemplazo del agregado fino por microperlas de poliestireno.

Figura 19: Módulo de rotura del concreto convencional y del concreto ligero



Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla N° 88, la relación $M_r/F'c$ para la mezcla patrón fue de 13.35% mientras que para la perla fue de 12.81%, 13.80%, 15.36%, 15.44% y 15.61% para el reemplazo de 15%, 30%, 45%, 50% y 60% de igual manera para la microperla obtuvo relaciones de 12.97%, 13.90%, 15.66%, 15.71%, 15.97% respectivamente. Con dichos resultados se comprobó que del aumento de porcentajes de perlas de poliestireno como agregado ligero se obtienen mayores porcentajes de relación entre el $M_r/F'c$.

Tabla 88: *Relación del módulo de rotura con la resistencia a compresión (%)*

Código	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Relación $M_r/F'c$ (%)
Patron	412	55	13.35
15% perla	367	47	12.81
30% perla	326	45	13.80
45%perla	267	41	15.36
50% perla	259	40	15.44
60% perla	237	37	15.61
15% microperla	370	48	12.97
30% microperla	331	46	13.90
45% microperla	281	44	15.66
50% microperla	261	41	15.71
60% microperla	238	38	15.97

Fuente: Propia

El módulo de rotura disminuye conforme aumenta el porcentaje de perla y microperla en el concreto por reemplazo del agregado fino, por lo tanto, la densidad de las perlas de poliestireno si influye en la resistencia a la flexión como se planteó en la hipótesis. En el estudio de Vera (2018), el módulo de rotura disminuye al aumentar el porcentaje de EPS en el concreto, para dicha investigación Vera compara resultados del concreto utilizando EPS sin aditivo, y también concreto con

EPS con aditivo plastificante. Donde concluyó que el aditivo mejora las propiedades del concreto. Su diseño de mezcla fue de 210 kg/cm^2 y la resistencia patrón del concreto fue de 408 kg/cm^2 , teniendo un módulo de rotura de 49 kg/cm^2 . En el concreto usando el 1% de aditivo en la mezcla se tiene resultados de 34 kg/cm^2 , 28 kg/cm^2 y 20 kg/cm^2 para el 0.5%, 0.6% y 0.8% de adición de EPS. Los resultados del módulo de rotura del concreto patrón son semejantes a nuestros resultados que obtuvimos 55 kg/cm^2 , pero con los concretos aligerados con perlas de poliestireno son diferentes, aproximadamente 25 % menores a nuestros resultados, debido a que Vera (2018), hace reducción del agregado grueso del 27%, 33% y 45% para aligerar el peso del concreto.

De la misma manera los resultados de Vidal (2010), menciona que el módulo de rotura disminuye con relación al aumento del porcentaje de poliestireno en el concreto, en esta investigación se obtuvieron módulos de rotura de 38 kg/cm^2 , 39 kg/cm^2 y 33 kg/cm^2 para los concretos con 30% 50 % y 70% de EPS. De acuerdo a nuestros resultados el módulo de rotura disminuye de igual manera que Vidal (2010) al aumentar el porcentaje de tecnopor para la elaboración del concreto. Los resultados que obtuvimos fueron de 46 kg/cm^2 y 41 kg/cm^2 para los porcentajes de 30% y 50% de microperlas de poliestireno. Es evidentemente que los resultados de ambas tesis son diferentes, esto se puede deber a que Vidal (2010), reemplaza el agregado grueso por EPS, mientras que nosotros reemplazamos el agregado fino por EPS.

Bustamante y Díaz (2014), en su tesis “Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado” de acuerdo

con sus resultados el módulo de rotura disminuye a medida que se aumenta la cantidad de agregado ligero ya que este es un material con menor densidad. En dicha tesis obtienen módulos de rotura entre 23-31 kg/cm², valores menores a los obtenidos en nuestra investigación, esto se debe porque Bustamante y Díaz (2014) elaboraron un diseño de mezcla de 100 kg/cm², por lo que los resultados son bastante bajos comparados a los nuestros que está entre 35 y 50 kg/cm².

Ramírez (2018), en su tesis “ Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural en el Perú” se obtuvieron resistencias entre 49.4-104.6 kg/cm² cuyas mezclas se elaboraron para concretos de alta resistencia donde se utilizó diferentes dosificaciones de nanosílice, microsílice y puzolana en reemplazo de agregados, estos resultados son mucho mayores a los que obtuvimos por el motivo que su diseño es conseguir un concreto liviano y a la vez de alta resistencia, de esta manera se justifica los elevados valores de su resistencia a la flexión.

4.2.Limitaciones

- La investigación solo se enfoca para un concreto ligero estructural en losas aligeradas.
- La limitada información bibliográfica de libros sobre concretos ligeros estructurales con perlas de poliestireno y la escasa normatividad, por ello se tuvo sustraer información en tesis.
- No existe una norma o guía en el Perú sobre concretos ligeros, solo es mencionado ligeramente en la NTE E.060.
- Existe más densidades de perlas de poliestireno.

4.3. Conclusiones

- Se determinó la influencia de la densidad de las perlas de poliestireno en un concreto ligero estructural. Con las perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m^3 a medida que se incrementaba los porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60% de sustitución por el agregado fino se comprobó que el peso unitario, resistencia a compresión y flexión disminuyen, mientras que el asentamiento y el costo aumenta. Por otro lado, se comprobó que con las microperlas con densidad de 21.12 kg/m^3 , al incrementar los porcentajes de sustitución, disminuye el peso unitario, la resistencia a compresión y flexión, pero el asentamiento y el costo aumenta mucho más que con las perlas de poliestireno de densidad 7.35 kg/m^3 .
- Se realizó la caracterización del agregado fino y grueso bajo los estándares de las NTP. El agregado fino, presentó un peso unitario suelto y compactado de 1690 kg/m^3 y 1980 kg/m^3 respectivamente, un peso específico de 2663 kg/m^3 , un módulo de finura de 2.74, un porcentaje de absorción de 0.86 y un porcentaje de humedad de 0.71. Mientras que el agregado grueso, presentó un peso unitario suelto y compactado de 1460 kg/m^3 y 1630 kg/m^3 respectivamente, un peso específico de 2691 kg/m^3 , un módulo de finura de 3.10, un porcentaje de absorción de 1.12 y un porcentaje de humedad de 0.41, un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ “. Asimismo, el peso unitario de las perlas y microperlas de poliestireno fueron de 7.35 kg/m^3 y 21.12 kg/m^3 respectivamente.
- Se calculó el diseño de mezcla para una resistencia de 210 kg/cm^2 para un concreto convencional, así como también para las perlas y microperlas de poliestireno, a partir del método ACI 211. Donde se obtuvo resultados favorables para el concreto patrón y concreto ligero.

- Se elaboró las probetas patrón, así como también, las probetas y vigas con los porcentajes de tecnopor 15%, 30%, 45%, 50% y 60% por sustitución a la arena de acuerdo a la norma NTP 339.183.
- Se determinó el asentamiento y el peso unitario del concreto en estado fresco bajo las normas NTP 339.035 y NTP 339.046 respectivamente. En el concreto convencional se obtuvo un asentamiento de 80 mm, mientras que el concreto con perlas de poliestireno con porcentajes de 15%, 30%, 45%, 50% y 60% se obtuvo un asentamiento de 90 mm, 95 mm, 100 mm, 110 mm y 115 mm respectivamente; para las microperlas de poliestireno con porcentajes 15%, 30%, 45%, 50% y 60% se obtuvo un asentamiento de 100 mm, 135 mm, 165 mm, 180 mm y 200 mm correspondientemente. De acuerdo con el peso unitario, el concreto convencional tuvo un peso unitario de 2350 kg/m^3 , mientras que el concreto con perlas de poliestireno con porcentajes del 15%, 30%, 45%, 50% y 60% se obtuvo un peso unitario de 2240 kg/m^3 , 2180 kg/m^3 , 2150 kg/m^3 , 2100 kg/m^3 y 2030 kg/m^3 respectivamente; para las microperlas de poliestireno con un porcentaje del 15%, 30%, 45%, 50% y 60% se obtuvo un peso unitario de 2250 kg/m^3 , 2190 kg/m^3 , 2160 kg/m^3 , 2130 kg/m^3 y 2040 kg/m^3 relativamente.

Con respecto a la resistencia a la compresión bajo la norma NTP 339.034, en el concreto convencional se obtuvo una resistencia promedio a una edad de 28 días, de 412 kg/cm^2 , mientras que el concreto con perlas de poliestireno con un porcentaje del 15%, obtuvo una resistencia de 367 kg/cm^2 , con 30% se obtuvo una resistencia de 326 kg/cm^2 , con 45% se obtuvo una resistencia de 267 kg/cm^2 , con 50% se obtuvo una resistencia de 259 kg/cm^2 y con el 60% se obtuvo una resistencia de 237 kg/cm^2 . Para las microperlas de poliestireno con un porcentaje del 15%, se obtuvo una resistencia de 370 kg/cm^2 , con

30% se obtuvo una resistencia de 331 kg/cm^2 , con 45% se obtuvo una resistencia de 281 kg/cm^2 , con 50% se obtuvo una resistencia de 261 kg/cm^2 y con el 60% se obtuvo una resistencia de 238 kg/cm^2 .

Se determinó el módulo de rotura bajo la norma NTP 339.078, en un concreto convencional se obtuvo una resistencia promedio a la flexión a 28 días, de 55 kg/cm^2 , mientras que el concreto con perlas de poliestireno con un porcentaje del 15%, obtuvo una resistencia de 47 kg/cm^2 , con 30% se obtuvo una resistencia de 45 kg/cm^2 , con 45% se obtuvo una resistencia de 41 kg/cm^2 , con 50% se obtuvo una resistencia de 40 kg/cm^2 y con el 60% se obtuvo una resistencia de 37 kg/cm^2 . Para las microperlas de poliestireno con un porcentaje del 15% se obtuvo una resistencia de 48 kg/cm^2 , con 30% se obtuvo una resistencia de 46 kg/cm^2 , con 45% se obtuvo una resistencia de 44 kg/cm^2 , con 50% se obtuvo una resistencia de 41 kg/cm^2 y con el 60% se obtuvo una resistencia de 38 kg/cm^2 .

- En el concreto con perlas y microperlas de poliestireno, el diseño óptimo para un concreto ligero estructural para losas aligeradas es cuando se reemplaza con 40% de perlas de poliestireno con densidad de 7.35 kg/m^3 , porque presenta un asentamiento de 100 mm, este cumple con lo indicado en la tabla N° 14 para losas. El peso unitario aproximado de 2160 kg/m^3 , el cual es menor al peso unitario del concreto convencional, que está en un rango de 2200 kg/m^3 y 2400 kg/m^3 , por lo que ya es considerado un concreto ligero. Por último, la resistencia a compresión aproximada es de 287 kg/cm^2 , la cual es mayor a la resistencia estructural mínima que indica la norma E.060 Concreto armado, la resistencia a la flexión aproximada de 43 kg/cm^2 , esta se encuentra entre el 10% a 20% de la resistencia a la compresión, y el costo es solo 1.3% más que el concreto

convencional, haciéndola viable. Con respecto al costo, para un concreto con el 40% de perlas de poliestireno (densidad 7.35 kg/m^3) es 1.30% más que un concreto convencional, mientras que un concreto con microperlas de poliestireno (densidad 21.12 kg/m^3) de 40% es 26.06% que este mismo. Por esto es inviable la utilización de microperlas por su alto precio, así como también que se obtiene un peso ligero estructural a partir del 30% de EPS, pero con un asentamiento de 13.4 cm, lo cual está fuera del rango para losas que es de 3 a 4 pulgadas, por lo tanto deja como alternativa económica las perlas de poliestireno con 7.35 kg/m^3 de densidad lo cual el óptimo indicado es con el 40% de perlas de poliestireno por reemplazo al agregado fino.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear el concreto ligero estructural con 40% de perlas de poliestireno para una losa aligerada porque dicho porcentaje el asentamiento se encontró dentro del rango adecuado, un peso unitario por debajo del concreto convencional, la resistencia a compresión prevalece para el uso estructural y la resistencia a la flexión cumple con lo esperado.
- Se recomienda probar con el uso de otros agregados livianos, como, por ejemplo, piedra pómez, cenizas volcánicas, arcilla expandida, microsílíce, entre otros.
- Se recomienda el uso de un concreto ligero con el 40% de perlas de poliestireno, en vez de un concreto convencional para una losa aligerada, porque a pesar de ser un 1.3% más costoso, resulta ser más económico a lo largo del proyecto, es decir al tener una estructura con menos peso, la dimensión de la cimentación se reduciría y habría un ahorro en costo.
- Se recomienda utilizar un concreto ligero con el 40% de sustitución de perla de poliestireno por agregado grueso para uso estructural y no estructural.
- Se recomienda no utilizar las microperlas de poliestireno con una densidad aproximada a 21.12 kg/m^3 , debido a que su asentamiento no es el adecuado para su uso en losas aligeradas.
- Se recomienda experimentar la respuesta del concreto ligero con perlas de poliestireno sobre el aislamiento térmico, resistencia al fuego y aislante acústico.
- Se recomienda la investigación del concreto liviano al reemplazar las perlas y microperlas de poliestireno por el agregado grueso.

REFERENCIAS

- Abanto, F. (2008). *Tecnología del Concreto*. Lima. San Marcos.
- Al-Jabri, K. S., Hago, A. W., Al-Nuaimi, A. S., & Al-Saidy, A. H. (2005). Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1472-1479. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.018>
- American Concrete Institute (s.f.). *ACI 211.1: Diseño de mezcla de concreto*. Estados Unidos.
- American Concrete Institute (2014). *ACI 213R-14: Guide for Structural Lightweight - Aggregate Concrete*. Estados Unidos.
- American Society of Testing Materials (2014). *ASTM C 231: Método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado mediante el método de presión*. Estados Unidos.
- American Concrete Institute (2014). *ACI 318-08: Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Estados Unidos.
- American Society of Testing Materials (s.f.). *ASTM C 567: Método normalizado de ensayo para la determinación de la densidad de concreto estructural liviano*. Estados Unidos.
- American Society of Testing Materials (1992). *ASTM C 578-92: Especificación estándar para aislamiento térmico de poliestireno celular rígido*. Estados Unidos.
- ANAPE, (2015). Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. Consultado el 8 de marzo de 2020. <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- Andrews, E. W., Gibson, L. J. & Ashby, M. F. (1999). The creep of cellular solids. *Acta materialia*, 47(10), 2853-2863. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00150-0](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00150-0)
- Angelin, A. F. (2014). *Concreto leve estrutural: desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais*. [tesis de magister, Universidade Estadual De Campinas Faculdade De Tecnologia, Brasil-Limeira]. Repositorio UNICAMP. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/267702>

- Aramayo, G., Buncuga, V., Cahuapé, M., Forgione, F. & Navarrete, A. (2003). Hormigones con agregados livianos. *Departamento de mecánica aplicada y estructuras Facultad deficiencias exactas. Universidad Nacional de Rosario. Argentina*, 3-6. <https://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/03.01.03-Hormigones%20con%20Agregados%20Livianos.PDF>
- Arbito, G. V. (2016). *Concreto celular para uso estructural*. [tesis de maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Repositorio Institucional UC. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25669>
- Barnetson, A. (2004). Handbook of Polymer Foams. *Handbook of Polymer Foams*, 37-54. <https://epdf.pub/handbook-of-polymer-foamsc23085bb2799ca287e8850679579e57f24403.html>
- Bossio, A., Acierno, S., Pecce, M., & Bellucci, F. (2014). *Durability of lightweight concretes containing expanded polystyrene*. Consultado el 6 de marzo de 2020. http://www.academia.edu/download/43850577/Durability_of_lightweight_concretes_cont20160318-7444-yyaepf.pdf
- Bustamante, D. M. & Diaz, C. A. (2014). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Perú]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2894>
- Chen, B., & Liu, N. (2013). A novel lightweight concrete-fabrication and its thermal and mechanical properties. *Construction and building materials*, 44, 691-698. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.091>
- Chuquilin, J. A. (2018). *Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018*. [tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Perú]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14821>

Cofre, A. (2003). *Bovedillas de eps (poliestireno expandido): una alternativa para la construcción de losas prefabricadas*. [tesis de pregrado, Universidad austral de Chile]. Recuperado el 10 de marzo de 2020.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfic675b/doc/bmfic675b.pdf>

De Trujillo, M. P. (2011). *Plan de Desarrollo Municipal Provincial Concertado de Trujillo 2012-2021*.

<http://www.munitrujillo.gob.pe/Archivosvirtual/Transparencia/Adjuntos/192c9f914a5cc34a95c0e9910b51d6aaPlanDesarrolloConcertado20122021MPT.PDF>

ExpanPol (2012). *Perlas de poliestireno expandido*. Ficha técnica. Consultado el 6 de marzo de 2020.

https://www.hormipret.cl/admin/imagenes/producto/24_07_2012_16_36_10_5866533.pdf

Farny, J. A. (2007). *Diseño y construcción de pisos en concreto*. (3.^a ed.). Asocreto.

Fernández, M. (2013). *Hormigón* (10.^a ed.). Madrid, España: Garceta.

Fernandez, D. A. & Ramos, H. A. (2019). *Influencia de la microsilice sobre la resistencia a la compresión de concretos con relaciones agua/cemento 0.30; 0.35 y 0.40 Trujillo, 2019*. [tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Perú]. Repositorio Institucional UPN.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23702>

González, O. M. & Robles F. (2012). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado, Trujillo 2018* (Grupo Noriega, 4.^a ed.). Limusa.

Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. (2.^a ed.).

Manizales, Colombia: Centro de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

- Herrera, M. A. (2015). *Propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de un mortero aligerado con partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje para recubrimientos en muros y techos*. [tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. Repositorio Institucional CICY. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/413>
- Hohwiller, F. & Köhling, K. (1969). Hormigón ligero de Styropor. *Materiales de construcción*, 19(136), 59-70. <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1577/1910>
- INEI, I. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. <http://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- Instrucción Española EHE (s.f.). Instrucción de Hormigón Estructural. http://normativaconstruccion.cype.info/0141_ehe/index.html?0
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. (1.ª ed.). Portland Cement Association. Recuperado de: <https://www.academia.edu/33383752>
- Lakatos, Á. & Kalmár, F. (2013). Investigación de la dependencia del espesor y la densidad de la conductividad térmica de los materiales de aislamiento de poliestireno expandido. *Materials and structures* 46(7), 1101-1105. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9956-5>
- Lituma, M. C. & Zhunio, B. T. (2015). *Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón*. [tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Repositorio Institucional UC. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23112>

- Luján, E. F. (2011). *Microzonificación Geotécnica del distrito de Trujillo* (V. Guzmán, ed). Guzlop editoras. https://www.guzlop-editoras.com/web_des/ing01/civil/pld0114.pdf
- Lynwood, C. (Ed.). (2014). *Polystyrene: synthesis, characteristics, and applications*. Nova Science Publishers, Incorporated. <https://engage.aiche.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=2ab3ffd4-f005-40f1-992d-d6cfcc664741&ssopc=1>
- Mamlouk, M. S. & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para ingeniería civil*. (2.^a ed.). Pearson
- Martínez, D. R. (2010). *Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá*. [tesis de magíster, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11402>
- Miled, K., Sab, K. & Le Roy, R. (2007). Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling. *Mechanics of Materials*, 39(3), 222-240. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2006.05.008>
- Montalvo, H. (s. f.). *Concreto: Generalidades, propiedades y procesos*. Consultado el 5 de marzo de 2020. https://www.academia.edu/9706247/CONCRETO_Generalidades_propiedades_y_procesos
- Neville, A. M. (1977). *Tecnología del concreto*. (1.^a ed.). México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Niño, J. R. (2010). *Tecnología del concreto—Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. (3.^a ed.). Asocreto.
- Norma Técnica Peruana (2015). *NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Lima.

- Norma Técnica Peruana (2009). *NTP 339.035: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2008). *NTP 339.046: Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2004). *NTP 334.074: Cementos. Determinación de la consistencia normal*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2012). *NTP 339.078: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2013). *NTP 339.183: Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2002). *NTP 339.184: Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2013). *NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2001). *NTP 400.010: Extracción y preparación de las muestras*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2008). *NTP 400.011: Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2013). *NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2011). *NTP 400.017: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2013). *NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. Lima.
- Norma Técnica Peruana (2013). *NTP 400.022: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Lima.

- Norma Técnica Peruana (2014). *NTP 400.037: Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima.
- Ñaupá, M. (2018). *Evaluación de la calidad y costo de bloques de cemento con perlitas de poliestireno como alternativa en muros de albañilería en viviendas multifamiliares de la ciudad de Ayacucho*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga, Peú]. Repositorio Institucional UNSCH.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3572>
- Ossa, A. (2009). *Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo carga de compresión*. [tesis de Doctora, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/92585>
- Ramírez, J. J. (2018). *Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural en el Perú*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú]. Repositorio Institucional UNFV.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2618>
- Reglamento Nacional de Edificaciones E. 030 (2016) *Diseño Sismorresistente*. Lima.
<http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2009). Norma E.060: Concreto Armado. Lima.
- Rivera, G. A. (2013). *Concreto simple*. Recuperado
https://www.academia.edu/13569512/CONCRETO_SIMPLE
- Rivva, E. (2013). *Diseño de Mezclas* (2.^a ed.). Lima. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Sahin, S. & Karaman, S. (2012). The properties of expanded polystyrene-pumice-gypsum blocks as a building material. *Editorial Board*, 9(1), 51-56.
<http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.11776/1665>
- Sánchez de Guzmán, D. (2011). *Tecnología del Concreto Tomo 2. Manejo y colocación en obra* (3.^a ed.). Asocreto.

- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5.^a ed.). Bogotá. Bhandar editores.
- Santeliz, A. (2001). *Diseño y construcción de losas de concreto ligero*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional UNAM. <http://132.248.9.195/pd2001/288531/Index.html>
- Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M., Güths, S., & Mendes, G. A. (2014). Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *ScienceDirect*, 57(1), 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009>
- Solak, A. M. (2017). *El fenómeno de la segregación en hormigones ligeros. Análisis mediante procesamiento de imágenes y estudio ultrasónico*. [tesis de máster, Universidad de Alicante, España]. Repositorio Institucional UA. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/71550>
- Subhan T. F. (2006). Lightweight high strength concrete with expanded polystyrene beads. *Mektek*, 8(1), 10-11. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mektek/article/view/396>
- Techmo (2017). *Perlas de poliestireno*. Ficha técnica. Consultado el 6 de marzo de 2020. http://www.techmo.es/pdf/ft/FT_PERLAS%20DE%20POLIESTIRENO.pdf
- Valdez, L. F. & Suarez, G. E. (2010). *Hormigones Livianos*. [tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador]. Repositorio DSpace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/10620>
- Vásquez, F. G. (2010). *Resistencia del concreto de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución del agregado grueso por tecnopor en 10% y 15%*, Huaraz. [tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Perú]. Repositorio Institucional USP. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/7940>

- Velarde, A. R. (2017). *Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero, Trujillo-2017*. [tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Perú]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12744>
- Veliz, A. M. & Vásquez, J. L. (2018). *Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5719>
- Vera, I. J. (2018). *Diseño de un concreto liviano con Poliestireno expandido para la ejecución de losas en el Asentamiento Humano Amauta-Ate-Lima Este (2018)*. [tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Perú]. Repositorio Institucional URP. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1636>
- Vidal, F. G. (2010). *Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS)*. [tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfciv648c/doc/bmfciv648c.pdf>

APÉNDICE

Apéndice 1: Nivel de confianza Z

Tabla 89: *Nivel de confianza Z*

ERROR (Tipo I): Puede ser unilateral o bilateral			
Nivel de confianza (1- α)	Error (α)	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	0.1	1.64	1.28
95%	0.05	1.96	1.64
99%	0.01	2.57	2.32
ERROR (Tipo II): Siempre es unilateral			
Poder (1- β)	Error (β)	Valor Z	
0.80	0.20	0.842	
0.90	0.10	1.282	
0.95	0.05	1.645	
0.99	0.01	2.326	

Fuente: Recuperado de manual estadística UPN

Apéndice 2: Densidad del concreto convencional en estado fresco

Tabla 90: *Densidad del concreto convencional (kg/m³)*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
0%	4.795	28.255	0.01	2346
	4.810	28.310	0.01	2350
	4.795	28.225	0.01	2343

Fuente: NTP 339.046:2008

Apéndice 3: Densidad del concreto ligero en estado fresco con microperlas de poliestireno

Tabla 91: *Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 1*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.805	27.320	0.01	2252
30%	4.805	26.760	0.01	2196
45%	4.805	26.380	0.01	2158
50%	4.810	26.105	0.01	2130
60%	4.805	25.210	0.01	2041

Fuente: NTP 339.046:2008

Tabla 92: *Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 2*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.805	27.245	0.01	2244
30%	4.810	26.730	0.01	2192
45%	4.805	26.380	0.01	2158
50%	4.810	26.125	0.01	2132
60%	4.810	25.195	0.01	2039

Fuente: NTP 339.046:2008

Tabla 93: *Densidad del concreto ligero con microperlas de poliestireno - Muestra 3*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.805	27.220	0.01	2242
30%	4.805	26.725	0.01	2192
45%	4.805	26.340	0.01	2154
50%	4.810	26.110	0.01	2130
60%	4.805	25.245	0.01	2044

Fuente: NTP 339.046:2008

Apéndice 4: Densidad del concreto ligero en estado fresco con perlas de poliestireno

Tabla 94: *Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 1*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.810	27.190	0.01	2238
30%	4.810	26.750	0.01	2194
45%	4.810	26.295	0.01	2149
50%	4.810	25.950	0.01	2114
60%	4.805	25.165	0.01	2036

Fuente: NTP 339.046:2008

Tabla 95: *Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 2*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.810	27.155	0.01	2235
30%	4.810	26.450	0.01	2164
45%	4.810	26.245	0.01	2144
50%	4.810	25.655	0.01	2085
60%	4.810	25.120	0.01	2031

Fuente: NTP 339.046:2008

Tabla 96: *Densidad del concreto ligero con perlas de poliestireno - Muestra 3*

Probetas	Molde	Molde + Concreto	Volumen del molde	Peso unitario concreto fresco (kg/m ³)
15%	4.810	27.170	0.01	2236
30%	4.805	26.700	0.01	2190
45%	4.805	26.260	0.01	2146
50%	4.810	25.900	0.01	2109
60%	4.810	25.145	0.01	2034

Fuente: NTP 339.046:2008

Apéndice 5: Resistencia a compresión del concreto convencional

Tabla 97: *Resistencia a compresión del concreto convencional*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.2	34471.51	81.71	421.86
Probeta 2	10.2	33645.54	81.71	411.75
Probeta 3	10.2	32284.22	81.71	395.09
Probeta 4	10.2	32625.82	81.71	399.27
Probeta 5	10.2	33844.38	81.71	414.19
Probeta 6	10.2	33630.24	81.71	411.57
Probeta 7	10.2	32998.02	81.71	403.83
Probeta 8	10.2	34252.27	81.71	419.18
Probeta 9	10.2	36199.93	81.71	443.01
Probeta 10	10.2	33074.50	81.71	404.77

Fuente: NTP 339.034:2015

Apéndice 5: Resistencia a compresión del concreto ligero con perlas de poliestireno

Tabla 98: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 15% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.19	28337.24	81.55	347.47
Probeta 2	10.18	29811.4	81.39	366.27
Probeta 3	10.15	28924.25	80.91	357.47
Probeta 4	10.18	29892.98	81.39	367.27
Probeta 5	10.16	30056.14	81.07	370.73
Probeta 6	10.17	31152.33	81.23	383.49
Probeta 7	10.18	29382.44	81.39	361.00
Probeta 8	10.18	30887.2	81.39	379.48
Probeta 9	10.18	29994.95	81.39	368.52
Probeta 10	10.17	30244.78	81.23	372.32

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 99: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 30% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.20	28455.18	81.71	348.23
Probeta 2	10.20	25105.41	81.71	307.24
Probeta 3	10.18	25411.33	81.39	312.21
Probeta 4	10.21	25508.20	81.87	311.56
Probeta 5	10.18	26609.49	81.39	326.93
Probeta 6	10.16	25513.30	81.07	314.69
Probeta 7	10.16	26329.07	81.07	324.76
Probeta 8	10.20	27680.20	81.71	338.75
Probeta 9	10.16	27884.14	81.07	343.94
Probeta 10	10.16	26589.10	81.07	327.96

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 100: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 45% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.19	20955.17	81.55	256.95
Probeta 2	10.19	21536.41	81.55	264.08
Probeta 3	10.18	22280.80	81.39	273.74
Probeta 4	10.14	21337.56	80.75	264.23
Probeta 5	10.18	21709.76	81.39	266.73
Probeta 6	10.18	21276.38	81.39	261.40
Probeta 7	10.18	20542.18	81.39	252.38
Probeta 8	10.18	23111.87	81.39	283.96
Probeta 9	10.20	20537.08	81.71	251.33
Probeta 10	10.18	24468.09	81.39	300.62

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 101: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 50% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.20	23718.60	81.71	290.27
Probeta 2	10.18	18686.30	81.39	229.58
Probeta 3	10.18	19486.78	81.39	239.42
Probeta 4	10.18	20460.61	81.39	251.38
Probeta 5	10.19	22219.62	81.55	272.46
Probeta 6	10.14	20032.33	80.75	248.07
Probeta 7	10.16	25380.74	81.07	313.06
Probeta 8	10.19	19119.68	81.55	234.45
Probeta 9	10.18	19547.96	81.39	240.17
Probeta 10	10.19	22545.93	81.55	276.46

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 102: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 60% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.18	20924.58	81.39	257.08
Probeta 2	10.20	15545.57	81.71	190.25
Probeta 3	10.15	18742.38	80.91	231.63
Probeta 4	10.18	19833.48	81.39	243.68
Probeta 5	10.19	21541.50	81.55	264.14
Probeta 6	10.18	17794.05	81.39	218.62
Probeta 7	10.19	19491.88	81.55	239.01
Probeta 8	10.16	19374.61	81.07	238.98
Probeta 9	10.16	19864.07	81.07	245.01
Probeta 10	10.19	19716.21	81.55	241.76

Fuente: NTP 339.034:2015

Apéndice 6: Resistencia a compresión del concreto ligero con microperlas de poliestireno

Tabla 103: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 15% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.19	30951.10	81.55	379.52
Probeta 2	10.14	30511.27	80.75	377.83
Probeta 3	10.16	29352.53	81.07	362.05
Probeta 4	10.18	30150.42	81.39	370.43
Probeta 5	10.14	30026.22	80.75	371.82
Probeta 6	10.15	29485.77	80.91	364.41
Probeta 7	10.13	29801.88	80.60	369.77
Probeta 8	10.17	30419.49	81.23	374.47
Probeta 9	10.15	29951.10	80.91	370.16
Probeta 10	10.15	29394.00	80.91	363.28

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 104: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 30% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.19	24366.12	81.55	298.78
Probeta 2	10.18	27720.99	81.39	340.58
Probeta 3	10.19	25844.71	81.55	316.91
Probeta 4	10.17	25676.45	81.23	316.08
Probeta 5	10.18	27899.44	81.39	342.78
Probeta 6	10.15	28475.58	80.91	351.93
Probeta 7	10.18	27328.39	81.39	335.76
Probeta 8	10.17	29010.93	81.23	357.13
Probeta 9	10.17	25028.93	81.23	308.11
Probeta 10	10.18	27853.55	81.39	342.21

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 105: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 45% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.18	23973.53	81.39	294.54
Probeta 2	10.19	23433.08	81.55	287.34
Probeta 3	10.19	20577.87	81.55	252.33
Probeta 4	10.18	22066.66	81.39	271.11
Probeta 5	10.19	23846.06	81.55	292.40
Probeta 6	10.19	22229.81	81.55	272.58
Probeta 7	10.18	22571.42	81.39	277.32
Probeta 8	10.18	23606.43	81.39	290.03
Probeta 9	10.18	23575.84	81.39	289.66
Probeta 10	10.18	23224.04	81.39	285.33

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 106: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 50% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.19	22679.84	81.55	278.10
Probeta 2	10.18	22349.12	81.39	274.58
Probeta 3	10.19	20457.54	81.55	250.85
Probeta 4	10.18	19183.57	81.39	235.69
Probeta 5	10.20	21957.88	81.71	268.72
Probeta 6	10.20	18125.46	81.71	221.82
Probeta 7	10.19	21597.59	81.55	264.83
Probeta 8	10.18	19368.83	81.39	237.97
Probeta 9	10.19	24891.60	81.55	305.22
Probeta 10	10.18	22466.38	81.39	276.02

Fuente: NTP 339.034:2015

Tabla 107: *Resistencia a compresión del concreto ligero con el 60% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Diámetro promedio (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
Probeta 1	10.10	19662.84	80.12	245.42
Probeta 2	9.95	18764.13	77.76	241.32
Probeta 3	10.18	16499.01	81.39	202.71
Probeta 4	10.18	20063.59	81.39	246.50
Probeta 5	9.90	18290.64	76.98	237.61
Probeta 6	10.10	19796.08	80.12	247.09
Probeta 7	10.18	18432.73	81.39	226.47
Probeta 8	10.10	20316.14	80.12	253.58
Probeta 9	10.18	20081.60	81.39	246.72
Probeta 10	10.18	18721.99	81.39	230.02

Fuente: NTP 339.034:2015

Apéndice 7: Resistencia a la flexión del concreto convencional

Tabla 108: *Resistencia a la flexión del concreto convencional*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.10	15.15	45.00	4351.00	56.49
Probeta 2	15.05	15.10	45.00	4655.00	61.04
Probeta 3	15.08	15.16	45.00	4553.00	59.12
Probeta 4	14.98	15.17	45.00	3937.00	51.39
Probeta 5	14.98	15.05	45.00	3784.00	50.19
Probeta 6	15.07	15.14	45.00	4492.00	58.52
Probeta 7	15.05	15.17	45.00	3987.00	51.80
Probeta 8	15.05	15.05	45.00	4488.00	59.25
Probeta 9	15.08	15.05	45.00	3994.00	52.62
Probeta 10	15.10	15.10	45.00	3835.00	50.12

Fuente: NTP 339.078:2012

Apéndice 8: Resistencia a la flexión del concreto ligero con perlas de poliestireno

Tabla 109: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 15% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	14.98	15.05	45.00	3870.00	51.33
Probeta 2	15.05	15.10	45.00	3495.00	45.83
Probeta 3	15.10	15.08	45.00	3891.00	50.99
Probeta 4	15.10	15.13	45.00	3658.00	47.62
Probeta 5	14.98	15.05	45.00	3590.00	47.61
Probeta 6	15.08	15.00	45.00	3545.00	47.02
Probeta 7	15.11	15.17	45.00	3791.00	49.06
Probeta 8	15.05	15.16	45.00	3289.00	42.79
Probeta 9	15.10	15.17	45.00	3577.00	46.32
Probeta 10	14.98	15.15	45.00	3157.00	41.32

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 110: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 30% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.10	15.18	45.00	3305.00	42.74
Probeta 2	15.13	15.02	45.00	4244.00	55.95
Probeta 3	15.03	15.15	45.00	4071.00	53.10
Probeta 4	15.00	15.10	45.00	3712.00	48.84
Probeta 5	15.12	15.03	45.00	2982.00	39.29
Probeta 6	15.06	15.23	45.00	4107.00	52.91
Probeta 7	15.10	15.15	45.00	2904.00	37.71
Probeta 8	15.15	15.10	45.00	2889.00	37.64
Probeta 9	15.20	15.17	45.00	2987.00	38.43
Probeta 10	15.05	15.10	45.00	3154.00	41.36

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 111: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 45% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.07	15.27	45.00	2898.00	37.11
Probeta 2	14.97	15.05	45.00	3122.00	41.43
Probeta 3	15.03	15.17	45.00	3587.00	46.67
Probeta 4	15.15	15.13	45.00	2872.00	37.27
Probeta 5	14.95	15.03	45.00	2883.00	38.41
Probeta 6	15.18	14.98	45.00	2868.00	37.89
Probeta 7	15.08	15.11	45.00	3457.00	45.18
Probeta 8	15.05	15.10	45.00	3134.00	41.10
Probeta 9	15.15	15.05	45.00	3154.00	41.36
Probeta 10	15.10	15.10	45.00	3521.00	46.02

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 112: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 50% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	14.98	15.14	45.00	2767.00	36.26
Probeta 2	14.98	15.18	45.00	3684.00	48.03
Probeta 3	15.08	14.95	45.00	3465.00	46.26
Probeta 4	14.96	15.12	45.00	3920.00	51.58
Probeta 5	14.98	15.10	45.00	2559.00	33.71
Probeta 6	15.08	15.03	45.00	3151.00	41.62
Probeta 7	14.95	15.23	45.00	3029.00	39.31
Probeta 8	15.05	15.15	45.00	2578.00	33.58
Probeta 9	15.05	15.10	45.00	2885.00	37.83
Probeta 10	14.98	15.15	45.00	2436.00	31.88

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 113: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 60% perlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	14.98	14.98	45.00	2603.00	34.85
Probeta 2	15.13	15.08	45.00	2741.00	35.85
Probeta 3	15.08	15.14	45.00	3376.00	43.95
Probeta 4	15.04	15.24	45.00	2805.00	36.13
Probeta 5	15.07	14.96	45.00	2382.00	31.78
Probeta 6	14.98	15.06	45.00	2628.00	34.81
Probeta 7	14.98	15.07	45.00	3438.00	45.48
Probeta 8	15.05	15.10	45.00	2452.00	32.15
Probeta 9	15.08	15.12	45.00	2837.00	37.03
Probeta 10	14.98	15.05	45.00	3154.00	41.83

Fuente: NTP 339.078:2012

Apéndice 9: Resistencia a la flexión del concreto ligero con microperlas de poliestireno

Tabla 114: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 15% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.07	14.95	45.00	4123.00	55.08
Probeta 2	15.03	15.01	45.00	3258.00	43.30
Probeta 3	14.92	15.11	45.00	2801.00	37.00
Probeta 4	15.08	15.13	45.00	4397.00	57.32
Probeta 5	15.10	15.06	45.00	2978.00	39.13
Probeta 6	15.13	15.11	45.00	3192.00	41.58
Probeta 7	14.93	15.15	45.00	3125.00	41.04
Probeta 8	14.98	15.04	45.00	3885.00	51.59
Probeta 9	15.05	15.11	45.00	4295.00	56.25
Probeta 10	15.10	15.10	45.00	4158.00	54.35

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 115: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 30% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.04	14.93	45.00	3863.00	51.85
Probeta 2	15.05	15.18	45.00	4057.00	52.64
Probeta 3	15.15	15.17	45.00	3500.00	45.17
Probeta 4	15.18	15.10	45.00	3230.00	41.99
Probeta 5	15.02	14.98	45.00	3170.00	42.32
Probeta 6	14.99	14.93	45.00	2819.00	37.97
Probeta 7	15.11	15.08	45.00	3232.00	42.33
Probeta 8	14.99	15.10	45.00	3820.00	50.29
Probeta 9	15.05	15.05	45.00	3785.00	49.97
Probeta 10	15.04	15.07	45.00	3852.00	50.75

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 116: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 45% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.05	15.23	45.00	3108.00	40.06
Probeta 2	15.08	15.15	45.00	3393.00	44.11
Probeta 3	15.07	15.00	45.00	3007.00	39.91
Probeta 4	15.02	15.16	45.00	3091.00	40.29
Probeta 5	15.00	15.08	45.00	3322.00	43.82
Probeta 6	15.03	14.98	45.00	3860.00	51.50
Probeta 7	15.13	15.14	45.00	4410.00	57.22
Probeta 8	15.05	15.10	45.00	3075.00	40.32
Probeta 9	14.98	14.95	45.00	3182.00	42.77
Probeta 10	15.10	14.99	45.00	3050.00	40.45

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 117: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 50% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.01	14.96	45.00	2911.00	39.00
Probeta 2	15.03	14.96	45.00	2914.00	38.98
Probeta 3	15.18	14.94	45.00	3728.00	49.51
Probeta 4	15.05	15.10	45.00	2980.00	39.08
Probeta 5	14.93	15.15	45.00	2985.00	39.20
Probeta 6	14.96	15.28	45.00	3295.00	42.45
Probeta 7	14.98	15.17	45.00	3166.00	41.33
Probeta 8	15.05	15.05	45.00	3040.00	40.13
Probeta 9	14.98	15.10	45.00	2928.00	38.58
Probeta 10	15.05	14.99	45.00	2848.00	37.90

Fuente: NTP 339.078:2012

Tabla 118: *Resistencia a la flexión del concreto ligero con el 60% microperlas de poliestireno*

N° de Serie	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Luz libre entre apoyos (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
Probeta 1	15.19	15.02	45.00	2975.00	39.07
Probeta 2	15.05	15.11	45.00	3031.00	39.69
Probeta 3	15.18	15.02	45.00	2824.00	37.11
Probeta 4	15.10	14.95	45.00	2790.00	37.20
Probeta 5	15.11	15.15	45.00	2963.00	38.45
Probeta 6	15.11	14.97	45.00	2773.00	36.85
Probeta 7	14.93	15.01	45.00	2505.00	33.51
Probeta 8	14.97	15.05	45.00	2755.00	36.56
Probeta 9	14.99	15.10	45.00	3110.00	40.95
Probeta 10	15.00	15.04	45.00	2790.00	37.00

Fuente: NTP 339.078:2012

ANEXOS

ANEXO N° 1. Panel fotográfico

Anexo N° 1.1. Análisis granulométrico



Figura 20: Cuarteo del agregado fino



Figura 21: Cuarteo del agregado grueso



Figura 22: Análisis granulométrico

Anexo N° 1.2. Contenido de humedad



Figura 23: Contenido de humedad

Anexo N° 1.3. Peso unitario suelto y compactado



Figura 24: Peso unitario suelto del agregado fino



Figura 25: Peso unitario compactado del agregado fino



Figura 26: Peso unitario suelto del agregado grueso



Figura 27: Peso unitario compactado del agregado grueso

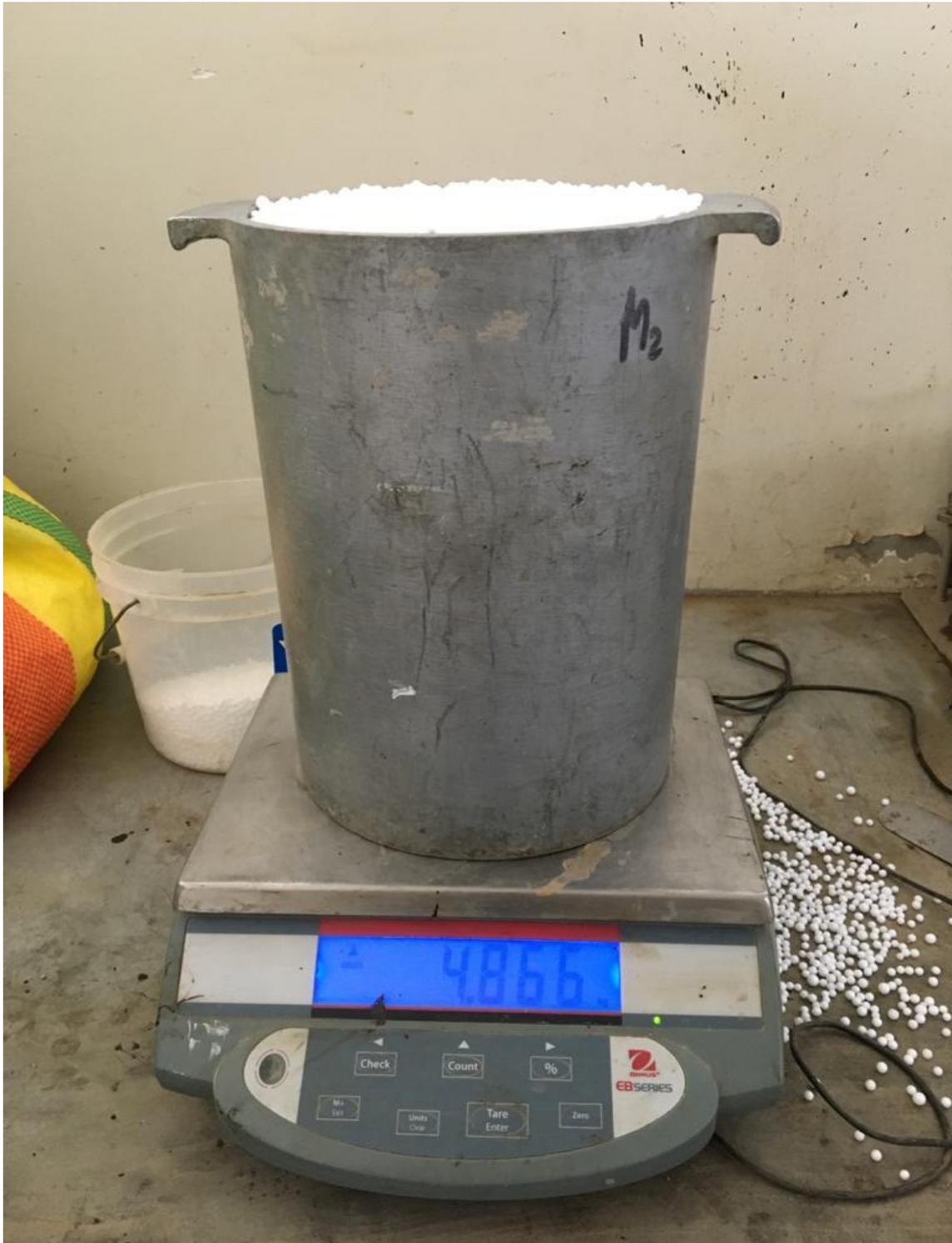


Figura 28: Peso unitario suelto de las perlas de poliestireno



Figura 29: Peso unitario suelto de las microperlas de poliestireno



Figura 30: Peso del molde + agua + vidrio para el volumen del recipiente

Anexo N° 1.4. Peso específico y absorción del agregado fino



Figura 31: Prueba de humedad superficial del agregado fino

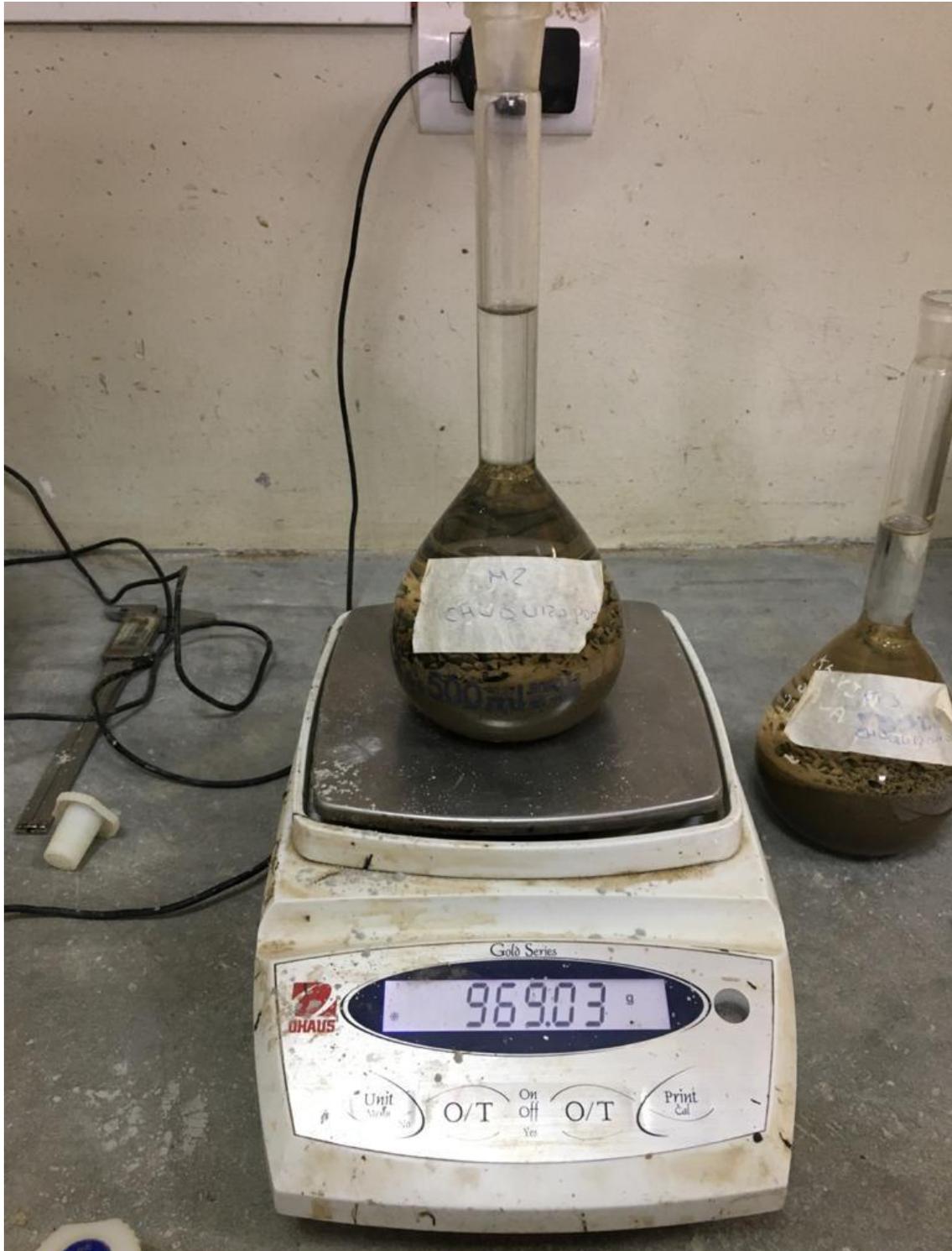


Figura 32: Peso de fiola + muestra sss del agregado fino + agua



Figura 33: Peso de la muestra sss del agregado fino

Anexo N° 1.5. Peso específico y absorción del agregado grueso



Figura 34: Muestra saturada superficialmente seca



Figura 35: Peso de la muestra suspendida en agua

Anexo N° 1.6. Asentamiento del concreto



Figura 36: Asentamiento del concreto convencional

Anexo N° 1.7. Peso unitario del concreto convencional en estado fresco



Figura 37: Peso unitario del concreto convencional

Anexo N° 1.8. Mezclado de materiales



Figura 38: Mezcla del concreto con microperlas de poliestireno

Anexo N° 1.9. Asentamiento del concreto con EPS



Figura 39: Asentamiento del concreto con perlas de poliestireno



Figura 40: Asentamiento del concreto con microperlas de poliestireno

Anexo N° 1.10. Elaboración de probetas



Figura 41: Elaboración de probetas de 4x8 pulgadas

Anexo N° 1.11. Elaboración de vigas



Figura 42: Elaboración de vigas de concreto 15x50 centímetros

Anexo N° 1.12. Curado de probetas y vigas



Figura 43: Curado de probetas y vigas

Anexo N° 1.13. Desmolde de probetas



Figura 44: Desmolde de probetas

Anexo N° 1.14. Secado de probetas y vigas



Figura 45: Secado de probetas y vigas de concreto

Anexo N° 1.15. Medición de muestras



Figura 46: Medición de probetas de concreto



Figura 47: Medidas al tercio medio de la viga de concreto

Anexo N° 1.16. Resistencia a compresión de las probetas de concreto



Figura 48: Resistencia a compresión del concreto convencional



Figura 49: Resistencia a la compresión del concreto con perlas de poliestireno



Figura 50: Resistencia a la compresión del concreto con microperlas de poliestireno



Figura 51: Distribución de las perlas de poliestireno en la probeta de concreto en estado endurecido

Anexo N° 1.17. Resistencia a la flexión del concreto



Figura 52: Resistencia a la flexión del concreto con perlas de poliestireno



Figura 53: Distribución de las perlas de poliestireno en la viga de concreto en estado endurecido



Figura 54: Distribución de las microperlas de poliestireno en el concreto en estado endurecido